

Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem



**Strategien zum Bodenschutz in der  
pflanzlichen Produktion**  
Pflanzenschutzkolloquium

am 13. und 14. November 1995 in Braunschweig

Bearbeitet von

**Dr. Garnet Krasel**

Arbeitsgruppe Gute Laborpraxis

**Prof. Dr. Wilfried Pestemer**

Institut für ökologische Chemie

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem  
und

**Dr. Gerhard Bartels**

Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig

Heft 328

Berlin 1997

*Herausgegeben*

*von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Berlin-Dahlem*

Parey Buchverlag Berlin  
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3162-1

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion:** Pflanzenschutzkolloquium am 13. und 14. November 1995 in Braunschweig. Hrsg. von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. Bearb. von Gernot Krasel ... – Berlin: Parey, [in Komm.], 1997. (Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 328)  
ISBN 3-8263-3162-1 brosch.

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

1997 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin

## Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion Pflanzenschutzkolloquium

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b><u>Darstellung der allgemeinen Problematik</u></b>	
K. Padberg	<b>Bodenschutzgesetzgebung aus der Sicht des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten</b> <span style="float: right; text-align: right;">6</span>
G. Bachmann	<b>Bodenschutzgesetzgebung aus der Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit</b> <span style="float: right; text-align: right;">12</span>
K. Schinkel	<b>Berücksichtigung des Bodenschutzes bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln unter gesetzlichen Bedingungen</b> <span style="float: right; text-align: right;">13</span>
C. Sommer	<b>Bedeutung des Bodens für die Sicherung der Nahrungsmittelerzeugung</b> <span style="float: right; text-align: right;">19</span>
G. Meinert	<b>Pflanzenschutz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes</b> <span style="float: right; text-align: right;">26</span>
<b><u>Belastungen und Auswirkungen von Schadstoffen und Pflanzenschutzmitteln im Boden</u></b>	
Gabriela Reese-Stähler Dagmar Klementz W. Pestemer	<b>Rückstandsverhalten von Fenikan unter dem Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen</b> <span style="float: right; text-align: right;">30</span>
S. Pätzold G. Brümmer	<b>Verhalten des Herbizides Diuron in einer Parabraunerde aus Löß nach mehrjähriger Anwendung im Obstbau</b> <span style="float: right; text-align: right;">38</span>
J. Michaelsen L. Rexilius	<b>Untersuchungen zum Migrationsverhalten von Pflanzenschutzmitteln nach Herbstapplikation auf einer gedränten Ackerfläche - Ergebnisse aus 1994/1995 -</b> <span style="float: right; text-align: right;">49</span>
H.-P. Malkomes	<b>Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenorganismen - einige Erfahrungen aus langjähriger ökotoxikologischer Forschung -</b> <span style="float: right; text-align: right;">62</span>

Angelika Süß	<b>Labor- und Freilanduntersuchungen zur Auswirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen</b>	72
W. Neuhaus F. Seefeld	<b>Auswirkungen von IGRAN 500 flüssig auf die Abundanz von Bodenalggen sowie deren Korrelation zu den Rückständen im Boden</b>	79
E. Hellpointer B. Brumhard	<b>Ergebnisse zur mikrobiell aktiven Biomasse von Böden und deren Veränderung unter den Standard-Laborbedingungen von Pflanzenschutzmittel-Abbauversuchen</b>	85

### **Auswirkung von Bodennutzungssystemen auf den Boden und Methoden zur Schonung des Bodens**

H. Nordmeyer P. Niemann	<b>Teilflächenbezogene Unkrautbekämpfung zur Reduzierung des Herbizideinsatzes</b>	97
G. Wartenberg	<b>Geringe Herbizidbelastung landwirtschaftlicher Ackerflächen durch teilflächenspezifische Spritzmittelapplikation</b>	105
H. Ganzelmeier	<b>Abtrift und Bodenbelastungen beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln</b>	115
Doris Bell J. Radmacher	<b>Auswirkungen von differenzierten Bodenbearbeitungssystemen auf Edaphon und Gefüge rekultivierter Böden aus Löß im Rheinischen Braunkohlenrevier</b>	125
A. Zsolnay E. Schulz	<b>Die in-situ-Messung des Einflusses von Düngung auf das mobile und immobile Simazin</b>	134
Irene Scheunert Sabine Lehr	<b>Abbau und Metabolismus des Herbizids <sup>14</sup>C-Isoproturon in Böden in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsform</b>	140
U. Heimbach B. Knolle A. Sokolowski V. Garbe	<b>Einfluß von Direktsaat-/Mulchverfahren auf räuberische Arthropoden in und auf dem Boden</b>	145

### **Bewertungsverfahren für den Bodenschutz**

Christine Kula R. Forster	<b>Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenorganismen im Zulassungsverfahren - Risikoabschätzung, Bewertung und Maßnahmen zur Risikominimierung -</b>	155
------------------------------	---	-----

W. Pestemer Petra Günther	<b>Computergestütztes Nachzulassungsmonitoring von Pflanzenschutzmitteln im Boden</b>	163
G. Bachmann	<b>Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung von Bodenkontaminationen hinsichtlich des Boden-Pflanzen-Pfades</b>	177
Monika Frielinghaus Bärbel Winnige Friederike Gelfart	<b>Erfahrungen mit der DVWK-Kartieranleitung zur Erfassung von Stoffaustragsformen aus den Ackerflächen</b>	178
F. Riepert	<b>Organisation und Stand der Normung von Prüfverfahren zur Beurteilung der Bodenqualität (ISO/DIN)</b>	184
Monika Frielinghaus H. Petelkau K. Seidel	<b>Bewertung von Lasteinträgen in Landnutzungssystemen als Problem für die Realisierung ökologischer Bodenfunktionen</b>	192

### **Sanierung schadstoffbelasteter Böden**

B.-D. Traulsen G. Schönhard W. Pestemer	<b>Erfassung, Beurteilung und Sanierung schadstoffbelasteter Böden in Ballungsräumen</b>	193
B. Schönmuth H. Lyr U. Burth	<b>Sanierung TNT-verseuchter Flächen durch Gehölze</b>	199
Claudia Norr H. Lyr	<b>Abbau von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) durch Mykorrhizapilze</b>	202
H.-H. Liste	<b>Bioremediation organischer Xenobiotika in der Rhizosphäre</b>	205

### **Resümee**

U. Henk	<b>Bodenschutzgesetzgebung in Sachsen aus Sicht der Landwirtschaft</b>	213
R. Schultz	<b>Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg</b>	217
F. Klingauf G. Bartels	<b>Zusammenfassung</b>	220
	<b>Summary</b>	222

## Darstellung der allgemeinen Problematik

K. H. Padberg

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Bonn

### Einführungsvortrag

#### **Bodenschutzgesetzgebung aus der Sicht des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten**

Zunächst darf ich Ihnen beste Grüße von Herrn Bundesminister Borchert überbringen. Er wünscht Ihnen anregende Vorträge und weiterführende Ergebnisse.

Als für die agrarische Erzeugung zuständiger Abteilungsleiter im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten begrüße ich es sehr, daß die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft heute und morgen das Pflanzenschutzkolloquium „Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion“ durchführt. Dieses Kolloquium reiht sich in die Kette der Veranstaltungen ein, die die Biologische Bundesanstalt im Rahmen ihrer Kompetenz für den Pflanzenschutz zur Bodennutzung und pflanzlichen Produktion durchführt. Sie ist ein Beleg dafür, daß die Biologische Bundesanstalt ihrem gesetzlichen Auftrag entsprechend, den gesamten Naturhaushalt in ihre Arbeit einbezieht.

#### 1. Einleitung

Der Boden ist Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Eine menschliche Existenz ist ohne die unterschiedlichsten Formen der Bodennutzung nicht denkbar.

In Deutschland bewirtschaften die Landwirte rund 17 Millionen Hektar und damit etwa 50 Prozent der gesamten Fläche. Sie wirken somit wie kein anderer produzierender Bereich der Volkswirtschaft auf die Umwelt ein.

Negative Veränderungen der Umwelt in der zweiten Hälfte der 80iger Jahre, wie etwa die fortschreitende Eutrophierung der Nord- und Ostsee, die Anreicherung von Nitrat im Grundwasser und der Artenrückgang haben in der Öffentlichkeit und in der Wissenschaft zu einer Neubewertung der bis dahin allgemein als positiv beurteilten Rolle der Landwirtschaft geführt.

In der einsetzenden umweltpolitischen Diskussion stand zunächst der Schutz der Medien Wasser und Luft im Vordergrund. Dies ist in der Hauptsache sicherlich damit zu erklären, daß Bodenschäden aufgrund der hohen Pufferwirkung des Umweltmediums Boden oft erst mit hoher zeitlicher Verzögerung sichtbar werden, weshalb entsprechende Probleme naturgemäß erst verhältnismäßig spät in das Blickfeld des öffentlichen Bewußtseins rücken konnten. Überdies ist der Boden immer an Eigentümer gebunden, die an seiner nachhaltigen Nutzbarkeit interessiert sein müssen. Dies bedingt auch, daß sich eine Schädigung des Bodens weitaus weniger gemeinschaftsschädigend auswirkt, als eine Verschmutzung von Luft und Wasser.

Verstärkte Belastungen durch intensive industrielle, kommunale und land- und forstwirtschaftliche Nutzungen erfordern jedoch Strategien, um die natürlichen Ressourcen langfristig zu schützen. Hierbei hat der Gewässerschutz in Deutschland eine lange Tradition und genießt hohes Ansehen. Dies gilt auch für die Techniken und Verfahren der Luftreinhaltung, die auf einem hohen Standard aufbauen.

In der Vergangenheit - bis etwa 1990 - war die Bundesregierung noch der Auffassung gewesen, daß es keiner in sich geschlossenen rechtlichen Regelung bedürfe, um einen dauerhaften Schutz unserer Böden sicherzustellen. So ist in der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung aus dem Jahre 1985 die Schlußfolgerung enthalten, daß es künftig darauf ankommen müsse, die in den bestehenden Umwelt- sowie in den landwirtschaftlichen Fachgesetzen enthaltenen bodenschützerischen Festlegungen zu vertiefen und besser aufeinander abzustimmen. Die folgenden Jahre haben aber gezeigt, daß allein auf diesem Wege kein hinreichender Schutz unserer Böden vor Schadstoffeinträgen, Versiegelung und Erosion sicherzustellen ist. Dies gilt im besonderen Maße auch für die Sanierung bereits eingetretener Bodenschäden und Altlasten.

Heute sind wir mit der Tatsache konfrontiert, daß zwei Bundesländer - nämlich Baden-Württemberg und Sachsen - bereits Landes-Bodenschutzgesetze mit zum Teil einschneidenden Beschränkungen der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Kraft gesetzt und fast alle anderen Bundesländer entsprechende Gesetzesinitiativen angekündigt haben, bzw. derzeit vorbereiten.

Sofern der Bund jetzt nicht die Initiative ergreift und wichtige Gesichtspunkte des Bodenschutzes sowie der Altlastensanierung bundeseinheitlichen Regelungen unterwirft, droht auf diesem Gebiet eine Rechtszersplitterung mit negativen Auswirkungen auch auf die Wettbewerbsbedingungen des Sektors Land- und Forstwirtschaft.

Für Anforderungen an den vorsorgenden Bodenschutz sowie an die Altlastensanierung kursieren bereits heute eine Vielzahl länderspezifischer Listen mit Grenz- bzw. Prüfwerten, die mehr oder weniger vordergründig die jeweiligen landespolitischen Gegebenheiten widerspiegeln. Ein solcher Zustand schafft Rechtsunsicherheit und bedingt Wettbewerbsverzerrungen für die deutsche Wirtschaft. Dies ist auf die Dauer nicht hinnehmbar. Aus diesen Gründen ist es auch für die Land- und Forstwirtschaft von großer Bedeutung, daß schnellstmöglich ein Bundes-Bodenschutzgesetz erlassen wird.

## 2. Bedeutung des Bodens im Naturhaushalt

Dem Boden kommt als Teil des Naturhaushaltes, insbesondere durch seine natürlichen Funktionen eine große ökologische Bedeutung zu. Der Boden ist

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Medium für die Wasser- und Nährstoffkreisläufe,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers.

Der Wert des Bodens als Schutzgut liegt darüber hinaus auch in seinen Nutzungsfunktionen begründet. So ist der Boden

1. Rohstofflagerstätte,
2. Produktionsgrundlage für Nahrungs- und Futtermittel, aber auch für regenerierbare Rohstoffe, womit sein Regenerationspotential für den Naturhaushalt verbunden ist,

3. Fläche für Siedlung und Erholung,
4. Standort für wirtschaftliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung,
5. sowie als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

Das Schutzgut Boden ist nicht vermehrbar. Es verfügt zwar über eine Belastbarkeit, die jedoch relativ eng begrenzt ist. Eingetretene Schäden zeigen sich häufig erst mit großer Zeitverzögerung und sind nicht oder nur mit hohem Aufwand reparabel.

Um so größer sind die Gefahren, die sich aus einer mittel- und langfristigen Anreicherung umweltgefährdender Stoffe im Boden ergeben.

Wird die Belastbarkeit des Bodens überschritten, so kann dies letztendlich zu schädlichen Veränderungen des Grundwassers führen und über den Pfad der Nahrungskette negative Auswirkungen auf Nahrungsmittel und somit auf die Gesundheit des Menschen ausüben.

Ausgehend von der ökologischen und ökonomischen Bedeutung des Bodens gilt es u. a.,

- den Boden vor nachteiligen Einwirkungen, z. B. durch die Anreicherung oder Verlagerung umweltgefährdender Stoffe zu schützen und somit Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen,
- bestehende schädliche Bodenveränderungen und Altlasten im Rahmen der Gefahrenabwehr zu beseitigen, so daß nachhaltige Beeinträchtigungen der physikalischen, chemischen und biologischen Beschaffenheit des Bodens sowie dadurch bedingte Störungen seiner natürlichen Funktionen und Nutzungsfunktionen dauerhaft wieder aufgehoben werden.

### 3. Gefährdungen der Böden

Welcher Art sind nun die Gefährdungen, denen der Boden als eine unserer Lebensgrundlagen ausgesetzt ist. Hier sind vorrangig zu nennen:

1. Die radikalste Schädigung des Bodens ist die Überbauung.
2. Von wesentlicher Bedeutung ist auch der Eintrag von Schadstoffen über die Luft. Sei es, daß Schadstoffe von Pflanzen aufgenommen werden oder direkt in den Boden gelangen. Eine erst in den letzten Jahren in seiner Bedeutung erkannte Wirkung ist die Versauerung unserer Waldböden durch den „Sauren Regen“.
3. Eine weitere Form unfreiwilliger Bodenbelastung sind Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalten.
4. Schließlich können Gefährdungen von der intensiven land- und forstwirtschaftlichen Nutzung ausgehen.

Damit kommen wir zur Rolle der Landwirtschaft im Rahmen des Bodenschutzes.

Die Bedeutung der Landwirtschaft im Zusammenhang mit Regelungen zum Bodenschutz ergibt sich allein aus der Tatsache, daß etwa 53 % der Fläche der alten Bundesländer und rund 57 % der Fläche in den neuen Bundesländern landwirtschaftlich genutzt werden. Folgen einer nicht ordnungsgemäßen und nicht umweltverträglichen Landwirtschaft zeigen sich in jüngster Zeit durch Bodenverdichtungen, die Störung natürlicher Bodenstrukturen sowie in Gestalt von Erosionen. Nicht zuletzt ist in diesem Zusammenhang auch die in den zurückliegenden Jahren in einigen Gebieten zu beobachtende Anreicherung der Böden mit bestimmten Schadstoffen zu nennen.



Die Zunahme der Nährstoffgehalte einiger Böden in viehintensiven Gebieten war u. a. auch Anlaß für eine kritische Überprüfung der landwirtschaftlichen Praxis. Hieraus wurden Schlußfolgerungen für die künftige Düngungspraxis gezogen, die ihren Niederschlag in der noch in der Beratung befindlichen Düngeverordnung gefunden haben. Mit dem Inkrafttreten dieser Verordnung werden die Grundsätze einer guten fachlichen Praxis der Düngung nach § 1 a des Düngemittelgesetzes konkretisiert werden.

Eine ernste Schädigung des Bodens und seiner ökologischen Funktionen und eine Gefahr für die Gewässer stellt die Zunahme von Bodenerosionen dar, dies insbesondere in Hanglagen in Verbindung mit dem Anbau von spätdeckenden Kulturen.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen Schädigungen des Bodens durch eine teilweise Ausräumung der Agrarlandschaft sowie durch Meliorierungsmaßnahmen, insbesondere von Moorböden. So wichtig diese Maßnahmen für eine leistungsstarke und wettbewerbsfähige Landbewirtschaftung sind, so gilt es doch künftig, ökologische Aspekte bei derartigen Verfahren stärker zu berücksichtigen als bisher.

Da sich die Art der landwirtschaftlichen Bodennutzung maßgeblich auf die Erhaltung der Bodenfunktionen auswirkt, hat die Bundesregierung bereits in der Beantwortung einer großen Anfrage „Bodenschutz“ vom 7. November 1990 festgestellt, daß Bodenschutzbelange auf der Gesamtheit der Agrarfläche zu berücksichtigen sind.

Der vorliegende Referentenentwurf für ein Bundes-Bodenschutzgesetz regelt deshalb in seinem 4. Teil, daß zur Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen die Landwirtschaft bzw. Landbewirtschaftung standortgerecht und nach guter fachlicher Praxis zu erfolgen hat. Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung sollen lt. Gesetzentwurf abschließend geregelt werden. Deren Durchsetzung soll den für die landwirtschaftliche Beratung zuständigen Länderbehörden übertragen werden. Anforderungen an die Bewirtschaftung, die sich aus dem Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht sowie aus der Klärschlammverordnung ableiten, sind vorrangig zu berücksichtigen.

Einer besonders kritischen Betrachtung unterliegt hier die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Der Sorge um die Belastung der Böden mit Pflanzenschutzmitteln trägt das Pflanzenschutzgesetz vom 15. September 1986 bereits Rechnung, indem die Schutzbedürftigkeit des Bodens ausdrücklich festgeschrieben ist. So heißt es in § 1 des Gesetzes u. a., daß Gefahren abzuwenden sind, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes, insbesondere für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt, entstehen können.

In § 2 des Gesetzes ist der Naturhaushalt definiert als seine Bestandteile Boden, Wasser, Luft, Tier- und Pflanzenarten sowie des Wirkungsgefüges zwischen ihnen. In dieser Definition wird der Boden ausdrücklich genannt.

Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft setzt die sich aus dem Pflanzenschutzgesetz ergebenden Vorgaben zum Schutze des Bodens im Rahmen der Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln um.

So erteilt die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt und dem Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin einem Antragsteller die Zulassung für ein Pflanzenschutzmittel erst dann, wenn wie in § 15 des Pflanzenschutzgesetzes festgelegt, die Prüfung des Pflanzenschutzmittels ergibt, daß

Pflanzenschutzmittel bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung oder als Folge einer solchen Anwendung u. a.

- a) keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf das Grundwasser haben und
- b) keine sonstigen Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt haben, die nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht vertretbar sind.

Unter „sonstigen Auswirkungen“ im Sinne des § 15 Abs. 1 Nr. 3 Buchstabe b Pflanzenschutzgesetz (1986) sind die Auswirkungen, die nicht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind, zu verstehen. So ein Leitsatz des Bundesverwaltungsgerichtes.

Für die Entscheidung, ob die sogenannten Auswirkungen eines Mittels wissenschaftlich „nicht vertretbar“ sind, sind die Wahrscheinlichkeit des Eintritts der Wirkungen, das Gewicht des Nachteils der Wirkungen, die Ersetzbarkeit des Mittels und der Nachteil bei Nichtverwendung des Mittels gegeneinander abzuwägen.

Gleiche Zulassungsvoraussetzungen werden auch künftig im Rahmen der europäischen Harmonisierung gemäß der Umsetzung der Richtlinie des Rates vom 15.07.1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (91/414/EWG) gelten.

Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln fließen aus der Sicht des Bodenschutzes Ergebnisse aus Prüfungen und Untersuchungen über

- den Eintrag,
- das Verhalten und den Verbleib,
- den Abbau, die Umwandlung und den Metabolismus des Mittels ein.

Weiterhin sind Angaben zu gebundenen Rückständen erforderlich.

Zusätzliche Prüfungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens beziehen sich auf die Auswirkungen des Pflanzenschutzmittels auf Bodenmakro- und Bodenmikroorganismen, das Sorptionsverhalten und die Persistenz von Pflanzenschutzmitteln in verschiedenen Bodentypen.

#### 4. Notwendige Regelungen zum Schutz des Bodens

Wie von der Bundesregierung bereits in der Bodenschutzkonzeption dargelegt, wirkt die Landwirtschaft großflächig auf den Naturhaushalt ein. Effektiver Bodenschutz hängt deshalb auch wesentlich vom Verhalten der Landwirte und der Gärtner ab.

Andererseits sind Land- und Forstwirtschaft aber auch die Hauptbetroffenen der hauptsächlich von Industrie und Verkehr verursachten diffusen Umweltbelastungen. Es ist daher von außerordentlicher Bedeutung, daß Land- und Forstwirten für wirtschaftliche Nachteile im Zusammenhang mit fremdverursachten Bodenschäden ein angemessener Ausgleich gewährt wird, sofern die jeweils ausgeübte Bodennutzung durch behördliche Anordnungen auf der Grundlage des künftigen Bundes-Bodenschutzgesetzes eingeschränkt wird. Diesem Hauptanliegen trägt die auf Drängen des BML nunmehr in den Gesetzentwurf (§ 14 Abs. 2) aufgenommene Ausgleichsregelung in befriedigender Weise Rechnung.

Eigene Beiträge der Land- und Forstwirtschaft zum Bodenschutz müssen darauf gerichtet sein, die Wechselwirkungen zwischen den Bodenfunktionen in Agrar- und Forstökosystemen und anderen Ökosystemen soweit zu beachten, daß die Stabilität des Naturhaushaltes nicht gefährdet wird. Stoffliche Einflüsse auf Böden und Veränderungen der Bodenstruktur müssen auf einen ökologisch vertretbaren Umfang begrenzt werden.

Deshalb hat die landwirtschaftliche Bodennutzung nach § 22 des Entwurfs für ein Bundes-Bodenschutzgesetz standortgemäß und nach guter fachlicher Praxis zu erfolgen, so daß soweit wie möglich Bodenabträge, Bodenverdichtungen und eine Verminderung des Humusgehaltes vermieden und die biologische Aktivität des Bodens sowie eine günstige Bodenstruktur erhalten oder gefördert werden.

Infolge der späten Profilierung einer spezifischen, dem Schutz des Bodens dienenden Politik gab es bislang lediglich Rechtsvorschriften, die den Bodenschutz nur partiell zum Inhalt hatten. So z. B. das Abfallbeseitigungsgesetz, das Flurbereinigungsgesetz, das Baugesetz, das Bundesimmissionsschutzgesetz, das Wasserhaushaltsgesetz, das Chemikaliengesetz, das Düngemittelgesetz und das Pflanzenschutzgesetz.

Ein künftiges Bodenschutzrecht sollte aufgrund der Funktionen, der Nutzung und Gefährdung des Bodens vorsorgeorientiert sein und damit dem langfristigen Schutz des Bodens dienen.

Deshalb ist dafür Sorge zu tragen, daß ein spezielles Bodenschutzrecht verschiedene Ziele ausreichend gewährleistet:

1. Sicherung des Bodens als Produktionsstandort für die Land- und Forstwirtschaft.
2. Sicherung der Nahrungs-, Futtermittel- und Rohstoffherzeugung.
3. Langfristige Erhaltung der ökologischen Funktionen im Naturhaushalt sowie die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.
4. Sicherung der ökologischen Anforderungen bezüglich des Wasserhaushaltes und der Wasserversorgung.
5. Erhaltung der Filter- und Pufferfähigkeit des Bodens.
6. Vermeidung von Belastungen der Bodenstruktur durch Bodenverdichtungen und Bodenabtrag durch Erosion.

Aus Sicht der Landwirtschaft ist weiterhin dafür Sorge zu tragen, daß

1. ein zusätzlicher Landschaftsverbrauch durch unbedachte Inanspruchnahme natürlicher oder naturnah genutzter Flächen für Siedlung, Industrie und Verkehr vermieden wird;
2. Flächennutzung und Raumordnung auch ökologische Belange berücksichtigen;
3. Belastungen des Bodens durch den Eintrag von Schwermetallen und anderen schwer abbaubaren Stoffen verhindert werden.

Die Land- und Forstwirtschaft ist aufgerufen, Strategien in der pflanzlichen Produktion weiterzuentwickeln und in die Praxis einzuführen, die den Anforderungen eines modernen Bodenschutzes gerecht werden. Das heutige Pflanzenschutzkolloquium ist sicherlich ein wichtiger Beitrag auf diesem Weg und geeignet, neue Ansätze aufzuzeigen.

G. Bachmann

Umweltbundesamt (UBA), Berlin

**Bodenschutzgesetzgebung aus der Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit (BMU)**

Manuskript liegt nicht vor

K. Schinkel

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

### **Berücksichtigung des Bodenschutzes bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln unter gesetzlichen Bedingungen**

Im Pflanzenschutzgesetz wird der Boden als Bestandteil des Naturhaushalts genannt, auf den keine nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis unvermeidbaren Auswirkungen durch Pflanzenschutzmittel (PSM) geduldet werden dürfen.

Bei der Anwendung von PSM sind - mit Ausnahme von Vorratsschutzmitteln - mehr oder weniger hohe Belastungen des Bodens unvermeidbar. Diese Kontaminationen sind, sofern sie länger andauern, unerwünscht. Die Biologische Bundesanstalt prüft daher im Rahmen des Zulassungsverfahrens auch das Verhalten der Wirkstoffe im Boden und hat für diese Prüfung eine Richtlinie und Bewertungskriterien festgelegt.

Unter dem Begriff "Verhalten im Boden" werden folgende Vorgänge zusammengefaßt:

1. Die Abbaugeschwindigkeit, die z.B. durch den sogenannten DT-50- und den DT-90-Wert zum Ausdruck gebracht wird, d.h. die Zeit, die für den 50 %igen bzw. 90 %igen Abbau benötigt wird.
2. Die Umwandlung und der Metabolismus, d.h. die Feststellung, welche Abbauprodukte nach Art und Menge gebildet werden, in welchem Umfang eine Totalmineralisierung zu Kohlendioxid erfolgt und wieviel gebundene Rückstände entstehen.
3. Verlagerung des Wirkstoffs und seiner Metaboliten in den Untergrund, was möglicherweise zu einer Gefährdung des Grundwassers führen kann.

Unter dem Aspekt des Bodenschutzes sind insbesondere das Abbauverhalten der PSM einschließlich ihrer Metabolisierung, d.h. die unter den Punkten 1. und 2. Genannten Vorgänge von Bedeutung. Eine gute Abbaubarkeit und Metabolisierung tragen zur Entlastung des Bodens bei und fördern damit den Bodenschutz.

Die unter Punkt 3. Genannte Verlagerung in den Untergrund könnte, sofern sie ausgeprägt ist, zu einer Entlastung des Oberbodens führen. Dies ist aber nicht nur unerwünscht, sondern gemäß § 15 Pflanzenschutzgesetz wegen der damit verbundenen Gefährdung des Grundwassers unvermeidbar. Der Schutz des Grundwassers hat absoluten Vorrang. Auch die Verflüchtigung eines Wirkstoffs von der Bodenoberfläche - ein Vorgang, der im Zulassungsverfahren gleichfalls geprüft wird - könnte zu einer Entlastung des Bodens beitragen. Eine hohe Verflüchtigungsrate hat aber eine weitreichende Verfrachtung des Wirkstoffs über die Atmosphäre zur Folge und ist daher gleichfalls unerwünscht. Die beiden letztgenannten Vorgänge müssen daher für den Bodenschutz außer Betracht bleiben.

Der notwendige Untersuchungsaufwand nach der genannten Richtlinie orientiert sich an der Abbaubarkeit des jeweiligen Pflanzenschutzmittelwirkstoffs. Bei Wirkstoffen mit größerer Persistenz ist der Informationsbedarf und damit auch der Untersuchungsaufwand größer, als bei solchen mit geringerer Beständigkeit. Daher ist die Richtlinie nach einem Stufenplan aufgebaut. In Laborversuchen sind zunächst die DT-50- und DT-90-Werte mit vier verschiedenen Böden zu ermitteln. Wird bei diesen Untersuchungen ein DT-90-Wert von > 100 Tagen festgestellt, sind zusätzlich vier Freilandversuche durchzuführen.

Einer der vier Laborabbauversuche dient im übrigen gleichzeitig der Feststellung der Metabolisierung einschließlich Mineralisierung, Verflüchtigung und Bildung gebundener Rückstände.

Wesentlich für die Beurteilung der Wirkstoffe ist natürlich die Bewertung der auf diese Weise erzielten Versuchsergebnisse (Abbildung 1 und 2).

Wenn die Freilandversuche zum Abbauverhalten ergeben, daß vor der nächsten Anwendungsperiode (Vegetationsperiode) noch mit Rückständen des Wirkstoffs und/oder seiner Metaboliten im Boden von über 10 % gerechnet werden kann, wird dieser Wirkstoff als möglicherweise akkumulierend und damit kritisch angesehen. Diese Definition einer hohen Persistenz beruht zugegebenermaßen auf einer Konvention, hat sich aber - auch international - allgemein durchgesetzt. Solche Wirkstoffe können vom Standpunkt des Verbleibs im Boden nur dann akzeptiert werden, wenn geringe Aufwandmengen vorgesehen sind.

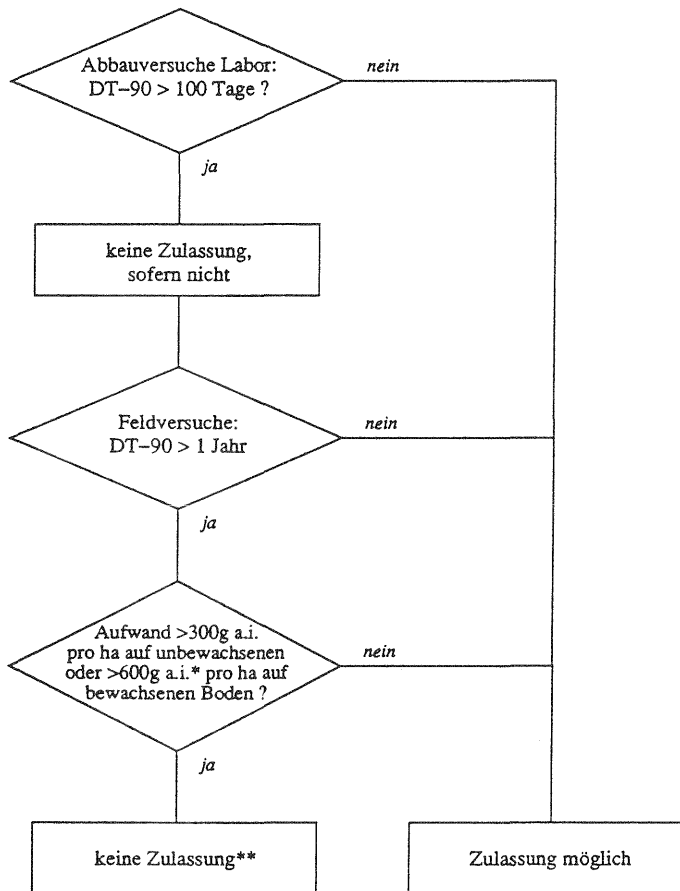
So sollten bei der Anwendung auf den unbewachsenen Boden nicht mehr als 300 g Aktivsubstanz pro Hektar und Jahr ausgebracht werden.

Diese Aufwandmenge beruht auf einer Berechnung, die sich an der üblichen Leistungsfähigkeit der Rückstandsanalytik orientiert. Bei Anwendung auf bewachsenen Boden können 600 g pro Hektar und Jahr toleriert werden, weil durchschnittlich ca. 50 % des Wirkstoffs auf den Pflanzen verbleiben. Bei höheren Aufwandmengen ist die Zulassung derartiger Mittel unter Umständen in Frage gestellt, obwohl die hohe Persistenz eines Wirkstoffs im Boden für sich allein gesehen noch kein cut-off Kriterium im Zulassungsverfahren darstellt.

Ähnlich wie die ausgeprägte Persistenz wird auch die Bildung gebundener Rückstände im Boden kritisch bewertet. Wirkstoffe, die bei der Metabolismusuntersuchung im Boden mehr als 70 % in 100 Tagen bilden, können zu einer „versteckten“ Akkumulation führen.

Wenn derzeit auch kein akutes Gefährdungspotential durch diese Rückstände zu erkennen ist, ist eine restriktive Haltung bei der Zulassung solcher Mittel, die derart zur Bildung gebundener Rückstände neigende Wirkstoffe enthalten, aus Vorsorgegründen geboten, weil im Falle einer wie auch immer gearteten Gefährdung kaum Sanierungsmöglichkeiten bestehen.

Sofern Wirkstoffe mit hoher Persistenz oder ausgeprägter Neigung zur Bildung gebundener Rückstände festgestellt werden, muß die letztliche Entscheidung über eine mögliche Zulassungsvergung einer Einzelfalldiskussion im Sinne einer Nutzen/Risiko-Abwägung unter Beachtung folgender Fragen vorbehalten bleiben:



\* a.i.= Wirkstoff; im Fall von Mehrfachanwendungen innerhalb einer Vegetationsperiode ist der Gesamtaufwand zu berücksichtigen

\*\* sofern nicht eine Nutzen/Risiko-Abwägung vertretbare Ergebnisse zu folgenden Fragen zeigt: Anreicherung im Boden? Rückstände in oder phytotoxische Schäden an Folgekulturen? Auswirkungen auf Bodenfauna/-mikroflora? Hohe Wahrscheinlichkeit solcher Auswirkungen? Fehlende Regelungsmechanismen, diese Auswirkungen auszugleichen? Nur geringe Nachteile bei Nichtanwendung? Andere Mittel für den gleichen Zweck verfügbar?

Abb. 1: Entscheidungsschema zum Verbleib im Boden, Abbau

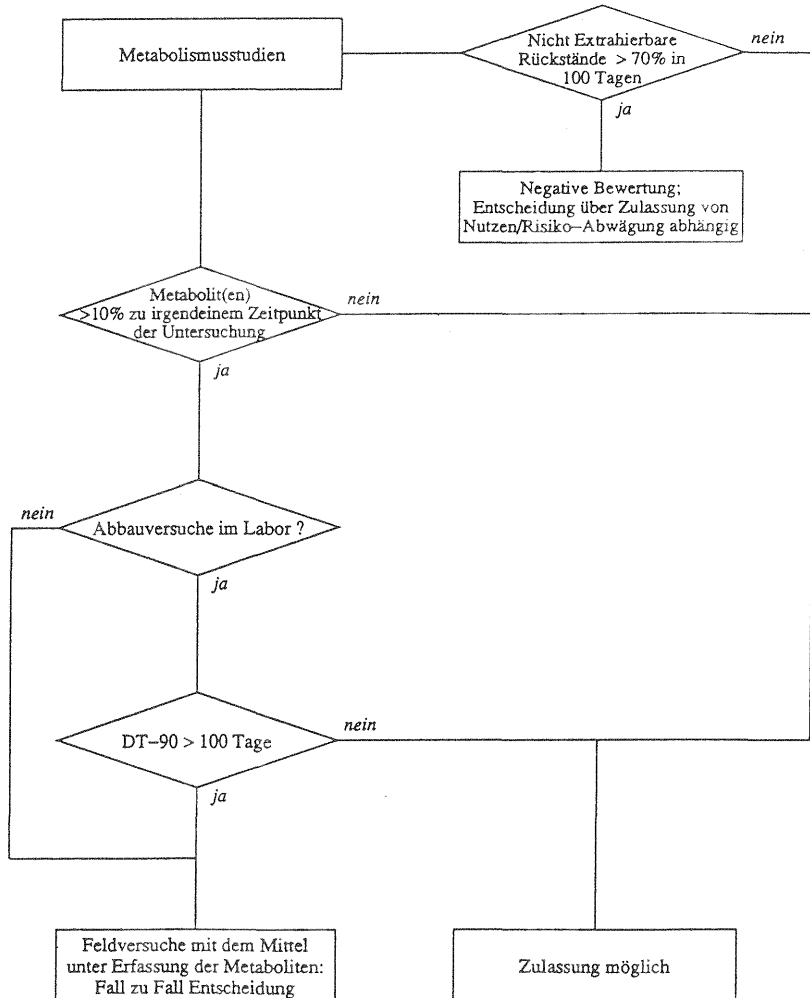


Abb. 2: Entscheidungsschema zum Verbleib im Boden, Metabolismus



Sind durch die Rückstände im Boden Auswirkungen, die nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis nicht vertretbar sind, nicht mit einer Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auszuschließen? Es kann sich hier z.B. um folgende Auswirkungen handeln:

- Die Gefahr der Anreicherung im Boden. Aus Vorsorgegründen muß der Antragsteller diesem Problem z.B. in einem mehrjährigen Nachzulassungsmonitoring nachgehen, auch wenn keine der nachstehend genannten Auswirkungen feststellbar sind. In speziellen Fällen befassen sich auch zwei BBA-Institute in Kleinmachnow mit diesen Fragen.
  - Die Rückstandsbelastung in nachgebauten Kulturen. Zur Klärung dieser Frage sind Versuche nach einer entsprechenden BBA-Richtlinie durchzuführen.
  - Phytotoxische Schäden an nachgebauten Kulturen. Eine BBA-Richtlinie zur Durchführung diesbezüglicher Versuche ist in Vorbereitung.
  - Nachhaltige Schäden an Bodenfauna, z.B. Regenwürmern und Bodenmikroflora.
  - Schädliche Auswirkungen auf das Grundwasser.
- Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit des Eintritts solcher Auswirkungen?
  - Gibt es Regelungsmechanismen, um nicht vertretbare Auswirkungen auszugleichen?
  - Wie schwer wiegen die Nachteile, die sich aus einer Nachanwendung des jeweiligen Mittels ergeben?
  - Gibt es andere Mittel oder Methoden, die die Anwendung des jeweiligen Mittels entbehrlich machen?

Dieser Abwägungsmodus wird durch ein höchstinstanzliches Gerichtsurteil, das sogenannte „Paraquat Urteil“ des Bundesverwaltungsgerichts in Berlin, gestützt.

Eine solche Abschätzung kann zur Folge haben, daß zwar nicht die Zulassung insgesamt verweigert wird, jedoch Restriktionen vorgesehen werden müssen, um Belastungen der Böden, die unvertretbare Auswirkungen nach sich ziehen könnten, auf ein vertretbares Maß zu minimieren. Es kann sich hierbei sowohl um die Beschränkung auf nur wenige Anwendungsgebiete oder auch den Ausschluß bestimmter Anwendungsgebiete, z.B. Dauerkulturen handeln. Es kann auch vorgesehen werden, daß eine Anwendung auf der gleichen Fläche nur nach mehrjähriger Zwischenzeit wiederholt werden darf.

Dieses Verfahren der Nutzen/Risiko-Abwägung läßt sich sehr gut am Beispiel des Wirkstoffs Paraquat verdeutlichen.

Paraquat zeichnet sich bezüglich seines Verhaltens im Boden durch zwei besondere Eigenschaften aus:

- es wird im Boden außerordentlich schnell, sehr fest und irreversibel gebunden und zwar erfolgt die Bindung durch Einlagerung der Moleküle in die innerkristallinen Zwischenschichten der Tonminerale. Durch diese Bindung wird der Wirkstoff der Einwirkung von Mikroorganismen entzogen, und das bedingt
- die außerordentlich hohe Persistenz des Wirkstoffs. Der DT-50-Wert läßt sich aufgrund von Untersuchungen nur abschätzen und liegt bei mehreren Jahren.

Wegen dieser ausgeprägten Persistenz und der Befürchtung, durch jahrelang wiederholte Anwendungen könne die Bindungskapazität der Böden eines Tages erschöpft und daher mit phytotoxischen Schäden an Kulturpflanzen zu rechnen sein, hat die BBA 1983/84 eine erneute Zulassung zunächst verweigert. Diese Entscheidung zog den Widerspruch des Antragstellers nach sich. Er konnte belegen, daß die gebundenen Rückstände

- keine Auswirkungen auf Bodenmikroflora und -fauna haben,
- keine phytotoxischen Schäden und keine Rückstände in nachgebauten Kulturen auftreten,
- auch nach mehrjährig wiederholter Anwendung keine Anreicherung im Boden erkennbar war,
- keine Gefährdung des Grundwassers zu erwarten ist und
- das Mittel für bestimmte Anwendungsgebiete nicht ersetzbar ist.

Nach mehrjährigem Streit, der bis vor das Bundesverwaltungsgericht ging, wurde schließlich folgender Kompromiß gefunden:

Es erfolgte eine erneute Zulassung, wobei nur noch folgende Anwendungsgebiete vorgesehen wurden:

1. Gegen Unkräuter und Deckfrüchte im Zuckerrüben- und Maisanbau; Anwendung auf derselben Fläche nur jedes vierte Jahre und nur auf erosionsgefährdeten Standorten.
2. Gegen Unkräuter in Baumschulsaatbeeten; Anwendung auf derselben Fläche nur jedes vierte Jahr.
3. Gegen Unkräuter im Weinbau; Anwendung nur im Pflanzjahr und bis zum dritten Standjahr und nur in Steillagen.

Durch diese Anwendungseinschränkungen wird eine Anreicherung von Paraquat im Boden mit hinreichender Sicherheit vermieden.

Würde die Persistenz im Boden allein als sogenanntes cut-off Kriterium herangezogen werden, könnten eine ganze Reihe von PSM nicht mehr angewendet werden. So würden Fungizidbehandlungen im Getreidebau derzeit kaum noch möglich sein, weil eine Vielzahl der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Fungizide - und zwar überwiegend jene aus der Gruppe der Azole - als sehr persistent einzustufen sind. Sie werden allerdings nur in geringen Aufwandmengen in stehende Kulturen bzw. geschlossene Bestände appliziert. Negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt sind bisher für diese Substanzklasse nicht bekannt geworden.

In der Öffentlichkeit wird immer wieder gefordert, daß persistente oder zur Bildung gebundener Rückstände neigende PSM aus Vorsorgegründen nicht zugelassen werden dürften bzw. verboten werden müßten. Die Erfüllung dieser vom Standpunkt des Laien vielleicht verständlichen Forderung ist jedoch auf der Grundlage des Pflanzenschutzgesetzes nicht möglich, vom Standpunkt des landwirtschaftlichen Praktikers sicherlich nicht erwünscht und unter Berücksichtigung der dargelegten Nutzen/Risiko-Abwägungen auch nicht erforderlich.

C. Sommer

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

## **Bedeutung des Bodenschutzes für die Sicherung der Nahrungsmittelerzeugung - ein Konzept für bodenschonendes Befahren im Ackerbau**

### **1 Einleitung**

Nachdem in der Diskussion zum Umweltschutz zunächst Luftreinhaltung und Lärmbekämpfung im Mittelpunkt standen, rückte der Schutz natürlicher Ressourcen in das Bewußtsein der Öffentlichkeit. Warnzeichen wie großflächige Schäden der Wälder oder regionale Belastung des Trinkwassers gaben Anlaß zu der Sorge, es seien bisher nicht ausreichende Vorkehrungen getroffen worden, um mittel- bis langfristig schwerwiegende oder gar irreparable Schädigungen des Bodens auszuschließen. Deshalb war die Grundidee der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (Bundesministerium des Innern, 1985) der umfassende Bodenschutz, wobei die Landbewirtschaftung einzubeziehen ist.

Tatsächlich hat die Anpassung der Landwirtschaft an wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu - auch bodenschutzrelevanten - Entwicklungen geführt, die durch enge Fruchtfolgen, verstärkte Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen, durch die Bewirtschaftung großer Feldschläge insbesondere in den Neuen Bundesländern sowie durch den Einsatz schwerer Geräte und Transportfahrzeuge gekennzeichnet sind. Dabei ist nicht zu übersehen, daß Stoffeintrag und Stoffaustrag, Bodenerosionen und Bodenverdichtungen Problembereiche sind bzw. dazu führen können. Es gilt deshalb, solchen und anderen Gefahren dort vorzubeugen, wo sie sich heute abzeichnen oder wo ihnen nach neuestem Kenntnisstand im Sinne der Vorsorge entgegengewirkt werden kann.

### **2 Problemstellung**

Solche Gefahren auszuschließen setzt zunächst für die Landbewirtschaftung voraus, den Boden als Bestandteil des Naturhaushaltes und somit in seinen Funktionen umfassend zu sehen: neben der Produktionsfunktion (Ertrag, Qualität u. a.) sind es die Regelungsfunktion (Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt, Filterung, Pufferung u. a.) und die Lebensraumfunktion (im Sinne niederer und höherer Organismen). So ist es Zweck des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG), "die Funktionen des Bodens nachhaltig in ihrer Leistungsfähigkeit zu erhalten oder wiederherzustellen". Zu diesen Funktionen zählt auch der "Standort für die landwirtschaftliche ... Nutzung" (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1996).

Ziel heutiger Produktionsverfahren der pflanzlichen Produktion ist, mit möglichst geringem Energie- und Kostenaufwand einen möglichst hohen Ertrag bei guter Produktqualität zu erzeugen, ohne die Stabilität des betroffenen und/oder benachbarter Ökosysteme (etwa der Boden) nachhaltig zu beeinträchtigen. Landwirtschaftliche Bodennutzung "nach guter fachlicher Praxis" (§22 BBodSchG) hat die Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen im Sinn, wozu u. a. folgende Problembereiche gehören: Bodenbearbeitung standortangepaßt (1), Bodenstruktur erhalten (2), Bodenverdichtungen vermeiden (3), Bodenabtrag vermeiden (4), biologische Aktivität fördern (5), standorttypische Humusgehalte erhalten (6).

Zur Lösung solcher und weiterer Problembereiche mittels des Einsatzes von Technik entwickelt betriebstechnische Forschung Konzepte und Entscheidungshilfen. So kann mit dem im folgenden vorgestellten Konzept für bodenschonendes Befahren ein wesentlicher Beitrag geleistet werden.

Die Zunahme der Bodendichte bzw. die Abnahme des Porenvolumens ist beim Befahren von Ackerflächen die Folge des über das Fahrwerk (Reifen, Raupe) in den Boden eingeleiteten Bodendrucks, wenn dieser den mobilisierbaren Widerstand des Bodengefüges übersteigt (Horn, 1986). Sind Tankwagen (Gülleausbringung), Transportfahrzeuge (Ernte) und selbstfahrende Erntemaschinen wegen ihrer zunehmenden Gesamtmassen kritisch zu analysieren, so haben auch Traktoren mit ihren Furchenrädern beim Pflügen infolge Kontaktflächendruck und Schlupf im Laufe der Jahrzehnte Krumbasisverdichtungen (Schlepperradsohlen) hervorgerufen (Sommer, 1985; Petelkau, 1986), welche die für das Pflanzenwachstum notwendige physikalische Verzahnung zwischen Ackerkrume und Unterboden unterbrechen können und sich der üblichen Bearbeitung entziehen. Von weiter zunehmenden Radlasten geht die Gefahr aus, daß sich diese Unterbodenverdichtungen stärker in die Tiefe des Bodenprofils ausbreiten können.

Die damit entstehenden Kosten (Wiederauflockerung, Ertragssicherheit) sowie die Vorsorge hinsichtlich möglicher schädlicher Bodenveränderungen - mit Blick auf die Problembereiche (1) bis (6) - verlangen keine Reparaturmaßnahmen, sondern ein vorbeugendes Konzept für bodenschonendes Befahren, für das zunächst die Lösungsansätze erläutert werden.

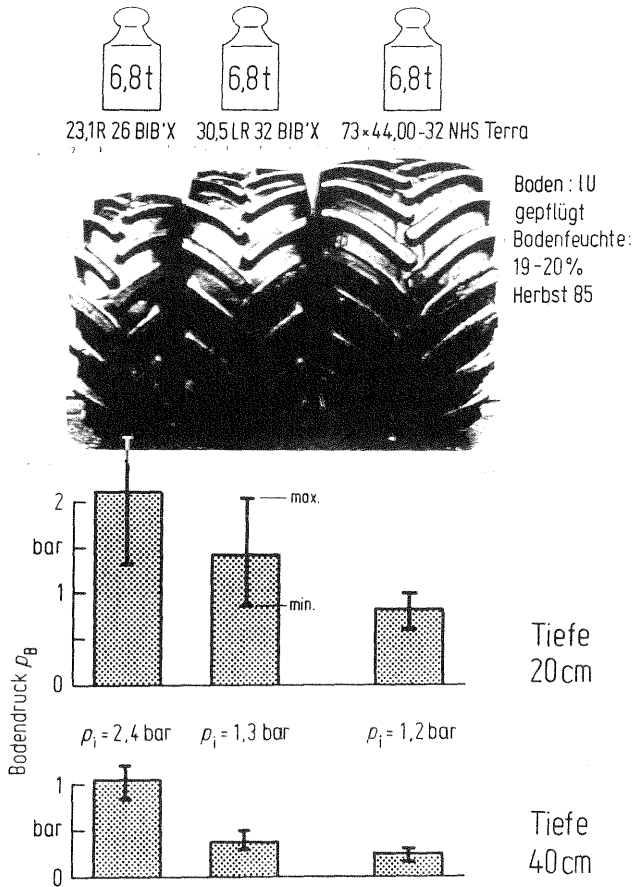
### 3 Lösungsansätze

Diese Konzept bezieht drei landtechnische Ansätze (hier: Einsatz von Technik im Ackerbau) für bodenschonendes Befahren ein:

- Nutzung **technischer Möglichkeiten** und Weiterentwicklungen
- Anpassung/**Fortentwicklung von Arbeitsverfahren**
- **Verbesserung der Befahrbarkeit** des Bodens.

#### 3.1 Nutzung technischer Möglichkeiten und Weiterentwicklungen

In jüngster Zeit wurde der Verringerung des Kontaktflächendrucks (in der Berührungsfläche Fahrwerk/Boden) große Aufmerksamkeit geschenkt. Zu den schon lange bekannten Gitter- und Zwillingsrädern kamen Breit- und Terrareifen hinzu. Die Vergrößerung deren Aufstandsflächen hat bei gleicher Radlast die Verringerung des Kontaktflächendrucks zur Folge. Dies führt zu geringerem Bodendruck in der Ackerkrume und ggf. darüber hinaus (Abb. 1).



**Abb. 1:** Bodendruck unter drei verschiedenen Reifen bei gleicher Radlast (Steinkampf und Sommer, 1988).

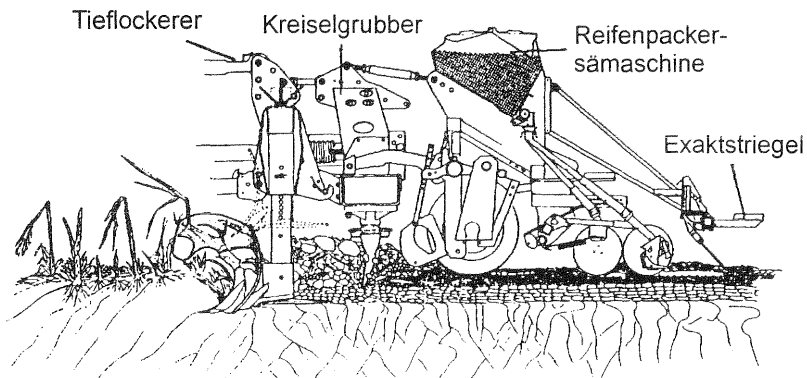
Die jüngste Entwicklung sind Dreispurfahrzeuge, die die Gesamtlast auf drei oder fünf Terrareifen über die ganze Fahrzeugbreite verteilen. Weitere technische Möglichkeiten können helfen, das Problem zu mindern. Dazu gehören die Anpassung des Reifeninnendruckes an den Zustand der Fahrbahn (Boden, Straße), der Einsatz von Aufsattel- statt Anbaugeräten zur Reduzierung der Hinterachslast des Traktors sowie der Allradantrieb.

Gummibandlaufwerke, welche die Vorteile der bekannten Gleiskette nutzen und einige deren Nachteile vermeiden, sind kostengünstig weiterzuentwickeln. Für das Pflügen wäre nicht der bislang eingeschlagene Weg - mehr Pflugkörper für größer werdende Arbeitsbreiten und notwendigerweise höhere erforderliche Schlepperleistung - fortzusetzen, sondern Pflugroboter mit weniger Pflugkörpern zu entwickeln, die ohne Traktorfahrer rund um die Uhr einzusetzen wären (Steinkampf, 1994).

### 3.2 Fortentwicklung von Arbeitsverfahren

Die bekannten und weiterzuentwickelnden Möglichkeiten sind zusammengefaßt:

- Zusammenlegen von Arbeitsgängen (bis hin zur Bestellung der Zwischenfrucht mit dem Mähdeschereinsatz oder Bestellung des Winterweizens mit dem Rübenroder)
- Fahren außerhalb der Furche beim Pflügen
- "spurfreie" Arbeitsgänge (Grundbodenbearbeitung und Bestellung in einem Arbeitsgang, Abb. 2)
- Schlagkraft vorhalten (damit das Befahren des Ackerbodens bei trockenem Bodenzustand erfolgt)
- Einsatz zapfwellengetriebener statt gezogener Geräte (zur Herabsetzung erforderlicher Zugkräfte)
- Sommer- statt Winterfurche (wegen der in der Regel trockeneren Bodenbedingungen).



**Abb. 2:** Kombination aus Lockerungsschare, Kreiselgrubber, Reifenpacker-sämaschine (Fa. Amazone)

Neue Ansätze sind etwa:

- Beetkonzepte (controlled traffic, Taylor, 1986)
- Fahrgassensysteme nicht nur im Getreidebau
- Schachtpflügen (Unger et al., 1989)
- Mechanisierungsalternativen (Pflugroboter u. a.).

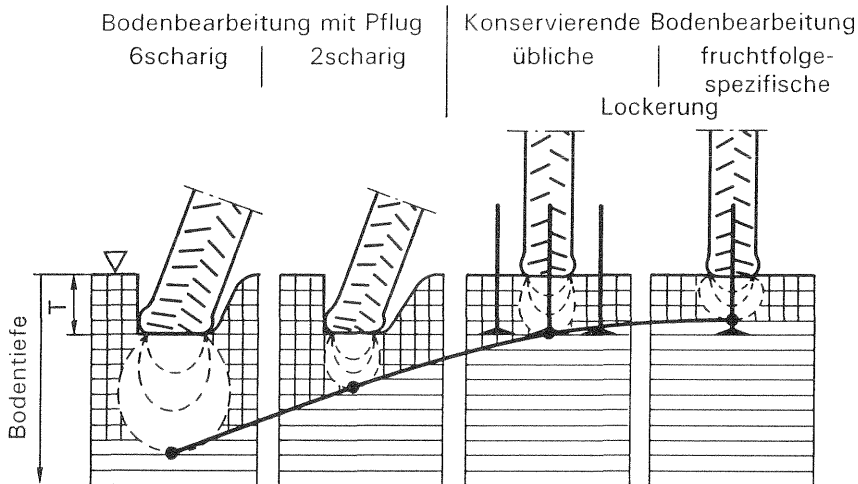
### 3.3 Verbesserung der Befahrbarkeit des Bodens

Die Ergebnisse von Feldversuchen (Sommer und Zach, 1993) zeigen, daß krumentiefe Bodenlockerung im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren ohne Ertragseinbußen beträchtlich reduziert werden kann, wenn bodenschonend gelockert wird. Das Bodengefüge nicht so zu stören und weniger zu überlockern (würde "Rückverfestigung" entbehrlich machen), gelingt mit nichtwendender, fruchtfolgespezifischer Bodenlockerung (erster Baustein Konservierender Bodenbearbeitung, Sommer, 1997).

Der Zeitpunkt für diese Maßnahme ist in der Fruchtfolge sorgfältig abzuwägen. Steht etwa zwischen zwei Hauptfrüchten eine Zwischenfrucht, so ist vor deren Bestellung unter trockenen Bedingungen

(im Bereich der gesamten Lockerungstiefe!) der Termin am günstigsten. Gelingt damit nämlich die biologische Stabilisierung des mechanisch geschaffenen Bodengefüges, so bestehen nachfolgend günstige Voraussetzungen sogar für die Direktsaat (also die Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung). In jedem Fall ist nichtüberlockertes Bodengefüge besser befahrbar und hilft, Schadverdichtungen vorzubeugen.

Am Beispiel einer beliebigen Druckzwiebel (Abb. 3) kann der Vorteil konservierender Bodenbearbeitung veranschaulicht werden. Am tiefsten reicht sie beim Pflügen mit hoher Radlast und wesentlich weniger tief, wenn das Traktorrad auf der Bodenoberfläche bleibt und der Boden infolge nichtwendender, fruchtfolgespezifischer (etwa nur einmal in drei Jahren) Lockerung tragfähiger ist. Dies hilft zudem maßgeblich, Kosten für aufwendige Grundbodenbearbeitung und Investitionen (überbetriebliche Nutzung des leistungsfähigen und teuren Ackerschleppers) zu sparen.



**Abb. 3:** Zur Tiefenwirkung einer betrachteten Druckzwiebel während der Durchführung unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung (Sommer und Zach, 1993)

#### 4 Ableitung des Konzeptes für bodenschonendes Befahren

- Zur Vorbeugung von Schadverdichtungen (umweltverträgliche Landwirtschaft)
- und**
- zur Reduzierung von Kosten (wettbewerbsfähige Landwirtschaft)

sind die drei genannten Lösungsansätze zu einem Gesamtkonzept praxisrelevant zusammenzuführen (Abb. 4).

Technische Entwicklungen (Breitreifen u. a.) gingen allerdings bisher mit der Tendenz zunehmender Radlasten (in speziellen Fällen auch großer Schlaglängen) einher. Im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes ist dies kritisch zu analysieren. Ein (rein technisches) Problem liegt heute tatsächlich darin, daß es an Möglichkeiten fehlt, dem Landwirt während des Befahrens seines Ackers

anzuzeigen, ob die kritische Beanspruchung des Bodens (insbesondere im Unterboden) überschritten wird.

<p><b>Nutzung technischer Möglichkeiten</b></p> <p><u>plus</u></p> <p><b>Anpassung der Arbeitsverfahren</b></p> <p><u>plus</u></p> <p><b>Verbesserung der Befahrbarkeit des Bodens</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortentwicklung bodenschonender Fahrwerke</li> <li>• Begrenzung der Belastung/Beanspruchung:             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Radlast (Schlaglänge!) begrenzen?</li> <li>* Kontaktflächendruck über Breitreifen mindern</li> <li>* Entwicklung einer innovativen Meßtechnik zur Kontrolle des Bodendrucks durch den Landwirt</li> </ul> </li> <li>• Abstimmung von Behältervolumina und Schlaglänge</li> <li>• Anlegen von Fahrgassen nicht nur im Getreideanbau</li> <li>• Konservierende Bodenbearbeitung</li> <li>• Beetkonzepte und Direktsaat</li> </ul>
--	--

**Abb. 4:** Die Bausteine des Konzeptes für bodenschonendes Befahren im Ackerbau

## 5 Schlußanmerkung

Dringend erforderliche Kosteneinsparungen sowie Forderungen des Bodenschutzes sind mit dem vorgestellten betriebstechnischen Konzept für bodenschonendes Befahren zu realisieren. Dieses besteht aus drei Bausteinen, deren standort-, fruchtfolge- und betriebsspezifische Gewichtung zur Sicherung der Nahrungsmittelerzeugung bei gleichzeitiger Vermeidung schädlicher Nebenwirkungen landwirtschaftlicher Produktionsverfahren einen wesentlichen Beitrag liefern kann.

## 6 Literaturhinweise

- Bundesministerium des Innern (1985): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Kohlhammer-Verlag.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1996): Referentenentwurf „Gesetz zum Schutz des Bodens“.
- Bolling, I. und W. Söhne (1982): Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37 (2), 54-57.
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft. Kohlhammer-Verlag, Stuttgart.
- Horn, R. (1986): Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die mechanische Belastbarkeit von Ackerböden. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 149, 9-18.



- Petelkau, H. (1986): Grenzparameter für die Bodenbelastung beim Einsatz von Traktoren und Landmaschinen aus der Sicht der Bodenfruchtbarkeit. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR, 25-36.
- Sommer, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. Landtechnik 9, 378-384.
- Sommer, C. (1997): Konservierende Bodenbearbeitung - ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. (In Vorbereitung zum Druck.)
- Sommer, C. und M. Zach (1993): Grundbodenbearbeitung mit nichtwendender Lockerung. KTBL-Arbeitspapier 190, 35-42.
- Steinkampf, H. und C. Sommer (1988): Zugkraftübertragung und Bodenverdichtung durch Reifen. DLG-Arbeitsunterlage.
- Steinkampf, H. (1994): Mündliche Mitteilung.
- Taylor, J. H. (1986): Controlled traffic - a soil management concept. SAE Technical Paper Series 860731, 1-9.
- Unger, H., U. Pittelkow, D. Werner und J. Reich (1989): Schachtpflügen, ein Verfahren für die Beseitigung von Schadverdichtungen in der Krumenbasis bindiger Böden. Feldwirtschaft, Berlin, 223-224.

G. Meinert

Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart

## **Pflanzenschutz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes**

Der Landwirt verfolgt vor allem 3 Ziele:

- Lebensunterhalt der Familie sicherstellen
- Gewinne erwirtschaften für Investitionen und
- Hof in guter Verfassung den Kindern übergeben.

Er muß also kurz- und langfristig ökonomisch denken. Die schnelle Mark kann für den landwirtschaftlichen Betrieb tödlich sein, wenn dadurch die Grundlagen des Hofes gefährdet oder gar zerstört werden. Eine sehr wichtige Grundlage ist der Boden. Er ist nach wie vor das größte Kapital eines landwirtschaftlichen Betriebes. Die Bodenabhängigkeit der Landwirte zeigt die fortdauernde Entwicklung zu Betrieben mit stets größer werdenden landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Der Landwirt unternimmt alles, um durch die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen, optimale Produktionsbedingungen zu erreichen, z.B. durch Pacht oder Kauf (Pachtpreise 500 - 1.200 DM/ha, Kaufpreise 20.000 - 100.000 DM/ha).

Es ist demnach für einen Praktiker selbstverständlich, durch seine Bewirtschaftungsweise die Bodenfruchtbarkeit und die Bodengesundheit zu erhalten. Ebenso will er Grund- und Oberflächenwasser reinhalten. Die Bewirtschaftung wird zur Umsetzung beider Prinzipien zunehmend von Rechtsvorschriften eingeengt, die von einseitigen Forderungen anderer Sparten noch überlagert werden.

Grundsätzlich verursachen Änderungen der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auch erhebliche Auswirkungen auf das Auftreten von Schadorganismen. Diese Veränderungen müssen rechtzeitig erkannt und vom Praktiker berücksichtigt werden.

### **1. Vermeidung von Schadorganismen im Boden durch Fruchtfolge**

Die **Fruchtfolge** ist die zeitliche Aufeinanderfolge einzelner Kulturpflanzen im Laufe der Jahre auf derselben Fläche. Die Voraussetzungen für eine gesunde Fruchtfolge aus phytopathologischer Sicht sind seit langem bekannt. Sie werden weitgehend überlagert durch

- technische
- arbeitswirtschaftliche
- markt- und betriebswirtschaftliche Erwägungen.

Dennoch müssen bestimmte Prinzipien der Fruchtfolgegestaltung eingehalten werden, insbesondere wenn die Fruchtfolgekrankheiten und -schädlinge nicht mit Pflanzenschutzmitteln bekämpfbar sind. So bleibt das Gelbmosaik-Virus in den Sporen des im Boden befindlichen Pilzes *Polymyxa graminis* über 10 Jahre lebensfähig. Nur resistente Wintergerstensorten gegen dieses Virus bringen noch ausreichende Erträge. Allerdings ist diese Resistenz bereits durchbrochen. Ähnlich problematisch ist

Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem, H. 328, 1997

die Übertragung von Rizomania bei Rüben durch den jahrelang lebensfähigen Bodenpilz *Polymyxa betae*.

## 2. Ordnungsgemäße Bodenbewirtschaftung bedeutet auch weniger Pflanzenschutzmittel und Schadorganismen im Boden

Die **Humusbilanz** ist bei den derzeitigen Bewirtschaftungsweisen durch die auf dem Feld verbleibenden Pflanzenreste meistens positiv. Mit guter Humusversorgung ist in der Regel auch ein **intensives Bodenleben** verbunden. Mikroorganismen sind für den Abbau verschiedener Wirkstoffgruppen erforderlich, z.B. bei Wuchsstoffmitteln, Harnstoffderivaten, Glyphosat und Sulfonylharnstoffen. Durch eine intensive Mikroorganismen-tätigkeit können bestimmte Wirkstoffe allerdings so schnell auf einer Fläche abgebaut werden, daß die Wirkung nicht mehr hinreichend ist, wie beispielsweise bei Birlane Granulat (Chlorfenvinphos).

Mikroorganismen bauen die organische Substanz ab, so daß der Pilz *Pseudocercospora herpotrichoides* mangels eines Nährmediums innerhalb von 2 Jahren abstirbt.

Auch die **Bodenbearbeitung** wirkt sich auf die Befallsstärke von Schadorganismen aus. Ohne Pflugarbeit vermehren sich Ungräser und Unkräuter stärker, vor allem Ackerfuchsschwanz, Quecken, Klettenlabkraut und Ackerdisteln. Eine verstärkte Anwendung von Herbiziden ist die Folge.

Einige Getreidekrankheiten werden reduziert, wie die Halmbruchkrankheit und die Schwarzbeinigkeit, andere gefördert wie *Septoria tritici* und die Netzfleckenkrankheit. Gleiches gilt für Schädlinge, von denen Gallmücken und Brachfliegen vermindert werden, Springschwänze und Maiszünsler nehmen dagegen zu.

Interessant ist die Förderung der nützlichen Gliederfüßer und Milben durch den Schichtengrubber.

Die **Mulchsaat** mit der Verbesserung des Erosionsschutzes und der Nitratbindung bringt aber Pflanzenschutzprobleme mit sich. Regelmäßig muß Roundup vor der Saat angewendet werden, um die weit entwickelten Unkräuter und gegebenenfalls die nicht abgefrorene Zwischenfrucht abzutöten. Probleme bereiten auch Schnecken und Mäuse.

**Strukturschäden** im Boden können durch schwere Maschinen bei der Bestellung, Bodenbearbeitung und der Zuckerrüben-ernte sowie Kartoffelernte bei nassen Böden entstehen. Verdichtungen verhindern das optimale Wachstum der Pflanzen und begünstigen damit den Befall durch Schadorganismen. Ebenso treten Pilze mit wenig Sauerstoffbedarf verstärkt auf, wie *Ophiobolus graminis* und *Pythium*-Arten.

## 3. Pflanzenschutzmittel dürfen nicht Boden und Pflanzen belasten

Keine Schäden erwartet der Landwirt durch Pflanzenschutzmittelreste über den Boden. Die Beachtung der langjährig bewährten Prüfrichtlinien zur Persistenz der Pflanzenschutzmittel hat Schäden an den Kulturpflanzen vermieden. Nur sehr wenige Mittel können in bestimmten Nachfolgekulturen oder Zwischenfrüchten schädigen, was für die Praxis kaum akzeptabel ist.

Das Bodenleben wird von der Mehrzahl der Mittel wohl temporär beeinflußt, doch manche Pflanzenschutzmittel wie Benomyl oder Kupfer können auch Regenwürmer längerfristig schädigen.

Mit der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln werden nur wenige Schwermetalle in den Boden gebracht. Mit Fentinacetat wird Zink, mit Kupferchlorid Kupfer und mit Mancozeb Mangan eingebracht. Von besonderer Bedeutung ist derzeit noch die Anwendung von Kupfer, das besonders

im ökologischen Anbau empfohlen wird. In "alten" Weingärten und Hopfengärten ist der Kupfergehalt im Boden mit- unter so hoch, daß andere Kulturpflanzen nicht nachgebaut werden können.

Es überrascht durchaus, daß bei der intensiven Diskussion über den Bodenschutz noch Kupferpräparate im großen Umfang angewandt werden.

#### 4. Landwirtschaftliche Bewirtschaftung ermöglicht den Schutz des Wassers

Der **Grundwasserschutz** wird durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ohne Wasserschutzgebietsauflage in Wasserschutzgebieten gewährleistet. Derzeit haben von 979 Pflanzenschutzmitteln 52 eine Wasserschutzgebietsauflage.

Im Ackerbau gibt es keine Probleme bei der Bekämpfung der Schadorganismen in Wasserschutzgebieten mit Pflanzenschutzmitteln. Gleiches gilt für den Obstbau. Schwieriger ist es im Gartenbau, wo grundsätzlich weniger Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen. Immerhin dürfen 12 Wirkstoffe in Wasserschutzgebieten im Gartenbau nicht angewendet werden.

Prinzipiell ist festzustellen, daß der sehr niedrige Trinkwassergrenzwert von 0, 1 mg/l durchaus von der landwirtschaftlichen Praxis mit den zugelassenen Pflanzenschutzmitteln auch im Grundwasser eingehalten werden kann. Daran ändern auch die wenigen regionalen Funde von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser nichts, zumal Probenahme und Analysenmethode oft nicht sachgerecht sind. Zudem sind nicht in allen Ländern die notwendigen Wasserschutzgebiete ausgewiesen.

Größere Probleme bereitet der Praxis der **Schutz der Oberflächengewässer** unter den derzeitigen sehr strengen Bedingungen. Die zahlreichen Rechtsvorschriften und Auflagen hinsichtlich der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Nähe von Oberflächengewässern sind für die einzelnen Landwirte, Gärtner, Obstbauern und Winzer kaum überschaubar. Nur über die zusammenfassenden Broschüren der amtlichen Pflanzenschutzberatung können die Praktiker die geeigneten Pflanzenschutzmittel für ihre Pflanzenschutzprobleme auswählen.

Beachtet werden müssen die unterschiedlichen Abstandsauflagen fast aller Pflanzenschutzmittel, wobei einige Auflagen als bußgeldbewehrte Anwendungsbestimmungen erlassen sind. Zusätzlich werden wegen des Schutzes der Oberflächengewässer auch bußgeldbewehrte Einschränkungen der Anwendungsgebiete bestimmt, was einen Vorgeschmack auf die Indikationszulassung gibt. Von den Praktikern können die Gründe für diese einschneidenden Einschränkungen oft nicht nachvollzogen werden.

Durch minimale Bodenbearbeitung, Gründüngung und Mulchsaat wird die Erosion von Boden in Oberflächengewässer vermindert. Zusätzlich sind für bestimmte Mittel auch Randstreifen mit geschlossener Pflanzendecke vorgeschrieben. Diese unbehandelten Streifen dürfen für die Flächenstilllegung nicht berücksichtigt werden. Letztlich wird mit diesen Auflagen Agrarpolitik betrieben.

Auch bei der **Abtrift** müssen Abstände eingehalten werden, gleichgültig ob diese in nennenswertem Umfange auftritt. Mit neuen abtriftarmen Düsen kann die Abtrift um fast die Hälfte gegenüber den normalen Düsen vermindert werden.

Neue Untersuchungen weisen auf die Kanalisation als den Haupteintragspfad für Pflanzenschutzmittel in Oberflächengewässer hin. Damit würden die bisherigen Eintragspfade wie der Oberflächenabfluß (Runoff), Dränage und Abtrift in ihrer Bedeutung relativiert werden. Der Eintragspfad "**Kanalisation**" könnte relativ leicht durch die Unterlassung der Reinigung der Pflanzenschutzgeräte auf dem Hof versperrt werden. Ebenso müßten die genehmigungspflichtigen

Mittelanwendungen vor allem von Diuron auf Hofflächen, Wegen, Plätzen und Industrieanlagen auf ein unbedingt notwendiges Mindestmaß beschränkt werden.

Die praktische Bedeutung der einzelnen Eintrittspfade für Pflanzenschutzmittel in Oberflächengewässern ist derzeit noch offen, weil die Modellrechnungen für Runoff und Abtritt bisher nicht unter natürlichen Verhältnissen überprüft wurden. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

### **Zusammenfassung**

Der Pflanzenschutz auf landwirtschaftlich genutzten Flächen berücksichtigt den Schutz der Böden und der Gewässer. Aus eigenem Interesse unternimmt der Landwirt alles, um seinen Boden gesund zu erhalten, d.h. keine langlebigen Schadorganismen im Boden zu dulden und die wenigen Schwermetalle über den Pflanzenschutzmitteleintrag noch weiter zu minimieren.

Der Gewässerschutz wird für das Grundwasser gewährleistet durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ohne W-Auflage in Wasserschutzgebieten. Der Trinkwassergrenzwert von 0,1 mg/l kann auch im Grundwasser eingehalten werden.

Die Oberflächengewässer werden durch Beachtung der zahlreichen Auflagen für die Pflanzenschutzmittel vor schädlichen Auswirkungen bewahrt. Eine praktische Überprüfung der Modellrechnungen, die zu den Auflagen führen, ist dringend erforderlich.

Da alle möglichen Gefährdungen des Bodens und des Wassers durch Pflanzenschutzmittel im Pflanzenschutzgesetz im Zulassungsverfahren berücksichtigt sind, ist aus Sicht des Pflanzenschutzes eine weitere Rechtsregelung durch ein Bodenschutzgesetz nicht erforderlich.

## **Belastungen und Auswirkungen von Schadstoffen und Pflanzenschutzmitteln im Boden**

G. Reese-Stähler; D. Klementz und W. Pestemer

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin-Dahlem

### **Rückstandsverhalten von Fenikan unter dem Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen**

#### **Einleitung**

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teil des interdisziplinären Forschungsprojekts der Biologischen Bundesanstalt "Einfluß von Fenikan auf mikrobielle Parameter und die Bodenmesofauna in Beziehung zur Rückstandsdynamik bei wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung in Wintergerste". Neben dem Institut für ökologische Chemie, das die Rückstandsanalytik durchführt und die Bodencharakterisierung vorgenommen hat, sind an dem Projekt die Institute für Ökotoxikologie im Pflanzenschutz, für integrierten Pflanzenschutz und für Unkrautforschung beteiligt. Am Institut für Ökotoxikologie werden die Auswirkungen auf Algen und auf Collembolen untersucht. Durch das Institut für Unkrautforschung werden die Einflüsse auf mikrobielle Parameter bestimmt. Die Außenstelle des Instituts für integrierten Pflanzenschutz führt die Versuche in Glaubitz durch. Dieser Versuchsstandort liegt in Sachsen etwa 15 km nordöstlich von Riesa. Der Versuchszeitraum beträgt zwei Jahre, wobei hier die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahres dargestellt werden.

Die Ergebnisse der Rückstandsuntersuchungen werden zum einen zur Beurteilung der Nebenwirkungsuntersuchungen herangezogen. Zum anderen dienen die Daten der Validierung des Abbausimulationsmodells im Expertensystem PEMOSYS im Rahmen des Nachzulassungs-Monitorings (Pestemer & Günther, dieses Heft).

#### **Fragestellung**

- In dem Gesamt-Projekt werden die Gesamt- und wasserextrahierbaren Rückstände der beiden in Fenikan enthaltenen Wirkstoffe Diflufenican und Isoproturon analysiert,
- die Dichte der vorhandenen Bodenalgen und die dominanten Algenarten bestimmt,
- die Anzahl und die Artenzusammensetzung von Collembolen und Raubmilben ermittelt,
- die Fraßaktivität der Bodenfauna mittels Köderstreifen-Test bestimmt und
- die Dehydrogenaseaktivität und die substratinduzierte Kurzzeitatmung als mikrobielle Summenparameter aufgenommen.

Begleitend werden die notwendigen Klimadaten, die Wasserkapazität des Bodens und dessen pH-Wert erfaßt. Zur weiteren Charakterisierung des Standortes wurden der Nährstoffgehalt des Bodens, die organische Substanz, die Korngrößenverteilung und einige Schwermetallgehalte (Hg, Cd, Pb) bestimmt.

#### **Durchführung der Versuche**

Bei der am Versuchsstandort vorzufindenden Bodenart handelt es sich um einen sandigen Lehm. Die Ackerzahl liegt bei 46 - 48. Die Versuche werden in einer zweifaktoriellen Streifenanlage mit den

Faktoren wendende (Pflug) und nicht wendende (Kreiselegge) Bodenbearbeitung durchgeführt. Die angebaute Kultur ist Wintergerste.

Die Pflanzenschutzmittel-Applikation erfolgt in fünf verschiedenen Stufen. Jede Variante wird viermal wiederholt. Jede einzelne Parzelle hat eine Größe von 3 x 10 m.

Die Applikation erfolgt mit einer Parzellenspritze im Nachaufverfahren (Herbst). Die empfohlene Aufwandmenge beträgt 3 l Fenikan/ha (62,5 g/l Diflufenican und 500 g/l Isoproturon). Die Applikationsstufen sind die unbehandelte Kontrolle, 25 %, 50 % und 100 % der Aufwandmenge sowie ein situationsbezogener Herbizideinsatz (nach Schadensschwellen).

Die Wirkstoffe im Präparat Fenikan sind durch deutliche Unterschiede in den chemisch-physikalischen Eigenschaften gekennzeichnet. Diflufenican hat einen hohen  $K_{oc}$ -Wert (>2500), eine mittlere  $DT_{50}$  im Boden von 120 Tagen und eine Wasserlöslichkeit von 0,05 mg/l. Isoproturon dagegen weist einen niedrigen  $K_{oc}$ -Wert (ca. 100), eine mittlere  $DT_{50}$  von etwa 30 Tagen und eine Wasserlöslichkeit von 65 mg/l auf.

Die Termine für die Probenahme waren:

- Ca. drei Wochen vor der Applikation (hier wurden nur Untersuchungen zur Bodenbiologie durchgeführt)
- Direkt vor und nach der Applikation am 2.11.1994
- 13 Tage nach Applikation
- 40 Tage nach Applikation
- 91 Tage nach Applikation
- 118 Tage nach Applikation
- 174 Tage nach Applikation
- 202 Tage nach Applikation
- 244 Tage nach Applikation und
- im Herbst des folgenden Jahres nach Durchführung der Bodenbearbeitung und vor der nächsten Applikation, nach 378 Tagen.

Die Feldproben wurden in PE-Beuteln verpackt und gekühlt transportiert. Bis zur Vorbereitung für die folgenden Untersuchungen wurden sie bei +4°C gelagert.

### **Analytik**

Die Proben wurden durch Lufttrocknung bis zur Siebfähigkeit und Sieben auf 2 mm vorbereitet. Es wurden dann die Analysenproben abgefüllt, eingewogen und bei -20 °C bis zur Aufarbeitung und Analytik gelagert.

Die Trockensubstanz der Proben wurde nach der VDLUFA-Methode bei 105 °C bestimmt.

In den Bodenproben wurden zum einen die mit Methanol/Wasser extrahierbaren Gesamt-Rückstände und zum anderen die nur mit Wasser extrahierbaren Rückstände - der potentiell pflanzenverfügbare Anteil - bestimmt.

Die Messung des Diflufenicans in den Extrakten und Standards erfolgte gaschromatographisch mittels Elektroneneinfangdetektor (ECD). Die Auswertung erfolgte quantitativ nach der Methode des internen Standards (Tetradifon). Die Kalibriergerade wurde mit Hilfe von Bodenextrakten der unbehandelten Kontrolle, die mit Standardlösungen versetzt wurden, an vier bis sechs Kalibrierpunkten aufgenommen. Die untere Grenze des praktischen Arbeitsbereiches lag bei 0,001 mg/kg Boden

Trockensubstanz (TS). Zur Validierung der Methode wurden die Wiederfindungsraten für verschiedene Konzentrationen (0,002 - 0,02 und 0,2 mg/kg TS) bestimmt. Sie lagen zwischen 93 % und 101 % mit relativen Standardabweichungen zwischen 5,1 und 0,6 %.

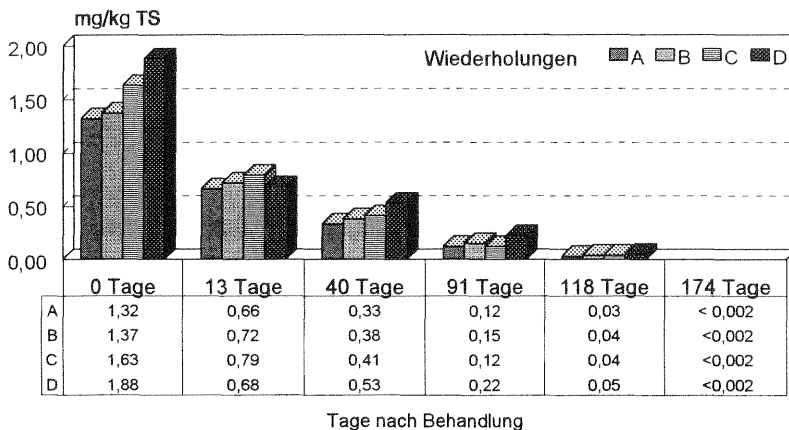
Die Messung des Isoproturons erfolgte mittels HPLC mit Diodenarray-Detektor (DAD). Die Auswertung erfolgte quantitativ nach der Methode des externen Standards. Für die Kalibriergerade wurden fünf Kalibrierpunkte aufgenommen. Die Grenze des praktischen Arbeitsbereiches lag bei 0,002 mg/kg TS Boden. Zur Validierung der Methode wurden die Wiederfindungsraten für verschiedene Konzentrationen (0,1 - 1,0 und 5,0 mg/kg TS) bestimmt. Sie lagen zwischen 70 % und 117 %.

## Ergebnisse und Diskussion

### Isoproturon

Die Ergebnisse der Isoproturon-Rückstandsbestimmung sind in den Abb. 1-4 graphisch dargestellt.

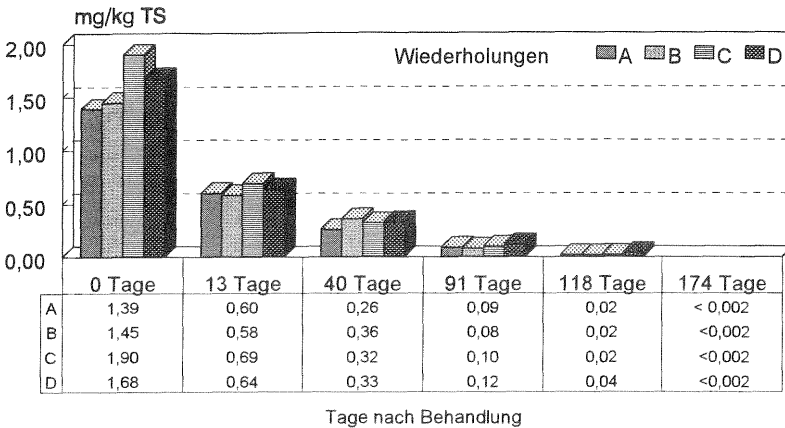
Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Gesamtrückstände bei 100%-Aufwandmenge in der gepflügten und in der ungepflügten Variante (0-5 cm Bodenschicht), wobei die Ergebnisse der jeweils 4 Parzellen pro Variante (Wiederholungen auf dem Feld) getrennt aufgeführt sind. In beiden Varianten ist eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bezogen auf die Parzellen über den gesamten Untersuchungszeitraum zu verzeichnen. Die Variabilität der Ergebnisse bei den 4 Wiederholungen ist auf die üblichen Schwankungen bei der Applikation, der Probenahme und der Analytik zurückzuführen.



Behandlungstermin: 02.11.1994

Abb. 1: Gesamtrückstände von Isoproturon nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), gepflügte Variante (Pflugfurche: 63 Tage vor Behandlung), 0-5 cm Bodenschicht





Behandlungstermin: 02.11.1994

Abb. 2: Gesamtrückstände von Isoproturon nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), ungepflügte Variante (Kreiselegge: 72 Tage vor Behandlung), 0-5 cm Bodenschicht

Abbildung 3 zeigt den direkten Vergleich der Mittelwerte der gepflügten und der ungepflügten Variante vom Applikationstag bis zum 174. Tag. Die Gesamtrückstände von Isoproturon nahmen in diesem Zeitraum sowohl im gepflügten als auch im ungepflügten Boden bei voller Aufwandmenge von etwa 1,60 mg/kg TS auf 0,04 bzw. 0,02 mg/kg TS am 118. Tag ab, wobei die Rückstandsgelalte bereits nach 13 Tagen um 58 % reduziert waren. In den Proben vom 174. Tag nach der Applikation konnte kein Isoproturon mehr nachgewiesen werden. Die Gehalte lagen unter der Grenze des praktischen Arbeitsbereiches.

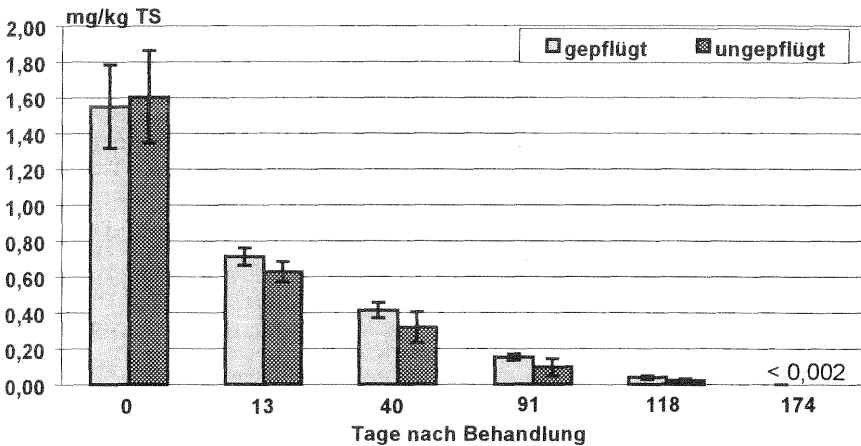


Abb. 3: Gesamtrückstände von Isoproturon nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), Vergleich gepflügte/ungepflügte Variante, Mittelwerte über die 4 Wiederholungen mit Standardabweichung

Die Ergebnisse belegen die geringe Persistenz dieses Wirkstoffes im Boden und zeigen, daß es hinsichtlich der Rückstandshöhen keine Unterschiede zwischen gepflügter und ungepflügter Variante gibt.

Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte des wasserextrahierbaren Anteils an den Gesamtrückständen bei beiden Varianten in Prozent. Es gibt nur geringfügige Unterschiede bei den Bearbeitungsformen. Der wasserextrahierbare - potentiell pflanzenverfügbare - Anteil lag an den ersten beiden Untersuchungsterminen bei etwa 40 bis 46 %, entsprechend einem Gehalt von 0,64 bis 0,72 mg/kg TS, und verringerte sich dann auf etwa 10 %, entsprechend einem Gehalt von 0,003 bis 0,005 mg/kg TS, am 118. Tag.

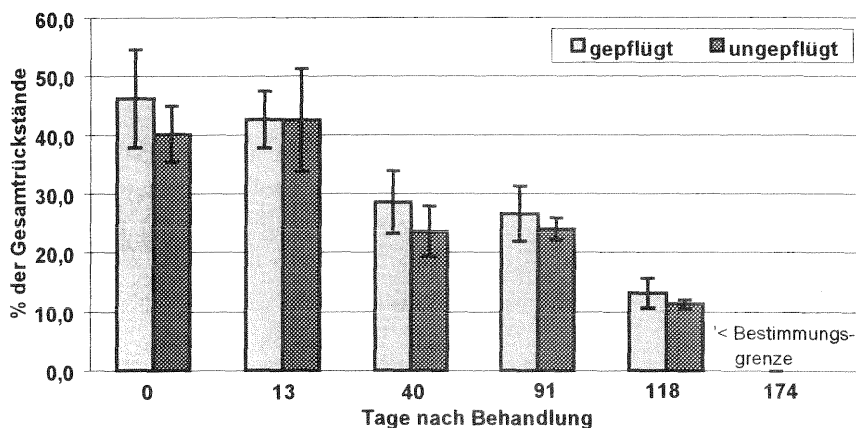


Abb. 4: Wasserextrahierbare Rückstände von Isoproturon nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), Vergleich gepflügte/ungepflügte Variante, in Prozent der Gesamtrückstände, Mittelwerte über die 4 Wiederholungen mit Standardabweichung

Die Ergebnisse zeigen zum einen den hohen potentiell pflanzenverfügbaren Anteil an den extrahierten Gesamtrückständen bei diesem Wirkstoff auf, der auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Isoproturons (hohe Wasserlöslichkeit, niedriger Koc-Wert) zurückzuführen ist. Zum anderen wird deutlich, daß der mit Wasser extrahierbare prozentuale Anteil über den Untersuchungszeitraum von 174 Tagen abnimmt, also nicht mehr verfügbar ist.

### Diflufenican

Die Ergebnisse der Diflufenican-Rückstandsbestimmung sind in den Abb. 5-8 graphisch dargestellt.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Gesamtrückstände bei 100%-Aufwandmenge in der gepflügten und in der ungepflügten Variante (0-5 cm Bodenschicht), wobei die Ergebnisse der jeweils 4 Parzellen pro Variante (Wiederholungen auf dem Feld) getrennt aufgeführt sind. In beiden Varianten ist ebenfalls eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bezogen auf die Parzellen über den gesamten Untersuchungszeitraum zu verzeichnen. Wie schon bei Isoproturon ausgeführt, so gilt auch für die Diflufenican-Ergebnisse, daß die Variabilität bei den 4 Wiederholungen auf die üblichen Fehler bei der Applikation, der Probenahme und der Analytik zurückzuführen ist.

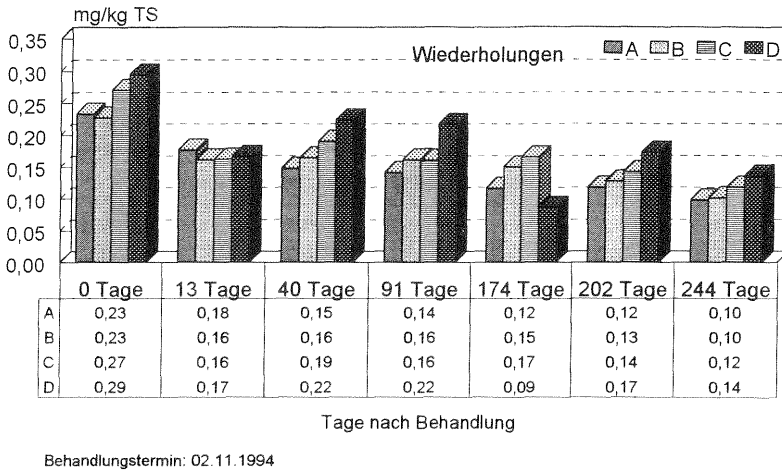


Abb. 5: Gesamtrückstände von Diflufenican nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), gepflügte Variante (Pflugfurche: 63 Tage vor Behandlung), 0-5 cm Bodenschicht

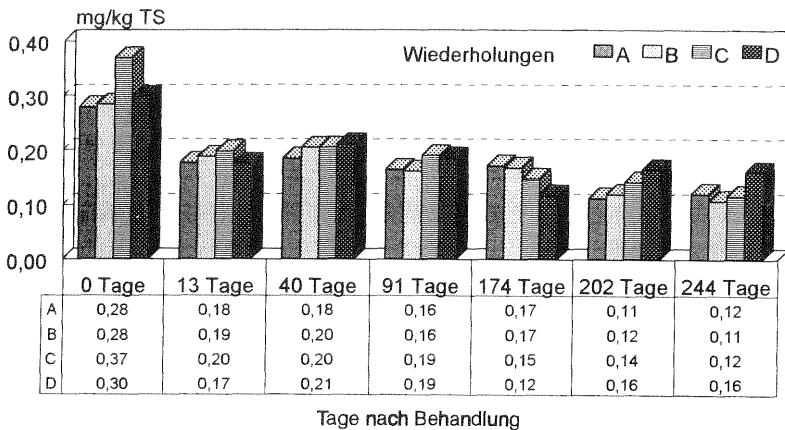


Abb. 6: Gesamtrückstände von Diflufenican nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), ungepflügte Variante (Kreiselegge: 72 Tage vor Behandlung), 0-5 cm Bodenschicht

Abbildung 7 zeigt den direkten Vergleich der Mittelwerte der gepflügten und der ungepflügten Variante vom Applikationstag bis zum 244. Tag. Die Gesamtrückstände von Diflufenican nahmen in diesem Zeitraum sowohl im gepflügten als auch im ungepflügten Boden von etwa 0,30 mg/kg TS auf etwa 0,10 mg/kg TS ab. Nur in den ersten 13 Tagen ist eine deutliche Reduktion der Anfangsgehalte zu verzeichnen. Danach gehen die Rückstandsgehalte nur langsam zurück und liegen auch nach 244

Tagen noch bei 42 % der Anfangsgehalte. Diese Ergebnisse deuten auf eine hohe Persistenz des Wirkstoffs im Boden hin.

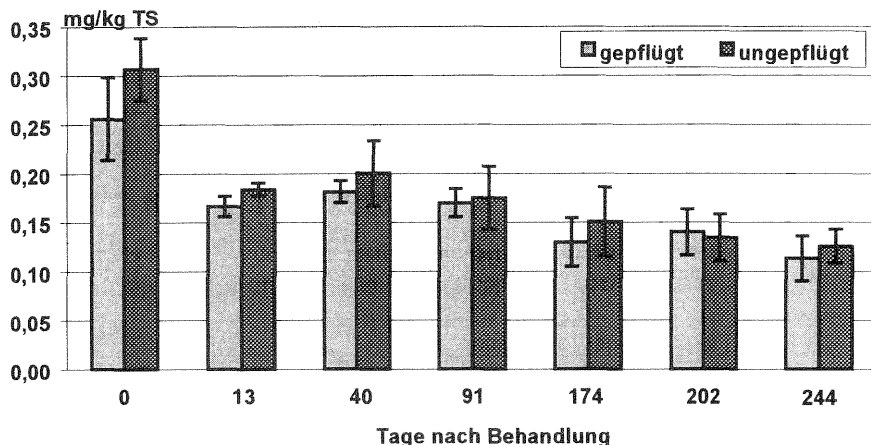


Abb. 7: Gesamtrückstände von Diflufenican nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), Vergleich gepflügte/ungepflügte Variante, Mittelwerte über die 4 Wiederholungen mit Standardabweichung

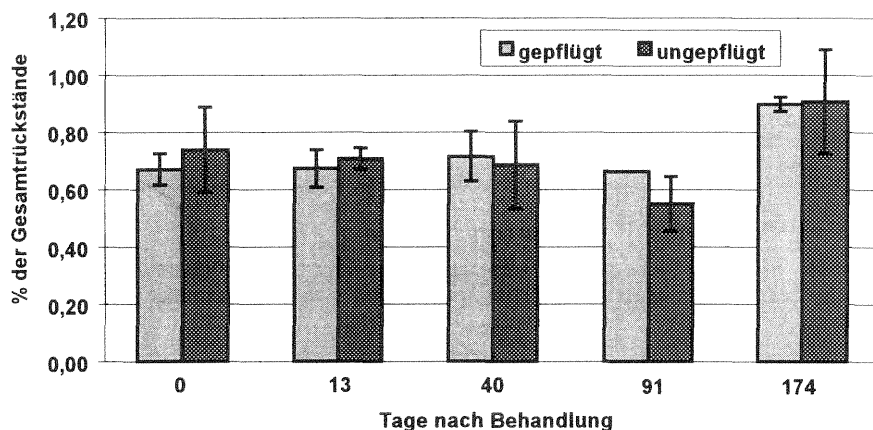


Abb. 8: Wasserextrahierbare Rückstände von Diflufenican nach Fenikanbehandlung (3 l/ha), Vergleich gepflügte/ungepflügte Variante, in Prozent der Gesamtrückstände, Mittelwerte über die 4 Wiederholungen mit Standardabweichung

Abbildung 8 zeigt die Mittelwerte des wasserextrahierbaren Anteils an den Gesamtrückständen bei beiden Varianten in Prozent. Es gibt keine Unterschiede bei den Bearbeitungsformen. Der potentiell pflanzenverfügbare Anteil lag an allen Untersuchungsterminen nur bei knapp 1 % entsprechend einem Gehalt von 0,001-0,003 mg/kg TS.

Die Diflufenican-Ergebnisse zeigen den im Gegensatz zum Isoproturon geringen potentiell pflanzenverfügbaren Anteil an den extrahierten Gesamtrückständen, der auch bei diesem Wirkstoff mit den physikalisch-chemischen Eigenschaften (geringe Wasserlöslichkeit, hoher  $K_{oc}$ -Wert) zu begründen ist, und der sich über den Untersuchungszeitraum nicht verändert.

Vorangegangene Freilandstudien mit dem Präparat Fenikan am Standort Braunschweig der BBA zeigten vergleichbare Ergebnisse im Hinblick auf das Abbauverhalten von Diflufenican und Isoproturon wie in den hier vorliegenden Untersuchungen (Günther, et al, 1994)

### **Zusammenfassung**

Mit Hilfe von Feldversuchen soll die Frage geklärt werden, ob ein Verzicht auf den Pflug (wendende Bodenbearbeitung) einen Einfluß auf die Höhe von Pflanzenschutzmittelrückständen, auf die Bodenmesofauna und die Bodenmikroorganismen hat. In einem Versuch mit zweifaktorieller Streifenanlage wurde Fenikan auf Wintergerste in fünf verschiedenen Stufen appliziert. Vorgestellt wurden die Ergebnisse der Rückstandsuntersuchungen des zweiten Versuchsjahres bei 100%-Aufwandmenge.

Diese können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Im Hinblick auf die beiden Bearbeitungsvarianten (Pflug bzw. pfluglos) kann festgestellt werden, daß sie keinen Einfluß auf die Höhe der Rückstände haben.
- Die Rückstandsuntersuchungen zeigten, daß der Gehalt an Isoproturon nach der Applikation 1,6 mg/kg TS betrug und nach 174 Tagen unter Bestimmungsgrenze von 0,002 mg/kg TS lag.
- Der Gehalt an Diflufenican betrug direkt nach der Applikation 0,3 mg/kg TS und lag nach 244 Tagen immer noch bei 0,10 mg/kg TS.
- Die wasserextrahierbaren und damit potentiell pflanzenverfügbaren Anteile des Isoproturons verringerten sich über den Untersuchungszeitraum von etwa 40 auf 10 % des Gesamtgehaltes. Im Falle des Diflufenicans war max. 1 % des Gesamtgehaltes mit Wasser extrahierbar.

### **Literatur :**

Günther, P., Heiermann, M., Maas, G., Pestemer, W. (1994): Rückstandsverhalten und Nebenwirkungen von Diflufenican im Boden. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 46, 10-15

S. Pätzold und G. W. Brümmer

Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität, Institut für Bodenkunde, Bonn

## **Verhalten des Herbizides Diuron in einer Parabraunerde aus Löß nach mehrjähriger Anwendung im Obstbau**

### **Einleitung**

In der Praxis des Integrierten Apfelanbaus hat sich als Bodenpflegeverfahren die Kombination aus grasbewachsenen Fahrgassen und in der Regel mit Herbiziden vegetationsfrei gehaltenen Baumstreifen durchgesetzt, da dies das einfachste, kulturschonendste und unter den gegebenen Rahmenbedingungen vor allem wirtschaftlichste Verfahren darstellt (ENGEL 1992, RÜGER 1992). Das hierbei zum Teil eingesetzte Herbizid Diuron, das allerdings überwiegend auf Wegen, Plätzen und bei der Gleisfreihaltung zum Einsatz kommt, wurde nach Angaben des Umweltbundesamtes (zit. in IVA 1995) bis Dezember 1994 insgesamt 162 mal im Grundwasser nachgewiesen.

Abbau und Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln in Böden werden durch die Konzentration der Rückstände in der Bodenlösung und damit das Ausmaß der Bindung beeinflusst, das wesentlich durch Ad- und Desorptionsprozesse bestimmt wird (HELLING et al. 1971, OTTOW 1982, BRÜMMER et al. 1994). Vor dem Hintergrund einer möglichen Akkumulation von Diuron-Rückständen durch die wiederholte Anwendung und dem Auftreten von Diuron-Rückständen im Grundwasser sollte im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen die Bedeutung von Ad- und Desorptionsprozessen für das Abbau- und Verlagerungsverhalten des Herbizides Diuron in obstbaulich genutzten Böden beschrieben werden. Dazu wurde in drei aufeinanderfolgenden Jahren in einer Apfelanlage eine Unkrautbekämpfung mit 2 bzw. 3 kg/ha KARMEX (80 % Diuron) durchgeführt und das Verhalten der Diuron-Rückstände untersucht.

### **Material und Methoden**

Die Versuchsfläche in der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf der Universität Bonn ist nahezu eben (Hangneigung <1%) und liegt 178 m ü. NN. Die Apfelbäume (Sorte Gloster auf M9) sind im Jahre 1980 gepflanzt worden, so daß die letzte Bodenbearbeitung bei Versuchsbeginn 12 Jahre zurücklag. Die wichtigsten Bodeneigenschaften des Standorts (Parabraunerde aus Löß) sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Die Beprobung erfolgte in definierten, nach cm unterteilten Tiefenstufen. Die dargestellten Ergebnisse der Abbau- und Sorptionsuntersuchungen beziehen sich auf die Tiefe 0-5 cm. Die Verlagerung von Wirkstoffrückständen wurde an mehreren Terminen anhand von je 3 Mischproben, die aus je 6-8 Einzelproben hergestellt wurden, bis in eine Tiefe von 90 cm untersucht.

Tab. 1: Bodeneigenschaften der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf bei Bonn (Parabraunerde aus Löß)

Tiefe cm	C <sub>org</sub> %	pH	Carbonat %	Korngrößen- verteilung			GPV %
				% S	% U	% T	
0-5	1,7	7,2	0	6,5	73,0	20,6	50
5-10	1,4	7,1	0	5,9	72,8	21,4	47
10-15	1,3	7,0	0	6,0	72,0	22,0	50
15-30	1,0	7,2	0	5,9	70,5	23,6	48
30-60	0,6	7,5	4	3,9	71,3	24,9	53
60-90	0,4	7,7	14	3,6	74,5	21,9	49

In allen Proben wurde in Anlehnung an die OECD-Guideline Nr.106 (1981; KUKOWSKI 1989) neben den insgesamt extrahierbaren Rückständen die Konzentration in der Bodenlösung durch 16-stündiges Schütteln mit 0,01 m CaCl<sub>2</sub> bestimmt und der Verteilungskoeffizient zwischen adsorbierten und gelösten Rückständen als Maß für deren Mobilität (K<sup>l</sup>-Wert) berechnet.

## Ergebnisse und Diskussion

### Abnahme der Rückstandsgehalte

Abb. 1 zeigt die Abnahme der extrahierbaren Diuron-Rückstandsgehalte - als Summeneffekt aller Einflußgrößen wie Abbau, Verlagerung, Verflüchtigung und Bildung nicht extrahierbar gebundener Rückstände - im Verlauf der drei Versuchsjahre. Es erfolgte kein vollständiger Abbau der Rückstandsgehalte bis zur Folgeapplikation. Ein Jahr (1992, 1993) bzw. ein halbes Jahr (1994) nach der jeweiligen Spritzung waren in 0-5 cm im Mittel noch 46 bis 64 mg/kg Boden nachweisbar. 1,5 Jahre nach der letzten Diuron-Spritzung wurden zu Beginn der Untersuchungen (28.4.1992) 60 mg/kg, nach dreijähriger Anwendung am Ende des Untersuchungszeitraums (28.11.1994) 64 mg/kg extrahiert. Ein Anstieg des Rückstandsniveaus nach wiederholter Applikation im Obstbau läßt sich damit - wie bereits mehrfach für Diuron und andere Wirkstoffe in der Literatur beschrieben (DALTON et al. 1966, MARRIAGE et al. 1975, KHAN et al. 1976, PESTEMER 1985, PESTEMER et al. 1988) - nicht ableiten.

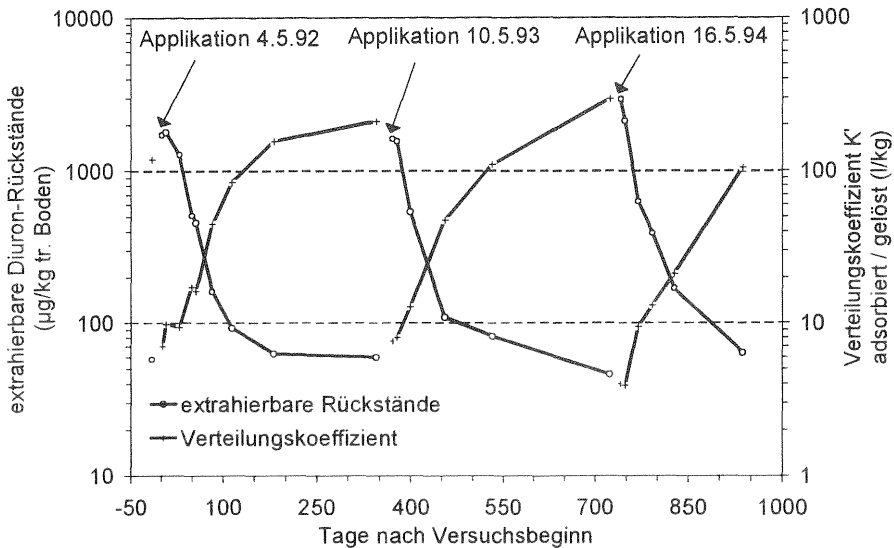


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Abnahme von Diuron-Rückständen in der Tiefe 0-5 cm sowie der Zunahme der Verteilungskoeffizienten nach wiederholter Anwendung in einer Apfelanlage (Klein-Altendorf, Parabraunerde aus Löß)

Die Abnahme der Rückstandsgehalte während des Applikationsjahres konnte mit einer Abnahmefunktion 1. Ordnung vom Typ

$$C_t = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

beschrieben werden. Hierbei ist  $C_t$  die Wirkstoffkonzentration (mg/kg Boden) zum Zeitpunkt  $t$ ,  $C_0$  die Ausgangskonzentration (mg/kg Boden) und  $k$  die bei der Funktion 1. Ordnung konzentrationsunabhängige "Ratenkonstante" (HAMAKER 1972). Es wurden Halbwertszeiten ( $DT_{50}$ -Werte) von 30 (1992), 18 (1993) und 14 (1994) Tagen errechnet. In ergänzenden Laborversuchen wurden vergleichbare  $DT_{50}$ -Werte ermittelt (PÄTZOLD & BRÜMMER 1995). Bis zum Verschwinden von 90% der Diuron-Rückstände ( $DT_{90}$ -Werte) vergingen 1992 99 Tage, 1993 60 und 1994 48 Tage. Die Abnahme der Diuron-Rückstandsgehalte verlief damit schneller als allgemein in der Literatur beschrieben (HILL et al. 1955, SHEETS 1964, MADHUN & FREED 1987). HASSINK et al. (1994) fanden jedoch mit  $DT_{50}$ -Werten von 29 bis 75 Tagen vergleichbare Halbwertszeiten. Die Parameter der Abnahmefunktionen sind in Tab. 2 zusammengefasst. Die Funktion 1. Ordnung war vor allem zur Beschreibung der Daten des ersten halben Jahres nach der Applikation gut geeignet. Für das zweite halbe Jahr und für längere Zeiten ergab sich eine schlechtere Anpassung, da die Rückstandsgehalte unterschätzt wurden (nicht dargestellt).



Tab. 2: Parameter der Funktion 1. Ordnung für die Abnahme der Diuron-Gehalte im jeweiligen Anwendungsjahr sowie der Funktionen 1. und n-ter Ordnung und zweier gekoppelter Exponentialfunktionen für die Abnahme der Diuron-Gehalte im Verlauf von 4 Jahren (Vierjährige Untersuchung: Daten von verschiedenen Spritzungen zusammengefaßt; Parabraunerde aus Löß; Klein-Altendorf; 0-5 cm)

	<b>C<sub>0</sub></b> (µg/kg)	<b>DT<sub>50</sub></b> (Tage)	<b>DT<sub>90</sub></b> (Tage)	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>1. Ordnung</b>				
1992: einjährige Untersuchung	1909	30	99	0,921
1993: einjährige Untersuchung	1920	18	60	0,872
1994: einjährige Untersuchung	2993	14	48	0,917
1990-94: vierjährige Untersuchung*	2332	19	63	0,859
<b>n-te Ordnung</b>				
1990-94: vierjährige Untersuchung*				
1,1. Ordnung	2349	18	66	0,859
1,6. Ordnung	2426	15	87	0,854
<b>2 Exponential-Funktionen</b>				
1990-94: vierjährige Untersuchung*				
Gesamtfunktion	2348	19	66	0,861
1. Teil der Funktion	2273	18	58	
2. Teil der Funktion	75	785	2607	

\* Vierjährige Untersuchung mit einer Applikation am 29.10.1990

Die 1994 gegenüber 1992 und 1993 schnellere Abnahme der Rückstandsgehalte beruht zum Teil darauf, daß 1994 bereits eine Woche nach der Ausbringung mindestens 15% der applizierten Diuron-Menge bis in Tiefen unterhalb von 30 cm verlagert worden sind (siehe unten). Möglicherweise spielt auch die höhere Aufwandmenge 1994 (PÄTZOLD & BRÜMMER 1995) eine Rolle. Diuron wird von Bodenmikroorganismen cometabolisch abgebaut (SHEETS 1964, MADHUN & FREED 1987); dennoch kann eine zunehmende mikrobielle Adaption an den Wirkstoff nicht ausgeschlossen werden (MCCORMICK & HILTBOLD 1966, MARRIAGE et al. 1975).

Schließlich muß der Einfluß der Witterung, die 1992 für den mikrobiellen Abbau im Vergleich der drei Versuchsjahre am ungünstigsten war, berücksichtigt werden. Eine Bewertung der verschiedenen Einflüsse hinsichtlich ihrer Bedeutung für die unterschiedlichen Konzentrationsabnahmen 1992, 1993 und 1994 in der Tiefe 0-5 cm ist nicht möglich, so daß die schnellere Abnahme 1994 als Summeneffekt mehrerer möglicher Einflußfaktoren betrachtet werden muß.

Zur Beschreibung der langfristigen Abnahme der Rückstandsgehalte sowie der Ausbildung eines Rückstandsplateaus wurden die Analysendaten aller während des gesamten Versuchszeitraums untersuchten Bodenproben, darunter auch die Rückstandsgehalte von drei seit Herbst 1990 unbehandelten Kontrollparzellen, zusammengefaßt (Abb. 2). Die Anpassung einer Funktion 1. Ordnung liefert hierbei nur unbefriedigende Ergebnisse, da ab einem halben Jahr nach der Spritzung die Gehalte an Rückständen wiederum erheblich unterschätzt werden. Bei Beschreibung der Rückstandsabnahme mit Funktionen n-ter Ordnung vom Typ

$$C_t = (C_0^{(1-n)} + (n-1) * k * t)^{1/(1-n)}$$

ergibt sich eine etwas bessere Anpassung an das mehrjährige Rückstandsniveau (Abb. 2). Funktionen n-ter Ordnung sind zur Beschreibung der Abnahme oft besser geeignet (HAMAKER 1972). Hierbei ergibt für die langfristige Diuron-Abnahme eine Funktion 1,1. Ordnung zwar die dem Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) nach beste Anpassung (Tab. 2); das mehrjährige Rückstandsniveau wird jedoch richtiger durch eine Funktion höherer Ordnung (z. B. 1,6. Ordnung, Abb. 2) charakterisiert. Die beste Beschreibung der gemessenen Werte läßt sich aber - vor allem mehrere Jahre nach der Applikation - durch die Anpassung von zwei gekoppelten Exponentialfunktionen (LAFLEUR 1980)

$$C_t = C_{0(1)} * e^{-k(1)*t} + C_{0(2)} * e^{-k(2)*t}$$

erzielen (Abb. 2). Auch DENKLER (1994) berichtet über eine gute Beschreibung des langfristigen Abbauverhaltens von Herbizidrückständen durch gekoppelte Exponentialfunktionen. Dieses Modell beschreibt die Wirkstoffabnahme als Summeneffekt eines 2-Phasen-Prozesses. In der ersten Phase erfolgt eine schnelle Abnahme. In der zweiten Phase verläuft die Abnahme z.B. aufgrund stärkerer Adsorption und damit geringerer Verfügbarkeit für den Abbau nur noch sehr langsam.

Für den ersten Teil der gekoppelten Exponentialfunktionen und für die Funktion 1. Ordnung wurden nahezu identische  $DT_{50}$ -Werte von 18 bzw. 19 Tagen für den vierjährigen Diuron-Abbau (1990-94) ermittelt (Tab. 2). Dagegen errechnete sich für den zweiten Teil der gekoppelten Exponentialfunktionen, der - von geringen Rückstandsgehalten (75 mg/kg; Tab. 2) ausgehend - vor allem die langsame Phase der Abnahme charakterisiert, ein  $DT_{50}$ -Wert von 785 Tagen. Eine mögliche Ursache für die langsamere Abnahme in der zweiten Phase ist die im Zeitverlauf zunehmende Adsorptionsstärke (siehe unten). Bei höheren Verteilungskoeffizienten und gehemmter Desorption ist die Verfügbarkeit des Wirkstoffs für die abbauenden Mikroorganismen stark herabgesetzt und die Beständigkeit der Chemikalie im Boden somit wesentlich höher.

#### Zunahme der Verteilungskoeffizienten

In allen 3 Versuchsjahren steigen bei abnehmenden Rückstandsgehalten in der Tiefe 0-5 cm die Verteilungskoeffizienten zwischen adsorbierten und gelösten Rückständen sehr stark an (Abb. 1). Damit nimmt die Mobilität der Rückstände mit der Zeit ab. Unmittelbar nach der Spritzung betragen die Verteilungskoeffizienten 4 bis 8 l/kg, steigen nach 3 Monaten auf Werte von 21 bis 47 und erreichen nach 6 Monaten Werte von 105 bis 155 l/kg. Ein Jahr nach der Spritzung betragen die Werte ca. 200 l/kg bzw. können nicht errechnet werden, da keine Wirkstoffrückstände im  $CaCl_2$ -Extrakt mehr bestimmbar waren. Im doppeltlogarithmischen Maßstab ergibt sich zwischen Verteilungskoeffizienten und Rückstandskonzentrationen eine enge, annähernd lineare Beziehung (Abb. 3). In einem Laborversuch

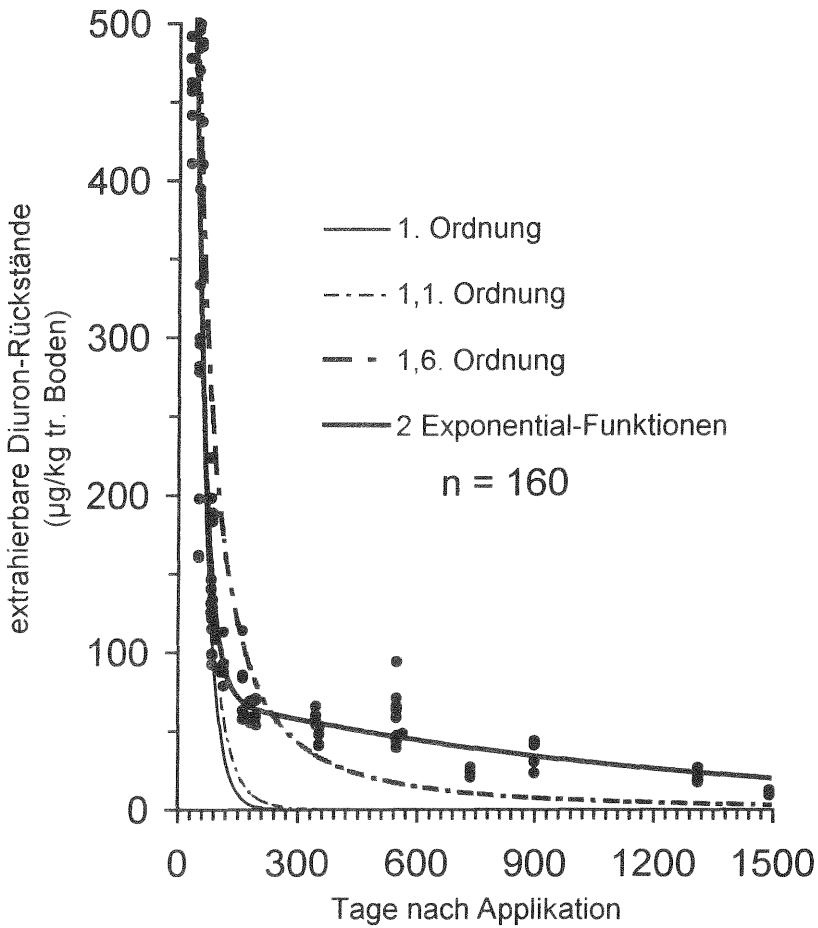


Abb. 2: Abnahme der Rückstandsgehalte von Diuron im Verlauf von 4 Jahren nach der Applikation. Daten von mehreren Spritzungen in verschiedenen Jahren (Klein-Altendorf; Parabraunerde aus Löß; 0-5 cm)

zur Ad- und Desorption sowie zum Diuron-Abbau (PÄTZOLD & BRÜMMER 1995) wurden mit den Daten der Freilandversuche gut vergleichbare Ergebnisse erzielt.

$$\square \lg K' (\text{Labor}) = \lg 2600 - 0,807 * \lg \text{Rückstand}; r^2 = 0,83^{***}; n = 74$$

$$\bullet \lg K' (\text{Feld}) = \lg 2893 - 0,834 * \lg \text{Rückstand}; r^2 = 0,87^{***}; n = 128$$

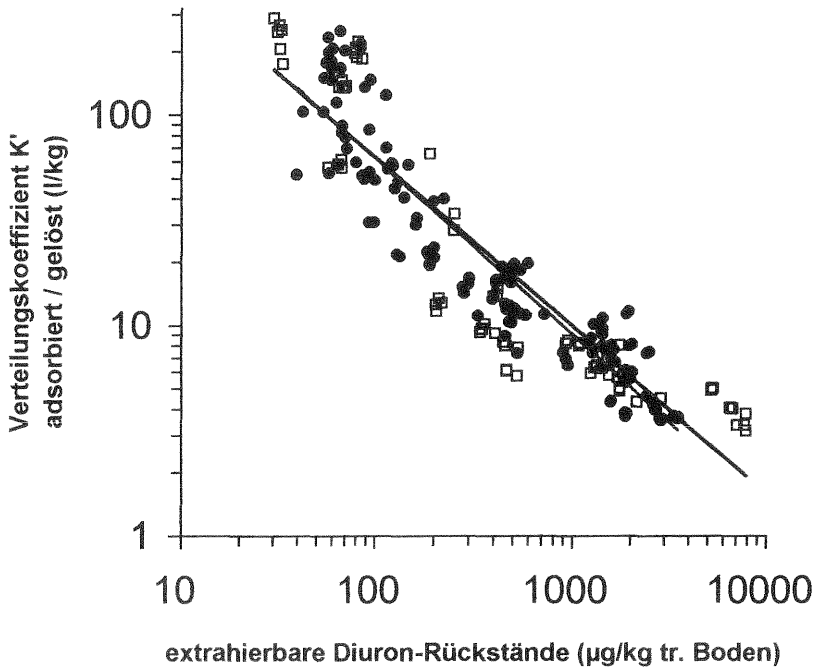


Abb. 3: Beziehung zwischen Diuron-Rückstandsgehalten und Höhe der Verteilungskoeffizienten zwischen adsorbierten und gelösten Diuron-Rückständen. Analysendaten von Freilandproben aus 3 Versuchsjahren (Applikationen 1990-94) und von einem Abbauversuch unter Laborbedingungen (Klein-Altendorf; Parabraunerde aus Löß, 0-5 cm)

Die beobachtete Zunahme der Bindungsstärke beruht wahrscheinlich auf dem mikrobiellen Abbau zunächst der gelösten Wirkstoffanteile (GOTTESBÜREN et al. 1994, PÄTZOLD & BRÜMMER 1995). Die Nachlieferung adsorbierter Rückstände in die Bodenlösung ist offenbar kinetisch gehemmt, da die verbleibenden Rückstände zu Plätzen höherer Bindungsstärke diffundieren und dann nicht mehr leicht desorbierbar sind (GAILLARDON et al. 1991, LENNARTZ 1992, BRÜMMER et al. 1994, KLIMSA & BRÜMMER 1995). Mit dem fortschreitenden Abbau der gelösten Rückstandsteile steigen die Verteilungskoeffizienten der Herbizid-Rückstände dann stark an.

#### Verlagerung von Wirkstoffrückständen

Bei mittleren Rückstandsgehalten in 0-5 cm Tiefe von 63 (November 1992) bzw. 81 (Oktober 1993) mg/kg wurde im Verlauf der Winterhalbjahre 1992/93 und 1993/94 nur eine geringfügige Verlagerung von Diuron-Rückständen beobachtet (nicht dargestellt). Unterhalb von 60 cm konnten keine Diuron-Rückstände mehr bestimmt werden.

Eine stärkere Verlagerung von Wirkstoffrückständen in Bereiche bis unterhalb der Krume konnte dagegen kurze Zeit nach einer Frühjahrsspritzung bei hohen Wirkstoffkonzentrationen nachgewiesen werden. Abb. 4 zeigt die Tiefenverteilung der Diuron-Rückstände eine Woche nach der Applikation am 16.5.1994. Nach nur 20 mm Niederschlag wurden im Mittel 25 (15-38) mg/kg Boden bis in 30-60 cm Tiefe und 39 (15-78) mg/kg bis in 60-90 cm Tiefe verlagert. Dies entspricht - unter Berücksichtigung der Mächtigkeit der einzelnen Tiefenstufen - 15 % der unmittelbar nach der Applikation in 0-5 cm vorhandenen Wirkstoffmenge. Davon lagen 6 % in 30-60 cm und weitere 9% in 60-90 cm Tiefe vor. Die Gehalte in den Tiefen 10-15 cm und 15-30 cm blieben gegenüber den Gehalten vor der Applikation praktisch unverändert, so daß die Rückstände schnell und ohne intensive Wechselwirkung mit der Bodenmatrix transportiert wurden und nicht ausreichend Zeit zur Adsorption bzw. zur Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen gelösten und adsorbierten Wirkstoffanteilen vorhanden war. Damit muß Makroporenfluß als schneller Transportprozeß angesehen werden, der bei einer verringerten Wirkstoffadsorption - möglicherweise unter dem Einfluß der Formulierungszusätze - kurz nach der Applikation stattfindet. Regenwurmgänge als eine Form von Makroporen können ebenso wie Schrumpfrisse, wenn sie bis an die Oberfläche reichen, Wasser und darin gelöste Stoffe ohne Wechselwirkung mit der Bodenmatrix - d.h. unabhängig von den Stoffeigenschaften - bis in den Unterboden leiten (BRÜMMER et al. 1994, DENKLER 1994, NORDMEYER & ADERHOLD 1995). Die Böden der Versuchsfläche wurden zuletzt vor der Pflanzung der Bäume, also zwölf Jahre vor Versuchsbeginn, bearbeitet. Bei reduzierter Bodenbearbeitung reichen mehr Regenwurmgänge bis an die Bodenoberfläche, so daß verstärkt Makroporenfluß auftreten kann (EHLERS 1975).

Auf der Untersuchungsfläche war wegen der Kombination aus grasbewachsenen Fahrgassen und vegetationsfreien Herbizidstreifen ohne Bodenbearbeitung ein hoher Regenwurmbesatz zu verzeichnen. Im Bereich des Herbizidstreifens wurden am Leitprofil der Versuchsfläche in 30-60 cm Tiefe 130 Regenwurmgänge/m<sup>2</sup> mit einem Durchmesser >5 mm gezählt. In 60-90 cm konnten 170, in 90-120 cm 140 und in 120-150 cm 80 Gänge/m<sup>2</sup> erfaßt werden. Zum Zeitpunkt der Herbizidanwendung war die unbearbeitete Bodenoberfläche verschlämmt und oberflächlich ausgetrocknet, so daß zusätzlich zahlreiche Schrumpfrisse vorlagen. Damit konnte das nach wenigen Tagen auftretende Niederschlagswasser den im Oberflächenbereich des Bodens nur schwach adsorbierten Wirkstoff lösen und durch Schrumpfrisse, Regenwurmgänge oder andere Makroporen durch schnellen Fluß bis tief in den Unterboden verlagern.

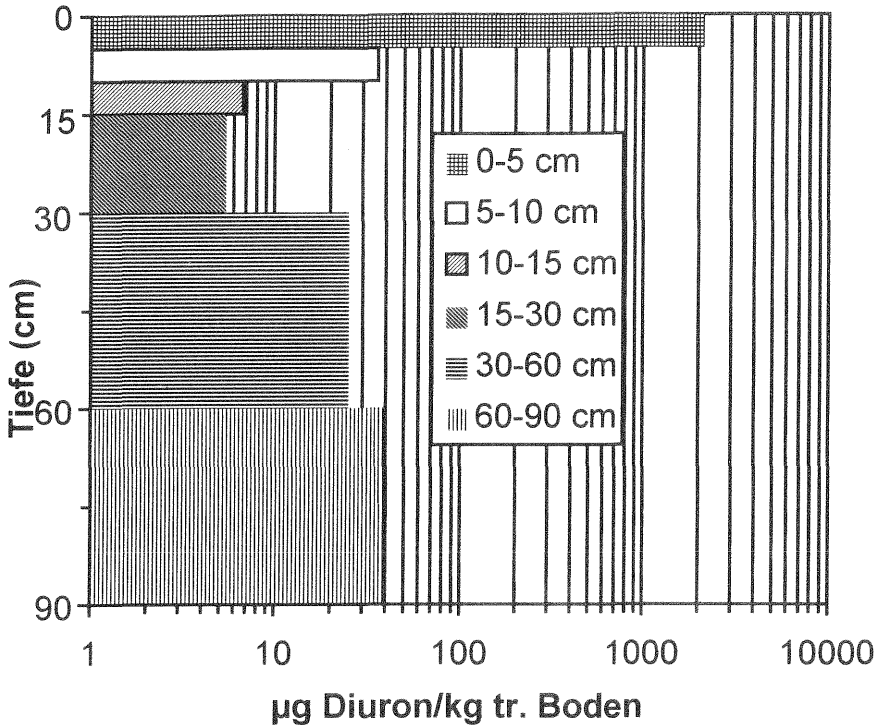


Abb. 4: Tiefenverteilung der Diuron-Rückstände 1 Woche nach der Spritzung von 3 kg KARMEX/ha (24.5.1994; Klein-Altendorf; Parabraunerde aus Löß)

Auch einen Monat nach der Spritzung (13.6.1994) waren noch erhöhte Gehalte im Unterboden festzustellen (nicht dargestellt). Sie waren gegenüber dem vorherigen Termin (24.5.1994) zwar vermindert, die höchsten Anteile des verlagerten Wirkstoffs fanden sich aber immer noch in 60-90 cm Tiefe. Damit haben sich die in der Woche nach der Spritzung (bis zum 24.5.1994) verlagerten Wirkstoffanteile nicht weiterbewegt, obwohl zwischen den Probenahmeterminen 24.5.1994 und 13.6.1994 75 mm Niederschlag gefallen waren. Dies ist zum Teil auf eine zunehmende Festlegung, die sich in ansteigenden Verteilungskoeffizienten äußert, zurückzuführen. Die Verteilungskoeffizienten stiegen in der Tiefe 30-60 cm innerhalb von drei Wochen von 1,9 auf 6 l/kg. Diese Befunde machen deutlich, daß für die Diuron-Verlagerung in tiefere Bodenhorizonte und eventuell bis in den Grundwasserbereich vor allem schnelle Transportvorgänge in Makroporen unmittelbar nach der Applikation verantwortlich sind.

### Zusammenfassung

In einem dreijährigen Feldversuch in einer Apfelanlage auf einer Parabraunerde aus Löß wurde gezeigt, daß auch bei regelmäßiger Anwendung praxisüblicher Aufwandmengen von 2-3 kg/ha keine Akkumulation biologisch wirksamer Rückstände des Herbizids Diuron zu erwarten ist. Nach der Frühjahrsapplikation findet ein schneller Abbau der Rückstände im Sommerhalbjahr statt. Die Beschreibung der Abnahme mit einer Funktion 1. Ordnung ergibt Halbwertszeiten von 14-30 Tagen. Bei Rückstandgehalten von - je nach Aufwandmenge - 1600-2900 mg/kg Boden (Tiefe 0-5 cm)

unmittelbar nach der Spritzung waren ein Jahr nach der jeweiligen Applikation noch Rückstände von 46-64 mg Diuron/kg Boden nachweisbar.

Die verbleibenden Wirkstoffgehalte wurden im Laufe der Zeit zunehmend festgelegt, so daß auch vier Jahre nach der Anwendung noch geringe Rückstandsgehalte festgestellt werden konnten. Dieses Rückstandsplateau konnte durch die Anpassung von zwei gekoppelten Exponentialfunktionen beschrieben werden. Mit im Zeitverlauf abnehmenden Wirkstoffkonzentrationen nahmen die Verteilungskoeffizienten zwischen adsorbierten und gelösten Rückständen und damit die Stärke der adsorptiven Bindung zu. Die insgesamt extrahierbaren Wirkstoffkonzentrationen und die Verteilungskoeffizienten waren eng negativ miteinander korreliert.

In den tiefgründigen Parabraunerden der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf (Bodenart stark lehmiger Schluff) wurden wenige Tage nach der Applikation im Frühjahr größere Wirkstoffanteile (15 % der ausgebrachten Menge) durch schnelle Verlagerung in bevorzugten Fließwegen (Makroporenfluß) in den Unterboden verlagert. Dagegen erfolgte die im anschließenden Winterhalbjahr bei hoher Sickerrate stattfindende Verlagerung der noch nicht abgebauten, stark adsorbierten Diuron-Rückstände fast ausschließlich durch chromatographischen Transport und war quantitativ unbedeutend. Damit kann Diuron bei Frühjahrsanwendung im Obstbau durch Makroporenfluß kurz nach der Applikation in größere Bodentiefen und möglicherweise bis in das Grundwasser transportiert werden, während eine eventuelle Grundwassergefährdung im anschließenden Winterhalbjahr als gering einzustufen ist.

### Danksagung

Die Untersuchungen waren Teil eines Forschungsvorhabens, das vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell unterstützt wurde. Die Autoren danken Dr. G. Engel und seinen Mitarbeitern von der Obstversuchsanlage Klein-Altendorf für die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung der Feldversuche.

### Literatur

- BRÜMMER, G.W., W. PESTEMER, H. DIBBERN und G. WELP (1994):** in DFG (ed.): Ökotoxikologie von Pflanzenschutzmitteln, VCH, Weinheim, 82-110.
- DALTON, R.A., A.W. EVANS und R.C. RHODES (1966):** Disappearance of diuron from cotton field soils. *Weeds* 14, 31-33.
- DENKLER, M. (1994):** Mikrobielle Toxizität, Abbau und Verlagerung ausgewählter Pflanzenschutzmittel in Ackerböden aus Löß: Labor- und Freilanduntersuchungen sowie Modellrechnungen. Dissertation, Bonn, 229 S.
- DOMSCH, K. H. (1992):** Pestizide im Boden - Mikrobieller Abbau und Nebenwirkungen auf Mikroorganismen. VCH, Weinheim, 575 S.
- EHLERS, W. (1975):** Observations on earthworm channels and infiltration in tilled and untilled loess soil. *Soil Science* 119 (3), 242-249.
- ENGEL, G. (1992):** Vergleich integrierter Unkrautbekämpfungsverfahren im Obstbau gegenüber der Verwendung von Herbiziden. *Z. PflKrankh. PflSchutz* SH XIII, 505-511.
- GAILLARDON, P., F. FAUCONNET, P. JAMET, G. SOULAS und R. CALVET (1991):** Study of diuron in soil solution by means of a novel simple technique using glass microfibre filters. *Weed Research* 31, 357-366.

- GOTTESBÜREN, B., W. PESTEMER und S. BEULKE (1994):** Untersuchungen zur Charakterisierung und zu Auswirkungen der zeitlichen Veränderungen der Sorption von Herbiziden im Boden. *Z. PflKrankh. PflSchutz SH XIV*, 661-670.
- HAMAKER, J.W. (1972):** Decomposition: quantitative aspects. In: GORING, C.A.I und J.W. HAMAKER (eds.): *Organic chemicals in the soil environment*, Vol.1 , Dekker, New York, 253-340.
- HASSINK, J., A. KLEIN, W. KÖRDEL und W. KLEIN (1994):** Behaviour of herbicides in non-cultivated soils. *Chemosphere 28*, 2, 285-295.
- HELLING, C.S., P.C. KEARNEY und M. ALEXANDER (1971):** Behaviour of pesticides in soils. *Adv. Agron. 23*, 147-240.
- HILL, G.D., J. W. MCGAHEN, H. M. BAKER, D. W. FINNERTY und C. W. BINGEMAN (1955):** The fate of substituted urea herbicides in agricultural soils. *Agron. J. 47* (1), 93-104.
- IVA (Industrieverband Agrar e.V., Hrsg., 1995):** Forum Gewässerschutz und Pflanzenschutz, Bonn 16.3.1995, Frankfurt.
- KHAN, S.U., P.B. MARRIAGE und W.J. SAIDAK (1976):** Persis



J. Michaelsen<sup>1)</sup> und L. Rexilius<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Christian-Albrechts-Universität, Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie, Kiel,

<sup>2)</sup> Pflanzenschutzamt des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

**Untersuchungen zum Migrationsverhalten von Pflanzenschutzmitteln nach Herbstapplikation auf einer gedrähten Ackerfläche**  
- Ergebnisse aus 1994/95 -

**1. Einleitung**

Pflanzenschutzmittel erreichen auch nach bestimmungsgemäßer und sachgerechter Ausbringung in mehr oder minder nennenswerten Anteilen Objekte außerhalb ihrer Zielfläche bzw. ihres Zielorganismus. Soweit sie direkt oder über die Pflanze auf und in den Boden gelangen, unterliegen sie - wie andere organische Stoffe auch - vielfältigen Verteilungs- und Umwandlungsprozessen.

Die Bedeutung der einzelnen Faktoren wird im wesentlichen durch die spezifischen Eigenschaften des betreffenden Wirkstoffs sowie durch die jeweiligen Boden- und Klimaverhältnisse bestimmt.

Vom Zusammenspiel all dieser Einflüsse, ihrer Effizienz und Nachhaltigkeit hängt schließlich entscheidend ab, ob bzw. inwieweit Bodenorganismen und/oder Kulturpflanzen geschädigt, Grundwasser und Oberflächenwasser kontaminiert und dadurch sowohl der Naturhaushalt als auch letztlich die Gesundheit von Mensch und Tier beeinträchtigt werden.

Die zunächst überraschend hohe Zahl von Pflanzenschutzmittel-Funden in Grund- und Oberflächenwasser auch in Deutschland hat erkennen lassen, daß auch das sehr strenge und international als vorbildlich angesehene deutsche Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel derartige Kontaminationen nicht hat verhindern können.

Dabei muß die Frage, ob bzw. zu welchen Anteilen derartige Kontaminationen eine Folge der Mißachtung der Grundsätze guter fachlicher (pflanzenschutzlicher) Praxis sind, ob es sich um Auswirkungen von Havarien handelt oder ob schließlich gar Fehler bei der Probenahme und Meßtechnik zu Artefakten geführt haben, an dieser Stelle unbeantwortet gelassen werden.

Unabhängig von ihrer Genese, ihrer hygienisch-toxikologischen bzw. umwelttoxikologischen Bedeutung und ihrer möglichen Fehlerhaftigkeit, insbesondere in qualitativer Hinsicht, erfordern diese Befunde zwecks Erreichen eines wirksamen Boden- und Grundwasser/Gewässerschutzes neben einem noch qualifizierteren Umgang mit dem "Betriebsmittel" Pflanzenschutzmittel durch den Anwender u. U. auch die Überprüfung bzw. Re-Evaluierung der z. Z. bestehenden Prüfmethode und Beurteilungskriterien im Rahmen des Zulassungsverfahrens (z. B. der relevanten BBA-Richtlinien).

Dabei geht es u. a. um die Aufklärung der Mechanismen und Einflußfaktoren, die zu einer Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln - auf Grund ihrer vergleichsweise hohen Polarität/Wasserlöslichkeit geht es in erster Linie um herbizide Wirkstoffe - innerhalb der ungesättigten und gesättigten Bodenzone führen.

Das vorhandene Datenmaterial zum Sorptions- und Transportverhalten vieler Wirkstoffe stammt zum überwiegenden Teil aus Laboruntersuchungen, deren Übertragbarkeit auf bestimmte Situationen im Freiland nur in eingeschränktem Maße gegeben ist.

Die Fülle der im Boden ablaufenden Transport-, Umwandlungs- und Abbauvorgänge für organische Chemikalien hat inzwischen zu einer Reihe von Simulationsmodellen geführt, mit deren Hilfe versucht wird, diese Komplexität durchschaubar und - nicht zuletzt im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes - vorhersagbar zu machen. Keines dieser Modelle ist derzeit in der Lage, alle beschriebenen Szenarien nachzuvollziehen. Darüber hinaus stehen noch immer nicht genügend geeignete Felddaten zur Verifizierung der Modelle zur Verfügung.

Mehrere Forschungsprojekte auf nationaler und europäischer Ebene sind daher initiiert worden, mit dem Ziel, diese Lücken zu schließen.

Zur Klärung einiger der o. g. Fragen, insbesondere zur Gewinnung relevanter Felddaten, begann im Herbst 1993 ein von der DFG gefördertes Gemeinschaftsprojekt des Instituts für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie (IfWL) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und dem Pflanzenschutzamt des Landes Schleswig-Holstein, in dem das Verlagerungsverhalten von Pflanzenschutzmitteln nach deren praxisüblicher Ausbringung auf einer gedränten Ackerfläche untersucht werden sollte.

Den Versuchen liegt die Erfahrung zugrunde, daß eine gedränte Ackerfläche als "Groß-Lysimeter" im Feldmaßstab verstanden werden kann, in welchem die Variabilität und Inhomogenitäten aller den Stofftransport beeinflussenden Parameter in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone zum Tragen kommen. Das Austragsverhalten der Fläche, erfaßt über Abflußmengen- und Konzentrationsmessungen, stellt das Ergebnis von Verlagerungsprozessen im Boden dar und kann dementsprechend, vergleichbar mit der Interpretation einer Durchbruchkurve, genutzt werden um Informationen über Transportprozesse im Boden abzuleiten. Das Konzept des Versuches wurde bei der BBA in Braunschweig anläßlich des Rundgespräches 'Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer durch Erosion und Drän' im Herbst 1993 vorgestellt (siehe Mitteilungen der BBA).

Da die rasche Verlagerung von Stoffen im Boden über den Abstand von einigen cm hinaus an dem Wassertransport (konvektiv-dispersiv) gebunden ist, fällt der Erfassung der Hydrologie des betrachteten Standortes eine besondere Bedeutung zu. Quantitative Aussagen lassen sich bereits mit Betrachtungen zum Niederschlag (Input) vs. Dränabfluß und Evapotranspiration (Output) treffen. Aussagen zur Art des Wasser- bzw. Stofftransportes (z. B. präferentielles Fließverhalten) können mit dem Einsatz konservativer Tracer gewonnen werden (makroskopischer Ansatz).

Den unter diesen Versuchsbedingungen erzielten Erkenntnissen zum Verlagerungsverhalten reaktiver Stoffe würde hinsichtlich deren Beurteilung eine besondere Bedeutung zukommen.

Die direkte Kooperation zwischen Anwender, Pflanzenschutzdienst und Universität ermöglichte eine effektive und zielgerichtete Arbeit, die den Bogen von der Grundlagenforschung bis hin zur Praxis spannte.

Über die während der ersten Projektphase 1993/94 erzielten Ergebnisse wurde bereits mehrfach berichtet\*).

Nachfolgend werden die während der 2. Phase (1994/95) erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt und erste aus beiden Untersuchungs-Zyklen abgeleitete Schlußfolgerungen formuliert.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Versuchsstandort

Der Versuchsstandort Altbokhorst liegt in der Gemeinde Schillsdorf (Kreis Plön) und ist dem Naturraum "Östliches Hügelland" zuzuordnen (Abb. 1).

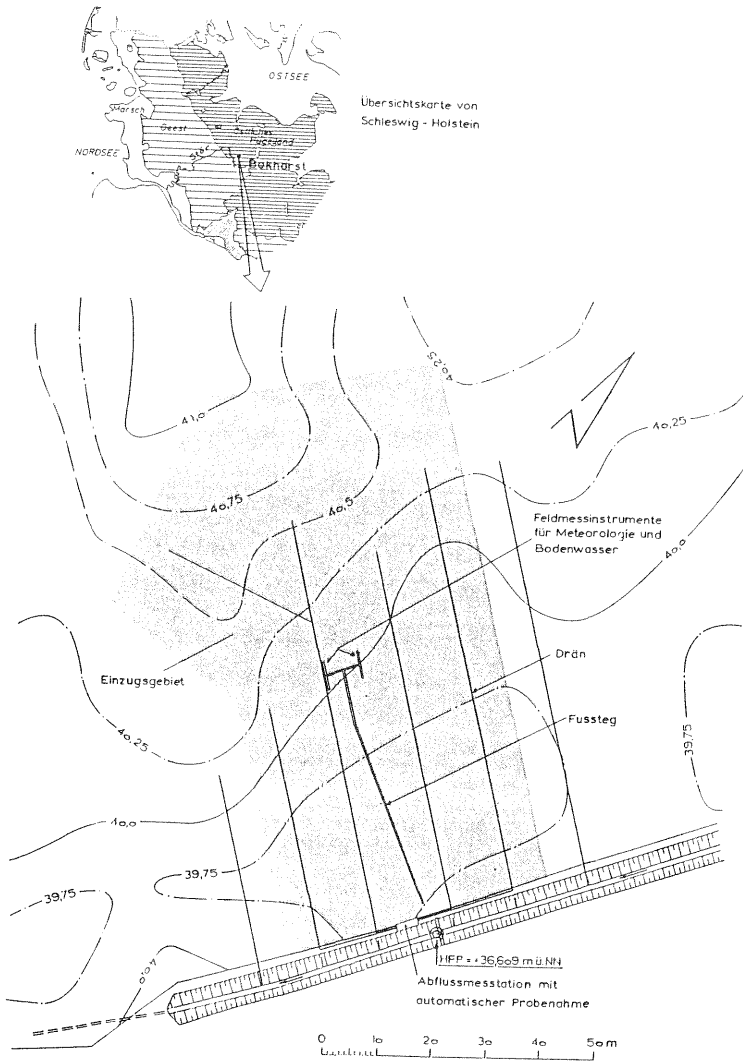


Abb. 1: Lageplan und Karte des Versuchsfeldes Altbokhorst

Die Versuchsfläche "Danenbrook" wird seit 1986 systematisch gedränt; 5-cm-Dränrohre (PVC) befinden sich in einer Tiefe zwischen 101 und 120 cm unter Gelände-Oberkante (uGO). Diese Fläche repräsentiert ein durch intensive hydrologische Untersuchungen eindeutig abgegrenztes Wassereinzugsgebiet, das über die Stör und weiter über die Elbe bzw. Nordsee entwässert. (Abb. 1)

Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt konventionell mit der Fruchtfolge Winterweizen, Winterraps und Zuckerrüben.

## 2.2. Boden

Weichsel-eiszeitlicher Geschiebelehm stellt das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung dar.

Bei den auf der Versuchsfläche angesprochenen Bodentypen handelt es sich um charakteristische Böden des Östlichen Hügellandes: Pseudogley-Parabraunerde, Pseudogley-Pararendzina und Pseudogley-Kolluvium.

## 2.3. Versuchsaufbau

Bereits im Zuge eines zuvor durchgeführten Forschungsvorhabens wurden 1991 vier Dränrohre mittels eines Sammlers verbunden und einer Abflußmeßstation zugeführt. Diese Station ist ausgestattet mit einem Venturi-Gerinne zur kontinuierlichen Dränwasser-Abflußmessung und einer automatischen Probenahme-Einrichtung.

Der Pegelstand im Vorbecken des Venturi-Gerinnes, über den die Abflußmenge mit Hilfe einer Kalibrierfunktion ermittelt wird, wird über einen Drucksensor gemessen. Als zusätzliches Kontrollinstrument dient ein mechanischer Ott-Pegelschreiber.

Der Ansaugstutzen zur zeit- oder ereignisabhängigen Probenahme reicht ebenfalls in das Vorbecken des Meßgerinnes.

Die Gesamteinrichtung der Meß- und Dränwasser-Probenahmestation zeigt Abb. 2.

## 2.4. Versuchsdurchführung (2. Projektphase 1994/95)

Am 7. Nov. 1994 wurden auf der mit Winterraps bestellten Versuchsfläche mittels eines Parzellen-Spritzgerätes 3,5 kg/ha Pradone Kombi mit einer Wasseraufwandmenge von 200 l/ha ausgebracht. Anstelle des für die Ausbringung erforderlichen Wassers wurde eine Kaliumbromidlösung eingesetzt, deren rechnerische Feldaufwandmenge 30,5 kg Bromid/ha betrug.

Der Boden war zum Zeitpunkt der Ausbringung gut befahrbar, auch die übrigen Feldbedingungen (Wind, Niederschlag) gestatteten die Anwendung gemäß den Grundsätzen guter fachlicher Praxis.

In Tab. 1 sind die wichtigsten versuchstechnischen Einzelheiten einschließlich der relevanten Stoffeigenschaften der eingesetzten Wirkstoffe zusammengestellt.

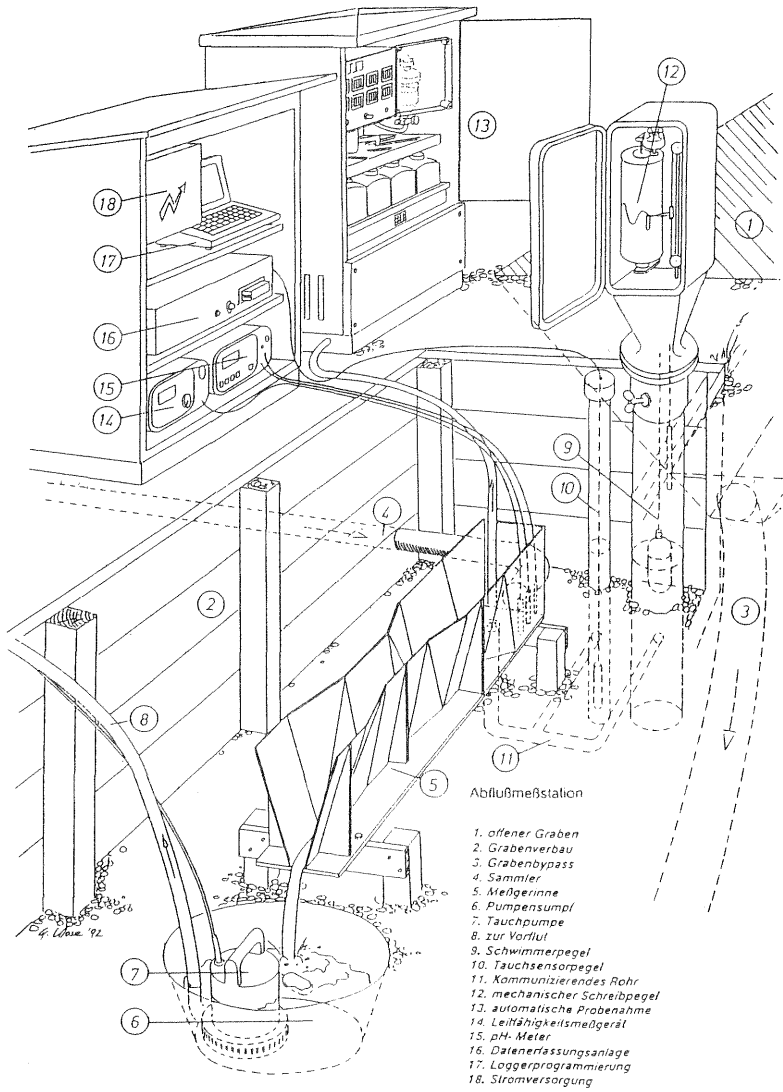


Abb.2: Skizze der Abflußmeßstation mit automatischer Probenahme

Tab. 1: Angaben zum Feldversuch und den eingesetzten Wirkstoffen

Handelsname	Wirkstoff	K <sub>ow</sub> (log)	Wasserlöslichkeit (g/100g H <sub>2</sub> O)	Ausgebrachte Menge Wirkstoff (kg/ha)	Zeitpunkt der Ausbringung	Feldfrucht
PRADONE COMBI	CARBETAMID	0,02	0,35	1,75	8.11.1994	WINTERRAPS
	DIMEFURON	2,5	0,0016	0,88		
KALIUM-BROMID	BROMID			30,5		

## 2.5. Probenahme und Probenlagerung

### 2.5.1. Dränwasser

Mit der auf der Versuchsfläche installierten Probenahme-Einrichtung (s. Abschnitt 2.3.) erfolgten die Dränwasserbeprobungen entweder in Abhängigkeit von Niederschlagsereignissen oder in bestimmten Zeitintervallen.

Eine 2-l-Dränwasser-Feldprobe bestand aus 40 Einzelproben zu je 50 ml. Entsprechend den o. g. Vorgaben wurden innerhalb von drei Tagen (direkt nach der Mittel-Ausbringung) oder 14 Tagen (gegen Ende der Abflußperiode) jeweils 12 Mischproben erhalten.

Anteile von ca. 200 ml je Probe wurden für die Bromidbestimmung abgezweigt, der Rest stand für die Untersuchung auf die Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe zur Verfügung. Diese Feldproben wurden ohne Verzögerung zu den vorgesehenen Untersuchungsstellen transportiert und dort bei einer Umgebungstemperatur (+ 4 bis + 12 °C) im Dunkeln bis zum Analysierzeitpunkt aufbewahrt.

Ohne Zweifel stellt die Gefrierlagerung (- 20 °C) von Proben, die auf Pflanzenschutzmittel-Rückstände untersucht werden sollen, die Methode der Wahl dar, zumal wenn abzusehen ist, daß die innerhalb kurzer Zeitspannen anfallenden Probenmengen nicht sofort aufgearbeitet und vermessen werden können.

Angesichts der großen Probenzahlen der auf Carbetamid und Dimefuron zu untersuchenden Dränwasserproben mußte von dieser Maxime abgewichen werden, und zwar aus folgenden Gründen: Mangelnde Tiefkühlkapazität, Gefahr von Probenverlusten durch Zerschneiden der Glasgefäße beim Einfrier- bzw. Auftauvorgang, Fehlen geeigneter, d. h. tieftemperaturstabiler und sorptionsarmer Lagerbehälter.

Dieses Problem konnte durch begleitende Stabilitätsuntersuchungen von Dränwasserproben, denen definierte Anteile der o. g. Wirkstoffe zugesetzt worden waren, eingegrenzt bzw. relativiert werden (Einzelheiten siehe Abschnitt 2.6.2).

### 2.5.2. Boden

Im Anschluß an den o. g. Behandlungszeitpunkt wurden an zwei Terminen von der Versuchsfläche Bodenproben über die Tiefe (0 bis 100 cm unter Geländeoberfläche) genommen. Hierzu wurde ein aufwendiges Grabeverfahren angewandt, mit dem durch Abtragen der jeweiligen Bodenschichten

Verschleppungen weitgehend vermieden werden konnten. Die Proben wurden nach Fraktionierung (Schichtung) portioniert (0,5 bis 1 l) und in zuvor gekennzeichnete Kunststoffbeutel gefüllt und bis zum Untersuchungszeitpunkt bei - 20 °C aufbewahrt.

## 2.6. Analytik

### 2.6.1. Bromid (Dränwasser, Boden)

Die Erfassung des Bromids in den Dränwasserproben erfolgte nach Filtration und Kationenaustausch mittels Ionenchromatographie.

### 2.6.2. Herbizid-Analytik (Carbetamid, Dimefuron)

Zur Bestimmung der Carbetamid- und Dimefuron-Gehalte in Dränwasser erfolgte nach pH-Einstellung und Filtration eine Flüssig-Flüssig-Verteilung (Extraktion) mit Dichlormethan. Nach Abdestillieren des Extraktionsmittels wurde der Rückstand in einem definierten Volumen eines Wasser/Acetonitril-Gemisches (80/20, v/v) gelöst, und die Wirkstoffe wurden mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) an einer C18-Umkehrphasen-Säule getrennt (Gradienten-Elution) und mit einem UV-Detektor bestimmt. (Meßwellenlängen: Carbetamid 240nm, Dimefuron 220nm)

Die Ergebnisse werden in µg/l Dränwasser angegeben.

Die Erfassung der o. g. Wirkstoffe in den Bodenproben erfolgte, abgesehen von einem kombinierten Homogenisier/Extraktionsschritt und der zusätzlichen Bestimmung des Trockensubstanzgehalts in der gleichen Weise wie die Wasser-Analytik. Die Rückstandswerte werden in mg/kg Trockensubstanz (TS) angegeben.

Die Validierung der Methode erfolgte für beide Wirkstoffe in den beiden Matrices nach Untersuchung definitiv rückstandsfreier Leerproben (Probenblindwerte) durch Ermittlung der Wiederfindungsraten nach Zusatz von bekannten Wirkstoffmengen zu den rückstandsfreien Blindwertmaterialien.

Die Zugabe einer Referenzsubstanz (Interner Standard) zur Analysenprobe zu Beginn der Aufarbeitung (Napropamid bzw. Isoproturon) gestattete die kontinuierliche Kontrolle der Reproduzierbarkeit der angewandten Analysenmethode sowohl in qualitativer (Relative Retentionszeit, RRT) als auch in quantitativer (Ausbeute) Hinsicht.

## 2.7. Färbeversuch (Boden)

Im Frühjahr 1994 und im Winter 1994/95 wurden unmittelbar neben dem behandelten Teil der gedränten Versuchsfläche Färbeversuche mit Brillant Blue durchgeführt. In Vorversuchen hatte sich dieser Farbstoff für diesen Zweck als besonders gut geeignet herausgestellt.

Mittels einer mobilen Beregnungs-Einheit wurde auf 2,2 m<sup>2</sup> großen Flächen eine Lösung mit diesem Pigment unter Verwendung verschiedener Beregnungsintensitäten ausgebracht. Intensität und Dauer der Beregnungen glichen den Regenereignissen nach der Herbizid/Bromid-Applikation im Dezember 1993 und November 1994. (Nach der Anfärbung wurde ein vertikales Profil freigelegt und die Farbmuster sowie ihre Verteilung photographisch und zeichnerisch festgehalten. Anschließend wurde der

Boden in 10-cm-Schritten auf einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> horizontal abgehoben und jeweils in gleicher Weise wie das vertikale Profil bearbeitet. Die gewonnenen Bilder wurden qualitativ und quantitativ mit manuellen und automatischen Bildverarbeitungssystemen ausgewertet. Auf diese Weise konnte ein dreidimensionales Bild der Fließwege erstellt werden Fläche (1m<sup>2</sup>)

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Felddaten

In Abb. 3 sind Niederschlag und Abfluß für die Periode der ersten Regenereignisse nach Applikation dargestellt. Während der gesamten Dränabflußperiode folgte jedem Niederschlag ein Abflußereignis. Ende April 1995 versiegte der Dränabfluß.

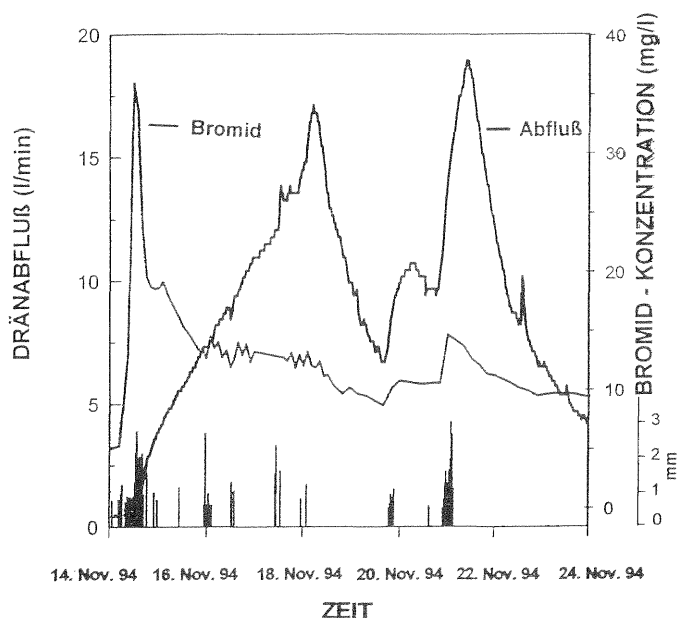


Abb.3: Niederschlag, Dränabfluß sowie Bromidkonzentration im Abfluß während den ersten Regenereignissen nach Applikation

#### 3.2. Stoffaustrag (Pflanzenschutzmittel, Bromid)

Nach der Herbizid- und Bromid-Ausbringung im November 1994 wurde Bromid bereits nach vier Stunden in der ersten Dränwasserprobe wiedergefunden. Dies war erstaunlich, da der Boden abgetrocknet und befahrbar war und erst sieben Tage nach der Ausbringung der erste Regen fiel. Dieser frühe Bromid-Austrag ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß zum Zeitpunkt der Ausbringung am Hangfuß in der verdichteten Fahrspur einige wenige Wasserlachen noch vorhanden waren und eine unmittelbare Verlagerung bis auf die Drän-Tiefe stattfinden konnte.



Während des ersten Niederschlagsereignisses (14. November) nach der Applikation stieg die Bromid-Konzentration im Dränabfluß steil an und fiel nach dem Erreichen des Maximalwertes ebenso steil wieder ab. Der nadelförmige Bromid-Peak erschien noch vor dem ebenfalls raschen Anstieg der Abflußmenge. Dieses Verhalten (früher nadelförmiger Peak) belegt, daß das Fließgeschehen durch präferentiellen Fluß charakterisiert ist.

Der frühe Anstieg der Bromidgehalte (vor dem Abfluß-Peak) deutet darauf hin, daß unter den insgesamt trockeneren Bodenverhältnissen im Herbst 1994 das präferentielle Fließgeschehen ausgeprägter vorhanden war als bei den nassen Bodenverhältnissen im Dezember 1993. 1993 erreichte die Bromidkonzentration zeitgleich mit dem Abfluß ihr erstes Maximum.

Während der Untersuchungsperiode 1994/95 erreichte der Bromidgehalt im Dränwasser einen Höchstwert von 37 mg/l.

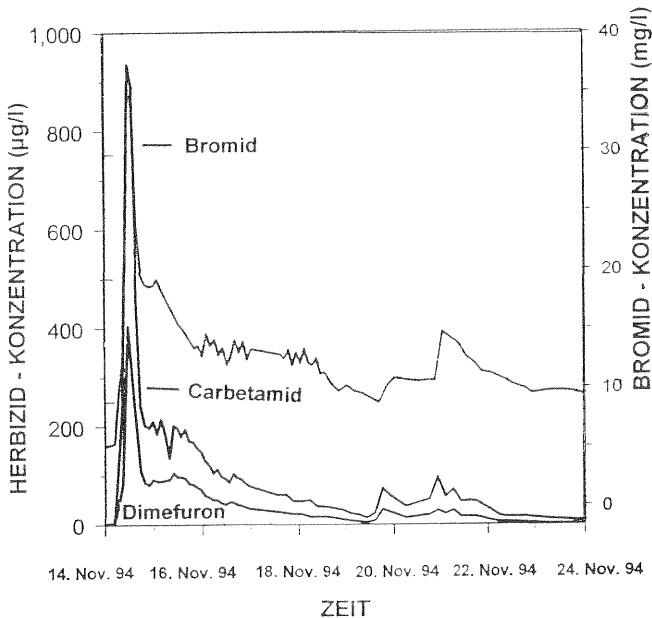


Abb. 4: Konzentrationen von Bromid, Carbetamid und Dimefuron im Dränabfluß während den ersten Regenereignissen nach Applikation

Die herbiziden Wirkstoffe Carbetamid und Dimefuron traten genauso wie Bromid bereits in der ersten nach der Applikation gezogenen Dränwasserprobe auf. Zeitgleich mit dem Verlauf der Bromidgehalte im Abfluß während des ersten Niederschlagsereignisses stiegen die Wirkstoffgehalte an, erreichten ihr Maximum und fielen danach steil ab. Die in den Dränwasserproben ermittelten Carbetamid- und Dimefuron-Gehalte standen in einem ähnlichen Mengenverhältnis zueinander wie ihre ausgebrachten Mengen (Carbetamid : Dimefuron = 1:2).

Diese Beobachtungen zeigen, daß die applizierten Substanzen während des ersten Regenereignisses innerhalb von Stunden bis zur Dränsohle (ca. 1 m uGO) verlagert wurden und dies eindeutig auf präferentielles Fließverhalten zurückgeführt werden konnte.

Während des Abflußereignisses nahmen die Herbizid-Gehalte im Dränwasser relativ zum Bromid ab. Im Gegensatz zum konservativen Tracer wurden die Pflanzenschutzmittel auf Grund der Wechselwirkungen mit der Matrix (Sorption) retardiert. Mit jedem neuen Regenereignis wurde für jeden Stoff ein Konzentrations-Maximum festgestellt, allerdings mit abnehmender Höhe über die Zeit.

Diese kleineren Maxima spiegeln das Wechselspiel zwischen den langsamen und schnellen Fließregionen sowie der Ad/Desorptions-Dynamik wider.

Während des ersten Regenereignisses wurden über präferentielle Fließwege bereits ca. 1 % der beiden Wirkstoffe (bezogen auf die auf der Versuchsfläche applizierten Stoffmengen) bis auf das Drän-Niveau verlagert und ausgetragen.

### 3.3. Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungen der an zwei Terminen (30.11.1994, 14.3. 1995) entnommenen Bodenprofile auf Carbetamid und Dimefuron zeigten hinsichtlich der Tiefenverlagerung und Konzentrationsabnahme ein für Pflanzenschutzmittel typisches Verhalten. Die mit der Zeit über die Tiefe fortschreitende Front der Pflanzenschutzmittel spiegelt den chromatographischen Effekt des Matrixflusses wider. Das Phänomen, daß sich unterhalb der Front die Gehalte beider Wirkstoffe teilweise unterhalb ihrer analytischen Nachweisgrenze bewegten, zu späteren Zeitpunkten bzw. in tiefergelegenen Bodenschichten jedoch wieder detektiert werden konnten, kann auf die Verlagerung in präferentiellen Fließwegen, deren Verteilung zufallsbedingt sind, zurückgeführt werden (Kap. 3.4.).

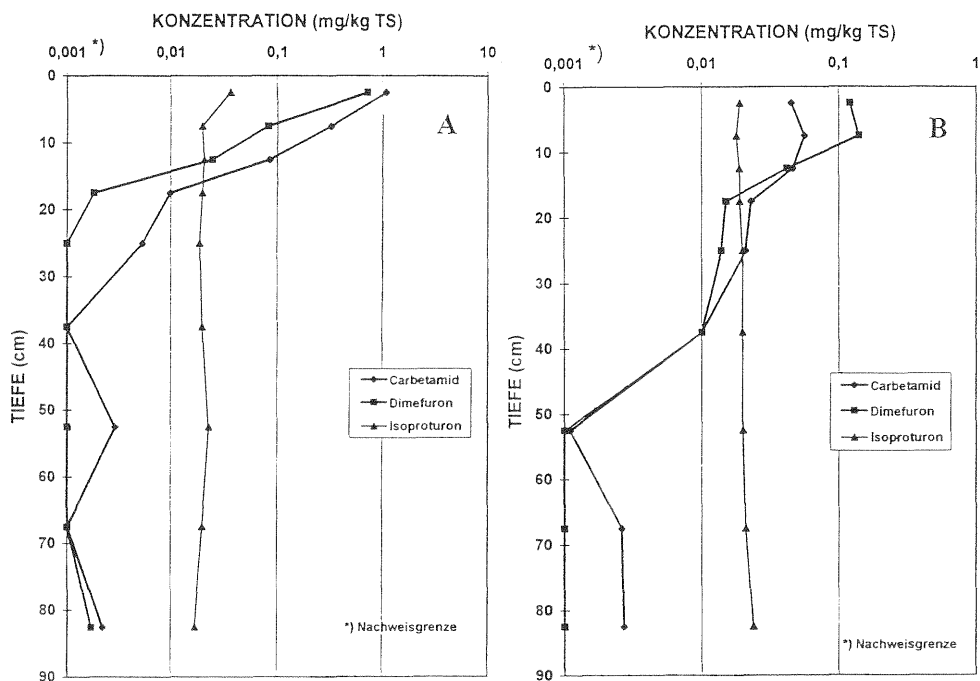


Abb. 5: Tiefenprofile der Wirkstoffkonzentrationen von Carbetamid und Dimefuron im Boden, A - Probennahme 30.11.1994, B - Probennahme 14.3.1995

### 3.4. Färbeversuch

Die Auswertung der Färbeversuche ist noch nicht abgeschlossen. Dennoch können bereits einige exemplarische Beobachtungen zur Pigmentverteilung im Boden vorgestellt werden (Abb.6).

Die Versuche im Mai 1994 wurden auf trockenem Boden, der ein ausgeprägtes Schrumpfrissmuster zeigte, durchgeführt. Nach der Ausbringung der Farbstofflösung wurde eine Profilgrube ausgehoben, von der aus der Boden in 10-cm-Schritten horizontal abgehoben wurde.

Es zeigte sich, daß der Boden nach 40 mm Beregnung (Versuch F2) nur ca. 2 cm tief gleichmäßig durchgefärbt war. Im Ah-Horizont zeichnete die Färbung das Polygonmuster der Schrumpfrisse deutlich nach. Auf der Pflugsohle in ca. 35 cm Tiefe breitete sich der Farbstoff flächig aus. Unterhalb dieses Bearbeitungshorizontes zeigte die Färbung nur noch ein Punktmuster. Die durch diese Farbverteilung markierten Poren sind offensichtlich biogenen Ursprungs (Hohlräume vergangener und lebender Wurzeln, Regenwurmgänge). In 60 cm Tiefe wurden mehrere Tausend Poren pro m<sup>2</sup> gezählt. In gleicher Tiefe fanden sich nach der Farbstoffapplikation im Spätherbst 1994 um drei Zehnerpotenzen weniger Porenwände. Mit zunehmender Tiefe nahm die Anzahl der Farbflecken ab. Trifft eine gefärbte Pore auf einen Stein, so wird dieser oft flächig gefärbt.

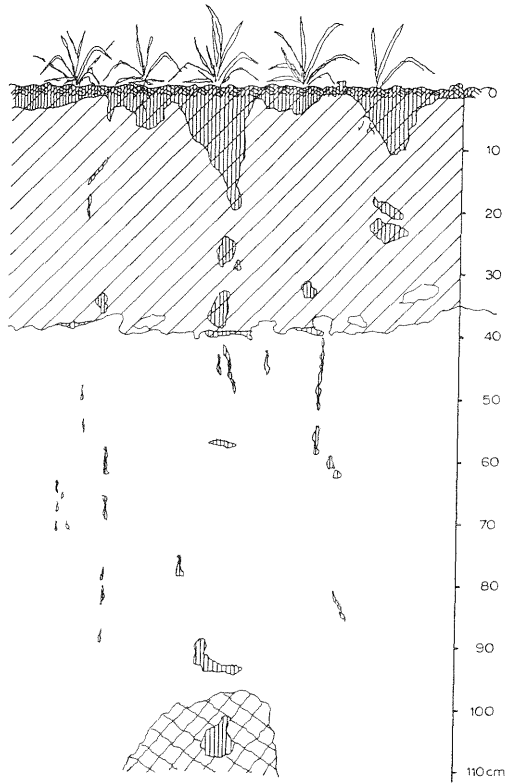


Abb. 6: Zeichnung der Farbmuster auf einer vertikalen Profilwand, freigelegt nach Beregnung einer Farblösung im Mai 1994

Inwieweit von der Farbstoffverteilung auf den Infiltrationsvorgang geschlossen werden kann, ist z. Z. noch umstritten. Die gefundenen Farbstoffspuren belegen das Vorhandensein präferentieller Fließwege im Ober- und Unterboden vor allem in vertikaler Richtung (eindimensional).

Aus diesen Ergebnissen läßt sich die Annahme herleiten, daß diese Poren und präferentiellen Fließpfade auch für den schnellen vertikalen Transport jeder organischen (reaktiven) Verbindung (und damit auch der Pflanzenschutzmittel) verantwortlich sind.

Eine Erklärung für die schnelle Verlagerung in horizontaler Richtung hin zum Drän und für die Bedeutung von texturbedingten Inhomogenitäten als mögliche rasch leitende Bodenbereiche kann an Hand dieser Versuchsergebnisse nicht gegeben werden. Die Beantwortung dieser Fragen ist nur mit Hilfe spezieller z. B. geophysikalischer Untersuchungsmethoden möglich.

#### 4. Schlußfolgerungen

Die rasche Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln in tiefere Bodenschichten erfolgt durch präferentiellen Fluß, welcher als eine Eigenschaft des Bodens anzusehen ist und folglich von den eingebrachten Chemikalien unabhängig ist.

Zu den Faktoren, die die präferentielle Verlagerung beeinflussen gehören u. a. die Bodenstruktur (Porengrößenverteilung, Form und Kontinuität), die Regenintensität und -dauer sowie die Ausgangsfeuchte des Bodens zu Beginn des Regenereignisses.

Die bevorzugte Verlagerung von Chemikalien führt zu lokal begrenzten Bereichen hoher Stoffkonzentrationen ("hot spots") in den verschiedenen Bodenzonen.

Mit Standardmethoden (z. B. Bodenanalyse, Tensiometrie) ist eine adäquate Beschreibung des präferentiellen Fließverhaltens nicht möglich.

Das komplexe dreidimensionale Geschehen ist nur begrenzt in Laborversuchen nachvollziehbar, und Ergebnisse von Säulenversuchen sind nur eingeschränkt auf die Feldsituation übertragbar.

Da präferentielle Fließwege im Boden sich grundsätzlich nicht vermeiden lassen, kann bestenfalls eine Minimierung ihres Einflusses erreicht werden.

Aus den o. g. Erkenntnissen folgt im Sinne eines nachhaltigen Bodenschutzes, daß eine Risikoabschätzung zur Tiefenverlagerung von Stoffen bzw. deren Einträge in Grund- oder Oberflächenwasser allein über Adsorptions- und Abbaubersuche nicht ausreicht, sondern auf der Grundlage einer funktionsorientierten (ökologischen) Bodenklassifizierung geschehen sollte.

\*)1. 49. Deutsche Pflanzenschutztagung, 26.-29.9.1994  
(Mitt. a. d. Biol. Bundesanst. H. 301, 1994, S. 321)

2. Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und  
Ökotoxikologie, 3. und 4. Nov. 1994, Heidelberg

H.-P. Malkomes

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Braunschweig

## **Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen - einige Erfahrungen aus langjähriger ökotoxikologischer Forschung**

### **Einleitung**

Seit über 100 Jahren werden Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung zahlreicher Pflanzenkrankheiten und -schädlinge sowie Unkräuter eingesetzt. In Deutschland waren 1995 etwa 980 Präparate (verteilt auf ca. 250 Wirkstoffe) zugelassen. Weltweit liegt die Anzahl verfügbarer Wirkstoffe weitaus höher. Anzahl und Spektrum der Pflanzenschutzmittel unterliegen allerdings starken zeitlichen Änderungen. Bedingt durch ein sensibleres Umweltbewußtsein wurde in den letzten Jahren die Frage nach Wirkungen auf Nichtziel-Organismen, z. B. Bodenmikroorganismen, besonders oft gestellt. Trotz der großen technischen Möglichkeiten gibt es derzeit noch kein umfassendes Informationssystem, das möglichst alle bekannten Ökotoxikologischen Daten zur Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen bereitstellt. In Buchform (Domsch, 1992) existiert allerdings inzwischen eine Datensammlung, die einen Teil der verfügbaren Literatur kritisch sichtet.

Nachfolgend wird versucht, aus den Untersuchungen der letzten Jahre - darunter auch zahlreiche Arbeiten aus dem Institut für Unkrautforschung der BBA (Malkomes, 1994) - einige weitgehend allgemeingültige Erfahrungen abzuleiten.

### **Geschichtlicher Hintergrund**

Es ist wenig bekannt, daß Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtziel-Bodenmikroorganismen bereits seit etwa 100 Jahren untersucht werden. Die Tabelle 1 zeigt am Beispiel des ersten, früher vor allem im Weinbau eingesetzten Bodenentseuchungsmittels Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>), daß bereits in den Anfängen ökotoxikologischer Untersuchungen von Pflanzenschutzmitteln einige mikrobielle Populationen und Aktivitäten (z. B. Bakterien, Knöllchenbakterien, Ammonifikation, Nitrifikation, Denitrifikation und Atmung) erfaßt wurden, die noch heute zum Untersuchungsspektrum gehören. Dies gilt auch für die erstmals in den darauffolgenden Jahren untersuchten Mittel CuSO<sub>4</sub> (ab 1902), Calciumcyanamid (ab 1906), Natriumarsenat (ab 1913), Schwefel (ab 1914), Chlorpikrin (ab 1924), Natriumarsenit (ab 1924), Natriumchlorat (ab 1927) und organische Quecksilberbeizmittel (ab 1931), von denen einige heute allerdings nicht mehr eingesetzt werden, weil ihre Anwendung in Deutschland verboten ist.

Infolge der hohen Aufwandmengen und der breiten bioziden Wirkung wurden bei diesen Präparaten zahlreiche deutliche Effekte auf Bodenmikroorganismen beobachtet. Diese wurden jedoch mangels bodenbiologischer und "kotoxikologischer Erfahrungen oft nicht in der kritischen Weise interpretiert, wie dies heute geschehen würde. So wurden stimulierende Effekte auf Bodenmikroorganismen verbreitet entweder als grundsätzlich 'positiv' gewertet oder die Wirkung wurde leichtfertig dem Abbau der Wirkstoffe zugeordnet. Die nach dem Einsatz stark biozider Bodenentseuchungsmittel oft beobachteten Stimulationen der Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisierung führten schließlich zu der Erkenntnis, daß dieser Effekt auf einer vorausgegangenen Abtötung der mikrobiellen Biomasse beruht und nicht grundsätzlich nützlich ist. Von vielen Anwendern wurde dieses zusätzlich verfügbare Nähr-

stoffangebot allerdings lange Zeit als willkommener Düngeneffekt eingestuft. Jenkinson & Powlson (1976) nutzten diese Wirkung schließlich, um aus einem standardisierten Abtötungseffekt auf die mikrobielle Biomasse im Boden zu schließen und legten damit die Basis für heutige Bestimmungsmethoden.

Tab. 1: Erste ökotoxikologische Untersuchungen von Pflanzenschutzmittelwirkungen auf Nichtziel-Bodenmikroorganismen: Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>).

Jahr	mikrobielle Parameter	Autor
1894	Bakterien, Knöllchenbakterien Nitrifikation Perraud	Koch Chandon de Briailles,
1895 1903	Nitrifikation Bakterien, Nitrifikation Bacillus subtilis, Aspergillus niger	Pagnoul Hiltner & St'rmer Kurzweilly
1907	Bakterien Mikroorganismen, Nitrifikation O <sub>2</sub> -Verbrauch	Maassen & Behn Heinze Darbishire & Russell
1908	Bakterien, Ammonifikation Nitrifikation Nitrifikation, Denitrifikation	Stärmer Coleman Lipman
1910	Nitrifikation CO <sub>2</sub> -Bildung	Scherpe Hesselink van Suchtelen

Entsprechend der anfangs nur in geringer Anzahl vorhandenen Pflanzenschutzmittel war auch die Zahl ökotoxikologischer Untersuchungen lange Jahre sehr klein. Wie Malkomes (1985) zeigte, stieg die Anzahl relevanter Veröffentlichungen etwa ab 1945 mit der Einführung neuer organischer Wirkstoffe stark an. Bereits in den ersten 10 Jahren (1941-1950) nach Einführung des Wuchsstoffherbizids 2,4-D lagen etwa 35 Veröffentlichungen über die Wirkung auf Bodenmikroorganismen vor; von dem etwas später eingesetzten Insektizid DDT waren es in den ersten 5 Jahren (1946-1950) ungefähr 10 Arbeiten. Etwa seit 1970 hat sich die Publikationstätigkeit auf einem zahlenmäßig hohen Niveau stabilisiert; weltweit erscheinen jährlich über 200 neue Veröffentlichungen. Leider konnte dieser große Forschungsaufwand bisher dennoch nicht gewährleisten, daß über alle eingesetzten Pflanzenschutzmittel ausreichende Ökotoxikologische Informationen verfügbar sind. Als sehr gut untersucht können die meisten Wirkstoffe der Phenoxyessigsäure-, Harnstoff- und Triazin-Herbizide sowie einige Dinitrophenole gelten. Domsch (1992) bemängelt andererseits in seiner umfangreichen Übersichtsarbeit noch erhebliche Informationsdefizite bei einer Reihe von Pflanzenschutzmitteln aus allen Gruppen. Teilweise war keine einzige relevante Veröffentlichung nachweisbar, sondern es existierten bestenfalls zulassungsinterne und damit nicht frei zugängliche Daten.

### Nichtziel-Effekte von Pflanzenschutzmitteln

#### 1) Typische Wirkungsmuster

Wenn Pflanzenschutzmittel auf den Pflanzenbestand oder den Boden appliziert werden, gelangen sie unter Freilandbedingungen zunächst auf die Oberfläche des Bodens, bevor sie in verschiedene Tiefen eindringen und dort schließlich in abgestuften Konzentrationen vorliegen. Typische Wirkungsmuster deutlich biozider Pflanzenschutzmittel, wie sie in Laborversuchen durch Simulation der in den oberen Bodenschichten herrschenden Wirkstoffkonzentrationen erreicht werden, weisen zwei Besonderheiten

ten auf (Tab. 2): Biomasse-bezogene mikrobielle Aktivitäten, wie z. B. die Glucose-induzierte Kurzzeitatmung (SIR) und die Dehydrogenaseaktivität, werden lange Zeit dosisabhängig reduziert, während Mineralisierungsleistungen (Kohlenstoff, Stickstoff) durch die Verwertung abgetöteter Biomasse - wenigstens zeitweise - erhöht werden. Diese Stimulationen können auch bei den an der Umsetzung beteiligten Mikroorganismen (z. B. den aeroben Bakterien) beobachtet werden. Einige andere Umsatzleistungen, wie z. B. die Nitrifikation, reagieren zeitweise wie die Biomasse-bezogenen Parameter. Prozesse, die wie der Zelluloseabbau zusätzlich durch die N-Verfügbarkeit beeinflusst werden, weisen indessen ein stark zeitabhängiges, variables Verhalten auf. Hier können dosisabhängige Hemmeffekte durch den stimulierenden Einfluß des aus der abgetöteten Biomasse freigesetzten Nmin-Gehaltes überdeckt werden (Malkomes, 1991a).

Tab. 2: Ökotoxikologisch-mikrobiologisches Wirkungsprofil eines Herbizids (Wirkstoff Dinoterb) bei Anwendung unter Laborbedingungen. (Modifiziert nach Daten von Malkomes, 1992a, 1993)

Mikrobielle Parameter	Wirkung (% der Kontrolle)			
	1 x 1 W	8 W	10 x 1 W	8 W
<b>Populationen</b>				
aerobe Bakterien	274	100	318	320
aerobe sporenbildende Bakterien	100	234	90	232
sporulierende Pilze	78	79	57	17
<b>Aktivitäten</b>				
Glucose-induzierte Atmung (SIR)	90	67	69	40
Dehydrogenaseaktivität	73	45	31	11
C-Mineralisierung (CO <sub>2</sub> )	105	84	169	116
Netto-N-Mineralisierung	397	112	505	137
Nitrifikation (NO <sub>3</sub> -)	72	100	19	51
Cellulolyse	109	87	77	187

W = Wochen; 1 x = einfache Konzentration im Boden; 10 x = 10fache Konzentration im Boden

Die Konzentrationsabhängigkeit der Wirkungen ließ sich auch im Gefäßversuch nach Applikation auf die Bodenoberfläche durch die getrennte Erfassung verschieden stark mit Pflanzenschutzmitteln belasteter Bodenschichten nachweisen (Frank & Malkomes, 1990). Dies bedeutet andererseits, daß Proben aus einer dicken - und damit normalerweise geringer kontaminierten - Bodenschicht infolge des sich daraus zwangsläufig ergebenden Misch- und Verdünnungseffekts meistens keinen empfindlichen Nachweis ermöglichen. Pflanzenschutzmittel oder Formulierungsstoffe, die weniger biozid sind, aber einen hohen Eintrag an abbaubarer organischer Substanz in den Boden bringen (z. B. Rapsöl als Insektizid), verursachen üblicherweise ein anderes Wirkungsmuster (Malkomes, unveröffentlicht). Hier werden sowohl Biomasse-bezogene Parameter als auch Umsatzleistungen erhöht. Durch eine starke Verschiebung des C:N-Verhältnisses zugunsten des Kohlenstoffs kann es hier allerdings zu einer N-Festlegung kommen, die diesen Effekt bei der N-Umsetzung maskiert.



## 2) Erhaltungsenergie und Mineralisierungsverhältnisse

Bodenmikroorganismen verwenden normalerweise nur einen kleinen Teil des verfügbaren Kohlenstoffs und der Energie zur Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels und einen wesentlich größeren zum Wachstum. Zunehmender Streß führt dagegen zu einem starken Anstieg der benötigten Erhaltungsenergie (Killham, 1994). Dieser Effekt kann auch nach dem Einsatz stark biozider Pflanzenschutzmittel anhand des 'Produktionskoeffizienten', nämlich der Atmung pro Biomasse, abgelesen werden (Tab. 3). Die Aufdeckung dieser Zusammenhänge setzte allerdings Untersuchungstechniken voraus, die erst in den letzten Jahren verfügbar waren. Starke biozide Wirkungen äußern sich außerdem oft in einer Verringerung des Verhältnisses von mineralisiertem Kohlenstoff zum Stickstoff, d. h. der N-Anteil nimmt zu (Tab. 4).

Tab. 3: Einfluß von Herbiziden und Chloroform auf den mikrobiellen Produktionskoeffizienten (Atmung pro Biomasse) im Boden 6 Tage nach Strohzufuhr. (Modifiziert nach Daten von Joergensen et al., 1991)

Behandlung	mikrobieller Produktionskoeffizient ( $^{14}\text{CO}_2\text{-C}/^{14}\text{C}_{\text{mic}}$ )
Kontrolle	1,4
Simazin (4 ppm)	1,7
Herbogil (7 ppm)	1,8
Herbogil (70 ppm)	2,1
Chloroform	2,8

Herbogil (Wirkstoff Dinoterb)

Tab. 4: Einfluß von 2 Herbiziden auf den Quotienten aus mineralisiertem Kohlenstoff und Stickstoff in einem lehmigen Sandboden mit und ohne Zugabe von Luzernemehl. (Modifiziert nach Daten von Malkomes, 1992a)

Herbizid	Luzernemehl	Quotient aus mineralisiertem C und N		
		1 W	4 W	8 W
Kontrolle	-	8,2	11,6	16,7
Kerb(10 x)	-	14,0	10,0	14,8
FH(1 x)	-	14,7	12,3	12,6
FH (10 x)	-	11,7	6,9	8,6
Kontrolle	+	75,6	71,1	30,2
Kerb(10 x)	+	37,1	45,2	31,1
FH(1 x)	+	22,1	37,7	26,1
FH (10 x)	+	20,8	21,5	17,5

W = Wochen; FH = Flüssig Herbogil (Wirkstoff Dinoterb); Kerb (Wirkstoff Propyzamid); 1 x = einfache Konzentration im Boden; 10 x = 10fache Konzentration im Boden

### 3) Testfaktoren

Im Laufe der vergangenen 100 Jahre wurde eine große Anzahl verschiedener mikrobiologischer Populationen und Aktivitäten gemessen, um ökotoxikologische Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln im Boden zu erfassen (Anderson, 1978; Domsch, 1992). Der Umfang einzelner Versuche wird jedoch nach oben durch die Handhabbarkeit und nach unten durch die Mindestanforderungen an Information begrenzt. Selten sind deshalb mehr als 10 Faktoren gleichzeitig untersucht worden. Aus umfangreichen Literaturstudien leitete Domsch (1991) ab, daß mindestens 5 Parameter notwendig sind, um eine ausreichende Information sicherzustellen. Andererseits beobachtete er nur noch eine minimale Erkenntniszunahme, wenn 15 Parameter überschritten wurden. Nicht alle Testparameter sind allerdings in ihrem Informationsgehalt als gleichwertig anzusehen, so daß bei einem kleinen Testumfang eine sorgfältige Auswahl getroffen werden muß. Enzymuntersuchungen (außer dem Komplex Dehydrogenaseaktivität) erwiesen sich wegen verschiedener Störfaktoren - so können z. B. Exoenzyme außerhalb der Mikrobenzelle fortbestehen und an Bodenpartikeln sorbiert werden - oft als wenig sensible Indikatoren.

Nach unseren Erfahrungen sollten sowohl empfindliche Biomasse-bezogene Parameter als auch die C- und N-Mineralisierung erfaßt werden. Legt man diese Maßstäbe an existierende Testvorschriften an, so lassen sich mit der derzeitigen BBA-Richtlinie (Anderson et al., 1990), der EPPO-Guideline (Anonym, 1994) oder dem SETAC-Vorschlag (Lynch, 1995) selbst unter optimalen Bedingungen bestenfalls nur ausreichende Informationen gewinnen. Auch dies wäre dann nicht mehr möglich, wenn z. B. der bisherige Testumfang (2 Böden, 2 Konzentrationen des Mittels im Boden, 1 Vergleichsmittel als Bezugsbasis, 2 Testparameter, Meßzeit mindestens 28 Tage) der derzeit im Vergleich mit den anderen noch am besten geeigneten BBA-Richtlinie reduziert würde.

### 4) Reinkulturen

Tests, in denen die Wirkung der Pflanzenschutzmittel im Boden untersucht wird, unterliegen zahlreichen Störeffekten (z. B. durch Sorption, Abbau und inhomogene Verteilung der Mittel sowie durch variable Umweltbedingungen). Werden dagegen Reinkulturen von aus dem Boden isolierten Mikroorganismen Pflanzenschutzmitteln ausgesetzt, so lassen sich einige Störeffekte reduzieren. Andererseits entsprechen die hierbei beobachteten Wirkungen meistens nicht den aus den Tests mit Boden gewonnenen Ergebnissen. Da die meisten Nährmedien Pflanzenschutzmittel kaum sorbieren, würde man in Reinkulturen infolge der höheren Verfügbarkeit stärkere Wirkungen erwarten. Vergleichende Versuche zeigten jedoch, daß im Boden sogar mikrobiologische Summenparameter oft stärker durch Pflanzenschutzmittel beeinträchtigt werden als Reinkulturen von aus dem Boden isolierten Pilzen (Malkomes, 1992b). Vermutlich liegt das daran, daß Mikroorganismen im Boden bereits einem hohen natürlichen Streß ausgesetzt sind und somit empfindlicher auf zusätzliche chemische Einflüsse reagieren.

### 5) Wirkungsdauer und Wiedererholung

Deutliche biozide Effekte bestimmter Pflanzenschutzmittel auf Bodenmikroorganismen können unter Laborbedingungen fast unvermindert bis über ein Jahr anhalten (Malkomes & Wöhler, 1983). Zwar kann durch die Zufuhr organischer Substanz (z. B. Luzernemehl) die mikrobielle Aktivität generell angehoben werden, doch bleibt zumindest das Wirkungsmuster starker Pflanzenschutzmitteleinflüsse weitgehend erhalten (Malkomes, 1984). Wie Versuche mit einem wenig persistenten Bodenentseuchungsmittel (Malkomes, 1995) sowie der Vergleich von Herbizidwirkungen mit dem noch im Bo-

den vorhandenen Rückständen (Malkomes & Pestemer, 1984) zeigen, wird das Ausmaß der Effekte vor allem in den ersten Wochen nach der Anwendung festgelegt. Dabei kann auch eine in Teilmengen vorgenommene Applikation zu ähnlichen Wirkungen führen wie eine einmalige Gesamtausbringung (Malkomes, 1988). Die später noch vorhandenen Pflanzenschutzmittelrückstände scheinen dagegen meistens nur noch geringfügig modifizierend zu wirken.

In den ersten Wochen nach der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln lassen sich die Effekte auf Bodenmikroorganismen normalerweise einwandfrei anhand der relativen Wirkung (d. h. in Prozent der Kontrolle) bestimmen. Wiederholungseffekte sind dagegen daraus nur bedingt abzuleiten, da sich die Aktivität eines behandelten Bodens oft nicht absolut erholt, sondern umgekehrt die Werte der unbehandelten Kontrollen mit der Zeit absinken (Malkomes, 1991b).

## 6) Ökologische Einflüsse

Bodenmikroorganismen unterliegen zahlreichen ökologischen Einflüssen. Diese wirken sich auch auf ihre Reaktion gegenüber Pflanzenschutzmitteln aus, wie z. B. anhand der Temperatur und der Bodenfeuchte beobachtet wurde (Beulke & Malkomes, 1993). Dies bedeutet, daß nicht nur die Bandbreite mikrobieller Reaktionen auf Pflanzenschutzmittel größer werden kann, sondern auch das Ausmaß der Effekte unter erhöhtem Streß. Ein Vergleich der Wirkungen verschiedener Pflanzenschutzmittel sollte daher zunächst unter weitgehend standardisierten Testbedingungen erfolgen, bevor weitere Varianten einbezogen werden.

### Erfahrungen mit der 'BBA-Richtlinie', Teil VI, 1-1

Seit etwa 20 Jahren wird im westeuropäischen Bereich unter Experten diskutiert, welche Tests im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel enthalten sein sollen. Die auf mehreren internationalen Symposien, zuletzt 1989 in Basel (Gerber et al., 1991), gegebenen Empfehlungen sind weitgehend in die derzeitige BBA-Richtlinie (Anderson et al., 1990) eingeflossen, während die später erstellte EP-PO-Guideline (Anonym, 1994) sowie der SETAC-Vorschlag (Lynch, 1995) den Testumfang bereits auf Kosten der Empfindlichkeit und Aussagefähigkeit einschränken. In zahlreichen von uns in Anlehnung an die BBA-Richtlinie durchgeführten Tests mit Herbiziden (Maas & Malkomes, 1993) und anderen Pflanzenschutzmitteln (Tab. 5) erwies sich die Dehydrogenaseaktivität im Vergleich zur N-Umsetzung als empfindlicher. Während etwa die Hälfte der untersuchten Präparate mit der einfachen, in 5 cm Bodentiefe zu erwartenden Konzentration keine merkliche Wirkung verursachte, wirkten fast 10 % der Mittel bis 90 Tage. Mit der in einer dünneren, oberflächennahen Bodenschicht vorkommenden 5fachen Konzentration waren indessen bei etwa 20 % der Mittel nach 90 Tagen noch Hemmungen zu erkennen. Ein ähnliches Bild ließ sich auch aus den Untersuchungen von Anderson (1992) ableiten.

Tab. 5: Vergleich der in Anlehnung an die deutsche Richtlinie (Anderson et al., 1990) getesteten Wirkung verschiedener Pflanzenschutzmittelgruppen auf die Dehydrogenaseaktivität (DHA) und die N-Umsetzung (N). (Angaben nach Maas & Malkomes, 1993 und Malkomes, 1996)

Wirkung (% der Kontrolle) und Dauer der Effekte bei verschiedenen Dosierungen	Anzahl Präparate mit Effekten (% der Gesamtanzahl)					
	Fungizide		Herbizide		Insektizide*)	
	DHA	N	DHA	N	DHA	N
<ñ15 % (1 x/5 x)	45	81	45	74	62	86
>ñ15 % (1 x/5 x; bis 60 d)	32	13	24	15	24	9
>ñ15 % (5 x; bis 90 d)	23	6	22	11	5	5
>ñ15 % (1 x; bis 90 d)	0	0	9	0	9	0

\*) einschließlich Nematizide; d = Tage; 1 x = einfache Konzentration im Boden; 5 x = 5fache Konzentration im Boden

### Ausblick

Die derzeit zur Untersuchung ökotoxikologischer Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen eingesetzten Methoden weisen meistens ein hohes Niveau auf. Sollen sie jedoch innerhalb eines Zulassungsverfahrens eingesetzt werden, muß zukünftig noch mehr auf eine gute Standardisierung, vor allem aber auf ausreichende Empfindlichkeit und Aussagefähigkeit der sich möglichst ergänzenden, wenigen Testfaktoren geachtet werden. Zur Zeit besteht für diesen speziellen Bereich jedoch kein unmittelbarer Bedarf an neuen Testmethoden. In stärker wissenschaftlich ausgerichteten ökotoxikologischen Untersuchungen existieren jedoch noch merkliche Lücken in Bereichen, wo vorwiegend Summenparameter von Aktivitäten und Populationen erfaßt werden und sich deshalb Interpretationsschwierigkeiten ergeben. Diese könnten durch moderne biochemische Methoden zukünftig geschlossen werden.

Die Interpretation und Bewertung ökotoxikologisch-mikrobiologischer Ergebnisse hat zwar durch die grundlegende Arbeit von Domsch et al. (1983) - zumindest im Vergleich zur Situation bei der Bodenfauna - einen hohen Stand erreicht, doch sind Ergänzungen notwendig. Zukünftig sollten die Ergebnisse älterer Veröffentlichungen unter Berücksichtigung neuerer ökotoxikologischer Erfahrungen noch einmal überprüft und neu interpretiert werden. Grundlegende Erkenntnisse sind auch heute noch besonders dort zu erwarten, wo - wie bei vielen älteren Pflanzenschutzmitteln - bereits umfangreiches zusätzliches Datenmaterial bekannt ist. Generell bestehen noch erhebliche Kenntnislücken über die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenbiozönose, speziell die Beziehung zwischen Mikroflora und Bodenfauna.

Daten über ökotoxikologisch bedenkliche Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln sollten - zumindest in sehr schwerwiegenden Fällen - zu einem Anwendungsverbot der betroffenen Präparate führen. Bei zahlreichen weniger kritischen Beispielen würde eine möglichst genaue Kenntnis der Wirkung auf die Umwelt aber den Einsatz der Präparate unter bestimmten Bedingungen erlauben, wenn der Anwender verantwortungsbewußt handelt.

## Zusammenfassung

Inzwischen liegen etwa 100jährige Erfahrungen zur ökotoxikologischen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtziel-Bodenmikroorganismen vor. Bisher sind einige tausend Veröffentlichungen erschienen und jährlich kommen über 200 neue hinzu. Charakteristische, stark biozide Wirkungen verursachen eine Reduzierung der mikrobiellen Biomasse, was wiederum häufig zu erhöhten Mineralisierungsraten beim Kohlenstoff und Stickstoff führt. Falls mit den Präparaten leicht abbaubare Substanzen in den Boden gebracht werden oder es zu einer sekundären Freisetzung von Nährstoffen kommt, können die Effekte auf zahlreiche mikrobielle Faktoren maskiert sein. Seit etwa 8 Jahren werden Pflanzenschutzmittel innerhalb des Zulassungsverfahrens in Deutschland hinsichtlich ihrer Wirkung auf Bodenmikroorganismen geprüft. Nur ein kleiner Teil der getesteten Präparate beeinflusste die beiden Testparameter Dehydrogenaseaktivität und N-Umsetzung stärker, wobei die Biomasse-bezogene Enzymaktivität normalerweise empfindlicher reagierte.

## Literatur

- Anderson, J.P.E., 1992: Side-effects of pesticides on carbon and nitrogen transformations in soil. - Proc. Intern. Symp. Environ. Aspects Pesticide Microbiology, Sigtuna, 61-67.
- Anderson, J.P.E., Castle, D., Ehle, H., Eichler, D., Laermann, H.-T., Maas, G., Malkomes, H.-P., 1990: Richtlinien für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, Teil VI, 1-1 (2. Aufl.); Braunschweig: Biolog. Bundesanst. Land-Forstwirtsch., 24 S.
- Anderson, J.R., 1978: Pesticide effects on non-target soil microorganisms. - In: Hill, I.R., Wright, S.J.L., eds.: Pesticide microbiology; London, New York: Academic Press, 313-533.
- Anonym, 1994: Decision-making scheme for the environmental risk assessment of plant protection products, chapter 7: Soil microflora. - EPPO Bull. 24, 1-8.
- Beulke, S., Malkomes, H.-P., 1993: Ecological effects on microbial activity in soil treated with herbicides. - 8th EWRS Symp. 'Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application', Braunschweig, 415-422.
- Chandon de Briailles, R., 1894: De l'influence du sulfure de carbone sur la nitrification. - Revue Viticult. 4, 320 (zit.: Kochs Jahresber. 6, 1895, 280).
- Coleman, L.C., 1908: Untersuchungen über Nitrifikation. - Centralbl. Bakter., 2. Abt. 20, 484-501.
- Darbishire, F.V., Russell, E.J., 1907: Oxidation in soils, and its relation to productiveness. Part II. The influence of partial sterilisation. - J. Agric. Sci. 2, 305-326.
- Domsch, K.H., 1991: Status and perspectives of side-effect testing. - Toxicol. Environ. Chem. 30, 147-152.
- Domsch, K.H., 1992: Pestizide im Boden: mikrobieller Abbau und Nebenwirkungen auf Mikroorganismen. - Weinheim: VCH, 575 S.
- Domsch, K.H., Jagnow, G., Anderson, T.-H., 1983: An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. - Residue Rev. 86, 65-105.
- Frank, T., Malkomes, H.-P., 1990: Einfluß von zwei Herbiziden auf mikrobielle Aktivitäten im Boden (Gefäßversuch). - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. XII, 389-398.
- Gerber, H.R., Anderson, J.P.E., Bügel-Mogensen, B., Castle, D., Domsch, K.H., Malkomes, H.-P., Somerville, L., Arnold, D.J., van de Werf, H., Verbeken, R., Vonk, J.W., 1991: 1989 revision of recommended laboratory tests for assessing side-effects of pesticides on the soil microflora from the 4th International Workshop in Basle, Switzerland, 18-21 September 1989. - Toxicol. Environ. Chem. 30, 249-261.
- Heinze, B., 1907: Einige weitere Mitteilungen über den Schwefelkohlenstoff und die CS<sub>2</sub>-Behandlung des Bodens. - Centralbl. Bakter., 2. Abt. 18, 56-74, 246-264, 462-470, 624-634, 790-798.

- Hesselink van Suchtelen, F.H., 1910: Über die Messung der Lebenstätigkeit der aerobiotischen Bakterien im Boden durch die Kohlensäureproduktion. - *Centralbl. Bakter.*, 2. Abt. 28, 45-89.
- Hiltner, L., St'rmer, K., 1903: Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens, mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache. - *Arb. Biol. Abt. Land- Forstwirtsch. Kaiserl. Gesundheitsamt* 3, (5), 445-545.
- Jenkinson, D.S., Powlson, D.S., 1976: The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. - *Soil Biol. Biochem.* 8, 209-213.
- Joergensen, R.G., Harden, T., Meyer, B., Wolters, V., 1991: Einfluß von bioziden Substanzen auf die Bodenmikroflora nach Zugabe von <sup>14</sup>C-markiertem Stroh. - *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.* 66, 515-518.
- Killham, K., 1994: *Soil ecology*; Cambridge: Univ. Press, 242 S.
- Koch, A., 1894: Zur Frage der Rebenmüdigkeit der Weinberge. - *Ber. Verhandl. XIII Deut. Weinbau-Congr., Mainz*, 109-113.
- Kurzwelly, W., 1903: Über die Widerstandsfähigkeit trockener pflanzlicher Organismen gegen giftige Stoffe. - *Jahrb. Wiss. Bot.* 38, 291-341.
- Lipman, J.G., 1907: Inoculation experiments with *Azotobacter*; bacteriological studies in Madison soil; ammonification in culture solutions as affected by soil treatment. - *Ann. Rept. New Jersey Agric. Coll. Exp. Stat.*, 139-204 (zit.: *Centralbl. Bakter.*, 2. Abt. 21, 1908, 541-543).
- Lynch, M.R., ed., 1995: *Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicity of pesticides*. - Brussels: SETAC-Europe, 54 S.
- Maas, G., Malkomes, H.-P., 1993: Zur Prüfung des Einflusses von Herbiziden auf mikrobielle Aktivitäten im Boden. - 8th EWRS Symp. 'Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application', Braunschweig, 575-582.
- Maassen, A., Behn, H., 1907: Die Widerstandsfähigkeit der Bakterien, insbesondere der Bodenbakterien, dem Schwefelkohlenstoff gegenüber. - *Mitt. Kaiserl. Biol. Anst. Land- Forstwirtsch.*, (4), 40-42.
- Malkomes, 1984: Modifizierung der Wirkung eines Herbizids auf bodenbiologische Aktivitäten durch den Zusatz von Luzernemehl bzw. unbehandeltem Boden. - *Zentralbl. Mikrobiol.* 139, 441-452.
- Malkomes, H.-P., 1985: Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. - *Ber. Landwirtschaft., Sonderh.* 198, 134-147.
- Malkomes, H.-P., 1988: Einfluß einmaliger und wiederholter Herbizid-Gaben auf mikrobielle Prozesse in Bodenproben unter Laborbedingungen. - *Pedobiologia* 31, 323-338.
- Malkomes, H.-P., 1991a: Einfluß der Stickstoffdüngung auf den Stroh- und Celluloseabbau im Boden nach Herbizidanwendung. - *Zentralbl. Mikrobiol.* 146, 359-370.
- Malkomes, 1991b: Untersuchungen zur Eignung der Dehydrogenaseaktivität als Indikator für Pflanzenschutzmittel-Wirkungen auf Bodenmikroorganismen. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig* 43, 209-215.
- Malkomes, H.-P., 1992a: Herbizideinflüsse auf die mikrobielle Aktivität im Boden nach vorausgehender Trockenlagerung. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 44, 212-217.
- Malkomes, H.-P., 1992b: Vergleich der Effekte verschieden wirksamer Herbizide auf mikrobielle Aktivitäten im Boden sowie Bodenpilze. - *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh.* XIII, 377-386.
- Malkomes, H.-P., 1993: Einfluß einer vorausgehenden Bodentrockenlagerung auf Herbizidwirkungen gegenüber Mikroorganismen sowie der Nitrifikation und dem Celluloseabbau. - *Zentralbl. Mikrobiol.* 148, 24-31.
- Malkomes, H.-P., 1994: Einfluß von Herbiziden auf Bodenmikroorganismen: Untersuchungen aus zwei Jahrzehnten im Institut für Unkrautforschung. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 46, 122-126.

- Malkomes, H.-P., 1995: Chemische Bodenentseuchung unter "kotoxikologischen Gesichtspunkten. I. Wirkung von Methylbromid auf mikrobielle Aktivitäten im Boden unter Freilandbedingungen. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, 102, 606-617.
- Malkomes, H.-P., 1996: Applications of ecotoxicity tests to assess side-effects of pesticides in soils. - In: Bitton, G., Tarradellas, J., Rossel, D., eds.: Soil ecotoxicology; Boca Raton: Lewis Publ. (im Druck).
- Malkomes, H.-P., Pestemer, W., 1984: Beeinflussung mikrobieller Aktivitäten und des Dinoseb-Abbaus im Boden durch ausgewählte Umweltchemikalien unter Freilandbedingungen. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. X, 193-202.
- Malkomes, H.-P., Wöhler, B., 1983: Testing and evaluating some methods to investigate side effects of environmental chemicals on soil microorganisms. - Ecotox. Environ. Safety 7, 284-294.
- Pagnoul, M., 1895: Recherches sur l'azote assimilable et sur ses transformations dans la terre arable. - Compt. Rend. Acad., Paris 129, 812-815.
- Perraud, J., 1894: A propos de l'action antiseptique du sulfure de carbone. - Revue Int. Viticult. Oenol., 307-315 (zit.: Z. Pflanzenkrankh. 5, 1895, 228).
- Scherpe, R., 1910: Über den Einfluß des Schwefelkohlenstoffs auf die Stickstoffumsetzungsvorgänge im Boden. - Arb. Biol. Reichsanst., Berlin 7, 353-428.
- Stärmer, K., 1908: Über die Wirkung des Schwefelkohlenstoffs und ähnlicher Stoffe auf den Boden. - Centralbl. Bakter., 2. Abt. 20, 282-286.

A. Süß

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Ökotoxikologie im Pflanzenschutz, Kleinmachnow

## **Labor- und Freilanduntersuchungen zur Auswirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen**

### 1. Einleitung

Collembolen zählen zu den individuenreichsten Tiergruppen im Boden. Sie interagieren im Ökosystem mit zahlreichen anderen Organismengruppen und tragen vor allem im Zusammenwirken mit der Bodenmikroflora zur Dekomposition und somit zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei.

Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen, die in zahlreichen Arbeiten beschrieben sind (z.B. Thompson und GORE, 1972; FRAMPTON, 1988; VOGEL und FUNKE, 1989; FILSER und NAGEL, 1993), werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens bisher nicht berücksichtigt. Die deshalb durchgeführten Nachzulassungsuntersuchungen verfolgten verschiedene methodische Ansätze, um geeignete Testsysteme aufzufinden und Kenntnisse über die Auswirkungen interessierender Pflanzenschutzmittel zu gewinnen. Hauptziel der Untersuchungen war es, die Wirkung eines Präparates unter den Bedingungen des Agrarbiotops zu erfassen oder zu prognostizieren.

### 2. Methodische Ansätze

Freilandversuche sind sehr aufwendig und erfordern bei Tierbestimmung bis zum Artniveau spezielle taxonomische Kenntnisse. Außerdem sind sie aufgrund zahlreicher Einflußfaktoren wenig reproduzierbar und damit kaum als Standardtest geeignet.

Laborversuche, die meist an einzelnen Arten durchgeführt werden, spiegeln die Praxisbedingungen hinsichtlich Exposition, artspezifischer Besonderheiten und Interaktionen nur bedingt wider. Jedoch können hier Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen an verschiedenen Arten untersucht werden, und neben der Mortalität sind auch subletale Effekte, z.B. auf die Reproduktion meßbar. Dies kann zur Interpretation der im Freiland gefundenen Effekte beitragen.

Ein Bindeglied zwischen diesen beiden Ansätzen bilden die Mikrokosmos-Versuchsanlagen, bei denen aus dem Feld entnommene Bodensäulen mit natürlicher Populationszusammensetzung meist unter Laborbedingungen reproduzierbar behandelt und beobachtet werden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Laborversuche

Ausgangspunkt unserer Untersuchungen bildeten zunächst Labortests mit der Collembolenart *Folsomia candida*. In Anlehnung an eine für die Chemikalienprüfung entwickelte Methode (ANONYM, 1994) wurden 28 Tage alte adulte Tiere in ein Standardsubstrat (69 % Sand, 20 % Kaolin, 10 % Torf und 1 % Kalk) gesetzt, in das das Pflanzenschutzmittel in unterschiedlichen Konzentrationen eingemischt war. In Tab. 1 ist für die 8 getesteten Insektizide zusammengestellt, in welchen Bereichen die nach 14 Tagen ermittelten Toxizitätswerte liegen. Die stärksten Auswirkungen zeigten sich bei den Präparaten mit phosphor- bzw. chlororganischen Wirkstoffen (E 605 forte, Tamaron, Me-



tasystox R bzw. Thiodan 35 flüssig). Die LC50-Werte lagen hier in Konzentrationsbereichen, die theoretisch im Boden auftreten können (K), womit diese Präparate als potentiell toxisch einzustufen sind (vergl. KULA, 1992). Die getesteten Pyrethroide (Sumicidin 10, Karate, Fastac, Decis flüssig), wie auch die hier nicht dargestellten Fungizide und Herbizide hatten eine geringe direkte Wirkung. Für die Übertragung der Ergebnisse auf Praxisverhältnisse ist zu berücksichtigen, daß nur einige Wirkstoffe in gleicher Weise, wie es die Methode simuliert, in den Boden gelangen, so daß die Toxizität bei oben genannter Berechnung überschätzt werden kann. Andererseits können durch den hohen Torf- und Kaolingehalt des Substrates Wirkstoffanteile gebunden werden. Eine gute Bewertungsmöglichkeit bietet sich durch Vergleich der tatsächlich in den einzelnen Bodenschichten gefundenen Initialkonzentrationen mit den entsprechenden Labor-Wirkungen.

Tab. 1: LC50-Bereiche von Insektiziden, ermittelt an *Folsomia candida*, bei Applikation durch Einmischen der Präparate in Standardboden

	Wirkstoff	LC 50 (mg/kg Trockensubstanz Boden) nach 14 d				
		0,1-1	1-10	10-100	100-1000	>1000
E 605 forte	Parathion-äthyl	K				
Tamaron	Methamidophos		K			
Thiodan	Endosulfan		K			
Metasystox R	Oxydemeton-methyl		K			
Sumicidin 10	Fenvalerat		K			
Karate	lambda-Cyhalothrin	K				
Fastac	alpha-Cypermethrin	K				
Decis flüssig	Deltamethrin		K			
K Theoret. Konzentration bei Einmischen der maximal						

Weiterhin erschien es notwendig zu untersuchen, inwieweit die eingesetzte Tierart hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit repräsentativ für Collembolen ist. Hierfür wurde eine einfache Testmethode entwickelt, bei der Collembolen verschiedener Arten direkt unter einem Potterturm besprüht werden, wodurch die intrinsische Toxizität der Präparate gut erfaßbar ist. Getestet wurden E 605 forte (Parathion-äthyl), Thiodan 35 flüssig (Endosulfan), Roxion (Dimethoat), Pirimor-Granulat (Pirimicarb) und Karate (lambda-Cyhalothrin). Bei einem Vergleich der beiden Isotomiden *Folsomia candida* und *Isotoma tigrina* (Abb. 1) ergaben sich bei den 5 bisher untersuchten Insektiziden deutliche Unterschiede in der Sensibilität, die bei manchen Präparatekonzentrationen über dem Faktor 10 lagen. Eine zusätzlich getestete Onychiuridenart, *Onychiurus fimatus*, reagierte dagegen auch bei höheren Konzentrationen kaum. Derartige Erkenntnisse sind z.B. für Gefährdungsabschätzungen nutzbar.

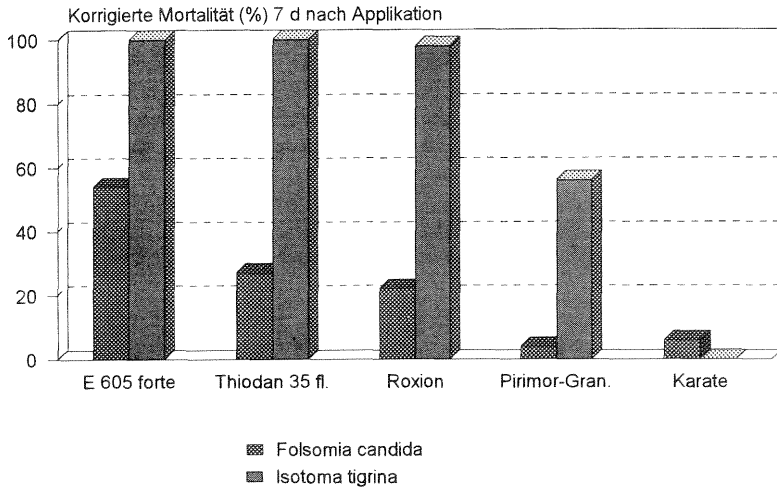


Abb. 1: Empfindlichkeit von Collembolenarten bei Direktapplikation von Insektiziden in praxisüblichen Konzentrationen

### 3.2. Feld- und Mikrokosmos-Versuche

Aus den Laboruntersuchungen wurden aufgrund ihrer Wirksamkeit unter anderem Tamaron (Methamidophos) und Thiodan 35 flüssig (Endosulfan) für die Freilandtestung ausgewählt. In randomisierten Parzellenexperimenten mit vier Wiederholungen wurden beide Präparate in der Aufwandmenge von je 1,2 l/ha appliziert und mit einer unbehandelten Kontrolle verglichen. Dazu erfolgte in etwa vierwöchigen Abständen die Entnahme von Bodenproben bis zu 10 cm Tiefe.

Tamaron wurde mit zwei Applikationen im Oktober und Mai in Wintergerste untersucht (Abb. 2). Während der neunmonatigen Beprobung lagen die Abundanzen der Collembolen bei Tamaron meist nur unbedeutend unter denen der Kontrolle, zu Versuchsende sogar darüber.

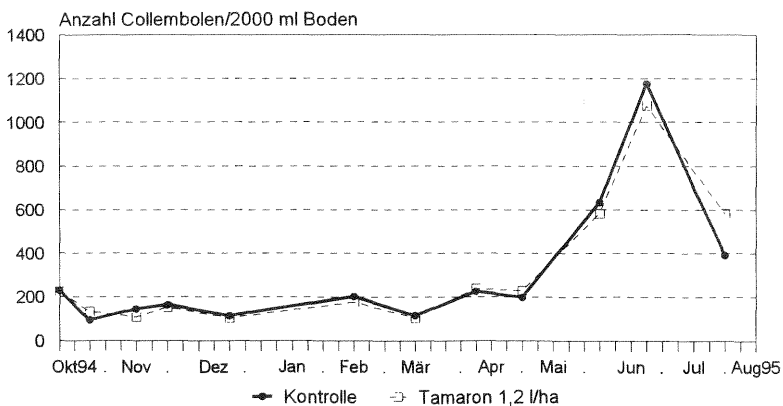


Abb. 2: Auswirkung von Tamaron (Methamidophos), 1,2 l/ha, auf Collembolen in Wintergerste (Feldversuch Güterfelde, schwach sandiger Lehm)

Zur Überprüfung dieser Ergebnisse wurde mit Taron ein Mikrokosmos-Versuch angelegt (Abb. 3), in dem aus Getreideflächen ausgestochene, ungestörte Bodensäulen mit einer Laborspritzeinrichtung praxisnah behandelt und danach regelmäßig bewässert wurden. Die vorhandene Collembolenfauna bestand zu über 90 % aus Tullbergiinen, die zur Familie der Onychiuriden zählen. Zwei und vier Wochen nach Applikation zeigte sich hier bei Taron analog zum Feldversuch nur eine geringe, nicht signifikante bzw. keine Auswirkung auf die Abundanz der Tiere.

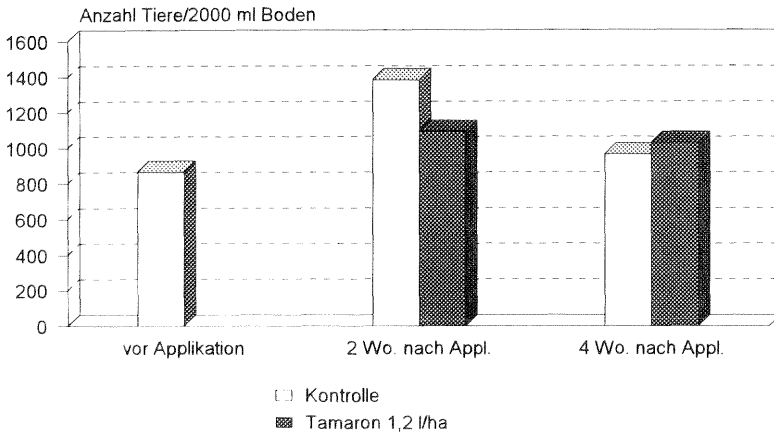


Abb. 3: Auswirkung von Taron (Methamidophos), 1,2 l/ha, auf Collembolen (Mikrokosmos-Versuch, schwach sandiger Lehm)

Es wurde insgesamt mit einer stärkeren Wirkung gerechnet, da das Präparat in den Laborversuchen eine sehr niedrige LC50 von ca. 1 mg/kg aufwies, die auch im Ackerboden als Initialkonzentration auftrat (SCHMIDT, pers. Mitt.). Außerdem ist der Wirkstoff sehr gut wasserlöslich, so daß bei den kurz nach Applikation gefallenen Niederschlägen ein Eindringen in den Boden möglich erschien. Methamidophos hat allerdings nur eine geringe Halbwertszeit. Auch wurde in den Laborversuchen festgestellt, daß Taron auf die Reproduktionsrate der Tiere gering wirkte bzw. bei niedrigen Konzentrationen zum Teil sogar zu einer Förderung der Collembolenpopulation führte.

In ähnlicher Weise erfolgten die Untersuchungen bei Thiodan 35 flüssig, das ebenfalls im Laborversuch bei Einmischung in das Standardsubstrat hochwirksam war. Im Feldversuch wurde das Präparat im Juni auf einen geschlossenen Ackerbohnenbestand appliziert (Abb. 4). Mit zunehmender Versuchsdauer zeigte sich bei Thiodan ein Rückgang der Abundanz der Collembolen, der 11 Wochen nach Applikation mit 64 % auch statistisch zu sichern war. Um diesen Effekt näher zu untersuchen, wurde die Familienzugehörigkeit der nach Applikation gefundenen Collembolen bei beiden Prüfgliedern gegenübergestellt (Abb. 6). Es wird deutlich, daß die Minderung der Gesamtanzahl fast ausschließlich auf die Reduktion der Isotomiden zurückzuführen ist.

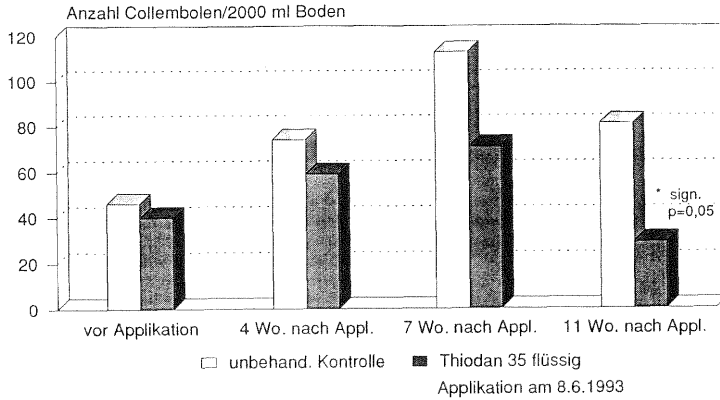


Abb. 4: Auswirkung von Thiodan 35 flüssig (Endosulfan), 1,2 l/ha, auf Collembolen in Ackerbohnen (Feldversuch Güterfelde, schwach sandiger Lehm)

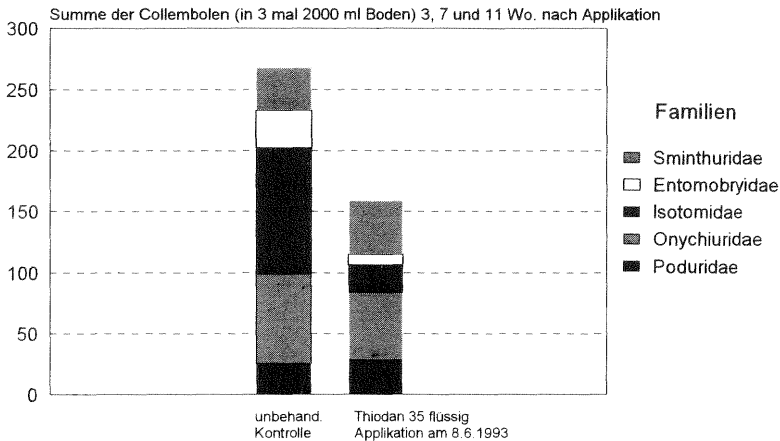


Abb. 5: Auswirkung von Thiodan 35 flüssig (Endosulfan), 1,2 l/ha, auf Collembolen-familien in Ackerbohnen (Feldversuch Güterfelde, schwach sandiger Lehm)

In einem Mikrokosmos-Versuch wurde Thiodan 35 flüssig wie oben beschrieben auf ungestörte Bodensäulen appliziert (Abb. 6). Während die unbehandelte Kontrolle über den Zeitraum von vier Wochen in ihrer Abundanz nahezu konstant blieb, verminderte sich durch das Insektizid die Collembolenzahl signifikant um bis zu 70 %. Die taxonomische Zuordnung zu den Familien (Abb. 7) bestätigte den Effekt vom Freiland, daß in besonderer Weise die Isotomiden beeinträchtigt wurden. Dies konnte in ähnlichen Ansätzen auch FILSER (1990) nachweisen.

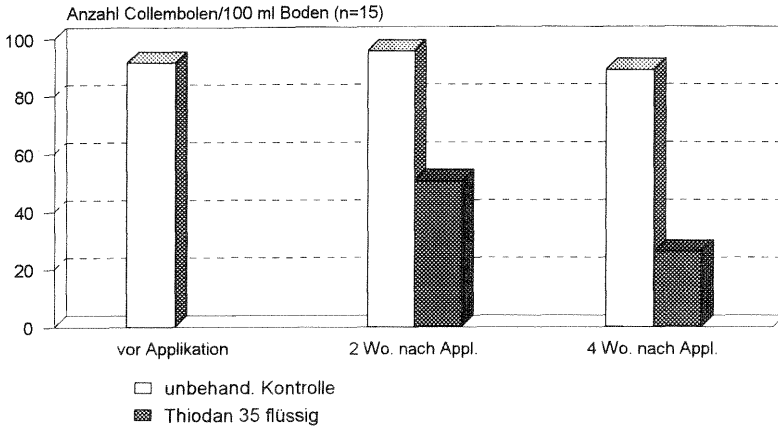


Abb. 6: Auswirkung von Thiodan 35 flüssig (Endosulfan), 1,2 l/ha, auf Collembolen (Mikrokosmos-Versuch, schwach sandiger Lehm)

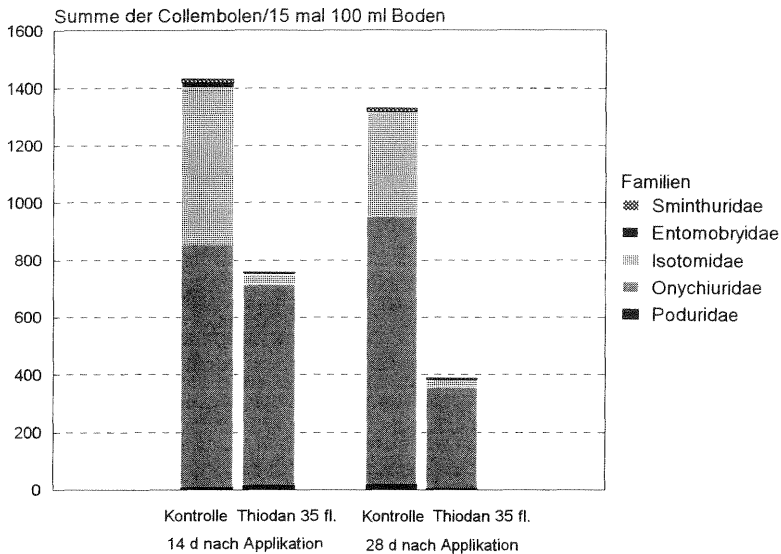


Abb. 7: Auswirkung von Thiodan 35 flüssig (Endosulfan), 1,2 l/ha, auf Collembolenfamilien (Mikrokosmos-Versuch, schwach sandiger Lehm)

Insgesamt ergibt sich, daß Thiodan 35 flüssig Collembolen relativ nachhaltig und artspezifisch schädigt. Dies ist kaum mit der Persistenz oder anderen physiko-chemischen Eigenschaften des Mittels zu erklären, eher mit der im Laborversuch beobachteten starken Hemmung der Eiablage.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß Laborversuche mit der bisher verwendeten Methodik nicht immer zuverlässige Hinweise auf die Auswirkungen unter Freilandbedingungen geben, wohl aber zur Bewertung und Interpretation heranzuziehen sind. Es ist zu untersuchen, inwieweit Labortests unter sogenannten „worst case“-Bedingungen für eine Negativprognose dienen können.

Mikrokosmos-Experimente mit individuen- und artenreichen Böden erscheinen als gute Möglichkeit zur Grobeinschätzung von Pflanzenschutzmittelwirkungen bzw. zur Untermauerung von Ergebnissen aus Feldversuchen.

#### 4. Literatur

- ANONYM (1994): ISO/DRAFT Soil Quality- Effects of soil pollutants on collembola (*Folsomia candida*): Method for the determination of effects on reproduction. Redaktion: RIEPERT, F. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin, 16 S.
- FILSER, J. (1990): Halbfreilandversuch zur Auswirkung des Insektizids Endosulfan auf Collembolen. Verh. Ges. Ökol. **19/II**, 302-309
- FILSER, J. & NAGEL, R. (1993): Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Insektizideffekten auf Collembolen unter Labor- und Freilandversuchsbedingungen. Verh. Ges. Ökol. **22**, 397-402
- FRAMPTON, G.K. (1988): The effects of some commonly-used foliar fungicides on Collembola in winter barley: laboratory and field studies. Ann. appl. Biol. **113**, 1-14
- KULA, C (1992): Auswirkungen auf Regenwürmer. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig, **284**, 98-104
- THOMPSON, A.R. & GORE, F.L (1972): Toxicity of 29 insecticides to *Folsomia candida*: Laboratory studies. Jour. Econ. Entom. **65**, 1255-1260
- VOGEL, J. & FUNKE, W. (1989): Auswirkungen verschiedener Substanzen auf die euedaphische Collembolenzönose eines Fichtenforstes. Jber. naturwiss. Ver., Wuppertal **42**, 116-118

#### Danksagung:

Mein Dank gebührt Frau J. von Voß für die technische Assistenz sowie Herrn Dr. E. Moll und Frau W. Polichronow für die Berechnung der LC50-Werte und die statistische Auswertung.

W. Neuhaus und F. Seefeld

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Ökotoxikologie im Pflanzenschutz, Kleinmachnow

## **Auswirkungen von IGRAN 500 flüssig auf die Abundanz von Bodenalgeln sowie deren Korrelation zu den Rückständen im Boden**

### **1. Einleitung**

Bodenalgeln sind aus 3 Gründen für den Bodenschutz von Interesse:

1. Sie stellen neben Pilzen, Actinomyceten und Bakterien sowohl nach ihrer Zellzahl, ihrer Biomasse als auch ihren Funktionen eine bedeutende Komponente der organischen Substanz des Bodens dar (OESTERREICHER, 1990).

2. Aufgrund ihrer Lichtabhängigkeit haben sie ihr Abundanzmaximum in der obersten Bodenschicht. Bodenalgeln werden daher bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln häufig direkt von der Spritzbrühe getroffen, insbesondere wenn es sich um Herbizide handelt, da bei ihrer Anwendung eine abschirmende Pflanzendecke weitgehend fehlt.

3. Bodenalgeln reagieren empfindlich auf viele Herbizide, da ihr Photosyntheseapparat mit dem der höheren Pflanzen weitgehend identisch ist.

Wegen dieser Indikatoreigenschaft wurden für die eigenen Untersuchungen fast ausschließlich Herbizide gewählt, von denen im Vortrag Ergebnisse mit IGRAN 500 flüssig (490 g Terbutryn/l) im Rahmen von Labor- und Freilanduntersuchungen vorgestellt werden sollen.

### **2. Methode**

#### **2.1. Freilandversuche**

Die Untersuchungen sollten unter möglichst praxisnahen Bedingungen durchgeführt werden. Die Experimente wurden daher als Parzellenversuch mit vierfacher Wiederholung in Wintergerste mit der zugelassenen Aufwandmenge von 3,5 l IGRAN 500 flüssig/ha angelegt. Die Applikation erfolgte im Voraufverfahren mit einer Parzellenspritze einen Tag nach der Aussaat. Bei dem Boden handelte es sich um einen anlehmigen Sandboden des Versuchsfeldes in Güterfelde/Potsdam. In 4- bis 8-wöchigen Abständen wurden Bodenproben aus 0 bis 5 cm Tiefe gezogen. Nach entsprechender Aufbereitung und Bebrütung des Bodens in einer Klimakammer bei 10 °C und 12 h Licht/Tag (3 bis 4000 Lux) auf einem Spezialagar in Anlehnung an SAUTHOFF u. OESTERREICHER (1994) erfolgte nach 4 Wochen Kulturdauer die Auszählung der gewachsenen Algenkolonien. Es wurde die Dichte über alle Arten (Gesamtalgendichte) sowie die einzelner Arten bestimmt. Die Daten von jeweils 12 Petrischalen je Prüfglied und Probenahmetermin, umgerechnet auf 1 g Bodentrockensubstanz, wurden der Varianzanalyse unterworfen und die Mittelwerte mit dem t-Test auf Signifikanz geprüft.

#### **2.2. Laborversuche**

Für diesen parallel durchgeführten Versuch wurde unbehandelter Boden vom Standort des obigen Feldversuches in Güterfelde entnommen, auf 50 % der max. Wasserkapazität eingestellt, in Plasteflässe ca. 5 cm hoch eingefüllt und mit einem lichtdurchlässigen Deckel verschlossen. Die Appli-

kation von IGRAN 500 flüssig in der gleichen Aufwandmenge wie im Freiland erfolgte mit einer speziellen Applikationseinrichtung im Gewächshaus. Danach wurden die Gefäße in einer Klimakammer bei 15 °C und 3 bis 4000 Lux (12 h täglich) bebrütet (4 Wiederholungen). Die Beprobung und Aufarbeitung erfolgten analog Punkt 2.1.

### 2.3. Rückstandsanalytik

Parallel zu den Abundanzuntersuchungen wurden alle Bodenproben auf Rückstände von Terbutryn untersucht. Die Bestimmung erfolgte nach einer von STEINWANDTER (1991) beschriebenen modifizierten Methode. 25 g lufttrockner Boden wurden mit 100 ml Wasser und 200 ml Aceton 16 h extrahiert, nach Zusatz von 30 g Natriumchlorid mit 150 ml Dichlormethan reextrahiert und über eine Kieselgelsäule gereinigt. Die quantitative Bestimmung erfolgte an einem Gaschromatographen HP 5890 mit Stickstoff/Phosphor-Detektor.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Laborversuch

Die Algendichte in der Kontrolle erreichte unter den optimalen Bedingungen des Klimaschranks bereits zu Versuchsbeginn (Abb. 1) wesentlich höhere Werte und lag nach 91 Tagen mit 400 000 Algen mehr als doppelt so hoch wie die Maximalwerte im Freiland.

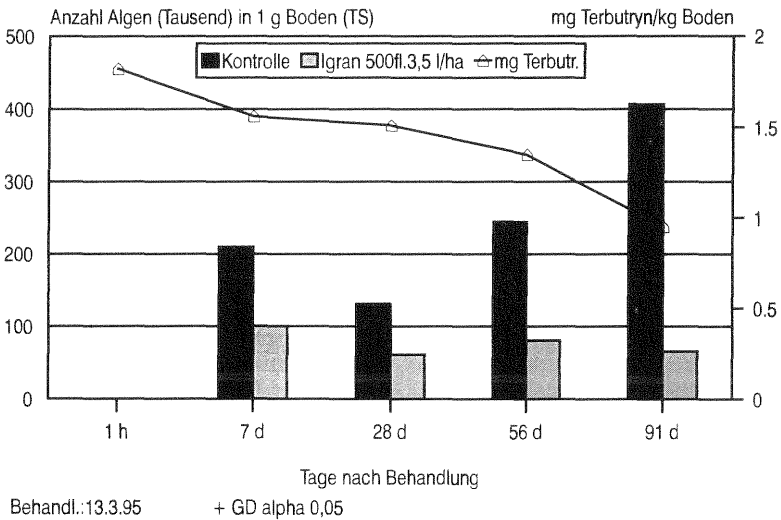
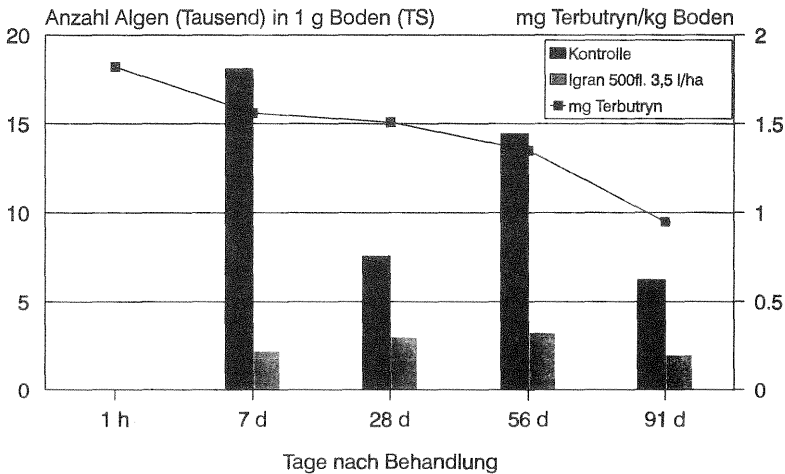


Abb. 1: Wirkung von Terbutryn (Igran 500 fl.) auf die Anzahl der Bodenalgien im Labor. (Güterfelder Boden)





Behandl.:13.3.1995

Abb. 2: Wirkung von Terbutryn (Igran 500 fl.) auf HETERPHTHRIX spp. im Labor (Güterfelder Boden)

Nach 7 Tagen bewirkte IGRAN 500 flüssig bereits eine Reduktion der Abundanz um 52 %. Im weiteren Verlauf nahm die Abundanz noch weiter ab und war nach 91 Tagen um 84 % gegenüber der Kontrolle reduziert. Vergleichbar hohe Dichteverminderungen waren auch bei Heterothrix spp. (Abb. 2) zu beobachten, wobei die höchste Reduktion mit 88 % bereits nach 7 Tagen ermittelt wurde.

Die Initialrückstände lagen bei 1,82 mg/kg Terbutryn und erreichten nach 91 Tagen mit 0,95 mg erst 52 % des Ausgangswertes. Daraus resultierte offenbar die anhaltend hohe Reduktion der Algendichte bis zu diesem Zeitpunkt.

Die Verrechnung der Rückstandsdaten mittels Regressionsanalyse ergab, daß der Abbau annähernd nach einer Reaktion 1. Ordnung verläuft und eine Halbwertszeit von 114 Tagen bestimmt wurde. Der Termin der Erholung der Algen war deshalb mit diesem Versuchsansatz nicht bestimmbar.

### 3.2. Freiland

Die Gesamtalgendichte wies infolge der 3 Wochen zuvor erfolgten Pflugfurche zu Beginn des Versuches noch niedrige Werte auf (Abb. 3). Bei den weiteren Beprobungsterminen stieg sie bei der Kontrolle in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag bis Mai 1995 auf Werte um 161 000 Algen je Gramm Boden TS an. Die IGRAN-Behandlung bewirkte bereits 7 Tage nach Applikation signifikante Minderungen um 44 %, die mit den Daten aus dem Labor vergleichbar sind. Bei allen weiteren Terminen bis zum 15.02.95 (146 Tage) stagnierte die Algendichte auf niedrigem Niveau und wies signifikante Hemmungen im Vergleich zur Kontrolle auf. Die Reduktionen blieben bis zur Beprobung am 05.05.95 (225 Tage) erhalten, wobei ab 202 Tagen ein langsames Ansteigen der Abundanz zu beobachten war. Erst die letzte Probenahme im Juli 1995 (287 Tage) ließ eine Erholung auf das Niveau der Kontrolle erkennen.

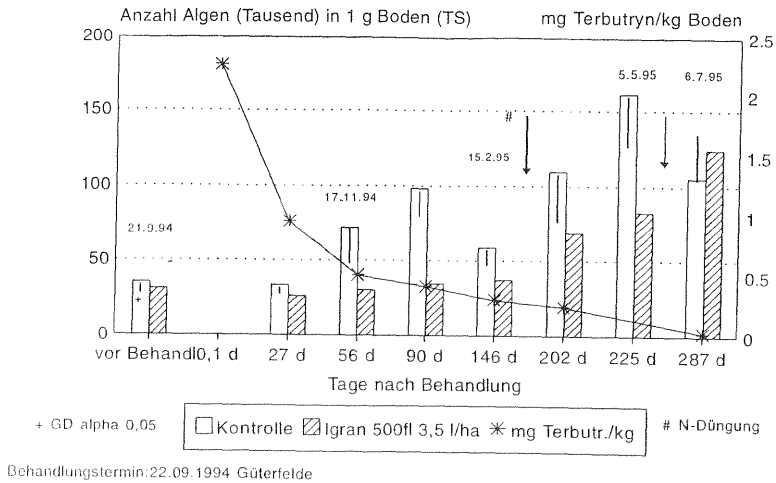


Abb. 3: Wirkung von Terbutryn (Igran 500 fl.) auf die Anzahl der Bodenalgeln in Wintergerste 1994/95

Zur Untersetzung der Ergebnisse wurde neben der Gesamtalgenichte auch die von 4 Spezies ermittelt. Abb. 4 enthält beispielhaft die Ergebnisse für eine fädige *Xanthophyceae* (*Heterothrix* spp.). Ihre Dichte war zu Versuchsbeginn noch sehr gering und erreichte erst im weiteren Versuchsablauf höhere Werte. Auch bei ihr war eine signifikante Hemmung analog zur Gesamtalgendichte über alle Termine bis zum 05.05.95 belegbar, wobei die starke relative Reduktion besonders nach 56 und 90 Tagen mit 97 % bzw. 98 % extrem hoch war.

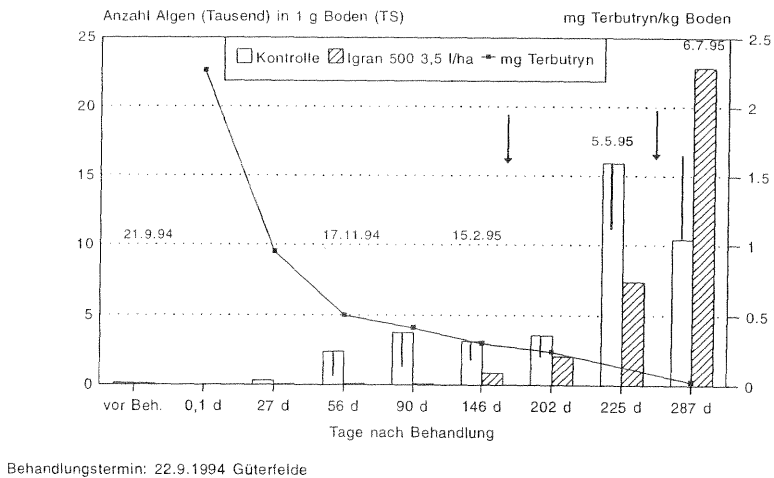


Abb. 4: Wirkung von Terbutryn (Igran 500 fl.) auf HETERPHTHRIX spp. In Wintergerste 1994/95

Am Ende des Versuches übertraf die Dichte in der IGRAN-Variante die Kontrolle um mehr als das Doppelte. Dieses Phänomen wurde auch bei 2 weiteren Arten innerhalb dieses Versuches beobachtet. Aus der Literatur (TORRES und FLAHERTY, 1976; PIPE, 1992) ist ebenfalls eine Stimulation des Wachstums verschiedener Algenarten bei unterschiedlichen Wirkstoffen, u. a. auch bei Triazinen, beschrieben worden, wenn die Konzentrationen der Wirkstoffe sehr niedrig lagen.

Die parallel durchgeführten Rückstandsuntersuchungen ließen enge Beziehungen zwischen biologischen und chemischen Daten erkennen. In einem Bereich von 2,26 mg/kg (Initialrückstand) bis zu 0,24 mg/kg Terbutryn nach 202 Tagen wurden sowohl die Gesamtalgendichte (Abb. 3) als auch die Abundanz von *Heterothrix* spp. (Abb. 4) signifikant reduziert. Erst bei einem Rückstandswert von 0,024 mg/kg nach 287 Tagen trat eine Wiedererholung ein.

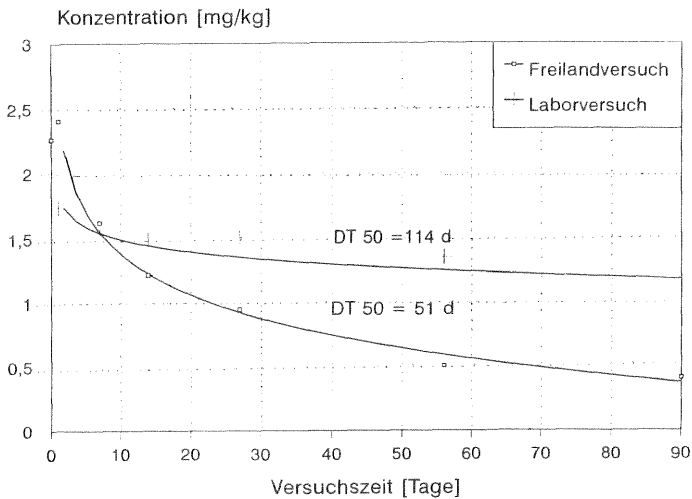


Abb. 5: Rückstände an Terbutryn im Boden nach Behandlung mit 3,5 l/ha Igran 500 fl. unter Labor- und Freilandbedingungen. Bodenhorizont 0 - 5 cm (Mittelwerte der Prüfglieder a - d)

Für die Frage, wann eine Regeneration zu erwarten ist, spielt u. a. die Abbaurate des Wirkstoffes eine wichtige Rolle. Nach den vorliegenden Rückstandsdaten verläuft der Abbau nach einer Reaktion 1. Ordnung mit einer Halbwertszeit von 51 Tagen. Die Konzentrationsabnahme war deutlich höher als die unter Laborbedingungen ermittelte (Abb. 5) und stimmte mit den Untersuchungen anderer Autoren überein, die Halbwertszeiten von 40 bis 190 Tagen ermittelten (WALKER, 1978; AUSPURG u. a., 1989).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, daß IGRAN 500 flüssig unter den gegebenen Versuchsbedingungen eines anlehmigen Sandbodens eine hohe Algentoxizität besitzt, die aufgrund des langsamen Wirkstoffabbaues über 225 Tage nachweisbar bleibt. Pflanzenschutzmittel, die im aquatischen Monospeziesstest eine hohe Algentoxizität zeigen (siehe Einstufung im Pflanzenschutzmittelverzeichnis) und einen langsamen Wirkstoffabbau aufweisen, sollten deshalb wegen der ökologischen Bedeutung der Bodenalgae auf deren Toxizität untersucht werden.

**Literatur**

- Auspurg, B.; W. Pestemer, W. und R. Heitefuss: Untersuchungen zum Einfluß einer Pflanzenschutzmittelspritzfolge auf das Rückstandsverhalten von Terbutryn und die mikrobielle Aktivität im Boden. Teil I. Rückstandsverhalten von Terbutryn. *Weed research* 29 (1989) 69 - 78
- Oesterreicher, W.: Ökologische Bedeutung der Algen im Boden. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 42 (1990) (8) 122 - 126
- Pipe, A. E.: Pesticide effects on soil algae and cyanobacteria. *Rev. of Environmental Contam. and Toxicology* 127 (1992) 95 - 170
- Sauthoff, W.; Oesterreicher, W.: Untersuchungen über den Einfluß einer intensiven Pflanzenproduktion auf die Zusammensetzung der Bodenalgenflora. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanstalt* 295 (1994) 167 - 191
- Steinwandter, H.: Contributions to residue analysis in soils. II. Miniaturization of the on-line extraction method for the determination of some triazine compounds by RP-HPLC. *Fresenius Z. Anal. Chemie* 339 (1991) 30 - 33
- Torres, A. M. R.; O' Flaherty, L. M.: Influence of pesticides on *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Stigeoclonium*, *Tribonema*, *Vacheria* (Xanthophyceae) and *Oscillatoria* (Cyanophyceae). *Phycologia* 15 (1976) (1) 25 - 36

E. Hellpointner und B. Brumhard

Bayer AG, PF-E/MR, Landwirtschaftszentrum Monheim, Gebäude 6660, Leverkusen

**Ergebnisse zur mikrobiell aktiven Biomasse von Böden und deren Veränderung unter den Standard-Laborbedingungen von Pflanzenschutzmittel-Abbauversuchen**  
**- Kurzfassung mit Sammlung der Folien -**

Einführung: Die Begriffe Boden, Bodenfruchtbarkeit, Ertragsleistung und deren Bezug zur mikrobiell aktiven Biomasse eines Bodens

Ausgangsmaterial für die Bildung von „Boden“ sind lockere und feste Gesteine, welche durch physikalische und chemische Verwitterung ein mehr oder weniger zerkleinertes und lockeres Medium liefern. Der entstehende Verwitterungshorizont dient niederen und höheren Organismen als Standort und Lebensraum

(1. Folie: Boden, ein Drei-Phasen-System aus fester, flüssiger und gasförmiger Phase).

Die Fähigkeit eines Bodens, den (Nutz-)Pflanzen als Standort zu dienen und Pflanzenerträge zu erzeugen, bezeichnen wir als „Bodenfruchtbarkeit“. Theoretisch ist diese bedingt durch die Gesamtheit der physikalischen, mineralogischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens. Die tatsächliche Ertragsleistung steht aber häufig nicht mit der Ertragsfähigkeit in Einklang, weil sie außerdem durch zahlreiche nicht bodeneigene Faktoren wie Klima, Pflanzenart, Bodenbearbeitung, Düngung, Krankheits-/ Schädlingbefall bzw. Pflanzenschutz usw. beeinflusst wird (2. Folie: Ertragsleistung eines Bodens).

Bei der Angabe von Analysendaten zu Testböden, welche z. B. für die Beurteilung des Rückstands- und Umweltverhaltens von PSBM in Laborversuchen eingesetzt werden, stehen generell die geographische Herkunft sowie die physikalisch-chemischen Parameter wie Textur,  $C_{org}$ -Gehalt, pH etc. im Vordergrund. Der Begriff „Testboden“ wird dabei mehr oder weniger synonym für „Bodenmaterial“ gebraucht und die Angaben beziehen sich demzufolge auch auf ein bestimmtes Bodengewicht. Jedoch ist auch die biologische Komponente ein wesentlicher Bestandteil eines Bodens, der für die Bewertung von Ergebnissen zum Abbau von Stoffen im Boden von großer Bedeutung ist. Es sei nun dahingestellt, welche Bestimmungsmethode zur Anwendung kommen sollte und ob ein Summenparameter (wie zum Beispiel die Respirationsrate nach Glucosezugabe [Lit. 1-4]) oder eine spezifische Enzymaktivität gemessen werden sollte. Wichtig scheint vielmehr, daß die erhaltenen Werte valide und ohne allzu großen Aufwand zu erhalten sind und in ihrer Höhe nicht weit von denen abweichen, die mit eben dieser Methode auch in feldfrischen Bodenproben ermittelt werden. Die Höhe des ermittelten Biomassewertes (z.B. in mg Kohlenstoff pro kg Bodentrockensubstanz) stellt jeweils nur eine Momentaufnahme eines Bodens (genauer einer Bodenprobe) dar. Ein direkter Bezug zu einer Bodengüte, Bodenfruchtbarkeit oder Ertragsleistung ist nicht gegeben. Der Biomassewert beschreibt einzig und allein die aktuelle Masse an metabolisch aktiven Mikroorganismen einer Bodenprobe, unter den Standardbedingungen Glucose zu  $CO_2$  umzusetzen. Dennoch ist dieser Parameter für eine generelle Aussage zur biologischen Situation einer Bodenprobe weit aussagefähiger, als z.B. die Angabe der Gehaltes an organ. Kohlenstoff.

Im folgenden werden einige Ergebnisse aus studienbegleitenden Biomassebestimmungen nach der Anderson & Domsch-Methode (Respirationsrate nach Glucosezugabe) vorgestellt. Sie sollen Hinweise geben (3. Folie):

- 1) welche Schwankungen in der mikrobiell aktiven Biomasse von Feldböden auftreten können,
- 2) welche Auswirkung die Lagerung auf die mikrobiell aktive Biomasse von Böden hat,

- 3) welchen Einfluß die Abbau-Versuchsbedingungen haben können,  
 4) welche Informationen und Folgerungen aus Biomasse-Daten abzuleiten sind.

Zu Punkt 1):

Bestimmung der mikrobiell aktiven Biomasse nach Anderson & Domsch

4. *Folie*: Mikrobiell aktive Biomasse „feldfrischer“ Böden:  
 ⇒ Schwankungsbreite von < 50 bis > 1000 mg C/kg Boden-TS.
5. *Folie*: Mikrobiell aktive Biomasse „feldfrischer“ Böden:  
 ⇒ Schwankungen zweier Böden im Laufe der Zeit
6. *Folie*: Einfluß von Trocknung (an der Luft bei RT) und Siebung auf die Biomasse:  
 ⇒ Reduktion der Biomasse

Zu Punkt 2):

7. *Folie*: Entwicklung der Biomasse bei Lagerung über 70 Tage (dunkel, 22°C, 40-60%  $W_{k_{max}}$ )  
 ⇒ Reduktion der Biomasse
8. *Folie*: Entwicklung der Biomasse bei Lagerung über 70 Tage (dunkel, 22°C, 40-60%  $W_{k_{max}}$ ):  
 Beispiel zeitlicher Verlauf in Boden F (FRG)  
 ⇒ Reduktion der Biomasse
9. *Folie*: Lagerung von Standard-Testböden: Holzkisten
10. *Folie*: Entwicklung der Biomasse bei Lagerung in Holzkisten unter Freilandbedingungen mit  
 Grasbewuchs: Beispiel Boden BBA 2.2
11. *Folie*: Entwicklung der Biomasse bei Lagerung in Holzkisten unter Freilandbedingungen mit  
 Grasbewuchs: Beispiel Boden Howe (USA)

Zu Punkt 3):

Testsystem für aeroben Abbau bzw. Metabolismus im Boden:  
 Biometer-Gefäß

12. *Folie*: Biomasse bei einem Abbauersuch nach EPA Guideline im Biometer-Gefäß über 1 Jahr:  
 Boden Howe (USA) FRG)  
 ⇒ Reduktion der Biomasse mit einer Halbwertszeit von 28 Wochen
13. *Folie*: Biomasse bei einem Abbauersuch nach BBA Guideline im Biometer-Gefäß: a.i. = Fungi-  
 zid  
 ⇒ Reduktion der Biomasse mit der Zeit; aber in diesem Fall kein negativer sondern ein  
 positiver Wirkstoffeinfluß!

Zu Punkt 4):

14. *Folie*: Zusammenfassung / Folgerungen  
 ⇒ Sehr variable biologische Komponente mit großer Schwankungsbreite der aktiven  
 Biomasse in Feldböden.  
 ⇒ Lagerung von Boden in einem „geschlossenen“ System führt zwangsläufig zur Verrin-  
 gerung der aktiven Biomasse.  
 ⇒ Lagerung im „offenen“ System, z. B. in Holzkisten unter Kultur im Freiland, kann über  
 längere Zeiträume die aktive Biomasse in Böden erhalten. Die Schwankungen der akti-  
 ven Biomasse sind dann mit denen von Freilandböden vergleichbar.  
 Im Falle von Vollbilanz-Abbauersuchen (z.B. für die Zulassung von PSBM):

- ⇒ Zu Testbeginn (nach der Bodenvorbereitung!) sollte die akt. Biomasse des Testbodens bekannt sein.
- ⇒ Die aktive Biomasse eines Bodens vermindert sich während der Inkubation ähnlich wie bei jeder Lagerung im geschlossenen System.
- ⇒ Die Begrenzung der Versuchsdauer auf 120 Tage (siehe SETAC/EU-Guidelines) ist sehr sinnvoll.
- ⇒ Ergebnisse der letzten Probenahme für die kinetische Auswertung (Testsubstanz bzw. Metaboliten) sollten nicht überbewertet werden.
- ⇒ Der Vergleich der Biomasse im Boden ohne/mit Testsubstanz kann Hinweise über deren Einfluß auf die Bodenorganismen (z. B. die Respirationsrate) geben.

Literatur:

- 1 Parkinson, D. & Paul, E.A.: In Microbial Biomass; Page, A.L. Ed.; Methods of Soil Analysis, Part 2. Soil Sciences Society of America, Inc.: Madison, 1982; pp. 824-826.
- 2 Guth, J.A.: In Experimental Approaches to Studying the Fate of Pesticides in Soil; Hudson, D.H. & Roberts, T.R. Eds.: Progr. in Pesticide Biochem., Vol. I, J. Wiley & Sons, New York, 1981, pp. 85-114.
- 3 Anderson, J.P.E.: Soil Respiration; Page, A.L. Ed.; In Methods of Soil Analysis, Part 2. Soil Sciences Society of America, Inc.: Madison, 1982; pp. 831-871.
- 4 Anderson, J.P.E.: Handling and Storage of Soils for Pesticide Experiments; L. Somerville & M.P. Greaves, Ed. Taylor & Franees, London, 1987, pp 45-60.

*Im Folgenden werden die gezeigten Folien in der angegebenen Reihenfolge aufgeführt:*

Boden als Dreiphasensystem**Gasphase**

Porenvolumen, O<sub>2</sub>-Gehalt etc.

**Feste Phase**

anorganisch,  
organisch:  
lebend und tot

**Flüssige Phase**

anorganisch,  
organisch

Ertragsleistung eines Bodens**Ertragsfähigkeit (Bodenfruchtbarkeit)****Klimafaktoren**

Niederschlagsmengen,  
Niederschlagsverteilung  
Temperatur- und Licht-  
Zyklen etc.

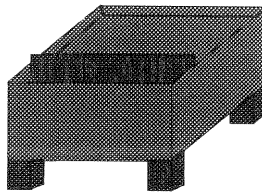
**Menschl. Aktivitäten**

Pflanzen-/Sortenwahl,  
Düngung (mineral./organ.)  
Bodenbearbeitung, Frucht-  
Folge, Kulturmaßnahmen,  
Pflanzenschutz etc.



**Bestimmung der mikrobiell aktiven Biomasse im Boden**

<u>Prinzip:</u>	⇨ Methode nach Anderson & Domsch (CO <sub>2</sub> -Messung)
<u>Bestimmung :</u>	⇨ ≤ 3 Tage nach Bodenprobenahme
<u>Durchgeführt:</u>	⇨ vom Labor Dr. J.P.E. Anderson (Bayer AG, PF-E/OE, Geb. 6620)
<u>Methode:</u>	⇨ 25 - 100 g TS Aliquot Boden plus 3000 - 5000 mg/kg Glucose eingemischt in 250 mg Quarzsand, dann 25-30 Sek. gemischt (Mixer), dann ⇨ Gefäß verbunden mit einem Ultragas-3 CO <sub>2</sub> -Analyser (Fa. Woesthoff, Bochum); ⇨ bei 22 ± 2 °C im Dunkeln freigesetztes CO <sub>2</sub> pro kg Trockenmasse an Boden und pro Stunde wird über mindestens 5 Std. gemessen.
<u>Berechnung:</u>	⇨ Mikrobiell aktiver Kohlenstoff pro kg Boden-TS nach Gleichung: $x = 22.0 y + 0.37$ x = Mikrob. Biomasse [mg mikrob. C/kg TS Boden] y = Respirationsrate nach Glucosezugabe [mg CO <sub>2</sub> /Stunde/kg TS Boden]

**Lagerung von Standard-Testböden**

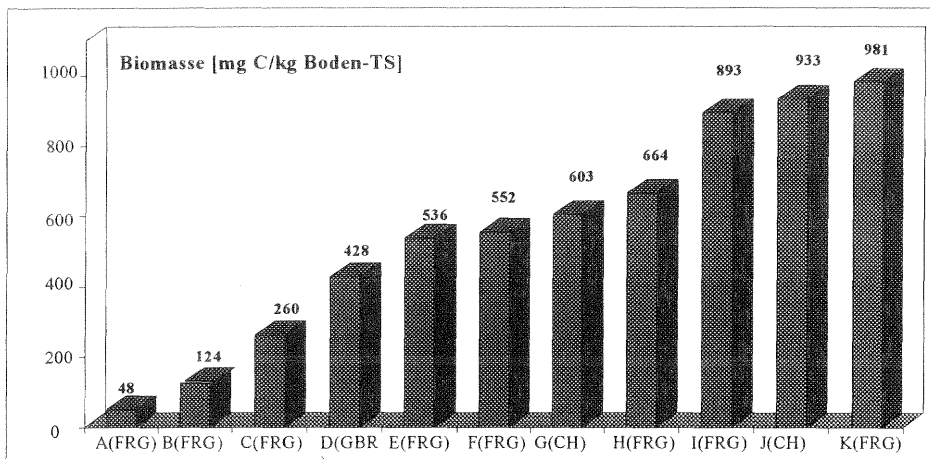
<u>Material:</u>	⇨ Holz (Stärke = 2 cm)
<u>Innenmaße (LxBxT):</u>	⇨ 70 x 80 x 40 cm
<u>Bodenfülltiefe:</u>	⇨ ca. 35 cm
<u>Bodenplatte:</u>	⇨ wasserdurchlässig
<u>Aufstellung:</u>	⇨ Vegetationszeit: im Freiland ⇨ Winter: im Gewächshaus bei max. 16°C
<u>Bewuchs:</u>	⇨ mit Gras
<u>Besonderheit:</u>	⇨ nachführbare Abdeckung der senkrechten Bodenentnahmestelle

### Ergebnisse aus studienbegleitenden Biomassebestimmungen nach der Anderson & Domsch - Methode:

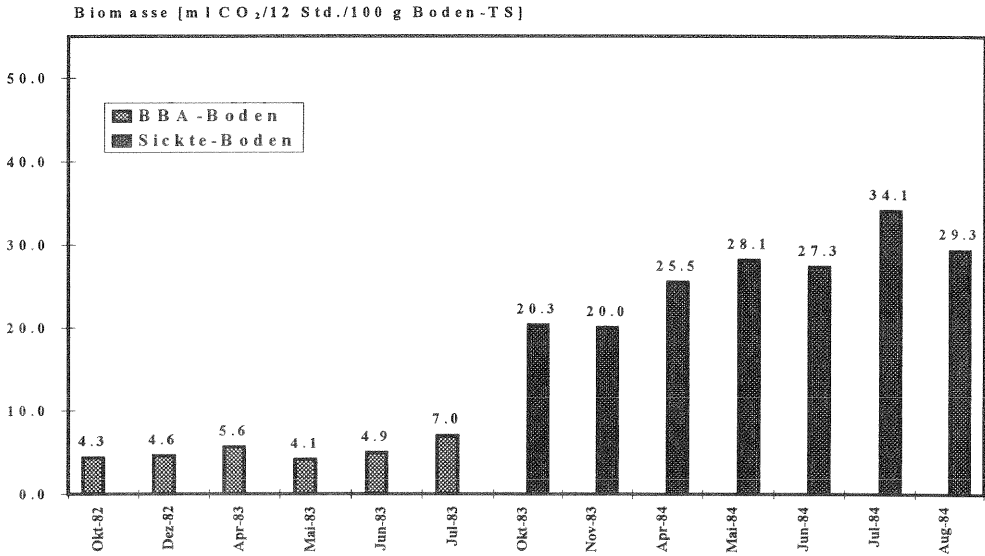
#### Gliederung des Vortrags

- 1) Schwankungen der ermittelten Biomasse von feldfrischen Böden
- 2) Einfluß der Bodenlagerung auf die Biomasse
- 3) Einfluß der Laborabbau-Versuchsbedingungen auf die Biomasse
- 4) Zusammenfassung/Folgerungen aus Biomasse-Daten

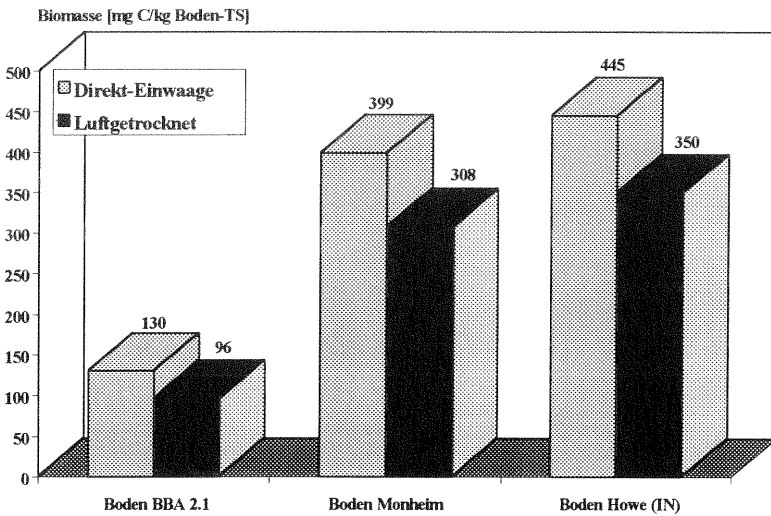
#### Mikrobiell aktive Biomasse „feldfrischer“ Böden (aus J.P.E. Anderson 1987)



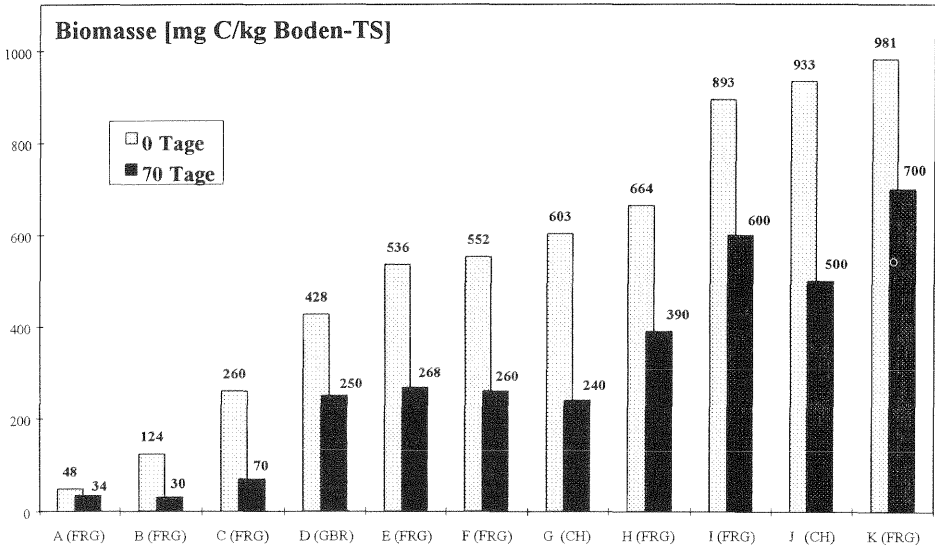
**Mikrobiell aktive Biomasse „feldfrischer“ Böden (aus B. Auspurg, 1986)**



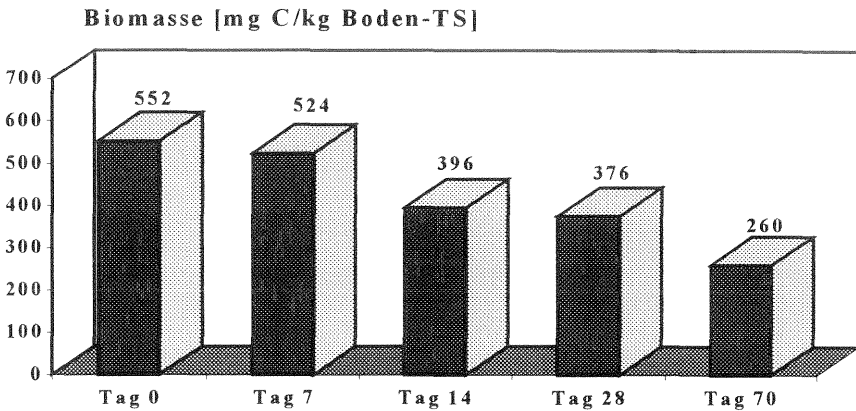
**Einfluß von Trocknung (Luft bei RT) und Siebung auf die Biomasse**



Entwicklung der Biomasse bei Lagerung über 70 Tage (dunkel, 22°C, 40-60%  $Wk_{max}$ ) (aus J.P.E. Anderson 1987)

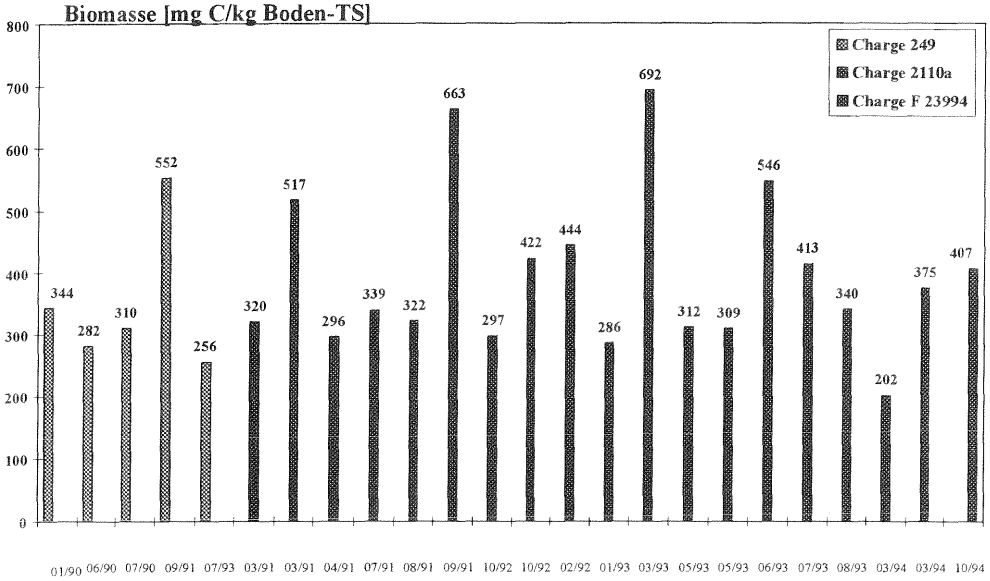


Entwicklung der Biomasse bei Lagerung über 70 Tage (dunkel, 22°C, 40-60%  $Wk_{max}$ ): Beispiel Boden F (FRG)

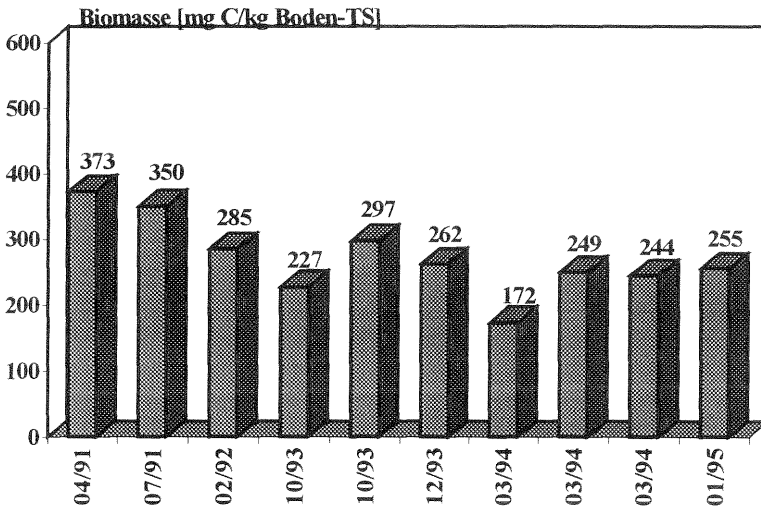




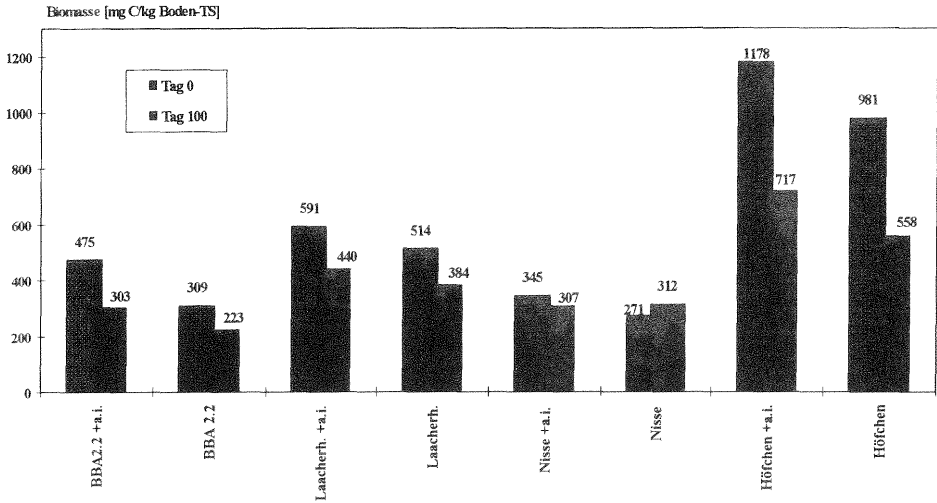
Entwicklung der Biomasse bei Lagerung in Holzkisten unter Freilandbedingungen mit Grasbewuchs: Beispiel Boden BBA 2.2



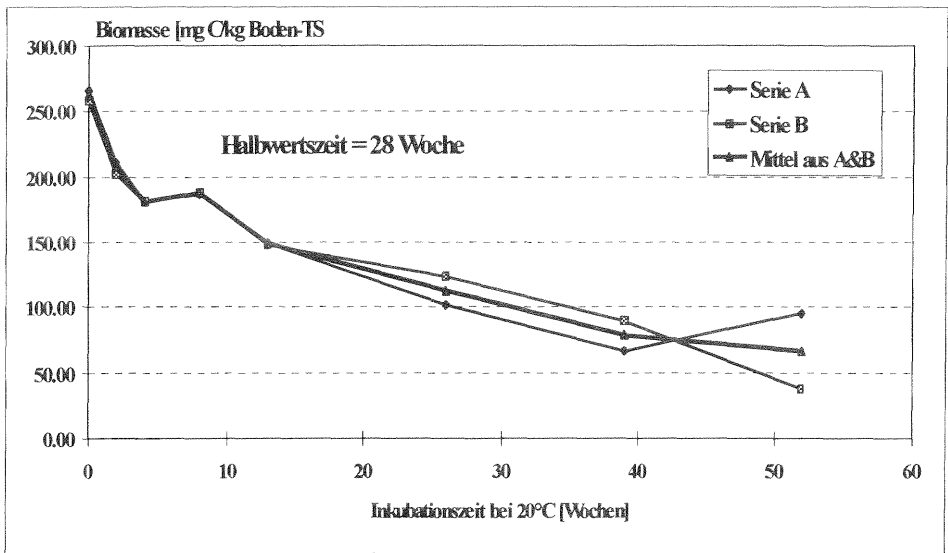
Entwicklung der Biomasse bei Lagerung in Holzkisten unter Freilandbedingungen mit Grasbewuchs: Beispiel Boden Howe (USA)

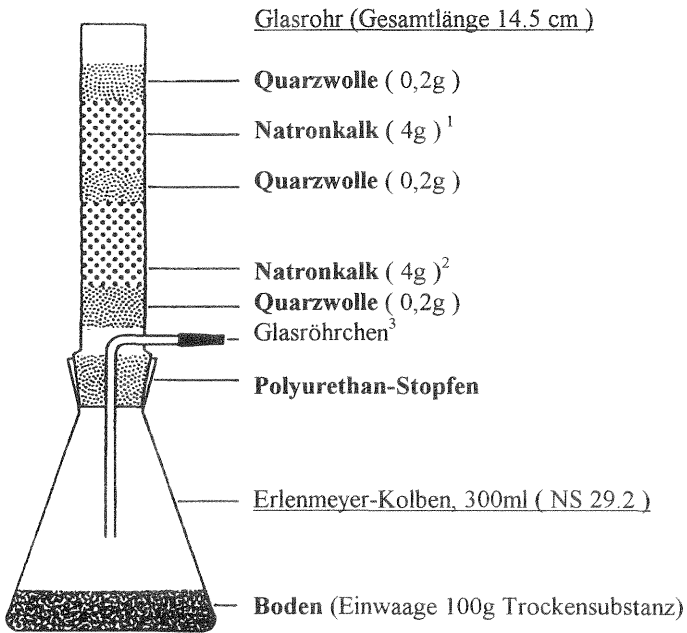


**Biomasse bei einem Abbauersuch nach BBA Guideline im Biometer-Gefäß: a.i. = Fungizid**



**Biomasse bei einem Abbauersuch nach EPA Guideline im Biometer-Gefäß über 1 Jahr: Boden Howe (USA)**



**Test-System für aeroben Abbau bzw. Metabolismus im Boden: Biometer-Gefäß**

(1) zur Adsorption von atmosph.  $\text{CO}_2$

(2) zur Adsorption von  $\text{CO}_2$ , das aus dem Gefäßinneren stammt.

(3): Rohr, um vor dem Öffnen flüchtige Substanzen aus dem Gefäßinneren in das Absorberöhrchen zu blasen; während des Tests verschlossen

**Zusammenfassung / Folgerungen**

- ⇒ Sehr variable biologische Komponente mit großer Schwankungsbreite der aktiven Biomasse in Feldböden
- ⇒ Lagerung von Boden in einem „geschlossenen“ System führt zwangsläufig zur Verringerung der aktiven Biomasse
- ⇒ Lagerung im „offenen“ System, z. B. in Holzkisten unter Kultur im Freiland, kann über längere Zeiträume die aktive Biomasse in Böden erhalten
- ⇒ Schwankungen der aktiven Biomasse sind dann mit denen von Freilandböden vergleichbar.

- ⇒ **Vollbilanz-Abbauversuche** (z. B. für die Zulassung von PSBM):
- ⇒ Zu Testbeginn (nach der Bodenvorbereitung!) sollte die akt. Biomasse des Testbodens bekannt sein
- ⇒ Die aktive Biomasse eines Bodens vermindert sich während der Inkubation ähnlich wie bei jeder Lagerung im geschlossenen System
- ⇒ Die Begrenzung der Versuchsdauer auf 120 Tage (siehe SETAC/EU-Guidelines) ist sehr sinnvoll
- ⇒ Ergebnisse der letzten Probenahme für die kinetische Auswertung (Testsubstanz bzw. Metaboliten) nicht überbewerten
- ⇒ Vergleich Biomasse mit/ohne Testsubstanz gibt Hinweise über deren Einfluß auf die Bodenorganismen (z. B. die Respirationsrate)



H. Nordmeyer und P. Niemann

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung,  
Braunschweig

### **Teilflächenbezogene Unkrautbekämpfung zur Reduzierung des Herbizideinsatzes**

Die Bedeutung des Bodens als begrenzt vorhandenes und zerstörbares Naturgut kann aus seinen Funktionen hergeleitet werden. Der Boden ist Lebensgrundlage für Mensch, Tier und Pflanze. Im einzelnen ist er Bestandteil von Natur und Landschaft, er ist Produktionsfaktor für die Land- und Forstwirtschaft, er ist Filter und Speicher für Wasser und Stoffe, und er ist Standort für Siedlung, Industrie, Verkehr und Erholung. Durch die Bodennutzung ist der Boden Belastungen ausgesetzt, die zu einer Störung und Schädigung seiner Funktionsfähigkeit führen können.

Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) zur Ertrags- und Qualitätssicherung ist für eine ökonomische Landbewirtschaftung unumgänglich geworden. Aus der Sicht des Bodenschutzes ist dagegen jeglicher Eintrag von PSM in das Ökosystem Boden als Gefahrenpotential zu werten. Eine Minimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes ist daher anzustreben. Da die Reduzierung der Pflanzenschutzmittelanwendungen durch reduzierte Aufwandmengen, Tankmischungen und Splitting weitgehend ausgeschöpft ist, muß nach anderen Möglichkeiten gesucht werden. Am Institut für Unkrautforschung der Biologischen Bundesanstalt wird daher unter Einbeziehung des Schadensschwellenkonzeptes (NIEMANN, 1986) an einem Verfahren zur räumlich gezielten Unkrautbekämpfung gearbeitet. Angestrebt wird dabei eine teilflächenorientierte Betrachtungsweise von Ackerschlägen. Dazu ist es zunächst erforderlich, Teilflächen gleicher Merkmalsausprägung zu erkennen, um darauf aufbauend eine situationsgerechte Bekämpfung der Unkräuter einleiten zu können.

Die Unkrautverteilung auf Ackerschlägen ist im allgemeinen nicht homogen. Die Unkräuter treten häufig nesterweise auf (THORNTON et al., 1990; WILSON & BRAIN, 1990). Derartige Nester können über mehrere Jahre und Fruchtfolgen ortstabil sein. Dieses Phänomen sollte in einem Unkrautbekämpfungskonzept berücksichtigt werden.

Bei der heutigen Applikationstechnik wird angestrebt, die Spritzbrühe möglichst gleichmäßig auf der Behandlungsfläche (Boden und/oder Pflanze) zu verteilen. Es werden zwangsläufig Teilbereiche behandelt, auf denen eine Unkrautbekämpfung nicht erforderlich wäre, da die Schadensschwelle unterschritten ist oder geringere Aufwandmengen für eine Bekämpfung ausreichen würden. Eine derartige Ganzflächenbehandlung ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht nachteilig zu bewerten.

Die Abbildung 1 zeigt die Gesamtverunkrautung eines Wintergerstenschlages. Die Unkrautbonitur erfolgte im April 1994. Deutlich erkennbar sind Befallsschwerpunkte mit bis zu 160 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Aber auch Bereiche mit weniger als 40 bzw. 20 Unkrautpflanzen pro Quadratmeter konnten ermittelt werden.

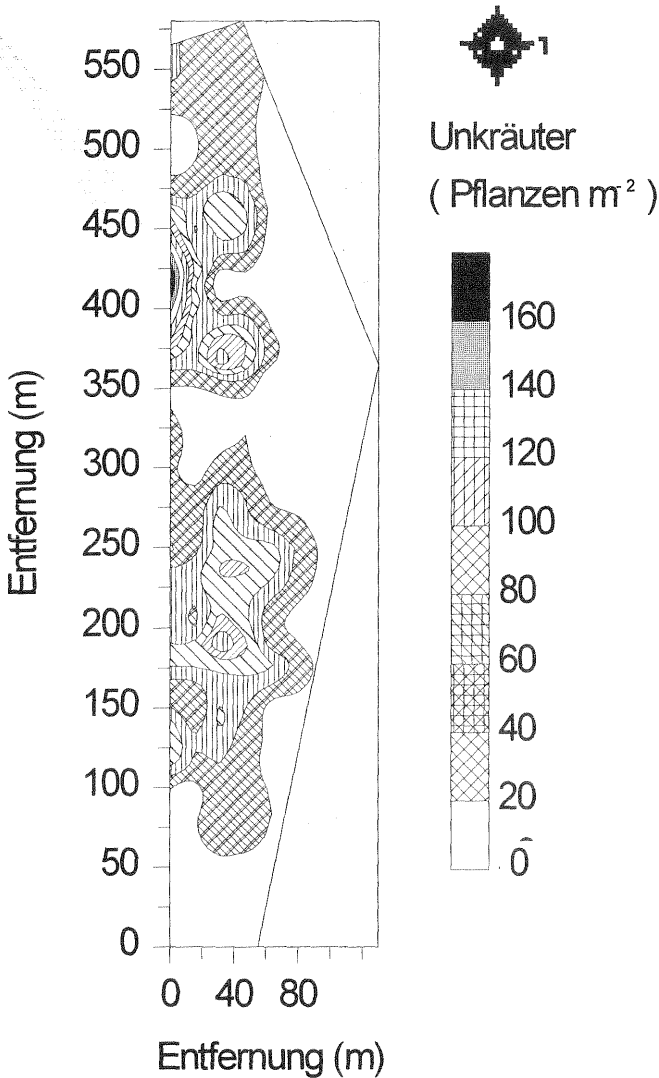


Abb. 1: Gesamtverunkrautung in Wintergerste (Ende April 1994, Standort Sickte, Schlag VIII)

Legt man eine Schadensschwelle von 40 Pflanzen/ $m^2$  zugrunde, so wäre auf ca. 60 % der Fläche keine Unkrautbekämpfung erforderlich gewesen. Tatsächlich erfolgte eine Ganzflächenbehandlung.

Daneben gibt es auch Schläge mit insgesamt höherem Unkrautdruck, wo zwar auch eine deutliche Nesterbildung zu erkennen ist, die Schadensschwelle aber auf der gesamten Fläche überschritten ist (Abb. 2). Die Verunkrautung (dikotyle Unkräuter) schwankte auf nahezu der gesamten Fläche zwischen 60 und 300 Pflanzen/ $m^2$ . Zusätzlich können auf solchen Flächen aber auch Problemunkräuter (z. B. Distel) auftreten. In solchen Fällen ist eine teilflächenorientierte Distelbekämpfung sinnvoll.

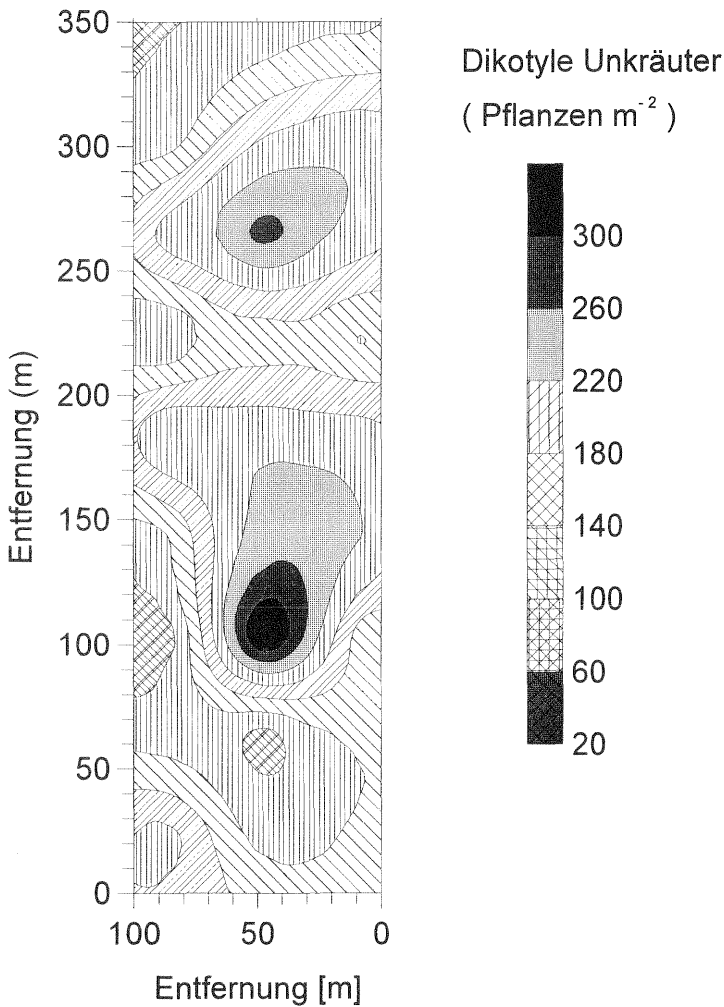


Abb. 2: Unkrautverteilung (dikotyle Unkräuter) in Sommergerste (Mai 1995, Standort Birkenbusch)

Ein besonderes Problem stellt jedoch zur Zeit noch die Unkrauterfassung in der Praxis und deren Umsetzung in teilflächenorientierte Bekämpfungsstrategien dar. Grundsätzlich lassen sich 2 Verfahren zur Umsetzung des Teilschlagkonzeptes beschreiben (NORDBO et al., 1995):

#### 1. Online-Verfahren

Beim Online-Verfahren wird die aktuelle Verunkrautung z. B. mittels optischer Sensoren oder eines Videosystems, die vor dem Schlepper installiert sind, aufgenommen und bildanalytisch ausgewertet. Diese Daten müssen dann direkt in kürzester Zeit vor Ort in eine Spritzentscheidung umgesetzt werden. Bei einem Abstand von 10 bis 15 m zwischen Sensor und Spritzbalken und einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/Stunde müßten alle Arbeitsschritte in 7 bis 10 Sekunden durchgeführt werden. Dies ist zur Zeit technisch nicht realisierbar. Solche Verfahren sind voraussichtlich frühestens in 10 bis 15 Jahren für die ackerbauliche Praxis verfügbar und einsetzbar.

## 2. Kartierungsverfahren

Folgendes Vorgehen ist dagegen zur Zeit realisierbar: Beim Kartierungsverfahren werden Luftbilder ausgewertet und die aktuelle Verunkrautung durch Feldbegehung aufgenommen. Dabei kann der Aufwand für die Unkrautbonitierungen durch eine vorherige Luftbilddauswertung reduziert werden. Bei der Feldbegehung werden dann Satellitennavigationssysteme zur Lokalisierung der Unkrautnester eingesetzt. Nur so ist es möglich, geocodierte Daten zu erhalten, die dann in maßstabsgerechte Feldkarten umgesetzt werden können. Auf der Grundlage der Luftbilder und der Unkrautkartierung werden digitale Schlagkarten erstellt, die die Grundlage für eine Teilflächenapplikation bilden.

	ON LINE	KARTIERUNG
<i>Unkraut- erfassung</i>	Sensoren Systeme mit Bild- verarbeitung	Feldbegehung (DGPS) Luftbilddauswertung
	⇓	⇓
	⇓	Einbindung von Informationen
	⇓	⇓
	⇓	Kartenerstellung (GIS)
	⇓	⇓
	⇓	Positionierung der Landmaschinen (DGPS)
	⇓	⇓
<i>Unkraut- bekämpfung</i>	Herbizid- applikation	Herbizid- applikation

Abb. 3: Elemente des Teilschlagkonzeptes (verändert nach NORDBO et al., 1995)

Für die Durchführung der Teilflächenapplikation muß dann wieder das Satellitennavigationssystem zur Ortung und Navigation des Schleppers mit Feldspritze eingesetzt werden. Abbildung 3 zeigt zusammenfassend die Elemente des Teilschlagkonzeptes.

Luftbilder erlauben das Erkennen von Unkrautverteilungsmustern in einer Kultur, so daß teilweise auf aufwendige Unkrautkartierungen verzichtet werden kann bzw. diese deutlich reduziert werden können. Es können Unterschiede im Unkrautdeckungsgrad ermittelt werden. Einzelne Unkrautarten

können dagegen trotz der guten Auflösungsmöglichkeiten ( $< 1$  m) nicht erkannt werden. Luftbilder werden üblicherweise aus 200 bis 250 Höhe aus Flugzeugen aufgenommen.

Für die Anpassung von Pflanzenschutzmaßnahmen an lokale Standortunterschiede werden im Institut für Unkrautforschung Techniken zur Ortung und Navigation eingesetzt, die eine ortsgenaue Erfassung von Verunkrautungen sowie die Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge (Schlepper mit der Feldspritze) erlauben.

Das Positionsbestimmungssystem basiert auf dem satellitengestützten Navigationssystem GPS (= Global Positioning System), das vom Department of Defense der Vereinigten Staaten entwickelt wurde. GPS ist weltweit jederzeit verfügbar und ermöglicht eine Positionsbestimmung in Breite, Länge und Höhe des jeweiligen Ortes.

Die eingesetzte GPS-Einheit besteht aus einer Referenzstation und einer tragbaren, mobilen Station. Referenz- und Mobilstation sind über eine Funkstrecke miteinander verbunden, so daß im Online-Verfahren die aktuellen Positionsdaten der Mobilstation korrigiert werden können und somit die erforderlichen Ortungsgenauigkeiten von 1 bis 3 m erreicht werden. Solche Systeme werden dann als **Differential Global Positioning System (DGPS)** bezeichnet.

Ein derartiges Ortungs- und Navigationssystem ist erforderlich, um zum einen die Unkrautnester auf dem Ackerschlag zu lokalisieren und zum anderen diese Nester punktgenau behandeln zu können (Abb. 4). Zunächst wird die aktuelle Verunkrautung auf den Ackerschlägen ortsgenau digital erfaßt. Die für eine Feldbegehung notwendige mobile DGPS-Datenerfassungsstation besteht aus einem Tragerucksack und einem Handterminal. Die Daten werden dann später über ein Geographisches Informationssystem (GIS) weiterverarbeitet, um so digitale Unkrautkarten für die Ackerschläge zu erstellen. Ein ähnliches Vorgehen wird bei LASS & CALLIHAN (1993) und PRATHER & CALLIHAN (1993) beschrieben.

Eine solche Unkrautkarte weist dann die raumbezogene heterogene Unkrautverteilung aus. Diese Karte bildet schließlich die Grundlage für eine teilflächenorientierte Unkrautbekämpfung.

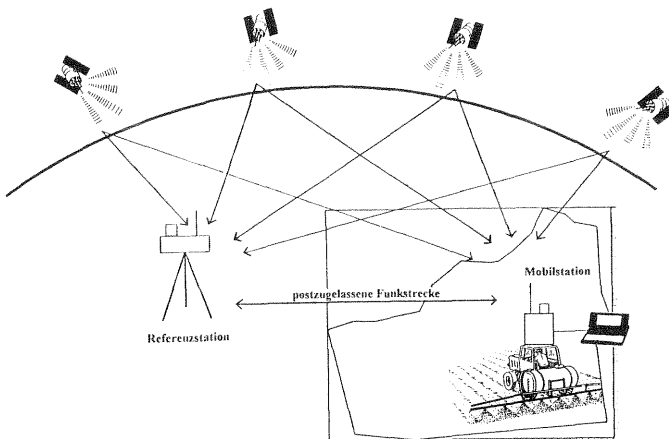


Abb. 4: Satellitennavigationssystem (GPS) mit Referenzstation und Mobileinheit zur Ortsbestimmung in der Landwirtschaft

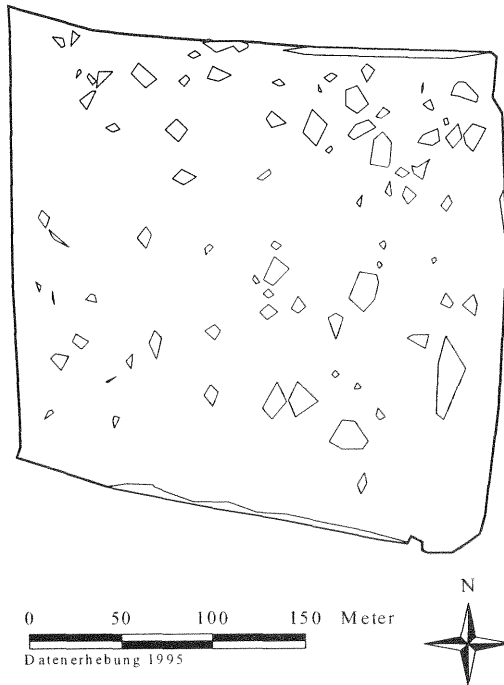


Abb. 5: Distelnester in Zuckerrüben - Standort Sickte, Schlag I/II, 1995

Für die Anpassung von Pflanzenschutzmaßnahmen an lokale Standortunterschiede werden die Ackerschläge anhand der Fahrgassen in Untereinheiten gleicher Merkmalsausprägung (z. B. Unkraut) gerastert. Die Abbildung 5 zeigt eine Versuchsfläche mit starker Distelverunkrautung. Die Ausdehnung der Nester wurde 1995 aufgenommen und darauf aufbauend eine Teilflächenapplikation durchgeführt. Anhand der vorliegenden Karte wurden die zu behandelnden Teilflächen ermittelt und die dafür erforderliche Spritzbrühe berechnet. Eine Distelbekämpfung war auf 52,5 % der Fläche erforderlich.

Ein anderer Ansatzpunkt zur Reduzierung der Herbizidaufwandmengen läßt sich aus der Heterogenität des Bodens herleiten. Böden zeigen teilweise eine hohe räumliche Variabilität ihrer Eigenschaften. Dies gilt neben der Korngrößenzusammensetzung in erster Linie auch für den Humusgehalt.

Alle Herbizide, die über die Wurzeln aufgenommen werden, werden in ihrer Verfügbarkeit und damit in ihrer Wirksamkeit von den Bodeneigenschaften beeinflusst. So hängt die Bioverfügbarkeit der Wirkstoffe eng mit der Sorption im Boden zusammen. Die Sorption wird wiederum stark vom Humusgehalt beeinflusst. Die Abbildung 6 zeigt die Variabilität des Humusgehaltes in der Krume (0 bis 30 cm Bodentiefe) eines Ackerstandortes. Deutlich zu erkennen sind Anreicherungs-zonen mit

Humusgehalten von 3,6 bis 4 %. Nahezu 50 % der Gesamtfläche weist jedoch nur Humusgehalte zwischen 1,6 und 2 % auf.

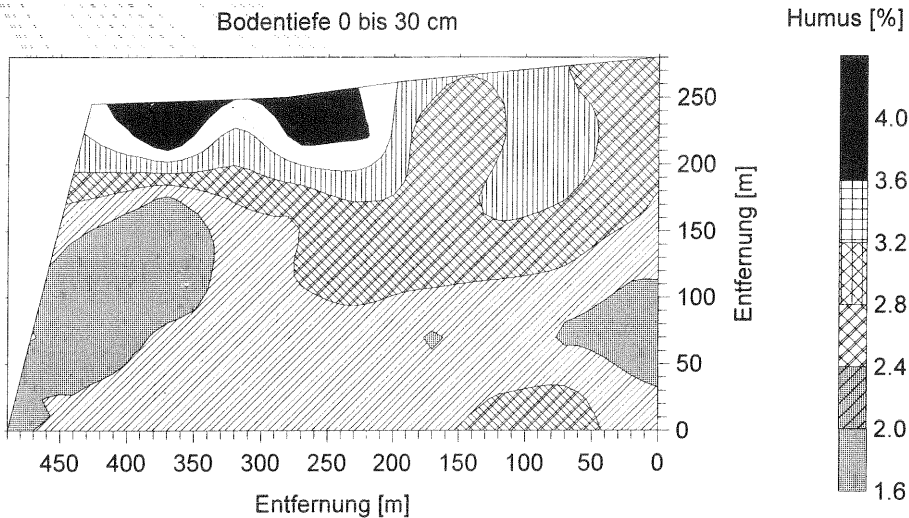


Abb. 6: Variabilität des Humusgehaltes in der Ackerkrume (0 bis 30 cm Bodentiefe) - BBA-Versuchsfeld Braunschweig, Schlag III/IV

Parzellenversuche mit Mais zeigten auf einem anderen Standort, daß bei Humusgehalten zwischen 4 und 1,2 %, die Herbizidaufwandmenge auf ca. 1/3 gesenkt werden konnte ohne daß Ertragseinbußen auftraten. Eine verstärkte Verunkrautung war nicht festzustellen.

Zusammenfassend ist festzustellen:

Schlagspezifische Unkraut- und Bodenkarten ermöglichen eine teilflächenorientierte Anwendung von Herbiziden. Die punktgenaue Applikation erfordert Satellitennavigationsysteme.

Als Vorteile des Teilflächenkonzeptes sind zu nennen:

- Verringerung des Herbizideinsatzes,
- Verminderung von Bodenbelastung und Austragsrisiko,
- Schaffung zusätzlicher ökologischer Nischen in der Agrarlandschaft,
- Kostensenkung.

Langfristig kann diese Technik dazu beitragen, den Herbizideinsatz in der Pflanzenproduktion zu reduzieren. Erste ökonomische Betrachtungsweisen belegen jedoch (AMON, 1994), daß die Rentabilität des Gesamtsystems zur Bewirtschaftung von Teilschlägen derzeit noch nicht gegeben ist. Aufgrund sinkender Kosten für die Ausrüstung, zunehmende Umweltauflagen sowie der

Tendenz zu größeren Betriebseinheiten wird diese Wirtschaftsweise an Bedeutung gewinnen. Somit wäre ein wertvoller Beitrag zum Bodenschutz geleistet.

#### Literatur

AMON, H. 1994: Abgrenzung und Bewirtschaftung von Teilschlägen mit Hilfe von Fernerkundung und Elektrik. Schriftenreihe der Zentralstelle für Agrardokumentation und -information, Band 2.

BROWN, R.B., ANDERSON, G.W., PROUD, B., STECKLER, J.P. 1990: Herbicide application control using GIS weed maps. Am. Soc. Agric. Eng., Paper 90-1061.

LASS, L.W., CALLIHAN, R.H. 1993: GPS and GIS for weed surveys and management. Weed Technology 7, 249-254.

NIEMANN, P. 1986: Vom Schadensschwellenkonzept zur Unkrautkartierung. DLG-Mitteilungen (3), 122-125.

NORDBO, E., CHRISTENSEN, S., KRISTENSEN, K. 1995: Teilflächen Unkrautmanagement. Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 102, 75-85.

PRATHER, T.S., CALLIHAN, R.H. 1993: Weed eradication using geographic information systems. Weed Technology 7, 265-269.

THORNTON, P.K., FAWCETT, R.H., DENT, J.B., PERKINS, T.J. 1990: Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. Crop Protect. 9, 337-342.

WILSON, B.J., BRAIN, P. 1990: Weed monitoring on a whole farm - patchiness and the stability of the distribution of *Alopecurus myosuroides* over a ten year period. Proc. EWRS Symposium - Integrated Weed Management in Cereals, 45-52.



G. Wartenberg

Institut für Agrartechnik, Bornim ATB, Potsdam

## **Geringere Herbizidbelastung landwirtschaftlicher Ackerflächen durch teilflächenspezifische Spritzmittelapplikation**

### **1 Einleitung**

Diskussionen in der Öffentlichkeit zur Praxis von Pflanzenschutzmittelanwendung und Düngung beinhalten häufig mehr polemische Aspekte als sachliche Argumente. Dabei wird allgemein der Fortschritt neuer Wirkstoffentwicklungen im Umweltverhalten außer Acht gelassen. Statistische Erhebungen verdeutlichen, daß die anhaltend negative Erlösentwicklung in der Landwirtschaft heute jeden Betrieb zum sparsamen Umgang mit Agrarchemikalien zwingt. In der Unkrautbekämpfung besteht z.B. die weitverbreitete Praxis, zugelassene Wirkstoffaufwandmengen situationsabhängig nach empirischen Erfahrungen und Schadensschwellenkonzepten zu modifizieren PARRY (1995) und ZSCHALER et al.(1995). Demzufolge verringerte sich der Herbizidverbrauch in der deutschen Landwirtschaft nach 1991 jährlich um ca. 20%. Solche Entwicklungen erbringen zwangsläufig Effekte für den Schutz von Boden und Grundwasser. Dennoch ist es erforderlich, unabhängig von wirtschaftlichen Entwicklungen, Verfahrenstechniken zu konzipieren, die aufgrund geringerer Wirkstoffaufwendungen bodenschonend wirken und trotzdem eine sichere Unkrautreduzierung garantieren.

Herbizide gelangen hauptsächlich in der oberen Bodenschicht zur Wirkung. Die geforderte Minimierung der Bodenbelastungen (TOEPFER et al. 1992) ist in erster Linie durch das Vermindern des Stoffeintrags zu erreichen. Untersuchungsergebnisse und Praxiserfahrungen bestätigen, daß auch mit verminderten Herbizidaufwendungen eine pflanzenbaulich ausreichende Unkrautbekämpfung erfolgen kann, wenn die Wirkstoffmenge der aktuellen Verunkrautungssituation angepaßt ist PALLUT et al. (1988). Die zwangsläufig zu erwartende Abnahme der Wirkungssicherheit von Spritzfolgen, besonders bei abnormalen Wachstums- und Standortbedingungen, ist dann durch detailliertere Beobachtungen zur Unkrautsituation zu kompensieren. Diese erfordert Verfahren und technische Hilfsmittel zum Erstellen situations- und ortsbezogener Spritzentscheidungen.

### **2 Material und Methoden**

An ausgewählten diluvialen sowie alluvialen Standorten in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern erfolgten Felderhebungen zur Kennzeichnung der bewirtschaftungs- und bodenartenabhängigen Unkrautverteilung auf praxisüblichen Feldern. Zum Ermitteln der Verunkrautungssituationen in verschiedenen Winterfrüchten zu relevanten Applikationsterminen kamen neben flugzeuggestützter Aufnahmetechnik vorrangig Handboniturverfahren zur Anwendung. Die Aufnahme der Arten- und Dichteverteilung erfolgte in gleichmäßigen Rasterabständen zwischen 9 x 10 bis 36 x 50 m auf Boniturf lächen von 0,1, 0,5 und 1m<sup>2</sup> Ausdehnung. Sie wurden durch den Einsatz von DGPS- Satellitenortungstechnik positioniert. Ein erster verfahrenstechnischer Versuch auf alluvialem Standort in der Oderbruchniederung zielte darauf ab, Erkenntnisse zur Handhabung verunkrautungsabhängig steuerbarer Applikationstechnik für Herbizide zu erhalten. Aus den Ergebnissen sollen langfristig Beiträge für die rationelle Bonitur von Feldbeständen und praktikable Techniken des schadensschwellenorientierten Herbizideinsatzes in einem Gesamtsystem der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher

Produktionsflächen abgeleitet werden EHLERT (1995). Es ist auch zu klären, ob die naturbedingte Heterogenität des Unkrautvorkommens auf bewirtschaftungsüblichen Feldgrößen deutlich genug ausgeprägt ist, um einen ausreichenden umweltwirksamen und wirtschaftlichen Effekt zu erreichen, der die technische Entwicklung von Verfahren zum dosisangepaßten und teilflächenspezifischen Spritzen der Herbizide rechtfertigt.

### 3 Ergebnisse

Heterogenität des Bodens: Alluvial, diluvial und durch die verschiedenartige Schichtung von Verwitterungssedimenten entstandene Ackerbaugebiete sind durch heterogene Bodenzusammensetzung und ungleichmäßige Wasserversorgung gekennzeichnet. Vielfach ist schon auf kleineren Feldern ein häufiger Wechsel der Standorteigenschaften zu beobachten NORDBO et al. (1994). Daraus ergeben sich auf praxisüblichen Ackerflächen örtlich variable Wachstumsbedingungen für Kulturpflanzen und Unkräuter, die wirtschaftliche Beachtung durch eine differenzierte Bestandesführung finden sollten. Unter den alluvialen Standortbedingungen des Oderbruchs ist der kleinflächige Wechsel von Bodenarten vorherrschend. Die Zusammensetzung des Bodensubstrats und Verfügbarkeit von Wasser unterliegen großen Schwankungen (Bild 1).

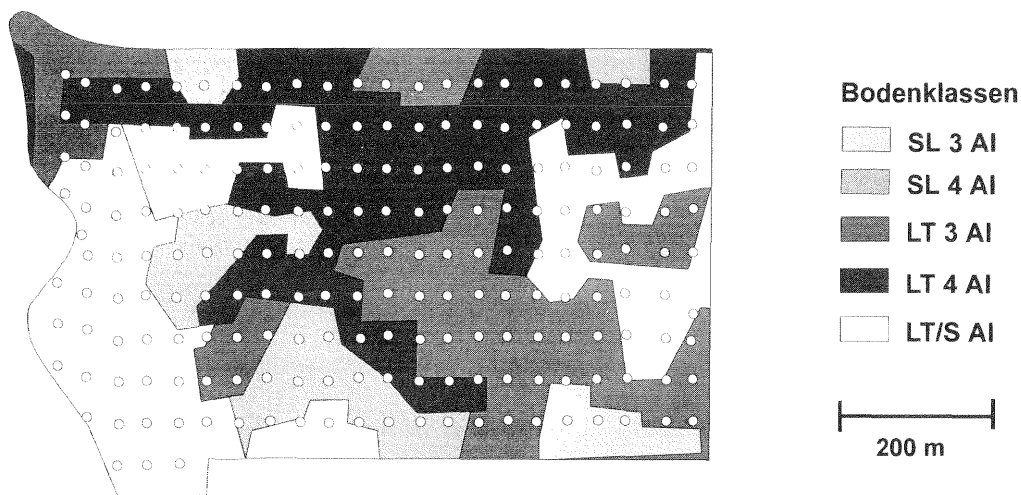


Bild 1: Bodenarten nach Bodenschätzung und Lage der Unkraut-Boniturpunkte auf einem Weizenfeld, 42 ha, im Agrarbetrieb Golzow/Oderbruch  
Unkrautaufnahme 4/95, Raster 36 x 50 m, Boniturflächen 0,5m<sup>2</sup>

Vom gleichen Feld angefertigte Luftbilder weisen anhand der fotooptisch verschiedenfarbig abgebildeten Bodenoberflächen darauf hin, daß die strukturbestimmenden Merkmale des Feldes noch wesentlich feiner gegliedert sind. Auf solchen Abbildungen sind Unterschiede in der mineralischen Zusammensetzung des Bodens, des Humusgehaltes und der Wasserführung, hervorgerufen durch die wechselnde Mächtigkeit von Sandschichtungen im Untergrund, anhand der Farbgebung zu lokalisieren JÜRSCHIK (1994). Vergleiche zwischen den Bodenkarten der Reichsbodenschätzung und aktuellen Luftaufnahmen geben auch zu erkennen, daß die andauernde landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Zufuhr von Humus keinen Ausgleich der

landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Zufuhr von Humus keinen Ausgleich der

Bodeneigenschaften erbrachte. Demzufolge sind langfristig kaum örtliche Veränderungen der Wachstumsbedingungen für die Begleitflora von Kulturpflanzen zu erwarten.

Heterogenität des Unkrautvorkommens: Auf weiteren Feldern durchgeführte Untersuchungen zur Arten- und Häufigkeitsverteilung des Unkrauts in Wintergetreide und Winterraps ergaben ausnahmslos inhomogene Verteilungsmuster der Arten- und Dichteverteilung von Unkräutern. Am Beispiel eines Wintergerstenfeldes sind erhebliche lokale Unterschiede des Vorkommens typischer Getreideunkräuter zu erkennen (Bild 2):

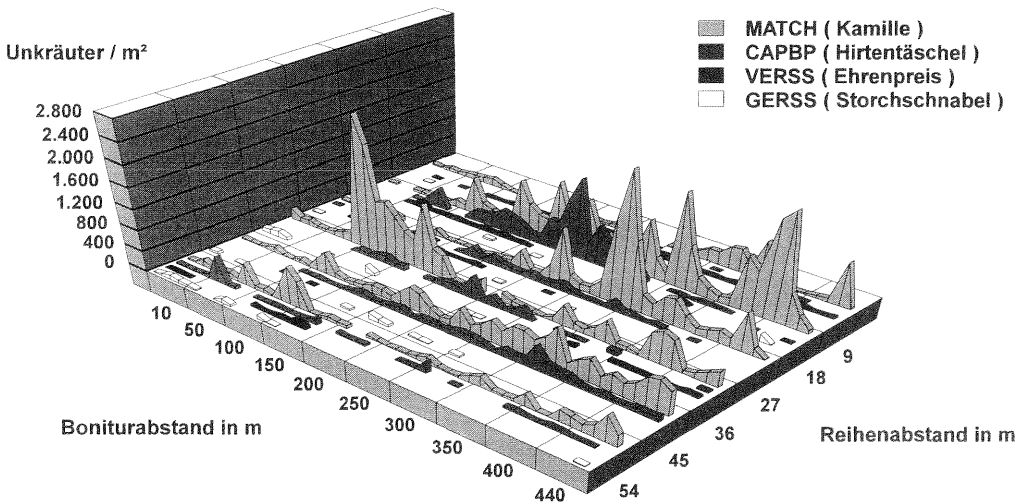


Bild 2: Heterogene Verteilung von Unkräutern auf einem scheinbar homogenen Teil des untersuchten Feldes

Auf der bonitierten Fläche wechseln kleinräumig mehrfach die Dominanz von Leitunkräutern und Zusammensetzung der Unkrautgesellschaft. Im abgebildeten Teil des Feldes, welcher nach einem engen Raster von 9 x 10 m beprobt wurde, haben sich wenige nährstoffliebende Vertreter der Kamillengesellschaft (*Aphano Matricarietum*) ausgebreitet. Der Boden ist vorwiegend als anlehmgiger Sand zu klassifizieren und ein Grenzstandort für Wintergerste. Während auf einigen Teilflächen das Hirtentäschel-Kraut *Capsella bursa-pastoris* vorherrscht, treten an anderen Stellen des Feldes Kamillen-Arten *Matricaria spp.* in den Vordergrund. Ähnliche Zusammenhänge sind am Vorkommen von Ehrenpreis-Arten *Veronica spp.* und Storchschnabel *Geranium dissectum* zu erkennen. Diese Arten sind jedoch mit geringerer Individuenzahl vertreten.

Weitere Unkrautaufnahmen auf Teilflächen des 28 ha-Schlages lassen aufgrund der geologischen Gestaltung des Feldes die Abhängigkeit der verschiedenartig zusammengesetzten

Unkrautgesellschaften von den Bodeneigenschaften, wie auch durch HÄUSLER et al. (1995) beobachtet, vermuten.

Geobotanische Untersuchungen zur Verbreitung von Unkräutern in Ackerbaugebieten verweisen häufig auf bestehende Beziehungen zwischen der Besiedlung charakteristischer Standorte und der Artenzusammensetzung von Pflanzengesellschaften (KAUSZMANN 1973, VAN ELSEN 1994 und ARLT et al. 1995). Durch den Jahrzehnte andauernden Einsatz von Herbiziden ist allerdings die Vielfalt der Pflanzengesellschaft geschrumpft und die artenspezifisch ausgeprägte Standortgebundenheit der ursprünglichen Pflanzengesellschaft zwangsläufig vermindert worden (PÖTSCH 1988 und ALBRECHT 1995).

Untersuchungen zum feldspezifischen Vorkommen von Getreideunkräutern ist zu entnehmen, daß Arten die den heutigen agrotechnischen Verhältnissen angepaßt sind, noch auf Boden- und Standortveränderungen reagieren (Bild 3).

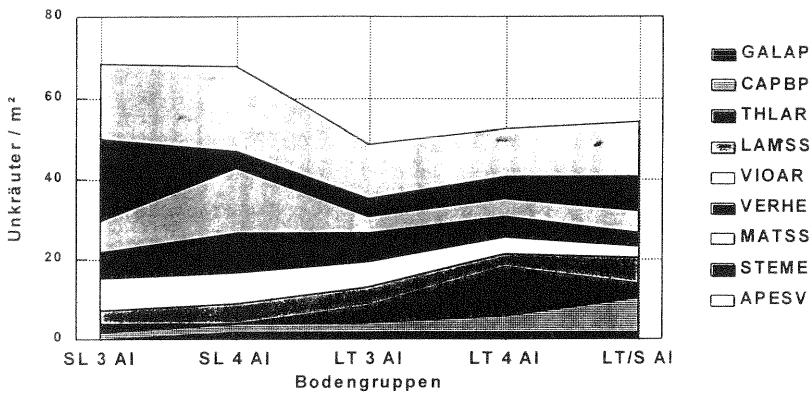


Bild 3: Arten- und Dichteverteilung von Unkräutern und mittlere Häufigkeit des Vorkommens auf einem Winterweizenfeld in Abhängigkeit von den Bodengruppen  
Agrarbetrieb Golzow/Oderbruch, Ackerfläche 42 ha, Unkrautaufnahme 4/95,  
Raster 36 x 50 m, Boniturflächen 0,5m<sup>2</sup>  
(Darstellung Diagramm und Legende: Flächen steigend, Legende fallend)

Auf dem untersuchten Feld ist zu erkennen, daß neben feldübergreifend vorkommenden, standortindifferenten Arten auch die bodenartenspezifische Verbreitung von Unkräutern vorherrscht. Während Klettenlabkraut *Galium aparine*, Hirtentäschel *Capsella bursa-pastoris*, Ackerhellerkraut *Thlapsi arvense* und Taubnesseln *Lamnium ssp.* Tendenzen zum Vorkommen auf besseren Standorten zeigen, bevorzugen Ehrenpreis *Veronica hederifolia*, Kamillen *Matricaria ssp.*, Vogelmiere *Stellaria media* und Windhalm *Aperia spica-venti* geringerwertige Bodenarten.

Im allgemeinen lassen die durchgeführten Bonituren erkennen, daß nur wenige Unkrautarten standortübergreifend vorkommen und indifferent auf veränderliche Bodenbedingungen reagieren.

Tabelle 1: Häufigkeit von Unkräutern auf Ackerschlägen verschiedener diluvialer und alluvialer Standorte in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern  
Datenbasis: 11 Bonituren mit 2750 Zählungen

Unkrautart	WSSA Code	Vorkommen auf Zählflächen %	mittl. Häufigkeit je Zählfläche Stück/m <sup>2</sup>	maximale Streuung Stück/m <sup>2</sup>
Kamillen	MATSS	74,5	171	378
Windhalm	APESV	66,4	33	91
A.-Stiefmütterch.	VIOAR	51,9	78	411
Vogelmiere	STEME	45,6	9	20
Ehrenpreis	VERHE	42,4	11	26
Hirtentäschel	CAPBP	34,0	66	184
Taubnesseln	LAMSS	31,3	13	31
Ws. Gänsefuß	CHEAL	21,2	5	11
Quecke <sup>1)</sup>	AGPRE	17,2	11	15
Erdrauch	FUMOF	16,9	9	19
A.-Hellerkraut	THLAR	9,7	22	56
Klettenlabkraut	GALAP	8,9	10	18
A.-Vergißmein.	MYOAR	8,9	1	3
Landwasser Kn.	POLAM	6,5	1	5
Storchschnäbel	GERSS	6,2	35	107
Einjähr. Rispe	POAAN	5,5	2	5
Schachtelhalm	EQUAR	4,6	6	10
Frauenmantel	APHAR	4,3	1	2
A.-Kratzdistel	CIRAR	3,8	10	21
Wi.-Knöterich	POLCO	2,7	1	1

<sup>1)</sup> Anzahl der oberirdischen Sprosse

Aus diesen Pflanzenaufnahmen und weiteren Untersuchungen in anderen landwirtschaftlichen Gebieten der neuen Bundesländer lassen sich einige Zusammenhänge des standortbezogenen Unkrautvorkommens ableiten:

- Bestimmte Samenunkräuter sind durch hohe Individuenzahl vertreten und fungieren unabhängig von der Häufigkeitsverteilung der Gesamtverunkrautung als Leitunkraut.
- Als dominante Leitunkräuter sind nur wenige Arten anzutreffen.
- Die Zusammensetzung der Unkrautgesellschaft reagiert auf Änderungen der Standortbedingungen (Bodenart, Humus- und Nährstoffgehalt sowie der Wasserversorgung).
- Die Häufigkeit und Größe überlebender Unkräuter im Kulturpflanzenbestand hängt von den lokal wirksam gewordenen Konkurrenzbedingungen ab.
- Unkrautarten wachsen in Abhängigkeit von den Standortbedingungen auf einem Feld eher konzentriert auf Teilflächen als feldübergreifend.

Verfahrenstechnische Voraussetzungen für teilflächenspezifische Herbizidanwendung:  
Entwicklungsfortschritte in der Ortungstechnik sowie zur Hard- und Software von steuer- und regeltechnischen Komponenten der Spritzmaschinen ermöglichen schon heute das teilflächenbezogene Applizieren von Herbiziden (Bild 4).

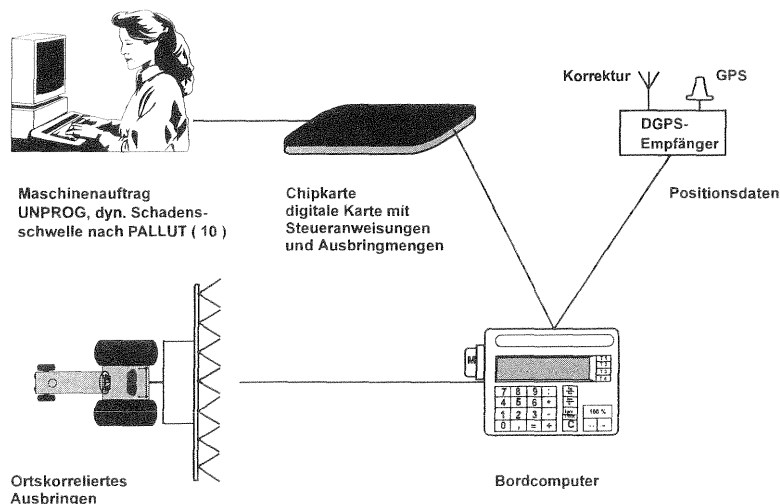


Bild 4: Technische Komponenten für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden

Durch den Einsatz eines DGPS-Satelliten-Navigationssystems mit zehnkanaeligem Empfängerteil lassen sich Spritzmaschinen positionsgenau mit einer Abweichung von  $< \pm 1$  m orten. Die minimale Teilflächengröße und der Variationsbereich der Wirkstoffdosis wird von technischen Parametern der Spritzmaschinen begrenzt. Die derzeit marktverfügbare Applikationstechnik läßt es zu, den Herbizidaufwand durch Ausnutzen des vorhandenen hydraulischen Regelbereichs in den Grenzen von  $\pm 25\%$  zu variieren. Mengenänderungen sind infolge des düsenfernen Regeleingriffs nur nach einer integralen Übergangsfunktion zu realisieren und in Abhängigkeit von der Aufwandmenge erst nach Fahrstrecken von 5...10 m vollzogen. Die teilbreitenspezifische Ausbringung unterschiedlicher Flüssigkeitsdurchsätze ist hydraulisch und softwareseitig noch nicht zu verwirklichen.

Im Gesamtverfahren fehlen noch praxisüberführbare Lösungen zum Erstellen von positionsbezogenen Spritzanweisungen. Dazu ist es erforderlich, entweder vor dem Spritztermin im off line-Verfahren dem Spritzen eine flächendeckende Bonitur voranzustellen oder im on line-Verfahren fortlaufend Unkrautpflanzen zu zählen und Arten bestimmen. Beide Ermittlungsmethoden sind sowohl arbeitsintensiv als auch zeitaufwendig und für den praktischen Einsatz noch nicht anwendungsreif.

Eine flächendeckende Handbonitur kann aufgrund des Arbeitsumfanges nur im Forschungsbetrieb realisiert werden. DGPS-Vermessung und Bonitur aussagefähiger Unkrautaufnahmen benötigen nach eigenen Erfahrungen im Durchschnitt einen Zeitaufwand von 1,75...2,5 Akh/ha Ackerfläche durch herbologisch geschultes Personal.

Der Entwicklungsstand zur fotooptischen Aufnahme von Pflanzenbeständen sowie automatisierten Erkennung des Unkrauts mit Bildverarbeitungssystemen läßt kurzfristig noch keine einsatzbereiten Lösungen erwarten (PETRY 1989, BOCKISCH et al. 1991, GEORG et al. 1992, GERHARDS et al. 1993 und BILLER 1994). Für on line-Anwendungen beim Spritzen reichen sowohl die Erkennungsrate der detektierten Unkräuter im behandlungsrelevanten Entwicklungsstadium als auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit der verfügbaren Rechnersysteme nicht aus. Da die Unkrauterfassung vor dem Spritzen erfolgen muß, kann das teilflächenspezifische Spritzen vorerst nur im off line-Verfahren verwirklicht werden.

Der wirtschaftliche Effekt des Teilflächenspritzens wird durch den Grad der Verunkrautung bestimmt. Bei Ganzflächenbehandlungen ist in der Praxis das Vorsorgeprinzip vorherrschend. Demzufolge werden bei den Spritzentscheidungen lokale Einzelvorkommen von Unkräutern überbewertet. Schon GEROWITT et al. (1984) stellten in ihren Untersuchungen fest, daß 50% der Herbizidbehandlungen im Getreide unwirtschaftlich sind. Die Bonituren auf dem in Abbildung 1 dargestellten Weizenfeld lassen erkennen, daß auf großen Teilen des Feldes Unkrautbestände vorherrschen, die nur geringe Ertragsverluste hervorrufen (Bild 5).

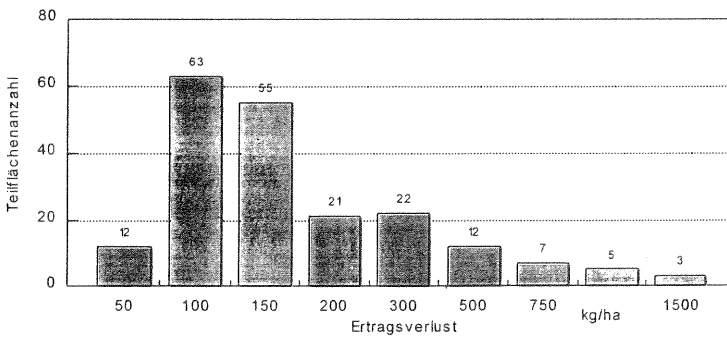


Bild 5: Teilflächenspezifischer Ertragsverlust aus Unkrautbonituren nach Konkurrenzindizes (PALLUT 1992) berechnet

Das teilflächenspezifische Spritzen dieses Feldes mit differenzierten Herbizidaufwandmengen nach Ertragsverlustschwellen führte zu wesentlichen Mittlereinsparungen und verbessert die ökonomische Situation des Herbizideinsatzes (Tabelle 2).

Tabelle 2: Versuchsergebnisse zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation

Ertragsverlust <sup>1)</sup> dt/ha	behandelte Fläche		Mittelaufwand <sup>2)</sup>		Einsparungen absolut
	ha	%	%	DM/ha	DM
< 1	8,1	25	50	31,06	251,60
1 - < 2,5	16,3	50	75	46,59	253,10
> 2,5	8,3	25	100	62,12	-

<sup>1)</sup> Ertragsverlust nach Konkurrenzindizes von PALLUT (1992) berechnet

<sup>2)</sup> Standardbehandlung = 100%: (2,5l/ha Azur + 0,5l/ha Arelon)

<sup>3)</sup> Ertragsgewinn bei einer Preisbasis von 22 DM/dt Weizen

Der aus Bonituren prognostizierte Ertragsverlust beträgt auf den Teilflächen, die 50% Wirkstoffaufwand erhielten, im Durchschnitt 0,69 dt/ha (15,18 DM/ha<sup>3)</sup>) und auf Flächen, die mit 75% gespritzt wurden, im Mittel 1,46 dt/ha (32,12 DM/ha<sup>3)</sup>). Im Vergleich zu den aufgewendeten Herbizidkosten bleibt selbst das Spritzen mit reduzierten Mittelaufwendungen noch unwirtschaftlich. Erst bei einem Ertragsverlust über 3 dt/ha werden Ertragsgewinne erzielt, die die Spritzkosten ausgleichen können.

#### 4 Diskussion

Das Verfahren der ganzflächigen Unkrautbekämpfung im Getreide gerät durch Einflußbereiche, die im wesentlichen außerhalb der Landwirtschaft liegen, zunehmend unter ökologischen und ökonomischen Druck. Der gegenwärtige Trend in der Praxis, bei Ganzflächenspritzungen die Wirkstoffaufwandmengen zu kürzen, initiiert die Zunahme von Resistenzerscheinungen bei weiteren Unkrautarten. Demzufolge sollten Entwicklungen in der Applikationstechnik darauf gerichtet sein, Wirkstoffeinsparungen durch teilflächenbezogene Variation der Herbizidmenge nach der Verunkrautungssituation zu erreichen.

Auf allen untersuchten Feldern konnten differenziert zu behandelnde Verunkrautungsverhältnisse nachgewiesen werden. Die Zählungen ergaben vielfältig und heterogen zusammengesetzte Unkrautgesellschaften. An allen Standorten ist eine Abhängigkeit der Artenverbreitung von der Zusammensetzung des Bodens zu erkennen. Wie orts- und langzeitgebunden diese vorgefundenen Verteilungsstrukturen sind, läßt sich aus den einjährigen Versuchen noch nicht ausreichend gesichert ableiten. Alle vorliegenden Unkrautaufnahmen geben zu erkennen, daß die jährlich aufgewachsene Unkrautgesellschaft ein bis drei Leitunkräuter enthält, die teilflächenspezifisch und mit hoher Individuendichte vorkommen. In Abhängigkeit von den Standortbedingungen wechselt häufig ihre Rangfolge. In der Regel enthält die Unkrautgesellschaft 3 bis 8 weitere Arten, die lokale Verbreitungsgebiete auf dem Feld einnehmen.

Für die applikationstechnischen Verfahrensanteile ist in wenigen Jahren eine ausreichende Praxisreife zu erreichen, wenn sich Verfahren zur automatischen Unkrauterkennerung abzeichnen. Deshalb ist es erforderlich, zur Nutzung des Gesamtverfahrens der teilflächenspezifischen Applikation nach alternativen und kurzfristig umsetzbaren Lösungsansätzen für das Ermitteln des Verunkrautungsgrades zu suchen.

Der gegenwärtige Entwicklungsstand in der Bildverarbeitung zur positionsbezogenen Unkrauterkennerung im on-line-Verfahren läßt nicht auf eine mittelfristige Überführung in die Praxis schließen. Außerdem wird der geringe finanzielle Spielraum den mehrfachen Einsatz von Bilderkennungssystemen an einer Spritzmaschine bei Arbeitsbreiten von 18...36 m, kaum zulassen. Ein praxisrelevantes Prinzip der Unkrauterkennerung muß den zu erwartenden ökonomischen Bedingungen entsprechen. Nach Berechnungen von WINTER (1995) könnte der ökonomische Vorteil einer Teilflächenbehandlung ca. 40 DM/ha ausmachen. Nach Modellrechnungen ist zu erwarten, daß der wesentliche ökonomische Effekt einer Teilflächenbehandlung schon durch Unterscheidung von 3...4 Ertragsverlustklassen erreicht ist. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß auch eine qualitative bzw. unscharfe positionsbezogene Unkrautaufnahme ausreichen könnte, wenn



weitere standortgestützte Informationen in die Spritzentscheidung einfließen WARTENBERG (1994).

Durch positionsbezogenes Applizieren variabler Wirkstoffaufwandmengen läßt sich sowohl auf größeren Flächenanteilen die örtliche Herbizidbelastung vermindern als auch die Gesamtbelastung des Feldes verringern. Desweiteren sollte aus ökologischen Gründen das teilflächenspezifisch differenzierte Sorptions- und Durchlässigkeitsverhalten der unterschiedlichen Bodenarten auf einem Feld als Regelgröße für die Herbiziddosierung Berücksichtigung finden.

Das verunkrautungsspezifische Spritzen kann eine ökologisch akzeptable und ökonomisch tragfähige Alternative der Herbizidbehandlung in der zukünftigen Getreideproduktion darstellen, wenn es gelingt, den technischen Aufwand für die Pflanzenerkennung und Teilflächenapplikation entscheidend zu senken.

#### Literatur

- ARLT, K.; ENZIAN, S.; PALLUT, B., 1995: Verbreitung wirtschaftlich wichtiger Unkrautarten in Ostdeutschland in Abhängigkeit von den natürlichen Bedingungen und den Kulturarten. 9th EWRS Symposium, 10.-12.7. 95 in Budapest. Proceedings Teil I, Seite 81-88
- BILLER, R., 1994: Verfahren zur Reduzierung des Aufwandes an chemischen Pflanzenschutzmitteln in der Pflanzenproduktion. *Landbauforschung Völkenrode* **44** (2) S. 205-215
- BOCKISCH, F.-J.; GEORG, H.; KRIETE, A., 1991: Einsatz von Computern zur automatischen Bildanalyse in der Landtechnik. *Inst. f. Landt. Gießen*, unveröff. 12 S.
- EHLERT, D., 1995: Technik und Verfahren der kleinräumigen Bestandesführung - Handlungsbedarf. *Arbeitspapier 210, KTBL Darmstadt* S. 64-71
- GEORG, H.; BOCKISCH, F.-J., 1992: Unkräuter erkennen mit Sensoren? *Pflanzenschutz-Praxis* Nr. 4, S. 28-31
- GEROWITT, B.; BODENDÖRFER, R.; HEITEFUSZ, R., 1984: Zur Wirtschaftlichkeit des Herbizideinsatzes im Getreide - Auswertungen von Versuchen des Pflanzenschutzes a. d. Jahren 1977-1981. *Ztschr. Pfl.kr. Pfl.sch. Sonderh. X*, S. 127-135
- HÄUSLER, A.; NORDMEYER, H., 1995: Impact of soil properties on weed distribution. *Arbeitspapier der BBA Braunschweig*, unveröff. 1 S.
- JÜRSCHIK, P., 1994: Luftbilder - wertvoll und bezahlbar. *Landtechnik* 94, Nr.6, S. 373
- KÜHBAUCH,  
KAUSZMANN, B.; KUDOKE, J., 1973: Die ökologisch-soziologischen Artengruppen der Ackerunkrautvegetation für den Norden der DDR. *Feddes-Report 84*; S. 589-605
- NORDBO, E.; CHRISTENSEN, S.; 1994: Teilflächen-Unkrautbewirtschaftung. Vortrag, ATB/KTBL-Kolloquium, Potsdam-Bornim 13.-14.4. 94, unveröff.
- PALLUT, P.; HOFFMANN, B., 1988: Flexibler Herbizideinsatz im Getreide. 7. Fortschrittsseminar des IFP Kleinmachnow 18.6.87, S.17-18
- PALLUT, B., 1992: Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Kornetragsverlusten. *Ztschr. f. Pfl.kr. Pflsch., Sonderheft XIII*, S. 129-137
- PETRY, W., 1989: Unkrautkontrolle im landwirtschaftlichen Pflanzenbau mit Hilfe der quantitativen Bildanalyse. *Dissertation Univ. Bonn*, 74 S.
- TOEPFER, K.; LERSNER, von H. 1992: Bericht: Daten zur Umwelt 1990/91. zit. in: *Agra-Europe* **33** (24) S.14-16

VAN ELSSEN, T.; SCHELLER, Ute, 1994: Zur Bedeutung einer stark gegliederten Feldflur für die Entwicklung von Acker-Wildkrautgesellschaften. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. Sonderheft 1, S.17-31

WARTENBERG, G., 1994: GPS: Ein Baustein des Pflanzenschutzes. DLG-Mitt. (1), S.36-39

WINTER, R., 1995: Bewertung der Vorteilswirkungen teilflächenspezifischer Applikationen von Stickstoffdünger und Herbiziden. Tagungsband der VDI-Landtechniktagung in Braunschweig 12.-13.10.95, S. 135-138

ZSCHALER, H.; RUBACH, Birgit; ENZIAN, S.; WITTCHEN, U., 1995: Status-quo-Analyse des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Feldkulturen der Bundesrepublik Deutschland 1991/92. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **47** (4), S. 86-95 und (5), S. 116-120

H. Ganzelmeier

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Fachgruppe für Anwendungstechnik, Braunschweig

### Abtritt und Bodenbelastungen beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln

Beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln gilt der Boden selbst in der Regel nicht als Zielfläche, sondern wird auf direkte oder indirekte Weise mit Pflanzenschutzmitteln belegt. Da es sich hierbei um eine ungewollte, jedoch weitgehend unvermeidbare Kontamination des Bodens mit Pflanzenschutzmitteln handelt, ist dafür einleitend der Begriff „Bodenbelastung“ verwendet worden.

Nachdem die Möglichkeiten der Herbizideinsparung durch Teilflächenapplikation als ganz neues Verfahren zur Schonung des Bodens bereits dargelegt wurden, ist das Ziel dieses Beitrages, die Abtritt und die Bodenbelastung für die derzeit in der Praxis eingeführten bzw. kurz vor der Einführung stehenden Pflanzenschutzgeräte darzustellen. Für die weiteren Darlegungen wird unterschieden zwischen der Bodenbelegung innerhalb und der Bodenbelegung außerhalb der Behandlungsfläche.

#### Bodenbelegung innerhalb der Behandlungsfläche

Obwohl der Boden in der Regel nicht die Zielfläche darstellt, gelangen dorthin zum Teil doch beträchtliche Pflanzenschutzmittelmengen, die je nach Kulturart (Acker-, Wein-, Obst- und Hopfenbau), Vegetationsstadien und eingesetzter Pflanzenschutztechnik sehr unterschiedliche Werte annehmen können (Abb. 1 a - d).

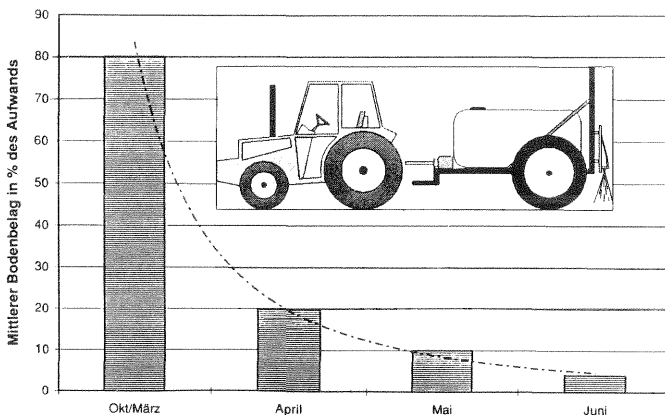


Abb. 1a: Mittlerer Bodenbelag in Prozent des Pflanzenschutzmittelaufwandes im Ackerbau (Winterweizen) beim Einsatz von Feldspritzen in Abhängigkeit von der Vegetation

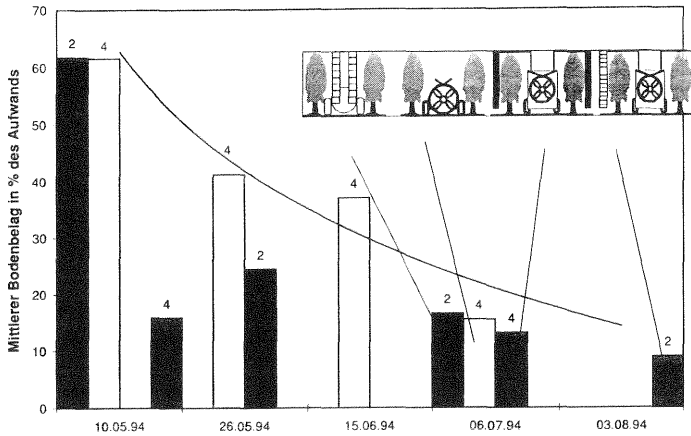


Abb. 1b: Mittlerer Bodenbelag in Prozent des Pflanzenschutzmittelaufwandes im Weinbau in Abhängigkeit von der Vegetation und der Gerätetechnik (Ziffern geben die Anzahl der Versuche an)

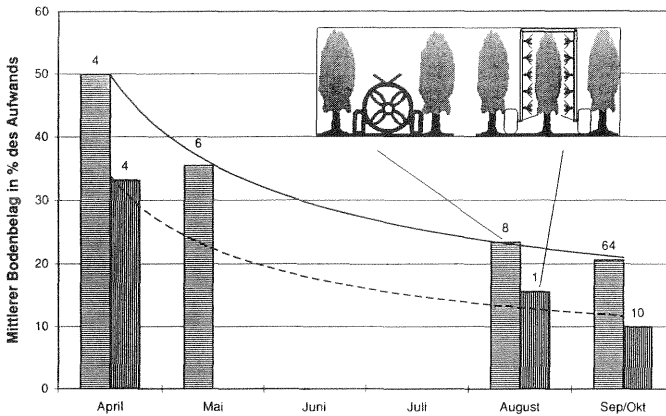


Abb. 1c: Mittlerer Bodenbelag in Prozent des Pflanzenschutzmittelaufwandes im Obstbau in Abhängigkeit von der Vegetation und der Gerätetechnik (Ziffern geben die Anzahl der Versuche an)

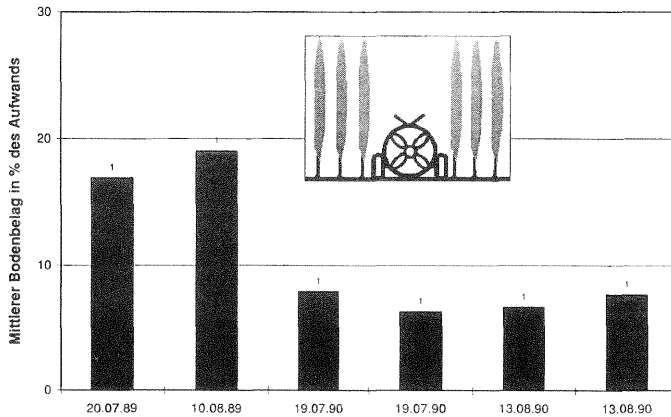


Abb. 1d: Mittlerer Bodenbelag in Prozent des Pflanzenschutzmittelaufwandes im Hopfenbau beim Einsatz von Sprühgeräten mit Axialgebläsen (Ziffern geben die Anzahl der Versuche an)

Für den Ackerbau gehen nach den Voraufspritzungen im Herbst oder im zeitigen Frühjahr - wo der Boden als Zielfläche anzusehen ist - die Bodenbeläge von zunächst ca. 80 % auf ca. 5 % und weniger bei den abschließenden Ährenbehandlungen bzw. Blattlausspritzungen zurück [1]. Diese starke Abhängigkeit wird in erster Linie geprägt durch den zunehmend dichteren Pflanzenbestand, dessen gesamte Oberfläche (Leave Area Index, LAI  $\approx$  13) die einer Reb- bzw. Obstanlage um ein Mehrfaches übersteigen kann.

Im Weinbau liegen zu den bekannten Sprühgeräten (Axial-, Tangentialgebläse) auch Ergebnisse zur Recyclingtechnik (Reflektor-, Kollektorausführungen) vor. Hinsichtlich des Aufbaus und der Funktion dieser Geräte wird auf andere Publikationen verwiesen [2/3/4]. Die Trendkurve zeigt, daß die anfängliche Bodenbelegung zur Austriebsspritzung im Mai von ca. 60 % für Sprühgeräte der konventionellen Bauart über Vorblüte-, Blüte-, erste und zweite Nachblütespritzung auf ca. 15 % zurückgeht. Die Ergebnisse für die Recyclinggeräte liegen deutlich darunter, wobei die Unterschiede mit zunehmender Vegetation erwartungsgemäß kleiner werden [5]. Wegen zu geringen Versuchsumfanges mit Recyclinggeräten im Weinbau wurde auf eine Trenddarstellung verzichtet.

Im Obstbau gehen diese Ergebnisse zurück auf einen Vergleich zwischen Sprühgeräten mit Axialgebläse und einem Recyclinggerät in Tunnelausführung [4/6/7]. Zu Beginn der Behandlungen ist das Zielflächenangebot sehr gering. Mit konventionellen Sprühgeräten gelangen hierbei ca. 50 % des Pflanzenschutzmittelaufwandes auf den Boden. Bei der Tunnelausführung reduziert sich dieser Anteil auf ca. 1/3. Mit dem Fortschreiten der Vegetation nimmt die Bodenbelegung stetig ab und erreicht im September/Okttober mit ca. 20 % für die konventionelle Technik und mit ca. 10 - 12 % für die Tunnelausführung die geringsten Werte.

Für den Hopfenbau ist die Datenbasis vergleichsweise gering. Zwischen Mitte Juli und Mitte August wurden Bodenbeläge zwischen 7 % und 18 % gemessen [8].

Die Ergebnisse für die genannten Kulturen basieren auf Untersuchungen, die von der Forschungsanstalt Geisenheim, der Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart, der Landes- Lehr- und Forschungsanstalt Neustadt, der Bayerischen Landesanstalt - Hopfenberatung - Wolnzach, der Firma Ciba Geigy und der Fachgruppe Anwendungstechnik durchgeführt wurden. Neuere Untersuchungen mit sensorgesteuerten Sprühgeräten, welche die Laubwand abtasten und bei Lücken die entsprechenden Düsen ausschalten zeigen, daß auch hiermit die Bodenbelastung wesentlich vermindert werden kann. Hierzu sind für den Wein- und Obstbau umfangreiche Aktivitäten angelaufen.

### Bodenbelag außerhalb der Behandlungsfläche

Die Bodenbelegung außerhalb der Behandlungsfläche wird verursacht durch direkte Abtrift, indem freigesetzte Spritzschleier bzw. Tröpfchenwolken durch atmosphärische Windbewegungen erfaßt, über die Behandlungsfläche hinausgetragen werden und auf die an die Behandlungsflächen angrenzenden Gebiete sedimentieren. Zur direkten Abtrift sind in den letzten Jahren im Rahmen eines bundesweit abgestimmten Abtriftmeßprogramms umfangreiche Freilandversuche durchgeführt worden. Die Ergebnisse wurden veröffentlicht [9].

### Messung der Abtrift im Freiland

Eine Zusammenfassung der Meßwerte für die verschiedenen Kulturen für frühe und späte Wachstumsstadien gibt die Tabelle 1. Diese Werte stellen die 95. Perzentile dar und sind nicht zu verwechseln mit Mittelwerten, wie sie vielfach an anderer Stelle für die Darstellung von Abtriftmeßergebnissen verwendet werden.

Tab. 1: 95. Perzentile (Bodensediment), ermittelt aus Abtriftmeßwerten. Die Datenbasis hierzu wurde im Rahmen eines bundesweit abgestimmten Abtriftmeßprogramms abgestimmt

Ab- stand [m]	Flächenkultur			Raumkulturen					
				Weinbau		Obstbau		Hopfenbau	
	f	s	f+s	f	s	f	s	f	s
1	4,0	5,0	4,0	23,2	20,0	46,2	26,7	47,6	23,4
2	1,6	1,8	1,6	8,0	12,0	34,5	22,3	39,9	19,9
3	0,9	1,4	1,0	4,9	7,5	29,6	19,6	32,3	17,7
4	0,6	1,0	0,9	2,6	5,8	23,8	15,3	26,1	15,4
5	0,5	0,7	0,6	1,6	5,2	19,5	10,1	18,0	12,7
7,5	0,3	0,5	0,4	1,0	2,6	14,1	6,4	8,5	10,8
10	0,3	0,4	0,3	0,4	1,7	10,6	4,4	4,8	8,9
15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	6,2	2,5	1,7	4,7
20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	4,2	1,4	0,8	3,8
30	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	2,0	0,6	0,3	2,1
40	—	—	—	0,1	—	0,4	—	0,1	0,3
50	—	—	—	0,1	—	0,2	—	0,1	0,3

Anmerkung:  
 Bodensedimente in Prozent (95 % - Perzentile der Einzelwerte),  
 bezogen auf den Aufwand in l/ha od. kg/ha

f frühe Wachstumsstadien  
 s späte Wachstumsstadien  
 — Werte nicht ermittelt

In Flächenkulturen sind die Werte vergleichsweise niedrig und weisen zwischen frühen und späten Stadien nur geringe Unterschiede auf.

Im Obst- und Hopfenbau erreichen die Abtriftwerte im Nahbereich nahezu 20 %, bei vollentwickelten Pflanzenbeständen liegen die Werte beträchtlich niedriger.

Im Weinbau werden die niedrigsten Abtriftwerte bei den anfänglichen Behandlungen, die gemäß guter fachlicher Praxis mit Sprühgeräten, jedoch ohne Luftunterstützung (Gebläse ausgeschaltet) durchgeführt wurden, erreicht. Wenn im Weinbau die Folgebehandlungen mit Luftunterstützung durchgeführt werden, steigen auch hier die Abtriftwerte an.

Bei allen Kulturen geht mit zunehmender Entfernung von der Behandlungsfläche das Bodensediment asymptotisch zurück. Die Aussagen zu den Tabellenwerten werden durch die Abbildungen 2 und 3 besonders deutlich. Darüber hinaus läßt Abbildung 3 erkennen, auf welchem niedriges Niveau mittels Recyclinggeräten die Abtrift im Nahbereich vermindert werden kann.

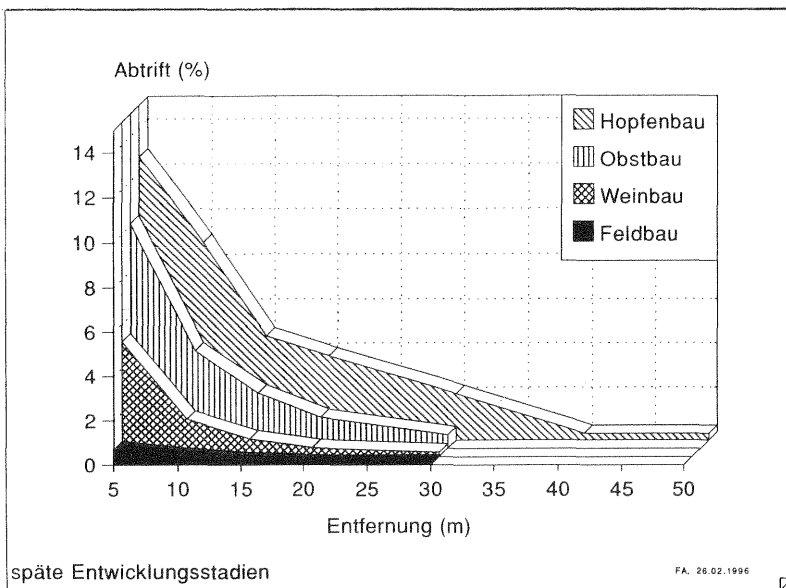


Abb. 2: Abtrift (95. Perzentile) im Feld-, Wein-, Obst- und Hopfenbau in Abhängigkeit der Entfernung von der Behandlungsfläche bei fortgeschrittener Vegetation (siehe Tabelle 1)

Im Rahmen der Zulassungsprüfung für Pflanzenschutzmittel wurden auf dieser Datenbasis Abtrifteckwerte festgelegt, um hieraus den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer und daraus resultierende Abstandauflagen (Mindestabstände zu Gewässern) bestimmen zu können. Dieser Sachverhalt wird an anderer Stelle näher erläutert [10].

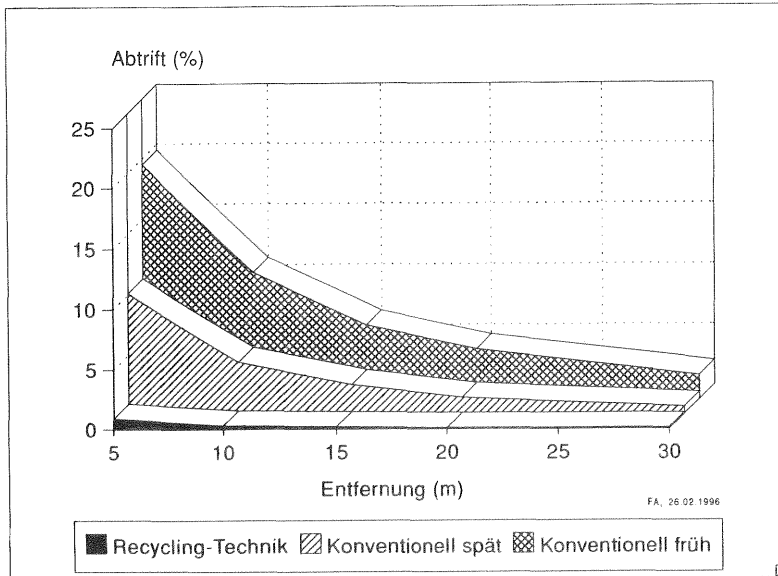


Abb. 3: Abtrift (95. Perzentile) im Obstbau in Abhängigkeit der Entfernung von der Behandlungsfläche für Sprühgeräte und Recyclinggeräte bei früher und später Vegetation

### Berechnung der Abtrift mittels Simulationsmodell

Die Abtriftmessungen im Freiland sind zeit- und kostenintensiv und unterliegen großen stochastischen Einflüssen, die die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse stark einengen. Nutzt man hingegen die heutigen Erkenntnisse der Meteorologie in der Ausbreitung von Stoffen in der Atmosphäre auch für die Modellrechnung der Ausbreitung einer Abtriftwolke wie sie von einem fahrenden Pflanzenschutzgerät freigesetzt wird, so können in sehr viel kürzerer Zeit sehr präzise Ergebnisse errechnet werden. Die Fachgruppe Anwendungstechnik hat ein derartiges mathematisches Modell zur Berechnung der Abtrift für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mittels Flugzeug und Feldspritzgeräten entwickelt und unter der Bezeichnung PEDRIMO (Pesticide Drift Model) veröffentlicht [11/12]. Damit können die Auswirkungen der verschiedenen Einflußfaktoren auf die Abtrift explizit aufgezeigt und die einzelnen Faktoren hinsichtlich ihrer Priorität bewertet werden.

Die Auswirkungen zweier Faktoren, die bei der Abtriftdiskussion stets genannt werden und von großer Bedeutung sind, die Windgeschwindigkeit und die Tropfengröße, sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit übersteigt den der Tropfengröße. Ebenso wird deutlich, daß eine Reduzierung der Tropfengröße im Kleintropfenbereich (200 → 250 µm) wesentlich wirksamer ist als im größeren Tropfenbereich (350 → 400 µm)



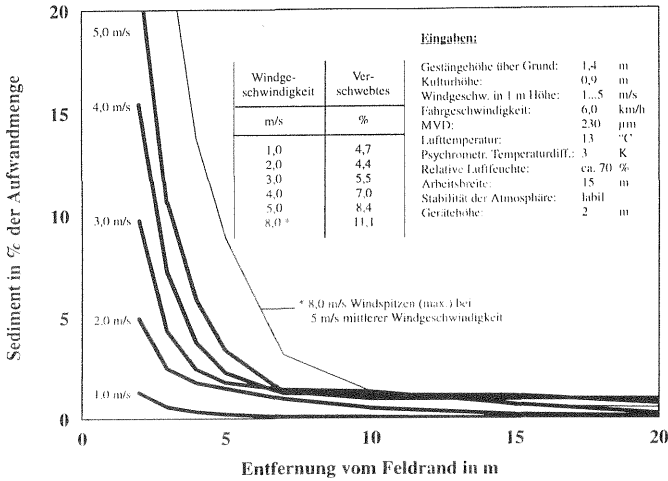


Abb. 4: Einfluß der Windgeschwindigkeit auf die Abdrift, bestimmt mittels PEDRIMO-Modellrechnung (PEDRIMO = Pesticide drift model)

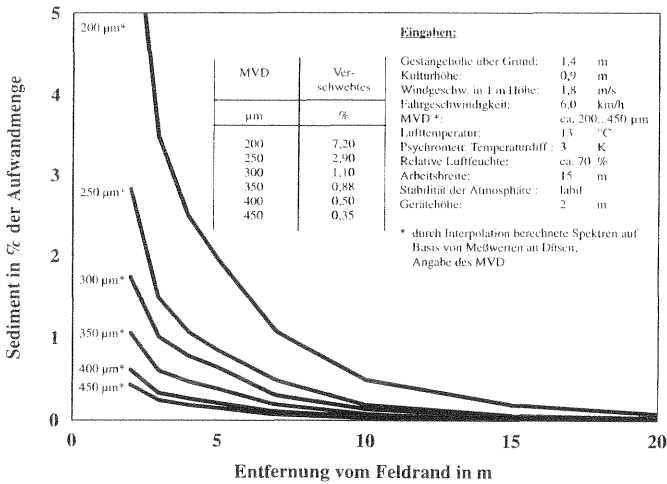


Abb. 5: Einfluß des Tropfengrößenspektrums auf die Abdrift, bestimmt mittels PEDRIMO-Modellrechnung

### Quantifizierung der Abdrift

Nachdem das Bodensediment auf den an die Behandlungsflächen angrenzenden Gebiete in einem vorgegebenen Rastermaß punktuell bestimmt worden ist (siehe Tabelle 1), kann daraus über eine rechnerische Aufsummierung die Gesamtmasse des sedimentierenden Pflanzenschutzmittelwirkstoffes bestimmt werden.

In Abbildung 6 ist die Überlegung für den Einsatz eines Feldspritzengerätes prinzipienhaft dargestellt. Die Aufsummierung erfolgt nicht anhand der 95. Perzentile, sondern anhand der Mittelwerte je Entfernungsmaß, um zu realen, absoluten Belastungen des Bodens auf den angrenzenden Flächen (Kulturen) durch Abtrift zu kommen.

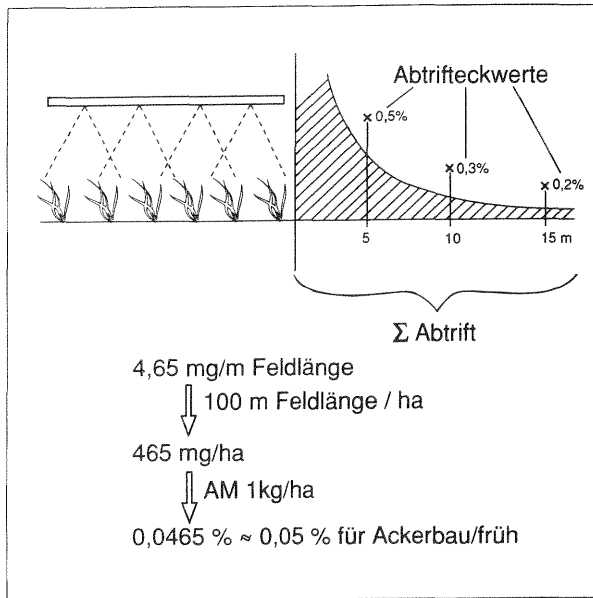


Abb. 6: Quantifizierung der Abtrift (Mittelwert der Bodensedimente) am Beispiel eines Feldspritzengerätes

Diese Betrachtung erfolgt zunächst unter der Voraussetzung, daß die Fläche 1 ha groß und quadratisch ist (100 m Seitenlänge) und die Aufwandmenge (AM) 1 kg beträgt. Je Meter Feldlänge sedimentieren demnach 4,65 mg bzw. 0,0465 % der Aufwandmenge.

In Tabelle 2 sind die entsprechenden Werte für Acker-, Wein-, Obst- und Hopfenbau für frühe und späte Wachstumsstadien zusammengefaßt.

Nimmt die Behandlungsfläche rechteckige Formen an, so ändern sich bei gleicher Flächengröße die Feldlängen, was zur Folge hat, daß bei „Windlängs“ (Wind in Längsrichtung) geringere und bei „Windquer“ (Wind in Querrichtung) höhere Pflanzenschutzmittelmengen verfrachtet werden. Für Flächen, die größer als 1 ha sind, werden die in Tabelle 2 genannten Werte um den Faktor  $(1 \text{ ha}/\text{Fläche}_{\text{neu}})^{1/2}$  kleiner.

Tab. 2: Gesamte Pflanzenschutzmittelmenge, wie sie im Lee behandelter Flächenkulturen, Reb-, Obst- und Hopfenanlagen sedimentiert

Abtrift Bodensediment in % der Aufwandmenge für quadratische Flächen (Seitenverhältnis von 1 : 1)			Abtrift Bodensediment in % der Aufwandmenge für Rechteckflächen mit dem Seitenverhältnis von 1 : 4	
			Wind längs	Wind quer
Ackerbau	früh	0,05	0,025	0,10
Ackerbau	spät	0,05	0,025	0,10
Weinbau	früh	0,24	0,12	0,48
Weinbau	spät	0,41	0,205	0,82
Obstbau	früh	1,88	0,94	3,76
Obstbau	spät	0,72	0,36	1,44
Hopfen	früh	1,00	0,50	2,00
Hopfen	spät	1,05	0,525	2,10

Erwartungsgemäß ergeben sich in Anlehnung an die 95. Perzentile für den Ackerbau die niedrigsten und für den Obstbau die höchsten sedimentierenden Pflanzenschutzmittelmengen im Lee behandelter Flächen. Im Vergleich zum Austrag an Pflanzenschutzmitteln durch Drainagen bzw. Run-off ist der Austrag durch Abtrift hoch, da er ähnlich hohe absolute Werte annehmen kann.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Die Bodenbelastung innerhalb der Behandlungsflächen erreicht anfangs relativ hohe Werte, die mit fortschreitender Vegetation, d. h. zunehmender Verfügbarkeit von Zielflächen, stark zurückgeht.
- Neue Sprühgeräte mit Einrichtungen zur Rückführung bzw. Sensorsteuerung führen zu einer gezielteren Anlagerung mit weniger Pflanzenschutzmittelverlusten und geringerer Bodenbelegung.
- Zur Abtrift von Pflanzenschutzmitteln und der daraus resultierenden Bodenbelegung außerhalb der Behandlungsfläche sind im Rahmen eines Abtriftprogramms umfangreiche, aussagekräftige Ergebnisse für Flächen- und Raumkulturen erarbeitet worden.
- An der Entwicklung von mathematischen Modellen zur Abtriftsimulation wird von der Fachgruppe Anwendungstechnik mit Nachdruck gearbeitet. Das Abtriftmodell „PEDRIMO“ steht für entsprechende Berechnungen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Feldspritzgeräten und mit Luftfahrzeugen bereits zur Verfügung. An der Erweiterung des Modells für Sprühgeräte des Wein-, Obst- und Hopfenbaus wird noch gearbeitet.

- Eine Quantifizierung der direkten Abtrift auf der Grundlage eines bundesweit abgestimmten Abtriftmeßprogramms zeigt, daß der absolute Austrag an Pflanzenschutzmitteln auf angrenzende Flächen die Größenordnung von einigen, wenigen Prozenten annehmen kann.

## Literatur

- [ 1] Nau, K.-L.: Applikationstechnik Getreide - Bilanzierung nach unterschiedlichen Applikationsterminen - Persönliche Mitteilung: Ciba-Geigy GmbH Frankfurt/M., Dez. 1995
- [ 2] Ganzelmeier, H., und Osteroth, H.-J.: Sprühgeräte für Raumkulturen - Verlustmindernde Geräte - Gesunde Pflanzen, 46 (1994), H. 7, S. 225 - 233
- [ 3] Dietzel, E.: Untersuchungen an Pflanzenschutzgeräten mit Spritzbrühe-Rückführung zur umweltorientierten Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau - Dissertation Universität Hohenheim, 1993
- [ 4] Schmidt, K., und Meinert, G.: Untersuchungen mit einem Recycling-Spritzgerät im Obstbau - Merkblatt der Biologischen Bundesanstalt Nr. 70, Juli 1991
- [ 5] Bäcker, G.: Bodenbelastung innerhalb der behandelten Parzellen im Weinbau 1994 - Unveröffentlichter Bericht der Forschungsanstalt Geisenheim, Januar 1995
- [ 6] Bäcker, G.: Bodenbelastung innerhalb der behandelten Parzellen im Obstbau 1994 - Unveröffentlichter Bericht der Forschungsanstalt Geisenheim, Januar 1995
- [ 7] Schmidt, K.: Verteilungsmessungen im Obstbau 1992 - 1994 - Unveröffentlichter Bericht der Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart, November 1995
- [ 8] Roßbauer, G.: Abtriftmessungen im Hopfen - Messungen im Bestand 1989 und 1990 - Unveröffentlichter Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau - Hopfenforschung und -beratung, November 1995
- [ 9] Ganzelmeier, H., Rautmann, D., Spangenberg, R., u. a.: Untersuchungen zur Abtrift von Pflanzenschutzmitteln - Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt, Heft 304, 1995, 111 S.
- [10] Ganzelmeier, H., Köpp, H., Spangenberg, R., und Streloke, M.: Wann Pflanzenschutzmittel Abstandsaufgaben erhalten - Pflanzenschutz-Praxis, H. 3, 1993, S. 14 - 15
- [11] Kaul, P., Meyer, E., und Gebauer, S.: Direkte Abtrift von Pflanzenschutzmitteln - Flugzeug - Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 47 (2), 1995, S 36 - 44
- [12] Kaul, P., Gebauer, S., Neukampf, R., und Ganzelmeier, H.: Modellierung der direkten Abtrift von Pflanzenschutzmitteln - Pflanzenschutzgeräte für Flächenkulturen - Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 48 (2), 1996, S. 21 - 31

Doris Bell <sup>1)</sup> und Josef Radmacher <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Außenstelle Elsdorf, Elsdorf

<sup>2)</sup> Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Abteilung für Bodenbearbeitung und Angewandte Bodenphysik, Bonn

## **Auswirkungen von differenzierten Bodenbearbeitungssystemen auf Edaphon und Gefüge rekultivierter Böden aus Löß im Rheinischen Braunkohlenrevier**

### **1 Einleitung**

Nach der Erschließung der Braunkohlenvorkommen in der Köln-Aachener Bucht wird ein Teil der devastierten Flächen landwirtschaftlich rekultiviert. Bei der Bewirtschaftung dieser Neulandböden können aufgrund ihrer Verschlammungs- und Verdichtungsneigung pflanzenbauliche Probleme auftreten. In Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Rheinland und der Rheinbraun AG wurden daher auf einer ca. 10 ha großen Versuchsfläche bei Bedburg / Kaster (Pilotprojekt Schirrhof, Teil B) die Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf ausgewählte Parameter der Bodenbiologie und -physik untersucht.

### **2 Material und Methoden**

Die Bewirtschaftung der beprobten Flächen basierte auf der „Rheinischen Fruchtfolge“: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste / Gelbsenf, wobei die Intensität der Bodenbearbeitung wie folgt variiert wurde:

„kv“	„konventionell“	Pflugeinsatz vor jeder Hauptfrucht, Grubbereinsatz vor Senf
„bs“	„bodenschonend“	Grubbereinsatz vor jeder Hauptfrucht, Pflugeinsatz vor Senf
„pl“	„pfluglos“	nur Grubbereinsatz

#### **2.1 Bodenphysikalische Untersuchungen**

##### **Aggregatstabilität**

Die Messung der Aggregatstabilität in 2-7 cm Tiefe erfolgte kontinuierlich über den gesamten Versuchszeitraum (1990-1995) mit der Perkolationmethode nach BECHER & KAINZ (1983).

##### **Porengrößenverteilung**

Die Porengrößenverteilung in 2-7 cm und 25-30 cm Tiefe wurde im Oktober 1994 (nach der Zuckerrübenernte) an ungestörten Stechzylinderproben nach RICHARDS & FIREMAN (1943) ermittelt.

##### **Eindringwiderstand**

Der Eindringwiderstand wurde im März 1995 (vor der Zuckerrübeneinsaat) bis in 1 m Tiefe mit einem „Bush-Penetrometer“ gemessen.

## 2.2 Bodenbiologische Untersuchungen

Die Probenahme erfolgte zum einen im Oktober 1994 (unter Zuckerrüben) mit einer Nachbeprobung im April 1995 (unter Winterweizen) und zum anderen im Mai 1995 (unter Zuckerrüben) mit einer Nachbeprobung im Oktober 1995. Zur Untersuchung der Lumbriciden wurde jeweils im Pflanzenbestand beprobt. Die Entnahme der Bodenproben für die nematologischen und mikrobiologischen Untersuchungen erfolgte mit einem Stechbohrer nach der Zuckerrübenaussaat bzw. nach der -ernte.

### Lumbriciden

Zur Erfassung der Lumbriciden wurde die Austreibung mit 0,2 % iger Formaldehydlösung durchgeführt (RAW 1959). Hierzu wurden Probeflächen von 0,25 m<sup>2</sup> mit 5 l Formaldehydlösung begossen und alle innerhalb von 30 Minuten erscheinenden Lumbriciden abgesammelt. Im Labor wurden Anzahl und Gewicht der ausgekoteten und gereinigten Tiere bestimmt, wobei die Art *Lumbricus terrestris* gesondert erfaßt wurde.

### Nematoden

Sowohl Nematodenzysten als auch Regenwurmkokons wurden mit der Dichte-Zentrifugations-Methode nach MÜLLER (1980) aus der Bodenlösung extrahiert. Die Abundanz des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* in 0-15 cm bzw. 15-30 cm Tiefe wurde durch Auszählen des Inhaltes (Suspension aus Eiern + Larven) der in 300 ml Boden enthaltenen Zysten ermittelt.

### Mikrobiologie

Zur Ermittlung der Parasitierungsrate von *Heterodera schachtii* wurden 0,5 ml der o.g. Suspension auf 1% igem Agar-Agar (unter Zusatz von 0,3 g Streptomycin/ l) verteilt und nach dreitägiger Inkubation im Brutschrank (25°C, DD = Dauerdunkel) der prozentuale Anteil parasitierter Eier und Larven bestimmt. Auf dem von KERRY (1991) entwickelten semi-selektiven Medium wurde die Abundanz von *Verticillium chlamydosporium* in den Bodenschichten 0-15 cm und 15-30 cm erfaßt. Hierzu wurden 1g Boden in 9 ml 0,05 % igem Agar-Agar suspendiert, in den Verdünnungsstufen 10<sup>-2</sup> und 10<sup>-3</sup> plattiert und nach 14 Tagen (Zimmertemperatur, DD) alle Kolonien von *Verticillium chlamydosporium* als „koloniebildende Einheiten“ (colony-forming units = cfu) gezählt. Zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl wurden Bodenlösungen in den Verdünnungsstufen 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup> auf TSA (tryptic soy agar) ausgebracht und nach dreitägiger Inkubation im Brutschrank (25°C, DD) alle Kolonien als cfu gezählt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Bodenphysikalische Untersuchungen

Im verschlammungs- und erosionsgefährdeten Krumbereich (2-7 cm Tiefe) konnte durch pfluglose Bewirtschaftung eine kontinuierliche Stabilisierung der Bodenaggregate erreicht werden (Abb.1), die sich in der Variante „pl“ auch unter Zuckerrüben fortsetzte, während es in der Variante „bs“ durch den einmaligen Pflugeinsatz zur Zwischenfrucht Senf zu einem Einbruch in der Aggregatstabilität kam. Auch das Porenvolumen (Abb.2), insbesondere das der weiten Grobporen (> 50µm), war in diesem Bereich der Ackerkrume in der Variante „pl“ am günstigsten ausgeprägt. In tieferen Bodenschichten (hier: 25-30 cm Tiefe) deuten sich jedoch negative Auswirkungen der

pfluglosen Bodenbearbeitung an, da ein Rückgang des Gesamtporenvolumens zu verzeichnen war. Im Zusammenhang mit den stark erhöhten Eindringwiderständen (Abb.3) ist anzunehmen, daß es in der Variante „pl“ unterhalb des Bearbeitungshorizontes des Grubbers (15 cm Tiefe) zu einer Verdichtung gekommen ist.

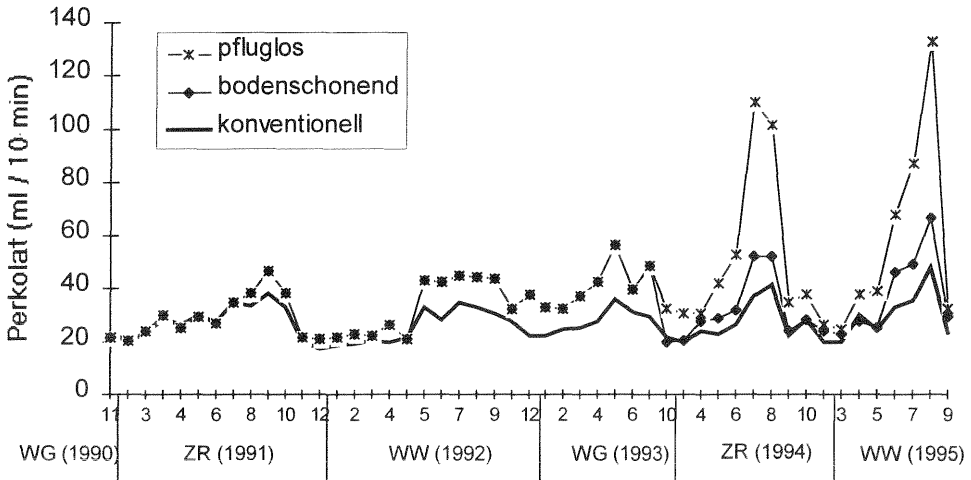


Abb. 1: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf die Aggregatstabilität des Bodens in 2-7 cm Tiefe.

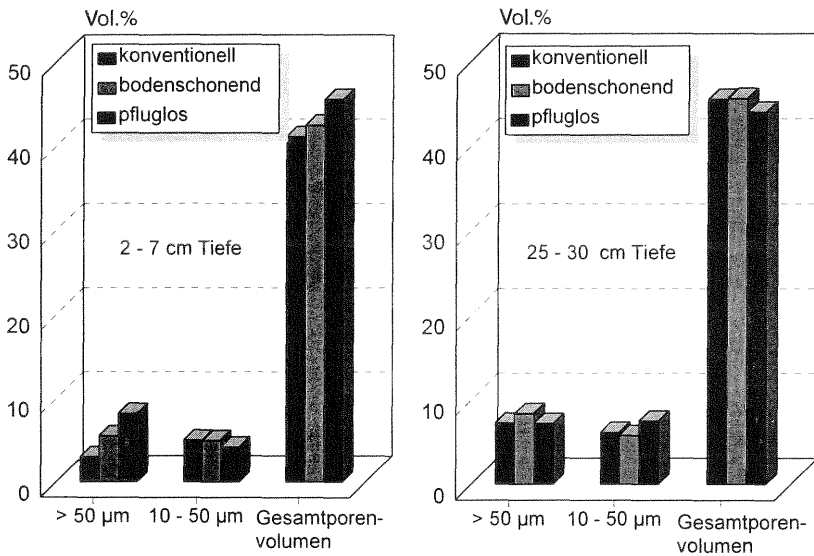


Abb. 2: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf schnell ( $< 50 \mu\text{m}$ ) und langsam ( $10 - 50 \mu\text{m}$ ) drainierende Grobporen, sowie das Gesamtporenvolumen in 2-7 cm und 25 - 30 cm Tiefe.

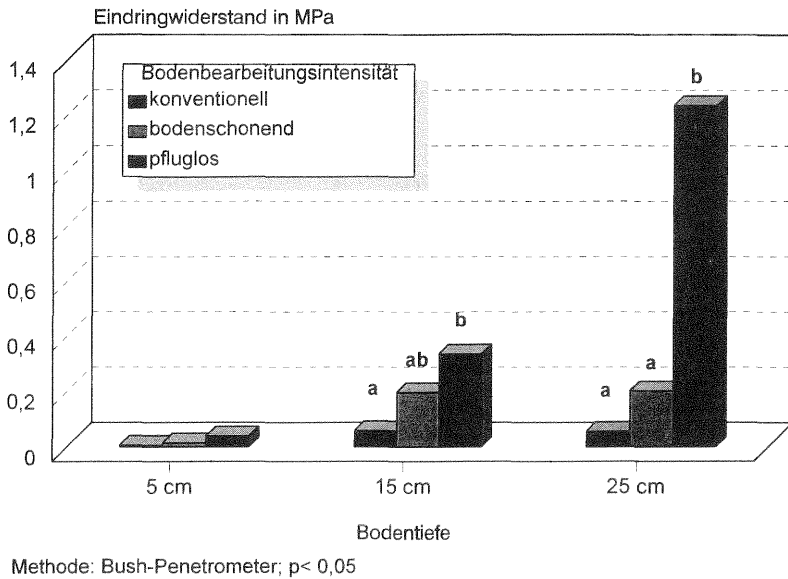


Abb. 3: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf den Eindringwiderstand. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ , Tukey-Test).

### 3.2 Bodenbiologische Untersuchungen

#### Lumbriciden

Die Lumbriciden tragen durch ihre Grabetätigkeit zur biogenen Auflockerung von Bodenverdichtungen bei. Durch ihre Exkremente werden mikrobielle Prozesse im Boden aktiviert und die Mineralisierung verstärkt (KOZLOVSKAJA, 1969). Gerade die Nährstoffnachlieferung und die Verbesserung des Bodengefüges (Lebendverbauung, Ton-Humus-Komplexe) sind Voraussetzungen für eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit. Auf rekultivierten Böden konnten DUNGER (1968) und WESTERNACHER-DOTZLER & DUMBECK (1992) einen deutlichen Anstieg der Lumbricidendichte mit zunehmendem Rekultivierungsalter aufzeigen. Für vier Altland-Standorte konnten FRIEBE & HENKE (1992) eine Förderung der Abundanz und Biomasse von Lumbriciden mit abnehmender Bodenbearbeitung nachweisen. Daher wurde untersucht, ob die Etablierung von Lumbricidenpopulationen auf Neulandböden durch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität beschleunigt werden kann.

An allen Untersuchungsterminen war in den pfluglos bearbeiteten Parzellen die höchste Abundanz der Lumbriciden festzustellen. Die Biomasse war sowohl bei pflugloser als auch bei bodenschonender Bearbeitung höher als in den konventionell bestellten Varianten. Dieser günstige Einfluß der reduzierten Bodenbearbeitungsintensität konnte jedoch zu keinem Termin statistisch abgesichert werden.



Die im Herbst 1994 unter Zuckerrüben beprobten Flächen wurden anschließend mit Weizen bestellt, wobei die Variante „kv“ mit dem Pflug, die Varianten „bs“ und „pl“ nur mit dem Grubber bearbeitet wurden. Die Nachbeprobung im Frühjahr 1995 ergab, daß die Abundanz bzw. die Biomasse der Lumbriciden in den Varianten „bs“ und „pl“ gestiegen, in der Variante „kv“ jedoch gesunken waren (Abb.4). Vom Pflugeinsatz waren adulte *Lumbricus terrestris* weniger stark betroffen als die anderen Lumbriciden, da sich diese Art bei Erschütterung tief in ihre vertikalen Röhren zurückziehen und so dem Pflug ausweichen kann. Die Jungtiere, sowie Individuen der Gattung *Allolobophora* (Species nicht determiniert) haben ihren Aktivitätsbereich ausschließlich in der Krumenschicht und werden daher vom Pflug stärker gestört. Unabhängig von der Bodenbearbeitung war im Frühjahr die Abundanz der juvenilen *Lumbricus terrestris* mit 37 Ind./ m<sup>2</sup> (im Mittel über alle Parzellen) höher als im vorangegangenen Herbst (1 Ind./ m<sup>2</sup>). Eine multivariate Varianzanalyse (ANOVA,  $p < 0,05$ ) ergab, daß sowohl der „Probenahmetermin“ als auch die „Bearbeitungsintensität“ Abundanz und Biomasse der Lumbriciden beeinflusst haben. Beide Einflußgrößen zusammen erklären 68 % der Varianz in der Abundanz bzw. 52 % der Varianz in der Biomasse der Lumbriciden. Die restliche Varianz beruht demnach auf anderen, zufälligen oder systematischen Fremdeinflüssen. Hier könnten noch andere Faktoren, z.B. Bodenfeuchte, Bodenverdichtungen, Humusgehalt usw. von Bedeutung sein (ELLMER et al. 1995; RADMACHER et al. 1995).

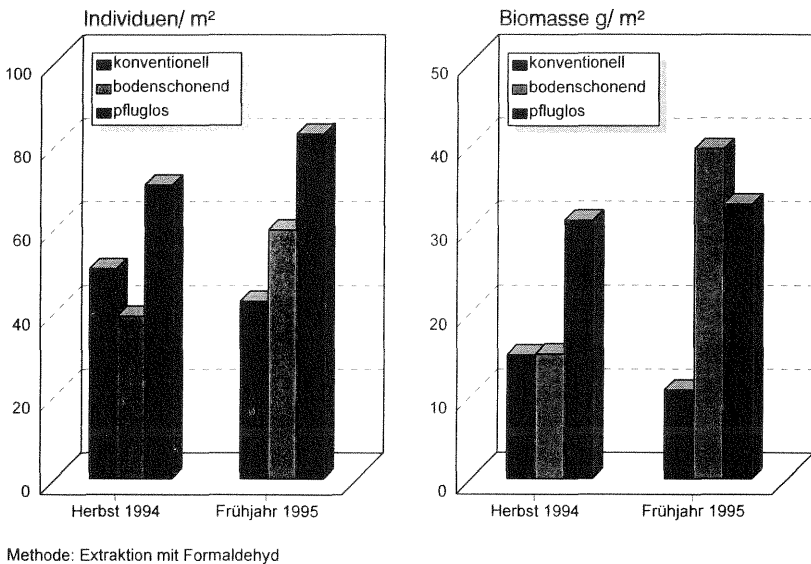


Abb. 4: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf Abundanz und Biomasse der Lumbriciden im Oktober 1994 (in Zuckerrüben) und April 1995 (in Winterweizen).

Auf den im Herbst 1994 beprobten Parzellen wurde darüber hinaus der Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Reproduktion der Lumbriciden deutlich. Während unter konventioneller Bestellung keine Kokons gefunden wurden, waren unter den bodenschonend bearbeiteten Parzellen 0,8 Kokons/ l Boden und unter den pfluglos bearbeiteten sogar 8,3 Kokons/ l Boden ( $p < 0,05$ ) festzustellen.

## Nematoden

In der Niederrheinischen Bucht traten auf rekultivierten, landwirtschaftlich genutzten Böden beim Anbau von Zuckerrüben bereits nach wenigen Rotationen Ertragseinbußen auf, die u.a. auf den rapiden Anstieg der Populationsdichte des weißen Zuckerrüben nematoden *Heterodera schachtii* zurückzuführen sind (BELL & SCHLANG, 1995a). Daher wurden die Auswirkungen der differenzierten Bodenbearbeitungssysteme auf die Populationsdynamik von *Heterodera schachtii* untersucht.

Nach Zuckerrüben wiesen die konventionell bewirtschafteten Parzellen im Mittel der Jahre 1994 / 95 mit 490 Eiern + Larven / 100 ml Boden eine signifikant geringere Nematodendichte auf als die bodenschonend bzw. pfluglos bewirtschafteten Parzellen (2700 bzw. 2900 Eier + Larven/ 100 ml Boden) (Abb.5). In der Variante „kv“ wurde 1995 für *Heterodera schachtii* eine 13-fache Vermehrung ermittelt, während in „bs“ bzw. „pl“ eine 81-fache bzw. 107-fache Vermehrung stattgefunden hatte.

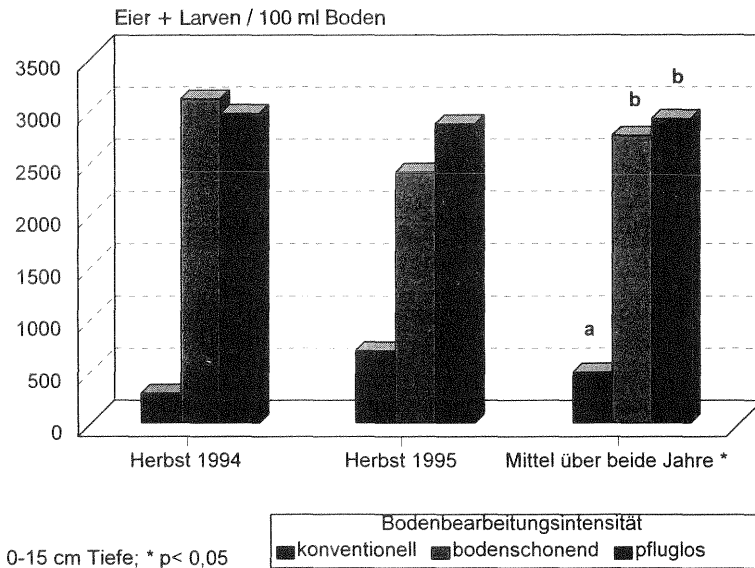


Abb. 5: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf die Abundanz des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* im Herbst 1994 (nach Zuckerrüben) und Herbst 1995 (nach Zuckerrüben). Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ , Tukey-Test).

## Mikrobiologie

Der in vielen Ackerböden nachgewiesene Pilz *Verticillium chlamydosporium* lebt saprophag und ist ein fakultativer Parasit von *Heterodera schachtii* und anderen Zystennematoden (KERRY 1991). Er greift sowohl neu gebildete Weibchen als auch enzystierte Eier an und kann Nematodenpopulationen wirksam senken. Der Pilz war auf Neulandböden jedoch erst einige Jahre nach der Verkipfung erstmalig nachzuweisen (BELL & SCHLANG 1995b). Es wurde geprüft, ob die

Bodenbearbeitungsintensität Einfluß auf die Pilzbesiedlung hat. Ebenso wurde die Gesamtkeimzahl erfaßt, weil diese einen Hinweis auf die Bodengare und die mikrobielle Aktivität geben kann.

Die Parasitierungsrate der Eier und Larven von *Heterodera schachtii* war bei reduzierter Bodenbearbeitung („bs“ bzw. „pl“) höher als bei konventioneller (Abb.6). In der Variante „bs“ wurde sowohl die höchste mikrobielle Gesamtkeimzahl ( $p < 0,05$ ) als auch die höchste Abundanz des pilzlichen Antagonisten *Verticillium chlamydosporium* festgestellt.

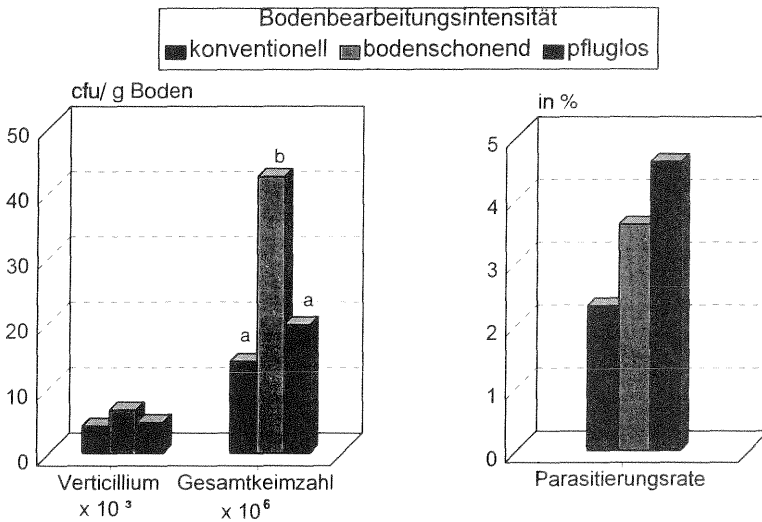


Abb. 6: Einfluß der Bodenbearbeitungsintensität auf verschiedene mikrobiologische Parameter: Parasitierungsrate von *Heterodera schachtii*, Abundanz von *Verticillium chlamydosporium* (Herbst 1994, 0-30 cm Tiefe), mikrobielle Gesamtkeimzahl (Herbst 1995, 0-15 cm Tiefe). Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ , Tukey-Test).

#### 4 Diskussion

Der mit der Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität einhergehende Anstieg von Abundanz und Biomasse der Lumbriciden wird auch von FRIEBE & HENKE (1992) beschrieben. Diesbezüglich werden insbesondere die negativen Auswirkungen des Pflugeinsatzes von GEHLEN & SCHRÖDER (1987), sowie von BAUCHHENB & HERR (1986) hervorgehoben. Während die kleineren Lumbricidenarten bei der Bodenwendung durch mechanische Beschädigung oder Austrocknung beeinträchtigt werden, findet der tiefgrabende *Lumbricus terrestris* an der Oberfläche keine Nahrung mehr, da die aus abgestorbenen Pflanzenresten bestehende Humusaufgabe durch den Pflugeinsatz in tiefere Bodenschichten verlagert wird (BOSCH & MOURA-PEAO 1987).

Die Population des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* wird, wie auch die Lumbricidenpopulation, durch eine Extensivierung der Bodenbearbeitung gefördert. Eine mögliche Ursache für den Populationsanstieg des Nematoden könnte der erhöhte Anteil beiniger Rüben in

den reduziert bearbeiteten Varianten („pl“ 42 %, „bs“ 14,5 %, „kv“ 11 %;  $p < 0,05$ ) sein, weil dadurch die Wurzeloberfläche und damit die Angriffsfläche für den Nematoden vergrößert wird. Die Beinigkeit der Rüben ist vermutlich auf den höheren Eindringwiderstand im Wurzelbereich unterhalb von 15 cm Tiefe zurückzuführen.

Eine weitere Ursache für den erhöhten Nematodenbefall bei reduzierter („bs“, „pl“) Bearbeitung könnte in dem höheren Grobporen-Anteil im oberen Krumbereich (2-7 cm Tiefe) dieser Parzellen begründet sein, der durch eine verbesserte Durchlüftung des Bodens möglicherweise den Schlupf von *Heterodera schachtii* aus den Zysten anregt.

Es ist weiterhin nicht auszuschließen, daß ein Teil der Ackerbegleitflora, z.B. *Rumex*- oder *Polygonum*-Arten, den Nematoden als zusätzliche Wirtspflanzen - insbesondere in den reduziert bearbeiteten Parzellen - zur Verfügung standen.

Langfristig müßten aufgrund der besseren Bodendurchlüftung der Varianten „bs“ bzw. „pl“ auch die Abundanz des Nematodenantagonisten *Verticillium chlamydosporium* und die Parasitierungsrate ansteigen. Die derzeit gemessenen Parasitierungsraten von 3,6 bzw. 4,6 % sind wahrscheinlich für eine effektive Bekämpfung des Nematoden zu gering..

Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse konnten keine statistisch abzusichernden Korrelationen zwischen einzelnen bodenphysikalischen Kenngrößen und der Abundanz der Lumbriciden bzw. *Heterodera schachtii* ermittelt werden, da die Populationsdynamik dieser Bodenorganismen durch verschiedene Standortfaktoren und deren Kombination geprägt wird. Dies mußten auch BAUCHHENß & HERR (1986) feststellen.

## 5 Schlußfolgerung

Die Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität auf strukturlabilen Neulandböden führt zu einer Verringerung der Verschlammungsneigung und fördert die Lumbricidenpopulationen. Gleichzeitig ist aber auch ein ernstzunehmender Populationsanstieg des Rübenzystemnematoden *Heterodera schachtii* festzustellen, der jedoch hier noch nicht ertragsmindernd wirksam wurde. Dies könnte sich aber im Verlaufe des weiteren Zuckerrübenanbaus angesichts der Vermehrungsraten ändern. Unter diesem Aspekt besteht daher zur Ermittlung eines optimalen Anbauverfahrens für Zuckerrüben auf Neulandböden noch weiterer Forschungsbedarf.

## 6 Literatur

- BAUCHHENß, J. & S. HERR (1986): Vergleichende Untersuchungen der Individuendichte, Biomasse, Artendichte und Diversität von Regenwurmpopulationen auf konventionell und alternativ bewirtschafteten Flächen; Bayer.Landwirtsch.Jahrbuch 63(8), 1002-1012.
- BECHER, H.H. & KAINZ, M.(1983): Auswirkung einer langfristigen Stallmistdüngung auf das Bodengefüge im Lößgebiet bei Straubingen; Z.f. Acker- + Pflanzenbau 152, 152-158.
- BELL, D. & J. SCHLANG (1995a): Problems with *Heterodera schachtii* in reclaimed soils; *Nematologica* 41, 283.

- BELL, D. & J. SCHLANG (1995b): Abundanzdynamik des Rübenzystemnematoden (*Heterodera schachtii*) in rekultivierten Neulandböden und im Tagebauvorfeld unter Berücksichtigung pilzlicher Antagonisten und dichteregulierender Maßnahmen; unveröff. Zwischenbericht.
- BOSCH, J. & C. MOURA-PEAO (1987): Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau: Das Lautenbach-Projekt. IV. Die Auswirkungen von integrierter und konventioneller Bewirtschaftung auf die Abundanz des Großen Regenwurms, *Lumbricus terrestris* L.; Zeitschr.Pfl.krankh.+ Pfl.schutz 94(3), 322-327.
- ELLMER, F., S. KRÜCK & M. JOSCHKO (1995): Humushaushalt und Regenwurmaktivität auf einem verschieden intensiv genutzten lehmigen Sandboden; Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges.76, 1301-1304.
- FRIEBE, B. & W. HENKE (1992): Regenwürmer und deren Abbauleistung bei abnehmender Bearbeitungsintensität; Beitr. zum 3. Symp. Gießen, 139-146.
- GEHLEN, P. & D. SCHRÖDER (1987): Bodenfruchtbarkeit in konventionell und biologisch bewirtschafteten Betrieben; LZ 46, 2844-2845.
- KERRY, B.(1991): Methods for studying the growth and survival of the nematophagous fungus, *Verticillium chlamydosporium* Goddard, in soil; IOBC/WPRS Bulletin 1991/XIV/2, 34-38.
- KOZLOVSKAJA, L. S. (1969): Der Einfluß der Exkremente von Regenwürmern auf die Aktivierung der mikrobiellen Prozesse in Torfböden; Pedobiologica 9, 158-164.
- MÜLLER, J.(1980): Ein verbessertes Extraktionsverfahren für *Heterodera schachtii*; Nachrichtenbl. Dt.Pflanzenschutzd. 32, 21-24.
- RADMACHER, J., W. WOLF, S. REX, D. BELL & H. FRANKEN (1995): Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Entwicklung der Regenwurmpopulation rekultivierter Böden aus Löß im Rheinischen Braunkohlenrevier; Mitt.Deut.Bodenkundl.Ges., 76, 1365-1368.
- RAW, F. (1959): Estimating earthworm populations by using formalin. Nature 184, 1661-1662.
- RICHARDS, L.A. & U. FIREMAN (1943): Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. J. Soil Science 56, 395-404.
- WESTERNACHER-DOTZLER, E. & G. DUMBECK (1992): Vorkommen von Regenwürmern in landwirtschaftlich rekultivierten Flächen in der Niederrheinischen Bucht; J.Agron. Crop Science 169, 298-309.

Á. Zsolnay<sup>1)</sup> und E. Schulz<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Institut für Bodenökologie, Neuherberg

<sup>2)</sup> Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Bad Lauchstädt

### Die *in situ* Messung des Einflusses von Düngung auf das mobile und immobile Simazin

#### EINLEITUNG

Sehr viele Modelle über den Verbleib und Transport von Pestiziden haben eine Komponente, mit der die Verminderung eines Pestizids für den Transport quantifiziert wird (Lorber und Mulkey, 1982; Carsel *et al.*, 1985; Gamedinger *et al.*, 1990; Boesten, 1991; Ma *et al.*, 1995). Normalerweise nimmt man an, daß diese Verminderung einer Kinetik erster Ordnung folgt:

$$\frac{dC}{dt} = -kC_0$$

wobei  $dC/dt$  die Verminderungsrate des Pestizids,  $t$  die Zeit,  $C_0$  die Konzentration des Pestizids und  $k$  der Kinetikparameter sind. Mikrobiologische Aktivitäten können durchaus eine wichtige Rolle bei dieser Verminderung spielen. Dies wird meistens im Labor mit Inkubationen bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Wassergehalt untersucht. Die Ergebnisse können "korrigiert" werden, um den tatsächlichen Abbau unter Feldbedingungen mit ihren Temperatur- und Wassergehaltsschwankungen zu simulieren. Diese Schwankungen können aber äußerst unregelmäßig sein. Zum Beispiel wird der Wassergehalt sowohl vom Wetter, als auch durch die Anwesenheit von Pflanzen geregelt. Daher sollten diese Simulationen mit Feldversuchen validiert werden. Diese Versuche müssen so gestaltet werden, daß das Pestizid nicht ausgewaschen werden kann, weil die Labor- und Feldergebnisse nicht vergleichbar sind.

Pestizide in Böden sind unterschiedlich verfügbar. Einige werden nur schwach von der Bodenmatrix zurückgehalten und können leicht ausgewaschen werden. Sie kann man als mobil betrachten. Andere können nur mit Hilfe von Lösungsmitteln extrahiert werden, d.h. sie sind verhältnismäßig immobil. Da die Pestizide in diesen unterschiedlichen Zuständen nicht in dem selben Maßstab ein Ökosystem gefährden können, ist es sinnvoll, die Verminderungskinetik für diese unterschiedlichen Gruppen getrennt zu betrachten.

Düngung ist ein wichtiger anthropogen Eingriff in einen Boden. Einige Studien haben gezeigt, daß Düngung einen Einfluß auf die mikrobiologische Aktivität haben kann (Kandler und Eder, 1990; Beyer *et al.*, 1991; Walker *et al.*, 1992; Klimanek, pers. Mitteilung). Dies wiederum könnte eine Wirkung auf die Verminderungskinetik haben. Eine Wechselwirkung zwischen den Einflüssen von Düngung, Temperatur und Wassergehalt kann man auch nicht ausschließen. Sie ist am besten durch *in situ* Feldmessungen zu erfassen.

Zusammenfassend werden folgende Ziele angestrebt:

1a. Die Entwicklung eines *in situ* Verfahrens, um die Verminderungskinetik eines Pestizids zu quantifizieren.

1b. Die Untersuchung, inwieweit sich die Kinetik der "mobilen" Fraktion von der der immobilen" Fraktion unterscheidet.

2. Die Feststellung des Einflusses von Düngung auf diese Kinetiken.

## MATERIAL UND METHODEN

Der Boden der Versuchsfelder war eine Lößschwarzerde in Bad Lauchstädt (8,7° C; 480 mm Jahresniederschlag). Die langjährigen gleichbleibenden Düngungszugaben sind aus der Tabelle 1 zu ersehen. Der Bestand während des Versuchs war Zuckerrüben.

Tabelle: Düngungsvariante der Versuchsfelder; A-D sind aus dem Statischen Dauerdüngungsversuch (Anlage: 1902); E-H aus dem Stallmiststeigerungsversuch (Anlage: 1983).

Variante	Düngung	Ct (%)	Nt (%)
A	300 dt Stallmist /ha 2a + NPK	2,49	0,20
B	300 dt Stallmist /ha 2a	2,33	0,19
C	NPK	1,90	0,15
D	keine	1,65	0,13
E	keine	1,85	0,14
F	500 dt Stallmist /ha a	2,15	0,15
G	1000 dt Stallmist /ha a	2,31	0,22
H	2000 dt Stallmist /ha a	2,64	0,23

Simazin, gelöst in Methanol, wurde unter Quarzsand gemischt und luftgetrocknet. Von der Simazin-Quarzsand-Mischung wurden 2 g mit 18 g Boden, der aus verschiedenen Versuchsfeldern stammte, vermengt, auf 60% des  $WK_{MAX}$  gebracht und in Edelstahlzylinder mit atmungsaktiven Membranen gefüllt. In jedem Zylinder waren 100 µg Simazin. Die notwendige Zahl von Zylindern (10) wurde am 24.6.93 bei einer Tiefe von 5 cm in jedes Versuchsfeld eingegraben. Ein Satz von Zylindern wurde nicht eingegraben, sondern wurde gleich tiefgefroren, um später extrahiert und analysiert zu werden. Nach 1, 2, 3, 10, und 14 Monaten wurden 2 Zylinder aus jedem Feld ausgegraben und bis zur Analyse tiefgefroren.

Das analytische Verfahren wird im Abb. 1. dargestellt. Mobiles Simazin ist Simazin, das mit 4 mM  $CaCl_2$  extrahierbar ist. Die Bodenproben wurden zweimal hintereinander mit einem Wasser-Boden-Verhältnis von 2:1 extrahiert. Der extrahierte Boden wurde dann 4 Stunden lang unter Rückfluß mit einer Methanol-Lösung nochmals extrahiert (Huang und Pignatello, 1990). Das so gewonnene Simazin ist als immobiles Simazin zu betrachten. Die Analyse wurde mit einer 25 cm Hibar (Fa. Merck) RP-8 (5µm) HPLC-Säule und mit einem UV-Detektor (215 nm) durchgeführt.

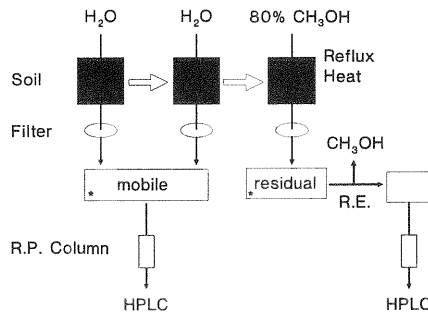


Abb. 1. Extraktionsverfahren: R.P. steht für Umkehrphase und R.E. für Rotationsverdampfer. Ein Sternchen zeigt, wo der Internstandard (Atrazin) zugegeben wurde.

## ERGEBNISSE

Die Mengen des mobilen Simazins über die Zeit in den unterschiedlichen Feldern und Böden sind in Abb. 2 dargestellt. Abb. 3 zeigt die Mengen des Simazins, die nicht mehr extrahierbar waren, entweder durch die Tatsache, daß sie abgebaut worden waren, oder dadurch daß sie nur noch als "gebundene" Rückstände vorhanden waren. Von den Abbildungen kann man sehen, daß die Düngung keinen langfristigen Einfluß hatte. Die Varianz zwischen den Feldern war bei der ersten Beprobung am größten, aber kein klarer Trend ist dabei zu erkennen.

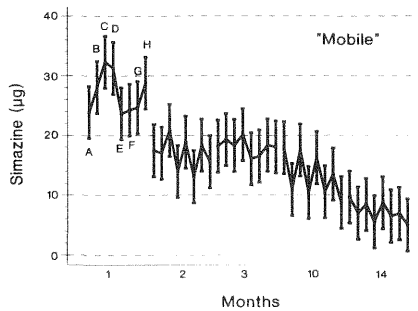


Abb. 2. Menge des mobilen Simazins in jedem Zylinder bei den unterschiedlichen Beprobungsterminen. Der Anfangswert war 100 µg. Die vertikalen Striche entsprechen dem 95% Vertrauensbereich, die Buchstaben den Versuchsfeldern (Tabelle). Damit die Abbildung überschaulich bleibt, sind nur die Felder für die erste Beprobung gezeit.



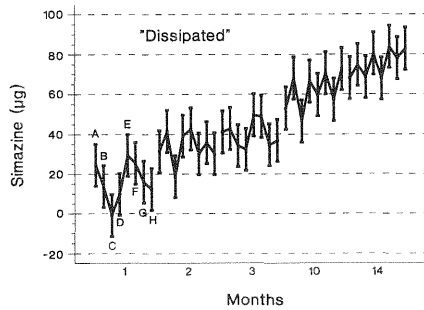


Abb. 3. Menge des nicht extrahierbaren und abgebauten Simazins in jedem Zylinder bei den unterschiedlichen Beprobungsterminen. Der Anfangswert war 100 µg. Die vertikalen Striche entsprechen dem 95% Vertrauensbereich, die Buchstaben den Versuchsfeldern (Tabelle). Damit die Abbildung übersichtlich bleibt, sind nur die Felder für die erste Beprobung gezeigt.

Es wird zur Zeit untersucht, ob dieses unerwartete Ergebnis durch die experimentellen Bedingungen verursacht wurde. Andererseits zeigt Abb. 4 ein Gedankenmodell, womit dieses Ergebnis erklärt werden könnte. Es ist durchaus möglich, daß die organische Materie in Böden zwei gegensätzliche Wirkungen hat. Einerseits fördert sie die mikrobiologischen Tätigkeiten, aber andererseits verstärkt sie die Verschiebung von Verbindungen aus dem verfügbaren Pool in den unverfügbaren.

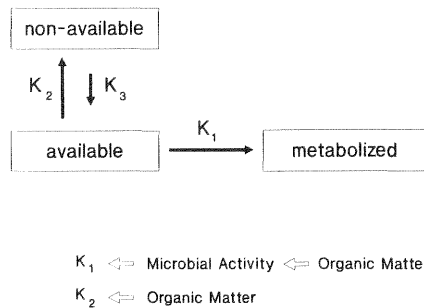


Abb. 4. Ein Gedankenmodell zur Veranschaulichung der gegensätzlichen Einflüsse von organischer Materie oder Humus auf die Verminderung der Menge einer chemischen Verbindung.

Die Anpassung der ersten Ordnungsgleichungen zur Verminderung des mobilen und immobilen Simazins werden in Abb. 5 gezeigt. Interessanterweise vermindert sich der Gehalt des mobilen Simazins nicht viel schneller als der des immobilen Simazins. Da zu erwarten ist, daß mobiles Simazin schneller entfernt wird, muß ein starker Fluß aus dem mobilen Pool in den immobilen stattfinden, um dieser vermutlich schnellen Entfernung entgegenzuwirken. Die Halbwertszeiten sind ungefähr zweimal größer als die in der Literatur angegebenen (Jury *et al.*, 1987; Topp *et al.*, 1994; Khakural *et al.*, 1995). Daher können Modelle, die die Verminderungsraten aus Laborversuchen benutzen, die Gefahr des Weitertransports unterschätzen. Zsolnay *et al.* (1994) haben gezeigt, daß die Höhe der Abbauraten für ein anderes Triazin, nämlich Terbutylazin, eine wesentlich wichtige Rolle spielt als z.B. der Co-Transport.

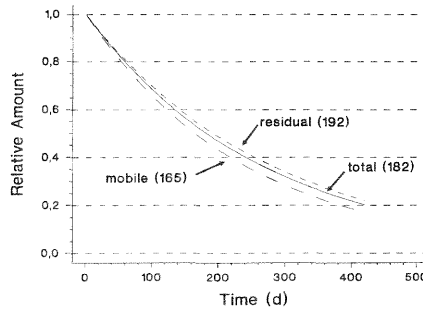


Abb. 5. Die Anpassung einer Gleichung erster Ordnung an die Daten. Die Bestimmtheitsmassen lagen zwischen 86% und 92%. Die Werte in Klammern sind die Halbwertszeiten.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

- 1) Das entwickelte *in situ* Verfahren scheint vielversprechend zu sein und wird in anderen Studien weiter eingesetzt.
- 2) Unerwarteterweise scheint Düngung nur einen begrenzten Einfluß auf die Verminderungskinetik zu haben. Ein Gedankenmodell zur Erklärung dieser Aussage wurde kurz präsentiert.
- 3) Die Menge des mobilen Simazins wird ungefähr so stark wie die des immobilen Simazins. Dadurch wird die Möglichkeit eines weiteren Transports erhöht.
- 4) Die Halbwertszeiten der *in situ* Verminderung des Simazins, und vermutlich auch diejenigen anderer Triazine, sind zweimal größer als die öfters in der Literatur ausgegebenen Werte. Diese Tatsache kann verursachen, daß das Risiko eines Weitertransports unterschätzt wird.

## LITERATUR

- Beyer, L., H.-P. Blume, und M. Peters (1991). Biological activity and organic matter transformations in typical soils of Schleswig-Holstein. *Geoderma* 49: 273-284.
- Boesten, J.J.T.I. (1991). Sensitivity analysis of a mathematical model for pesticide leaching to groundwater. *Pestic. Sci.* 31:375-388.
- Carsel, R.F., L.A. Mulkey, M.N. Lorber, und L.B. Baskin (1985). The pesticide root **zone** model (PRZM): A procedure for evaluating pesticide leaching threats to groundwater. *Ecol. Modelling* 30: 49-69.
- Gamerding, A.P., R.J. Wagenet, und M.Th. van Genuchten (1990). Application of two-site/two-region models for studying simultaneous non-equilibrium transport and degradation of pesticides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 957-963.

- Huang, L.Q. und J.J. Pignatello (1990). Improved extraction of atrazine and metolachlor in field soil samples. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 73: 443-446.
- Jury, W.A., A.M. Winer, W.F. Spencer, und D.D. Focht (1987). Transport and transformations of organic chemicals in the soil-air-water ecosystem. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 99: 119-164.
- Kandler, E. und G. Eder (1990). Bodnmikrobiologische Prozesse und Aggregatsstabilität einer 25-jährigen Dauerbracheffläche mit unterschiedlicher mineralischer und organischer Düngung. *Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges.* 62:63-66.
- Khakural, B.R., P.C. Robert, W.C. Koskinen, B.A. Sorenson, D.D. Buhler, und D.L. Wyse (1995). Test of the LEACHP model for predicting atrazine movement in three Minnesota soils. *J. Environ. Qual.* 24: 644-655.
- Lorber, M.N. und L.A. Mulkey (1982). An evaluation of three pesticide runoff loading models. *J. Environ. Qual.* 11: 519-529.
- Ma, Q.L., L.R. Ahuja, K.W. Rojas, V.F. Ferreira, und D.G. Decoursey (1995). Measured and RZWGM predicted atrazine dissipation and movement in a field soil. *Trans. ASAE* 38: 471-479.
- Topp, E., W.N. Smith, W.D. Reynolds, und S.U. Khan (1994). Atrazine and metolachlor dissipation in soils incubated in undisturbed cores, repacked cores, and flasks. *J. Environ. Qual.* 23: 693-700.
- Walker, A., Y.H. Moon, und S.J. Welch (1992). Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor. *Pestic. Sci.* 35: 109-116.
- Zsolnay, A., M. Wherhan, und H. Steindl (1994). A field based study on the effect of dissolved organic matter on the transport of terbuthylazine. *Chemosphere* 28: 533-541.

I. Scheunert und S. Lehr

GSF, Institut für Bodenökologie, Neuherberg, Oberschleißheim

### Abbau und Metabolismus des Herbizids $^{14}\text{C}$ -Isoproturon in Böden in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsform

#### Einleitung

Obwohl für die heute verbreitet angewandten Pflanzenschutzmittel zahlreiche Daten zu Persistenz, Abbau und Metabolismus im Boden publiziert sind, sind Informationen zu Zusammenhängen zwischen diesen Daten und Bodennutzungssystemen und - hiervon abhängig - mikrobiologischen Bodeneigenschaften nur für wenige Stoffe bekannt <sup>1,2</sup>. In diesem Beitrag wird über Forschungsergebnisse zum Zusammenhang zwischen der Biomineralisierung - d.h. dem völligen Abbau des Moleküls zu Kohlendioxid - und der Umwandlung zu extrahierbaren und gebundenen Metaboliten einerseits und der Bewirtschaftungsform andererseits berichtet. Als Modellsubstanz wurde das Phenylharnstoff-Herbizid Isoproturon verwendet, das in  $^{14}\text{C}$ -markierter Form eingesetzt wurde.

Tab. 1. Physikalisch-chemische Eigenschaften der für die Versuche eingesetzten Böden

Boden	Bio. (15y)	Conv.	Bio. (2y)	Hop
Bewirtschaftungsform	Biologisch <sup>a)</sup> seit 15 Jahren	Konventionell <sup>b)</sup>	Biologisch <sup>a)</sup> seit 2 Jahren	Früher Hopfen, <sup>c)</sup> jetzt seit 2 Jahren biologisch
Korngrößenverteilung				
Ton (%)	17	16	18	13
Schluff (%)	44	34	38	36
Sand (%)	39	50	44	51
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,7	5,6	6,0	6,1
C <sub>org.</sub> (% Trockenmasse)	1,40	1,17	1,73	1,71
N tot. (% Trockenmasse)	0,15	0,12	0,17	0,18
C/N-Verhältnis	9,33	9,75	10,18	9,50
Cu (mg/kg Boden)	n.n.	n.n.	18,03	199,98

a) ohne Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger

b) mit chemischem Pflanzenschutz und Mineraldünger

c) regelmäßige Behandlung mit CuSO<sub>4</sub>

n.n. = nicht nachgewiesen

## Böden

Tab. 1 zeigt die physikalisch-chemischen Eigenschaften der für die Versuche eingesetzten Böden. Der erste Boden (Bio 15y) stammte von einem landwirtschaftlichen Betrieb, der seit 15 Jahren biologisch, d.h. ohne mineralischen Dünger und chemischen Pflanzenschutz, bewirtschaftet wurde, der zweite (Conv.) Boden mit sehr ähnlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften jedoch von einem benachbarten, konventionell arbeitenden Betrieb. Der dritte und vierte Boden wurde vom Versuchsgut Scheyern (bei München) von einer Fläche entnommen, die seit zwei Jahren biologisch bewirtschaftet wird; hierbei stammte der vierte Boden (Hop) aus einem ehemaligen Hopfengarten und enthielt hohe Kupferrückstände aus Fungizidanwendungen in früheren Jahren.

### Biomineralisierung von $^{14}\text{C}$ -Isoproturon

Zur Messung der Biomineralisierung wurde den Böden in einem geschlossenen, diskontinuierlich belüfteten System  $^{14}\text{C}$ -Isoproturon in praxisrelevanten Konzentrationen zugesetzt und das während 67 Tagen entstehende  $^{14}\text{CO}_2$  aufgefangen und durch Radioaktivitätsmessung bestimmt. Abb. 1 zeigt das aus den vier Böden gebildete  $^{14}\text{CO}_2$ , dargestellt als aufsummierte Prozente der eingesetzten Radioaktivität.

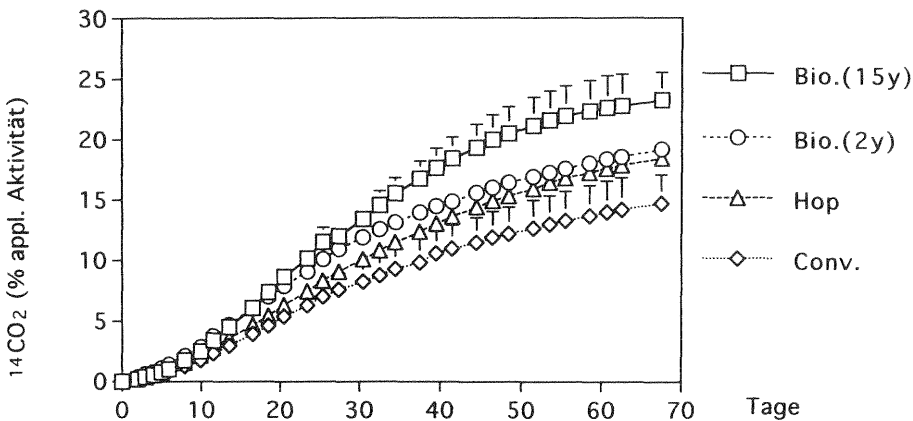


Abb. 1.  $^{14}\text{CO}_2$ -Produktion aus  $^{14}\text{C}$ -Isoproturon in vier Böden von verschiedenen Bewirtschaftungsformen (als aufsummierte % des eingesetzten  $^{14}\text{C}$ )

Die Abbildung zeigt, daß der lange Zeit biologisch bewirtschaftete Boden die höchste Mineralisierungsrate für Isoproturon besitzt, während der konventionell bewirtschaftete Boden die niedrigste  $^{14}\text{CO}_2$ -Entwicklung aufweist. Die beiden anderen Böden liegen in ihrer Mineralisierungsrate dazwischen.

### Biologische Bodenparameter

Vor und nach jedem Mineralisierungsexperiment wurden in den Böden für die Mikroflora charakteristische Parameter - der substrat-induzierte Wärmeausstoß (gemessen durch Mikroalorimetrie) und der Gesamt-Adenylatgehalt - bestimmt. Der substrat-induzierte

Wärmeausstoß, d.h. die Wärmeentwicklung aus dem Boden nach Zugabe von 0,4 % Glucose - ist nach Sparling<sup>3</sup> ein Maß für die mikrobielle Biomasse. Abb. 2 zeigt die mikrobielle Biomasse, die aus den mikrokalorimetrischen Daten nach Sparling<sup>3</sup> errechnet wurde.

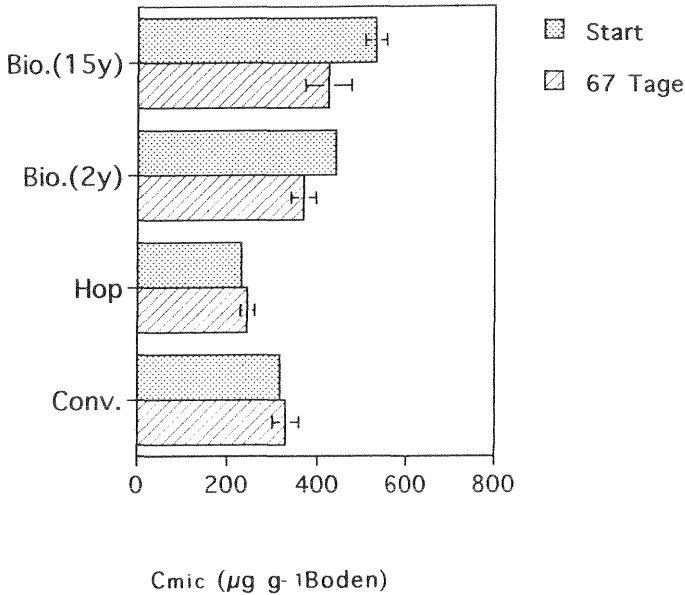


Abb. 2: Mikrobielle Biomasse ( $C_{mic}$ ) in  $\mu\text{g/g}$  Boden, errechnet aus mikrokalorimetrischen Daten

Die Messungen vor und nach den Biomineralisierungsexperimenten zeigten kaum Unterschiede in der Biomasse - ein Zeichen dafür, daß während der Versuchszeit in dem Laborsystem kein Rückgang der Mikroflora zu verzeichnen ist. Aus der Abbildung geht ferner hervor, daß - analog zur Biomineralisierung von Isoproturon - der langjährig biologisch bewirtschaftete Boden die höchste Biomasse besitzt. Der in seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften ähnliche, konventionell bewirtschaftete Boden "Conv." Hat eine etwa halb so hohe Biomasse. Einen noch niedrigeren Wert weist jedoch der ehemalige Hopfenboden mit dem hohen Kupfergehalt auf. Die gleiche Rangfolge der Böden ergibt sich auch bei der Bestimmung des Gesamt-Adenylatgehalts.

#### Korrelation zwischen Biomasse und Biomineralisierung

Abb. 3 zeigt die Korrelation zwischen Biomasse und der Biomineralisierung von Isoproturon in drei Böden. Die Biomineralisierung steigt mit steigender Biomasse an, wobei der 15 Jahre lang biologisch bewirtschaftete Boden die höchste Biomasse und die höchste Biomineralisierung aufweist. Der vierte Boden (Hop) paßt nicht in diese Korrelation. Trotz niedriger Biomasse besitzt er eine relativ hohe Fähigkeit zur Mineralisierung des Isoproturons - d.h. die Mikroflora hat eine deutlich höhere Abbauleistung als die der anderen Böden. Untersuchungen des Phospholipid-Fettsäuremusters zeigten, daß dieser Boden eine völlig andere Mikroorganismenstruktur besitzt als die drei anderen Böden - vermutlich eine Folge des hohen Kupfergehalts aus langjährigen Fungizidanwendungen<sup>4</sup>.

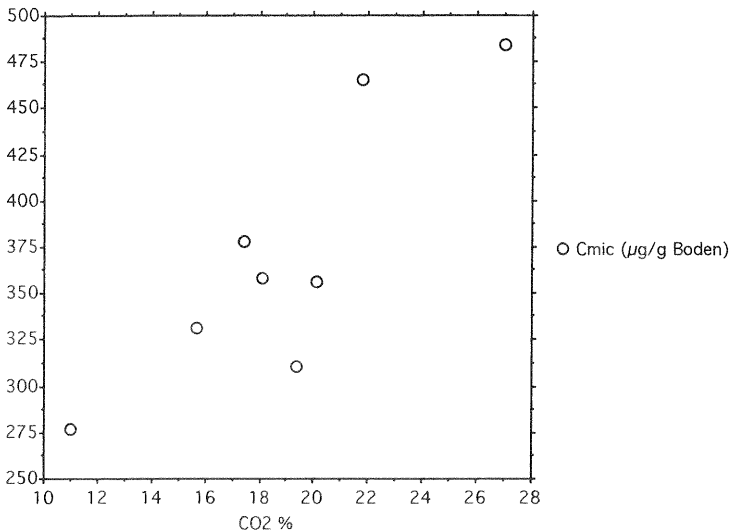


Abb. 3 Korrelation zwischen Biomasse ( $C_{mic}$ ) und der Biomineralisierung von Isoproturon in drei Böden ( $r^2 = 0,742$ , signifikant nach Kendall + Spearman und parametrisch)

#### Metabolismus des Isoproturons

Nach der Inkubationszeit wurden die Böden mit Aceton extrahiert und aus den Extrakten die entstandenen Umwandlungsprodukte isoliert und mit Hilfe authentischer Vergleichssubstanzen durch HPLC identifiziert und quantifiziert. Die im Boden verbliebene, nicht extrahierbare Radioaktivität wurde nach Verbrennung einer aliquoten Probe durch Flüssig-Szintillationszählung gemessen.

Abb. 4 zeigt die aus den Böden isolierten Metabolite des Isoproturons. Hauptmetabolit ist zumeist das in der Isopropyl-Seitenkette in 2-Stellung hydroxylierte Isoproturon. Ferner entstanden die am Stickstoff jeweils mono- oder didesmethylierten Derivate sowie die dazugehörigen 2-Hydroxy-Verbindungen. Die fünf Metabolite wurden in allen vier Böden gefunden; die quantitativen Unterschiede der einzelnen Metabolite zwischen den Böden waren gering. In der Gesamt-Umwandlung wurden jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Böden festgestellt. Sie war wiederum am höchsten in dem langjährig biologisch bewirtschafteten Boden und am niedrigsten im Hopfenboden mit der niedrigsten Biomasse. Analog verhielt es sich mit der Entstehung nicht-extrahierbarer Rückstände - einem ebenfalls überwiegend biotischen Prozeß.

#### Schlußfolgerungen

Es kann gefolgert werden, daß der Abbau des Fremdstoffs Isoproturon in Böden positiv mit der mikrobiellen Biomasse korreliert ist, die ihrerseits mit der Bewirtschaftungsform zusammenhängt. Eine Ausnahme scheinen Böden mit durch Fremdstoffeinwirkung qualitativ veränderter Mikroflora darzustellen. Obwohl diese Beobachtungen sicher nicht im Hinblick auf alle anderen Fremdstoffe

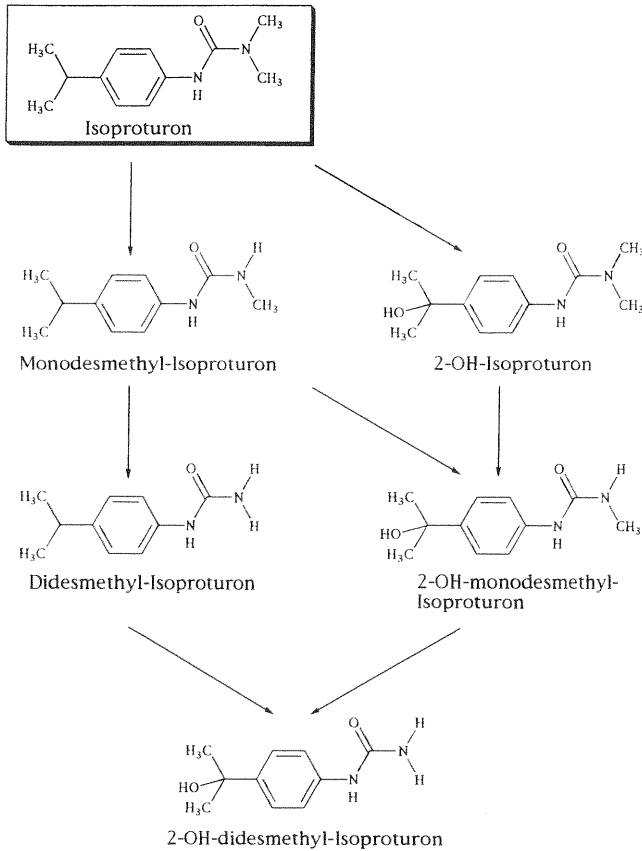


Abb. 4: Aus den Böden isolierte Umwandlungsprodukte des Isoproturons

verallgemeinert werden können, besagen sie doch, daß die Art der Bodennutzung ein wichtiger Faktor beim Abbau von Fremdstoffen im Boden ist.

#### Literatur

1. J.P.E. Anderson: Herbicide degradation in soil: Influence of microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* **16**, 483-489 (1984)
2. R. Allen and A. Walker: The influence of soil properties on the rates of degradation of metamitron, metazachlor and metribuzin. *Pestic. Sci.* **18**, 95-111 (1987)
3. G.P. Sparling: Estimation of microbial biomass and activity in soil using microcalorimetry. *J. Soil Sci.* **34**, 381-390 (1983)
4. L. Zelles, Q.Y. Bai, R.X. Ma, R. Rackwitz, K. Winter and F. Beese: Microbial biomass, metabolic activity and nutritional status determined from fatty acid patterns and polyhydroxybutyrate in agriculturally managed soils. *Soil. Biol. Biochem.* **26**, 439-446 (1994).



U. Heimbach, B. Knolle, A. Sokolowski und V. Garbe

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig

## **Einfluß von Direktsaat-/Mulchverfahren auf räuberische Arthropoden in und auf dem Boden**

### **Einleitung**

Ein Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung wird für die Landwirtschaft immer wichtiger, da Bodenbearbeitung sehr teuer sein kann. Desweiteren wird Erosion besonders in Reihenkulturen, die den Boden erst spät bedecken, vermindert. Daher haben sich Mulchsaatverfahren insbesondere in Zuckerrüben und Mais vor allem auf Schlägen in Hanglage stark durchgesetzt. Schonende Bodenbearbeitung kann auch das Bodenleben positiv beeinflussen. So wird zum Beispiel der Besatz mit Regenwürmern durch pfluglose Bestellung erhöht (Friebe & Henke, 1991), wie auch die Umsatzleistung von Mikroorganismen und der Besatz mit Collembolen (House, 1989). Einige Untersuchungen, vor allem aus Nordamerika, zeigen zumeist einen ebenfalls positiven Einfluß des Anbaus von Zwischenfrüchten und reduzierter Bodenbearbeitung auf Nutzarthropoden auf (Blumberg & Crossley 1983; Brust & House, 1990; House, 1989; Weiss et al., 1990). Dabei war in vielen dieser Untersuchungen die Anzahl der Schädlinge gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung reduziert (Brust & House, 1990; Stinner et al., 1986). Mulchsaaten scheinen vor allem die Anzahl der Aphiden zu reduzieren (Finch & Edmonds, 1994; Garbe & Heimbach, 1992; Jones, 1994; Kendall et al., 1991; Paul, 1986).

Auch für Zuckerrüben liegen Ergebnisse vor (Garbe & Heimbach, 1992), die bei Nutzung von Zwischenfrüchten eine geringere Anzahl von Schädlingen bzw. Schädigungen bei gleichzeitig höheren Besatzdichten mit Spinnen, Kurzflügelkäfern und Laufkäfern nachweisen. Die Zuckererträge in den verschiedenen Varianten der oben genannten Untersuchung unterschieden sich nicht. In der hier vorliegenden Arbeit werden erweiterte Untersuchungen zum Einfluß von verschiedenen Zwischenfrüchten und Bodenbearbeitungsverfahren auf die oben genannten Raubarthropoden in der Kultur Zuckerrübe vorgestellt, wobei auch die Schadtiere mit erfaßt wurden.

### **Material und Methoden**

In den Jahren 1991, 1992 und 1995 wurden Zuckerrüben nach Wintergerste im Raum Braunschweig auf verschiedenen Schlägen und in verschiedenen Bearbeitungsformen im Vergleich zum konventionellen Anbau mit Herbstfurche und Saatbettbearbeitung im Frühjahr vor der Saat angebaut (Tab. 1). Als Zwischenfrüchte wurden Gelbsenf oder Phacelia nach Sommerpflugfurche und Saatbettbearbeitung ausgesät. Die Rübensaat erfolgte in die abgestorbene Zwischenfrucht entweder mit oder ohne Saatbettbearbeitung. Im Jahr 1995 wurden in einer Variante Rüben auch pfluglos in die Gerstenstoppel, die nur mehrmals gegrubbert worden war, gesät. Bedingt durch den feuchten und schweren Boden und die unzureichende Saattechnik war 1995 der Auflauf in den Varianten ohne Saatbettbearbeitung deutlich reduziert. In den anderen Jahren gab es keine Unterschiede im Auflauf.

Die Versuche wurden in zweifacher Wiederholung je nach Jahr auf Parzellen von 12 bis 24 m Breite und Längen von etwa 100 m je Parzelle angelegt. Eine Ausnahme bildet der Standort Salzgitter, wo nur zwei kleine Parzellen von 12 x 25 m ohne Wiederholung möglich waren.

Alle Erhebungen zum Auftreten der Schadtiere und der Nutzarthropoden wurden in Rübenreihen, die mit Saatgut ohne insektizide Beizung gesät worden waren, durchgeführt. Alle

Pflanzenschutzmaßnahmen wurden in gleicher Weise auf allen Parzellen durchgeführt, um eine unterschiedliche Beeinflussung der Tierzahlen in den Varianten durch verschiedene Pflanzenschutzmittel zu vermeiden. In der Praxis wäre dies allerdings unüblich, da bei dem Herbizideinsatz durch unterschiedliches Unkrautaufreten (Garbe & Heimbach, 1992) andere Anwendungstermine und Wirkstoffe in den verschiedenen Varianten sinnvoll gewesen wären.

Tab. 1: Anbauverfahren und Untersuchungsflächen in den Untersuchungsjahren

Anbau von Zuckerrüben nach	verwendete Abk.	1991	1992	1995
Herbstfurche, konventionell	Kon	Hötzum, Dettum	Hötzum, Salzgitter	Sickte
Zwischenfrucht Senf mit SmS Saatbettbearbeitung		Hötzum, Dettum	Hötzum	-
Zwischenfrucht Senf ohne SoS Saatbettbearbeitung		Hötzum, Dettum	Hötzum, Salzgitter	Sickte
Zwischenfrucht Phacelia mit PmS Saatbettbearbeitung		Hötzum, Dettum	Hötzum	-
Zwischenfrucht Phacelia ohne PoS Saatbettbearbeitung		Hötzum, Dettum	Hötzum	Sickte
pfluglos in die Gerstenstoppel	oPf	-	-	Sickte

Die Erfassung der räuberischen Arthropoden wurde mit Photoeklektoren (Funke, 1971) von 0,25 m<sup>2</sup> durchgeführt, in denen zusätzlich zur oben angebrachten Fangdose, mit der alle positiv phototaktischen Tiere gefangen werden, innen eine Bodenfalle eingegraben war, die alle sich am Boden bewegenden Tiere fangen sollte. Je nach Jahr waren 2 bis 4 Eklektoren pro Parzelle aufgestellt, die je nach Schlag und Jahreszeit in 7 oder 14 tägigem Rhythmus auf neue Stellen umgestellt wurden. So wurde die Dichte der Tiere (bei Spinnen juvenile und adulte Tiere) von der Saat an bis etwa Mitte Juli immer wieder an neuen Stellen aufgenommen. 1995 wurden adulte Spinnen und Staphyliniden (ohne Aleocharinae) bis zur Art bestimmt, 1991 und 1992 wurde nur die Anzahl der Individuen ausgezählt.

Zur Erfassung der Auflaufschäden an Rüben wurden Keimlinge im Labor auf Fraßstellen, verursacht durch Collembolen oder *Atomaria* spp., untersucht. Blattläuse wurden auf dem Feld zu verschiedenen Zeitpunkten ausgezählt.

## Ergebnisse

### Spinnen

Spinnen (Araneae) zeigten je nach Bearbeitungsvariante sehr unterschiedliche Besiedlungsdichten (Abb. 1). In allen Versuchsjahren war Senf als Zwischenfrucht ohne Saatbettbearbeitung förderlich für Spinnen. Saatbettbearbeitung führte in beiden Zwischenfrüchten zu reduzierten Spinnendichten. Im konventionellen Anbau wurden am wenigsten Spinnen gezählt, im Durchschnitt weniger als 25 Prozent der Dichte nach Gelbsenf ohne Saatbettbearbeitung.

Genauere Daten zum Jahresverlauf der Dichten aus den Jahren 1991 und 1992 sind aus Heimbach und Garbe (1996) zu ersehen. Den Verlauf der Spinnendichte 1995 zeigt Abb. 2. Ähnlich wie in den vorangegangenen Jahren setzt ein starker Anstieg der Spinnendichte ab etwa Mitte Juni ein. Sowohl im Frühjahr als auch im Sommer sind die Dichten nach Zwischenfruchtanbau höher als nach Direktsaat in die Gerstenstoppel gefolgt vom konventionellen Anbau. Die durchschnittliche Spinnendichte lag im Frühjahr in der Phacelia Variante, im Sommer im Senf am höchsten.

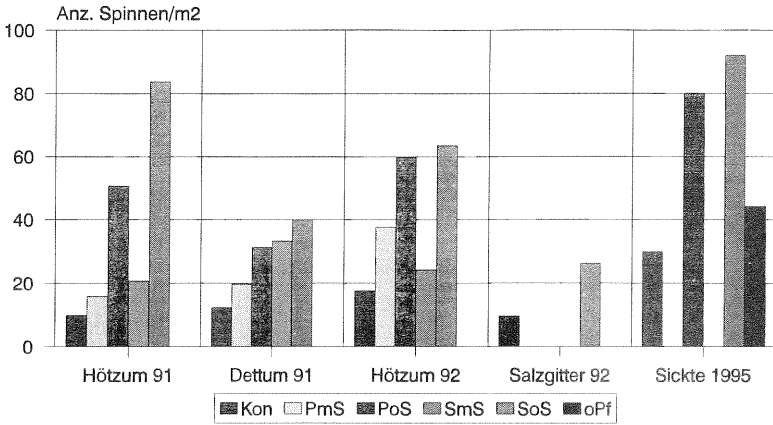


Abb. 1: Durchschnittliche Dichten von Spinnen über den jeweiligen Beobachtungszeitraum, gefangen mit Bodenphotoelektoren an verschiedenen Standorten und in unterschiedlichen Jahren.

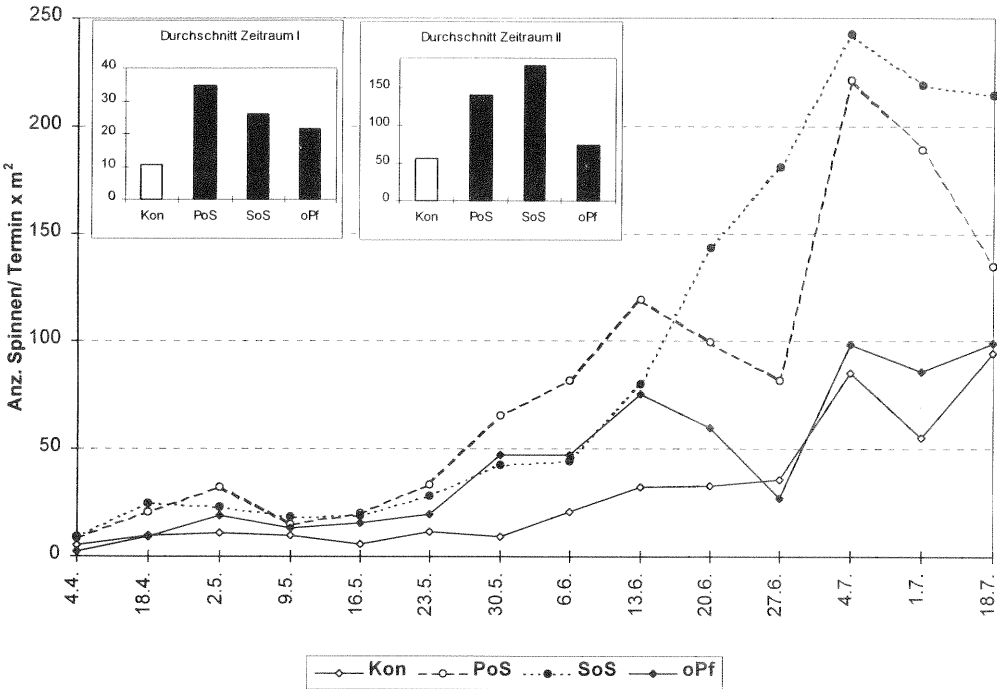


Abb. 2: Verlauf der Populationsdichte von Spinnen über den Beobachtungszeitraum 1995, gefangen mit Bodenphotoelektoren am Standort Sickinge. (I = Durchschnittswerte vom 04.04.-06.06.95; II = Durchschnittswerte vom 13.06.-18.07.95)

Auch die Anzahl gefangener Spinnenarten war mit Zwischenfruchtanbau höher als ohne (Tab. 2).

Tab. 2: Artenanzahl von Spinnen gefangen mit Bodenphotoektoren in einem Zuckerrübenschlagn 1995 mit verschiedenen Bearbeitungsvarianten

Anbau von Zuckerrüben nach			Artenanzahl
Herbstfurche, konventionell			24
Zwischenfrucht	Senf	ohne	28
Saatbettbearbeitung			
Zwischenfrucht	Phacelia	ohne	33
Saatbettbearbeitung			
pfluglos in die Gerstenstoppel			20

### Kurzflügelkäfer

Kurzflügelkäfer (Staphylinidae) werden in der Regel ähnlich wie Spinnen durch Zwischenfruchtanbau, besonders ohne Saatbettbearbeitung zur Zuckerrübe, gefördert. Dabei scheint wiederum wie bei Spinnen Gelbsenf besser als Phacelia zu wirken (Abb. 3). Allein in 1995 wurde eine deutlich höhere Dichte in den konventionell angebauten Varianten gefunden.

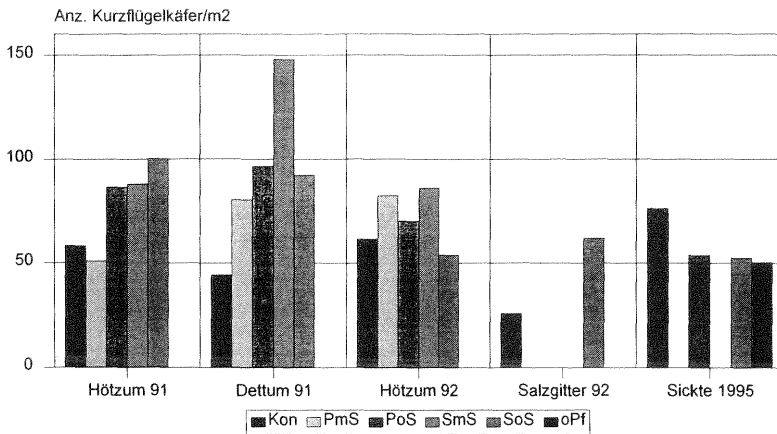


Abb. 3: Durchschnittliche Dichten von Kurzflügelkäfern über den jeweiligen Beobachtungszeitraum, gefangen mit Bodenphotoektoren an verschiedenen Standorten und in unterschiedlichen Jahren.

Die Verlaufskurven der Staphylinidendichten für die Jahre 1991 und 1992 sind bei Heimbach und Garbe (1996) zu entnehmen. Die Dichte der Staphyliniden war 1995, ähnlich wie 1991 und 1992, in allen Varianten im Frühjahr hoch und fiel dann ab (Abb. 4). Die höheren Dichten in der konventionellen Variante traten vor allem nur im zeitigen Frühjahr auf, danach waren die Dichten in allen Varianten etwa gleich.

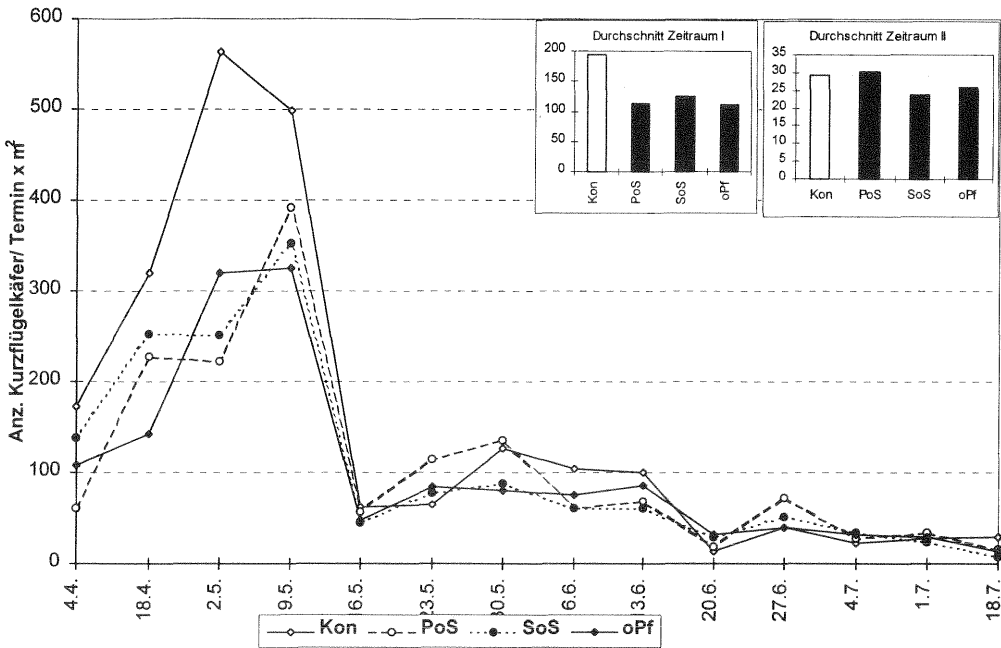


Abb. 4: Verlauf der Populationsdichte von Kurzflügelkäfern über den Beobachtungszeitraum 1995, gefangen mit Bodenphotoelektoren am Standort Sickte. (I = Durchschnittswerte vom 04.04.-09.05.95; II = Durchschnittswerte vom 16.05.-18.07.95)

Die Anzahl der gefundenen Arten (ohne Aleocharinae) lag in den Varianten mit Zwischenfruchtanbau über den beiden anderen. Sie war nach konventionellem Anbau am geringsten (Tab. 3).

Tab. 3: Artenanzahl von Kurzflügelkäfern gefangen mit Bodenphotoelektoren in einem Zuckerrübenschlag 1995 mit verschiedenen Bearbeitungsvarianten

Anbau von Zuckerrüben nach	Artenanzahl
Herbstfurche, konventionell	25
Zwischenfrucht Senf ohne	31
Saatbettbearbeitung	
Zwischenfrucht Phacelia ohne	29
Saatbettbearbeitung	
pfluglos in die Gerstenstoppel	26

### Laufkäfer

Auch die Dichte von Laufkäfer (Carabidae) wurden in der Regel durch den Zwischenfruchtanbau gefördert, wobei wiederum ein Verzicht auf eine Saatbettbearbeitung zur Zuckerrübe günstig für diese Käfer war. Die Dichten nach Gelbsenf lagen immer höher als nach Phacelia (Abb. 5).

Insgesamt lagen die Laufkäferdichten aber niedriger als die der Spinnen und Kurzflügelkäfer, so daß eine Darstellung der Verlaufskurven nicht sinnvoll erscheint.

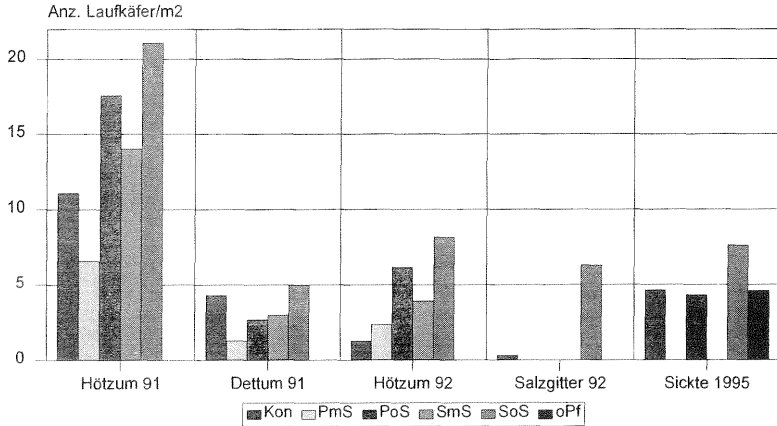


Abb. 5: Durchschnittliche Dichten von Laufkäfern über den jeweiligen Beobachtungszeitraum, gefangen mit Bodenphotoelektoren an verschiedenen Standorten und in unterschiedlichen Jahren.

### Fraßschäden

Fraßstellen an den Keimpflanzen der Zuckerrüben (Saatgutbeizung ohne Insektizid) traten zumeist in der konventionellen Variante stärker auf (Abb. 6). 1995 dagegen wurden in dieser Variante die wenigsten Fraßstellen gefunden, die meisten in der mit Direktsaat in die Gerstenstoppeln. Das unterschiedliche Ausmaß der Fraßstellen führte aber in keinem Fall zu einem Ausfall von Rübenpflanzen.

In keinem der untersuchten Schläge traten Schäden durch Schneckenfraß auf. Schnecken können aber je nach Lage und Witterung durchaus, besonders in Mulchsaaten, zu erheblichen Schäden bis zum Totalausfall führen.

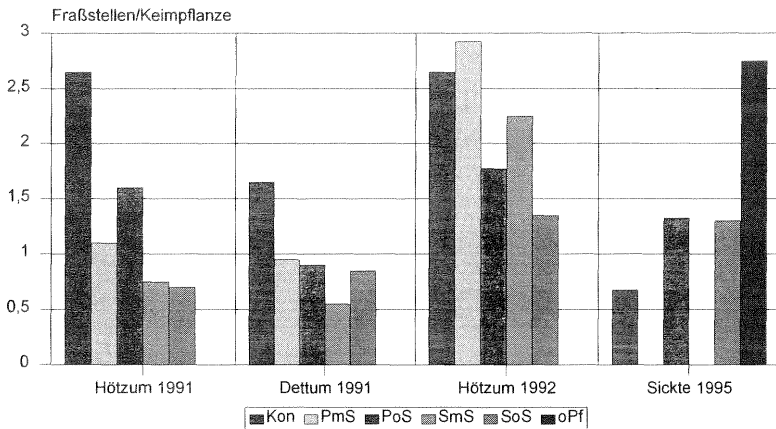


Abb. 6: Anzahl der Fraßstellen an Zuckerrübenkeimpflanzen verursacht durch Collembolen und *Atomaria* spp. bei verschiedenen Bearbeitungsvarianten.

## Blattlausbefall

Beim Befall durch Blattläuse zeigten die Varianten mit Zwischenfruchtanbau geringere Befallsdichten auf als die konventionelle (Abb. 7). 1995 lagen so geringe Blattlauszahlen vor, daß sie hier nicht dargestellt werden sollen.

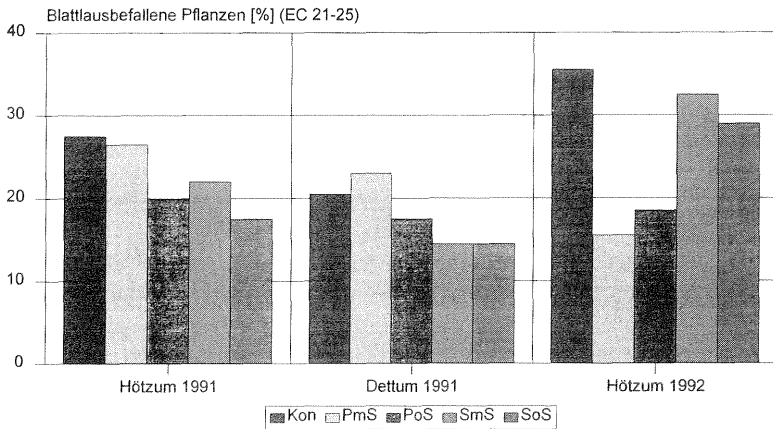


Abb. 7: Prozentsatz durch Blattläuse befallener Zuckerrübenpflanzen bei verschiedenen Bearbeitungsvarianten.

## Diskussion

Direktsaat und Mulchverfahren können die Lebensbedingungen für Raubarthropoden deutlich verändern, in der Regel werden sie verbessert.

So können im Herbst und Winter durch die Zwischenfrüchte Quartiere und Ernährungsmöglichkeiten für die Überwinterung einiger Arten angeboten werden, so daß eine gezielte Besiedelung dieser Flächen erfolgen kann. Die frühe Pflugfurche, die für den Zwischenfruchtanbau in der Regel nötig ist, stört wahrscheinlich weniger als die konventionelle Herbstfurche, da die Tiere nach früher Furche noch genügend Zeit haben geeignete Lebensräume aufzusuchen. Bei Herbstfurche dagegen werden sie unter Umständen schon im Winterlager aufgestört und können nicht mehr rechtzeitig neue Quartiere aufsuchen. Bei völligem Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung entfallen gravierende Störungen und mechanische Beschädigungen noch stärker. Vor allem Spinnen reagieren sehr empfindlich auf Bodenbearbeitung, da sie nur in sehr geringem Umfang in der Lage sind, sich wieder freizugraben.

Im Frühjahr wird durch den Anbau der Zwischenfrüchte eine gefestigte Boden- und Bodenoberflächenstruktur geschaffen, vor allem wenn auf Saatbettbearbeitung verzichtet wird. Oberflächenstrukturen können z.B. für Spinnen von Bedeutung zum Netzbau sein. Eine höhere Bodenoberflächenrauigkeit bietet zudem einen vielfältigeren Lebensraum an. Viele Kurzflügel- und Laufkäfer müssen als Larve stabile Erdhöhlen bauen können, in denen sie sich häuten und verpuppen. Eine Zerstörung dieser Höhlen führt nach eigenen Laborerfahrungen zu hoher Mortalität und Mißbildung der erwachsenen Käfer. Durch den erhöhten Anteil an organischer Substanz an der Bodenoberfläche nach Zwischenfruchtanbau treten auch vermehrt andere davon lebende Insekten auf (House, 1989), die wiederum den hier untersuchten Raubarthropoden als Nahrung dienen

können. So war zum Beispiel der Besatz mit auf der Bodenoberfläche aktiven Collembolen in den Untersuchungen von 1995 in den beiden Varianten mit Zwischenfruchtanbau um mehr als das Doppelte gegenüber dem konventionellen Anbau erhöht (Sokolowski, 1995). Außerdem ist durch den erhöhten Anteil an organischer Substanz an der Oberfläche das Mikroklima am Boden ausgeglichener, d.h. die Temperaturminima und -maxima liegen näher beieinander und die Bodenoberfläche bleibt länger feucht. Das Mikroklima kann aber großen Einfluß auf die Verweildauer der Tiere haben (Alderweireldt & Desender, 1990), besonders bei Staphyliniden (Honek, 1988; Jones, 1976).

In den vorliegenden Untersuchungen reagierten Spinnen sensitiv auf die Verwendung von Zwischenfrüchten und reduzierte Bodenbearbeitung. Dies könnte sowohl an einer höheren Zahl an potentiellen Nahrungstieren (z.B. Collembolen) aber auch an besseren Möglichkeiten zur Netzbildung liegen, was die Spinnendichte beeinflussen kann (Rypstra, 1983). So waren die Bodenoberflächenstrukturen in SoS am stärksten, gefolgt von PoS, SmS, PmS, oPf und Kon. Die gemessenen Spinnendichten folgten in etwa dieser Rangfolge.

Staphyliniden und Carabiden wurden in der Regel ebenso durch die Verwendung von Zwischenfrüchten gefördert. Ursache kann wiederum neben erhöhter Nahrungsdichte auch eine reduzierte Bodenbewegung insbesondere bei Verzicht auf Saatbettbearbeitung sein. So fanden Hance & Gregoire Wibo (1987), daß z.B. der Zeitpunkt des Pflügens einen deutlichen Einfluß auf Carabiden hat und daß nackter Boden über Winter sowohl die Individuen- als auch die Artenanzahl reduzierte. Die hohen Staphylinidenanzahl in der konventionellen Variante in 1995 sind vor allem durch eine sehr hohe Zahl an Aleocharinae (durchschnittlich 75% der Fänge) verursacht. Die relativ geringeren Staphylinidendichten nach Zwischenfruchtanbau im Sommer 1995 könnten evtl. durch die stark reduzierte Rübendichte in diesen Varianten verursacht sein. Einige Arten wie z.B. *Anotylus rugosus* bevorzugten aber die Varianten mit Zwischenfruchtanbau deutlich. Die Summe aller Staphylinidae ohne Aleocharinae lag in diesen Varianten geringfügig über der aus dem konventionellen Anbau (Knolle, 1996).

Geringere Schäden an Rübenkeimlingen nach Mulchsaaten wurden auch von Garbe, (1987); Sievers & Ulber, (1990); Ulber, (1980) nachgewiesen. Als Gründe sind neben der erhöhten Anzahl polyphager Raubarthropoden auch mehr organische Substanz an der Bodenoberfläche durch die abgestorbene Zwischenfrucht als Alternativnahrung zu nennen.

Geringere Blattlauszahlen bei Mulchsaaten wurde auch in anderen Fruchtarten gefunden. So waren Lupinen mit Strohmulch geringer mit blattlausübertragbaren Viren befallen als solche ohne (Jones, 1994). An Gemüsepflanzen fanden Finch & Edmonds (1994), an Getreide Kendall et al. (1991) und an Zuckerrüben El Titi (1986) geringere Blattlauszahlen in Mulchsaatvarianten. Auch hier sind als Ursache eine erhöhte Dichte an Raubarthropoden, ein verändertes Besiedlungsverhalten der alaten Läuse und ein evtl. ungünstigeres Mikroklima für die Läuse denkbar.

Insgesamt scheinen Mulchsaatverfahren neben der bekannten Erosionsminderung und Förderung des Bodenlebens auch positiv auf viele Nutzarthropoden zu wirken. Gleichzeitig können Schäden durch Auflaufschädlinge und der Blattlausbefall reduziert werden. Diesem Aspekt sollte mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

### Zusammenfassung

In mehrjährigen Versuchen wurden vor Zuckerrüben nach Wintergerste verschiedene Varianten der Bodenbearbeitung bzw. der Anbau von Zwischenfrüchten durchgeführt (Gelbsenf und Phacelia). Je nach Versuch wurden die Rüben entweder mit oder ohne Saatbettbearbeitung angebaut. In einem Jahr wurde in einer Varianten pfluglos bestellt.



Untersucht wurde das Auftreten von Spinnen, Lauf- und Kurzflügelkäfern sowie von Schädlingen der Zuckerrübe. Vor allem Spinnen wurden stark durch den Anbau von Zwischenfrüchten, insbesondere wenn auf Saatbettbearbeitung zu den Rüben verzichtet wurde, gefördert. In den meisten Fällen wurden auch Lauf- und Kurzflügelkäfer durch den Anbau der Zwischenfrüchte gefördert und wiederum wirkte sich der Verzicht auf Saatbettbearbeitung positiv aus.

Schäden an Zuckerrübenkeimlingen und auch der Befall durch Blattläuse waren in der Regel in den Zwischenfruchtvarianten geringer.

Insgesamt wirkte sich der Anbau von Zwischenfrüchten positiv auf die Artenzahl und Individuendichte epigäischer Raubarthropoden aus. Verzicht auf Saatbettbearbeitung verstärkte diesen Effekt.

## Literatur

- Alderweireldt, M. & K. Desender, 1990. Microhabitat preference of spiders (Araneae) and carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in maize fields. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* **55**, 501-510.
- Blumberg, A.Y. & D.A. Crossley, 1983. Comparison of soil surface arthropod populations in conventional tillage, no-tillage and old field systems. *Agro-Ecosystems* **8**, 247-253.
- Brust G.E. & G.J. House, 1990. Effects of soil moisture, no-tillage and predators on southern corn rootworm (*Diabrotica undecimpunctata howardi*) survival in corn agroecosystems. *Agricult., Ecosyst. & Environ.* **31**, 199-215.
- El Titi, A., 1986. Zum ökonomischen Nutzen von Ackerunkräutern im integrierten Pflanzenschutz, dargestellt am Zuckerrübenanbau. *Proc. EWRS Symp. 1986, Economic Weed Control*, 209-216.
- Finch, S. & G.H. Edmonds, 1994. Undersowing cabbage crops with clover - the effects on pest insects, ground beetles and crop yield. *IOBC/WPRS Bull.* **17(8)**, 159-167.
- Friebe, B. & W. Henke, 1991. Bodentiere und deren Strohabbauleitung bei reduzierter Bodenbearbeitung. *Z. Kulturtech. und Landentwickl.* **32**, 121-126.
- Funke, W. 1971. Food and energy turnover of leaf-eating insects and their influence on primary production. *Ecol. Studies* **2**, 81-93.
- Garbe, V. 1987. Verunkrautung und Auftreten von Schädlingen bei unterschiedlichen Systemen der Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben. *Dissertation University Göttingen*, 108 pp.
- Garbe, V. & U. Heimbach, 1992. Mulchsaat zu Zuckerrüben. *Zuckerrübe* **41**, 230-234.
- Hance, T. & C. Gregoire-Wibo, 1987. Effect of agricultural practices on carabid populations. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica* **22**, 147-160.
- Heimbach, U. & V. Garbe, 1996. Effects of reduced tillage systems in sugar beet on predatory and pest arthropods. *Acta Jutlandica*, in press.
- Honek, A., 1988. The effect of crop density and microclimate on pitfall trap catches of Carabidae, Staphylinidae and Lycosidae in cereal fields. *Pedobiologia* **32**, 233-242
- House, G.J., 1989. No-tillage and legume cover cropping in corn agroecosystems: Effects on soil arthropods. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica* **24**, 99-104.
- Jones, M.G., 1976. The carabid and staphylinid fauna of winter wheat and fallow on a clay with flints soil. *J. appl. Ecol.* **13**, 775-791.
- Jones R.A.C., 1994. Effect of mulching with cereal straw and row spacing on spread of bean yellow mosaic potyvirus into narrowleafed lupins (*Lupinus angustifolius*). *Ann. appl. Biol.* **124**, 45-58.

- Kendall, D.A., N.E. Chinn, B.D. Smith, C. Tidboald, L. Winstone & N.M. Western, 1991. Effects of straw disposal and tillage on spread of barley yellow dwarf virus in winter barley. *Ann. appl. Biol.* **119** 359-364.
- Knolle, B., 1996. Einfluß von Direktsaat mit und ohne Zwischenfrucht auf das Auftreten von Raubkäfern (Coleoptera; Staphylinidae) in Zuckerrüben. Diplomarbeit, Universität Hamburg.
- Paul, W.D., 1986. Vergleich der epigäischen Bodenfauna bei wendender bzw. nichtwendender Grundbodenbearbeitung. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch.*, Berlin Dahlem No.232, 290.
- Rypstra, A.L., 1983. The importance of food and space in limiting webspider densities; a test using field enclosures. *Oecologia* **59**, 312-316.
- Sievers, H. & B. Ulber, 1990. Freilanduntersuchungen zu den Auswirkungen der organischen Düngung auf Collembolen und andere Kleinarthropoden als Auflaufschädlinge in Zuckerrübenbeständen, *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch.* **97**, 588-599.
- Sokolowski, A., 1995. Einfluß von Direktsaat mit und ohne Zwischenfrucht auf die Spinnenzönose in der Kultur Zuckerrübe. Diplomarbeit Technische Hochschule Darmstadt.
- Stinner, B.R., H.R. Krueger & D.A. McCartney, 1986. Insecticide and tillage effects on pest and non-pest arthropods in corn agroecosystems. *Agricult. Ecosyst. & Environ.* **15**, 11-21.
- Ulber, B., 1980. Untersuchungen zur Nahrungswahl von *Onychiurus fimatus* Gisin (Onychiuridae, Collembola), einem Auflaufschädling der Zuckerrübe. *Z. angew. Entomol.* **90**, 333-346.
- Weiss, M.J., E.U. Balsbaugh, E.W. French & B.K. Hoag, 1990. Influence of tillage management and cropping system on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) fauna in the Northern Great Plains. *Environ. Entomol.* **19**, 1388-1391.

## **Bewertungsverfahren für den Bodenschutz**

C. Kula, R. Forster und H. Ehle

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik, Fachgruppe Biologische Mittelprüfung, Braunschweig

### **Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenorganismen im Zulassungsverfahren - Risikoabschätzung, Bewertung und Maßnahmen zur Risikominimierung**

#### **1. Einleitung**

Nach § 15 des Pflanzenschutzgesetzes von 1986 (PflSchG) darf ein Pflanzenschutzmittel unter anderem nur dann zugelassen werden, wenn es bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung keine sonstigen Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt, hat, die nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis nicht vertretbar sind.

Im EU-Zulassungsverfahren haben die Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft gemäß den Forderungen des Anhangs VI der Richtlinie 91/414/EWG sicherzustellen, daß ein Pflanzenschutzmittel unter anderem keine unannehmbaren Auswirkungen auf die Umwelt hat.

Bodenorganismen tragen wesentlich zum Erhalt der verschiedenartigen Funktionen des Bodens bei. Dies wird entsprechend im Zulassungsverfahren berücksichtigt. Dabei müssen Entscheidungen getroffen werden über die Auswahl der Testorganismen, das Verfahren der Risikoabschätzung, die Umsetzung der Ergebnisse in behördliche Entscheidungen und die Möglichkeiten der Risikominimierung.

#### **2. Risikoabschätzung**

##### **2.1 Geprüfte Arten**

Die Auswahl der in Tabelle 1 aufgeführten Tierarten bzw. Organismengruppen erfolgte nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. So wurden Regenwürmer ebenso wie die Bodenmikroflora aufgrund ihrer bodenbiologischen Bedeutung ausgewählt, während Laufkäfer, Kurzflügelkäfer und Spinnen im Zulassungsverfahren als „Nutzarthropoden“ insbesondere aufgrund ihrer räuberischen Lebensweise als Schädlingsantagonisten ausgewählt wurden.

In den einzelnen Gruppen wiederum erfolgte die Auswahl von Testorganismen aus ganz verschiedenen Gründen. So können beispielsweise praktische Gründe wie die Züchtbarkeit ausschlaggebend für die Auswahl einer Prüffart sein. Da Laborversuche an erster Stelle der Prüfskala stehen, ist die Züchtbarkeit und Handhabbarkeit einer Art im Labor eine der wesentlichen Voraussetzungen für einen Einsatz im Versuch. So wird stellvertretend für Regenwürmer die Art *Eisenia fetida* im Labor untersucht; eine Art, die auf ackerbaulich genutzten Flächen nicht dauerhaft vorkommt. Um Aussagen über alle relevanten und möglicherweise betroffenen Arten machen zu können, werden Kenntnisse über die unterschiedliche Empfindlichkeit von Arten (z.B. Kula, 1994) bei der Bewertung beispielweise in Form von Sicherheitsfaktoren berücksichtigt.

Tabelle 1: Spektrum der im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel ausgewählten Prüforganismen aus dem Kompartiment "Boden"

ART/GRUPPE	FUNKTION	RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR
------------	----------	-----------------------

**Bodenorganismen (edaphisch):**

Kompostwurm ( <i>Eisenia fetida</i> )	Primärzersetzer	Regenwürmer
Bodenmikroflora	Zersetzer	Bodenmikroflora
Streuersetzer #	Streuabbau	Organismen, die zum Streuabbau beitragen

**Nutzarthropoden (edaphisch/epigäisch):**

Laufkäfer ( <i>Poecilus cupreus</i> )	Prädator	geprüfte Art (Familie)
Kurzflügelkäfer ( <i>Aleochara bilineata</i> )	Prädator/Parasitoid	geprüfte Art (Familie)
Wolfspinne ( <i>Pardosa spp.</i> )	Prädator	geprüfte Art (Familie)

# im EU-Zulassungsverfahren, noch keine Richtlinie vorhanden

Tabelle 1 zeigt auch, daß das Ziel der Prüfung und damit der Risikoabschätzung in den einzelnen Bereichen unterschiedlich ist. Während für Regenwürmer eine Aussage über die gesamte Gruppe angestrebt wird, ist bei Nutzarthropoden die Aussage auf die geprüfte Art beschränkt, obwohl auch zumindest bei den polyphagen Nutzarthropoden eine Aussage über die gesamte Gruppe als Ziel im Hintergrund steht.

Der Umfang der Prüfpalette im terrestrischen Bereich wird vielfach kritisch diskutiert. Es fehlen bestimmte systematische Gruppen wie Collembolen und Milben, die z.B. für die Zersetzung organischer Substanz im Boden eine wichtige Rolle spielen. Da diese Tiergruppen eine Fülle von Arten umfassen, die zu einem großen Teil noch nicht bekannt und ausreichend beschrieben sind, ist es schwierig, sich auf einzelne Arten für einen Labortest festzulegen.

Diesem Problem kann dadurch begegnet werden, daß statt weiterer Einzelartprüfungen die Prüfung übergreifender funktioneller Parameter als Ziel formuliert wird. Wird hierfür z.B. der Parameter „Streuabbau“ ausgewählt, ist eine Aussage über den Einfluß der Biozönose eines Standorts auf den für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen Parameter möglich, ohne jedoch auf Artniveau Aussagen über bestimmte Effekte machen zu können. Diesen Weg verfolgt die Richtlinie 91/414/EWG der EU, die unter bestimmten Umständen, z.B. bei hoher Persistenz eines Wirkstoffs im Boden, eine Prüfung des Abbaus organischer Substanz mit dem zur Zulassung beantragten Pflanzenschutzmittel vorsieht.

## 2.2 Erfassung der Auswirkungen

In den meisten Fällen stehen Standardverfahren für die Prüfung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln im Labor zur Verfügung (Tabelle 2). Während die internationale Harmonisierung von Prüfrichtlinien im Bereich der Nutzarthropodenprüfung bisher vorwiegend im Rahmen der IOBC (International Organisation for Biological Control) erfolgt, werden die Richtlinien für Bodenorganismen vorwiegend im Rahmen von OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development) und ISO (International Standards Organisation) harmonisiert.

Tabelle 2: Prüfung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenorganismen und Nutzorganismen

ART/GRUPPE	BASISSTUFE LABOR (OBLIGATORISCH)	WEITERE TESTSTUFEN (OPTIONAL)
------------	-------------------------------------	----------------------------------

### Bodenorganismen:

Regenwurm	Mortalität (LC50)	Labor, Freiland
Bodenmikroflora	N-, C-Zyklus; Dehydrogenase, (1- und 5 bis 10-fache Dosis)	Labor, Halbfreiland, Freiland

### Nutzarthropoden:

Laufkäfer	Mortalität, Fraßleistung, (1- bis 2-fache Dosis)	Halbfreiland, Freiland
Kurzflügelkäfer	Mortalität, Parasitierungsleistung, (1- bis 2-fache Dosis)	Halbfreiland, Freiland
Wolfspinne	Mortalität, Fraßleistung, (1- bis 2-fache Dosis)	Halbfreiland, Freiland

In der Regel steht ein Laborversuch zur akuten Wirkung eines Pflanzenschutzmittels/Wirkstoffs am Beginn der Risikoabschätzung. Diese Versuche sind obligatorisch für Regenwürmer und Bodenmikroflora, und für mindestens eine der in Tabelle 1 aufgeführten Arten aus der Gruppe der Nutzarthropoden. Je nach Ergebnis dieser Untersuchungen können weitere Versuche erforderlich werden. Dabei handelt es sich in der Regel zunächst um weitere Laborversuche, z.B. einen Reproduktionstest mit dem Regenwurm. Als letzte Stufe können in Einzelfällen Halbfreiland- bzw. Freilandversuche notwendig werden.

## 2.3 Expositionsabschätzung

Die Prüfung der Auswirkungen auf Bodenorganismen erfolgt prinzipiell nur dann, wenn eine Exposition durch ein Pflanzenschutzmittel gegeben ist (EPPO, 1993). So sind zum Beispiel für Mittel im Unterglasanbau keine Unterlagen im Zulassungsverfahren erforderlich.

Die Ermittlung der Auswirkungen auf Nutzarthropoden erfolgt in der Regel für die höchste vorgesehene Aufwandmenge. Für die Bodenmikroflora sind bei einmaliger Anwendung die höchste einfache Aufwandmenge und ein Fünffaches davon, und bei Mehrfachanwendung die höchste einfache Aufwandmenge und ein Zehnfaches davon zu prüfen (BBA, 1990).

In der Regenwurmprüfung nach OECD-Richtlinie Nr. 207 (OECD, 1984) ist die Ermittlung einer Dosis-Wirkungsbeziehung vorgesehen. Um einen Vergleich zwischen Exposition und Wirkung vornehmen zu können, ist eine Abschätzung der Exposition notwendig.

Hierfür werden folgende Annahmen gemacht (EPPO, 1993):

- gleichmäßige Verteilung des Mittels in den oberen 5 cm des Bodens
- mittlere Bodendichte von  $1,5 \text{ g/cm}^3$
- ca. 50% der Mittelmenge erreicht den Boden, wenn das Pflanzenschutzmittel auf Boden mit Pflanzenbewuchs appliziert wird
- 100% der Mittelmenge erreicht den Boden, wenn das Mittel auf Boden ohne Pflanzenbewuchs und auf Grünland appliziert wird
- je nach Halbwertszeit des Wirkstoffs werden weitere Anwendungen mit 50% oder 100% der Mittelmenge hinzuaddiert.

## 2.4 Vergleich Exposition/Wirkung

Für die Abschätzung des Risikos durch ein bestimmtes Pflanzenschutzmittel werden Exposition und Wirkung verglichen. Für alle der hier genannten Gruppen bzw. Organismen hat die EPPO (European Plant Protection Organization) Ablaufschemata zur Risikoabschätzung erarbeitet (EPPO, 1993). Auf diese wird in den Anhängen der Richtlinie 91/414/EWG verwiesen.

Die Validierung dieser Ablaufschemata zur Risikoabschätzung steht kurz vor dem Abschluß. In manchen Bereichen wird nach der Validierung eine Überarbeitung notwendig sein. Die Einstufung nach EPPO-Kriterien erfolgt für alle Prüfbereiche in die folgenden vier Kategorien:

- vernachlässigbares Risiko („negligible risk“)
- geringes Risiko („low risk“)
- mittleres Risiko („medium risk“)
- hohes Risiko („high risk“).

Die Abbildung 1 zeigt beispielhaft das Ablaufschema der EPPO für die Regenwurmprüfung.

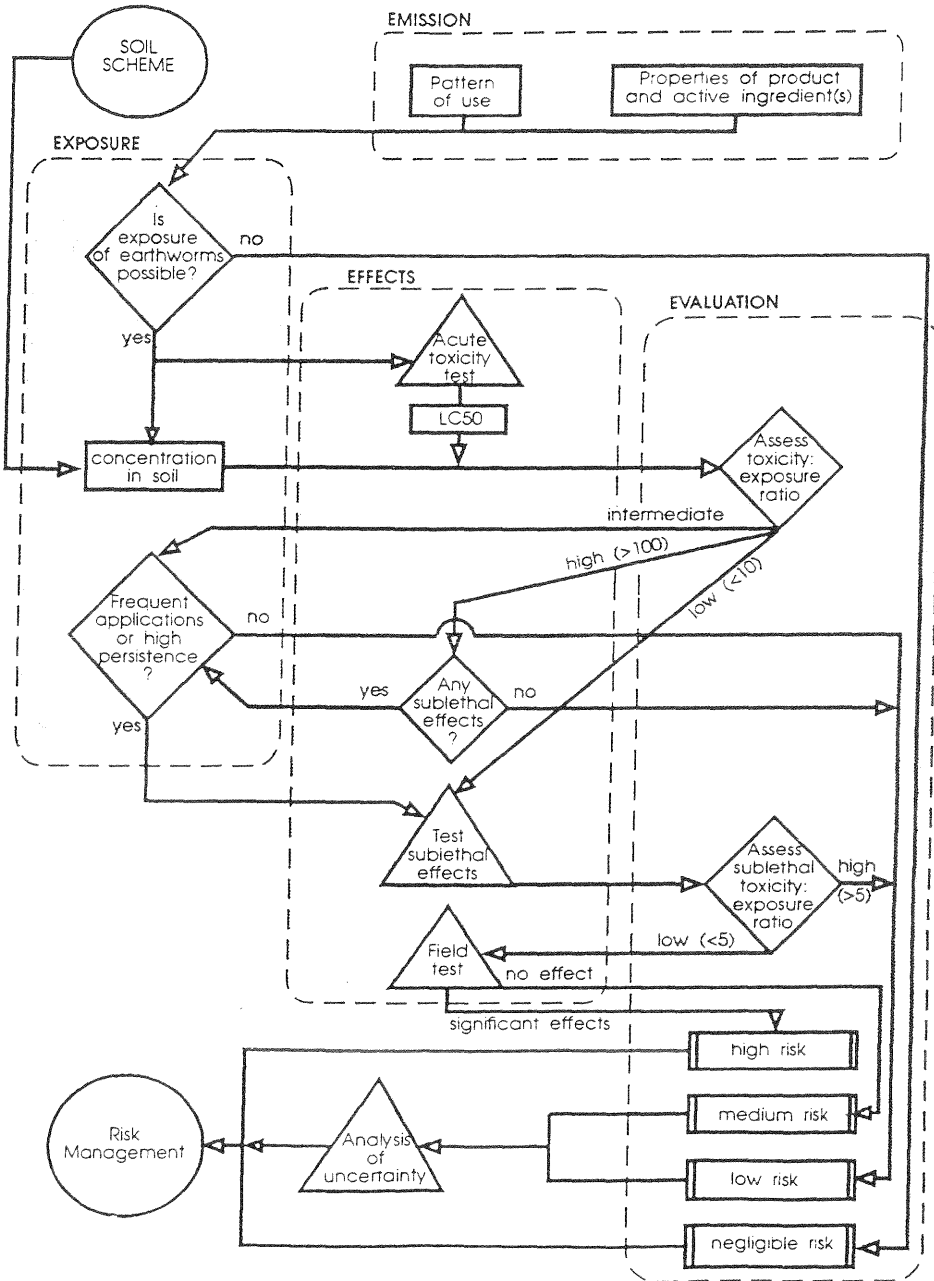


Abb. 1: Ablauf der Risikoabschätzung für Regenwürmer (EPP0, 1993)

### 3. Bewertung

Nach § 15 des Pflanzenschutzgesetz von 1986 wird die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels unter anderem dann erteilt, wenn das Pflanzenschutzmittel keine Auswirkungen auf den Naturhaushalt hat, die nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis nicht vertretbar sind.

Die Frage der Tolerierbarkeit bzw. Vertretbarkeit von Effekten bezieht eine Vielzahl von Gesichtspunkten mit ein, so daß es schwierig ist, hier festgefügte Kriterien aufzustellen. Für die Bewertung sind folgende Gesichtspunkte wichtig:

- Stärke und Dauer des Effekts
- Häufigkeit der Exposition
- Tolerierbarkeit/Vertretbarkeit von Effekten
- Möglichkeiten der Wiederbesiedlung (z.B. geringe Mobilität von Bodenorganismen)
- Möglichkeiten der Wiedererholung (z.B. abhängig von der Generationszeit der Organismen).

### 4. Umsetzung der Ergebnisse im Zulassungsverfahren und Risikominimierung

Nach der Abschätzung und Bewertung des Risikos erfolgt eine Umsetzung im Zulassungsverfahren. Im nationalen Zulassungsverfahren werden die Ergebnisse in Kennzeichnungsaufgaben umgesetzt, die auf der Verpackung und in der Gebrauchsanleitung aufzuführen sind. Im Rahmen der EG-Zulassung werden auch Kriterien genannt, die zu einer Nichtzulassung führen können.

Im Bereich der Bodenorganismen werden Kennzeichnungsaufgaben bisher für Regenwürmer erteilt. Neben rein informativen Kennzeichnungsaufgaben (z.B.: NO 686 „Das Mittel wird als schädigend für Regenwurmpopulationen eingestuft“) existieren Auflagen mit einer zeitlichen Beschränkung der Anwendung (z.B.: NO 689 „Das Mittel wird als schädigend für Regenwurmpopulationen eingestuft; deshalb dieses und andere Mittel mit diese(n) Wirkstoff(en) nur alle 2 Jahre anwenden).

Im Bereich der Nutzarthropoden werden bisher informative Kennzeichnungsaufgaben bezogen auf die geprüfte Art erteilt. Die Einstufung erfolgt dabei in Anlehnung an die IOBC-Bewertungsstufen (IOBC, 1992). Wird ein Großteil der geprüften Organismen geschädigt, wird eine übergreifende Kennzeichnungsaufgabe erteilt (NN 400: „Das Mittel schädigt Populationen relevanter Nutzorganismen“).

Eine Verminderung des Risikos einer Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist für Bodenorganismen nicht leicht zu erreichen, da diese Organismen sich immer auf der Fläche befinden, auf der die Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden. So kann ein Ausweichen zum Beispiel bei Regenwürmern nur in tiefere Bodenschichten erfolgen. Adulte Regenwürmer sind je nach Art zu einem gewissen Grad in der Lage, in tiefere Bodenschichten auszuweichen. Dies setzt jedoch voraus, daß sie sich z.B. nicht in einem Ruhestadium befinden und das entsprechende Mittel repellierend wirkt, so daß die Tiere sich in tiefere Bodenschichten zurückziehen können. Juvenile Regenwürmer halten sich nur in den oberen 5-10 cm des Bodens auf und können dadurch viel stärker exponiert sein als adulte Tiere.



Als Strategien zur Risikominimierung für Bodenorganismen und Nutzarthropoden kommen folgende Möglichkeiten in Frage:

- Information durch Kennzeichnungsauflagen und Hinweise
- Verminderung der Exposition auf ein vertretbares Niveau
  - zeitlich: Mindestabstand zwischen Anwendungen  
(z.B. nur 1 x/Jahr anwenden; nur alle 2 Jahre anwenden)
  - räumlich: nur Teilflächenbehandlung  
(z.B. Band-, Saatreihenapplikation, Schutzstreifen)
  - mengenmäßig: Verwendung von Recyclinggeräten
- Vermeidung der Exposition, d.h. keine Anwendung.

## 5. Ausblick

Nachdem die Prüfung der Auswirkungen auf den Naturhaushalt seit Inkrafttreten des Pflanzenschutzgesetzes von 1986 in den letzten Jahren im Rahmen der Zulassungsprüfungen etabliert wurde, ist für die Zukunft eine konsequente Umsetzung der genannten Risikominimierungsstrategien unabdingbar.

Die Kenntnisse über langfristige Auswirkungen auf Bodenbiozönosen sind gering, da auch methodische Probleme des Nachweises solcher Wirkungen bestehen. Um Biozönosen mit ihren vielfältigen, aufeinander abgestimmten Funktionen besser schützen zu können, sind Kenntnisse über optimale bzw. minimale Besatzdichten notwendig.

Da einzelne Pflanzenschutzmittel im Lauf einer Vegetationsperiode bzw. eines Jahres selten allein angewendet werden, ist eine Risikoabschätzung, die allein auf Basis der Bewertung eines Mittels erfolgt, zwar eine wichtige Grundinformation, für einen effektiven Bodenschutz wird diese Information allein jedoch nicht ausreichen. Da es jedoch nicht möglich ist, jede Kombination und jede Folge von Pflanzenschutzmitteln, die in der Praxis eingesetzt wird, zu untersuchen, müssen hier spezielle Wege der Bewertung und Risikoabschätzung gefunden werden.

Auch über die Kombinationswirkung einzelner Risiken ist kaum etwas bekannt. So könnte die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln je nach dem Zustand der Populationen auf den Agrarflächen sehr unterschiedlich ausfallen. Populationen, die durch intensive Bewirtschaftungsformen bereits suboptimalen Bedingungen ausgesetzt sind, können durch Pflanzenschutzmittel ganz anderen Risiken ausgesetzt sein, als Populationen unter optimalen Bedingungen.

Ein effektiver Bodenschutz kann ohne Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte nicht auskommen. Deshalb kommt z.B. einem Nachzulassungsmonitoring neben der Zulassungsprüfung eine große Bedeutung zu.

## 6. Literatur

BBA (1990): Auswirkungen auf die Aktivität der Bodenmikroflora, Richtlinie Teil VI, 1-1 (2. Auflage).

EPPO (1993): Decision making scheme for the environmental risk assessment of plant protection products. Chapter 8, Earthworms. EPPO Bulletin 23, 1, 131-139.

IOBC (1992): Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: Description of test methods. IOBC/WPRS Bulletin XV/3.

Kula; H. (1994): Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Regenwürmer (Oligochaeta: Lumbricidae). Zur Problematik der Bewertung letaler und subletaler Effekte in Labor- und Feldversuchen. Diss. TU Braunschweig

OECD (1984): Guideline for testing of chemicals, no. 207. Earthworm, acute toxicity tests. Adopted 4. April 1984.

W. Pestemer und Petra Günther

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin (Dahlem)

### Computer-gestütztes Nachzulassungsmonitoring von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Bei der Landbewirtschaftung kann es zu einer unterschiedlich hohen Belastung verschiedener Ressourcen kommen. Durch die Belastung von z.B. Boden, Wasser und Luft (abiotischen Ressourcen) und durch direkte Beeinflussung der biotischen Ressourcen kann eine potentielle Kontamination auch von Nutzpflanzen und damit insgesamt auf die pflanzliche Erzeugung nicht ausgeschlossen werden. Im Mittelpunkt des Interesses steht dabei der Boden, der neben Wasser und Luft zu den besonders schützenswerten Gütern unserer Erde zu betrachten ist. Eine unserer vordringlichen Aufgaben ist es daher, seine Leistungs- und Regenerationsfähigkeit als Grundlage für das Pflanzenwachstum zu erhalten und zu vermehren. In Abbildung 1 wird der Versuch unternommen, den Boden in seinem komplexen Feld zwischen Bodenfunktion, -nutzung, -belastung und der politischen Zuständigkeit darzustellen.



Abb. 1: Zusammenhänge des Bodenschutzes unter beispielhafter Betrachtung von Nutzungen, Bodenfunktionen, Bodenbelastungen und Zuständigkeiten (nach Thormann, 1984)

Unter den derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen intensiver Pflanzenproduktion kann auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Landwirtschaft oft nicht verzichtet werden. Dies spiegelt sich in den jährlich abgesetzten Wirkstoffmengen wider, die bis zum Beginn der 90er Jahre etwa gleichblieben. Erst in den letzten Jahren ist ein stärkerer Rückgang zu verzeichnen, der überwiegend auf Flächenstilllegungsprogramme, aber auch auf reduzierte Aufwandmengen (Berücksichtigung von Schadensschwelen; situationsbezogene, flexible Applikation) und den Einsatz neuerer Wirkstoffe (z. B. Sulfonylharnstoffe) zurückgeführt werden kann. Eine bestimmungsgemäße und sachgerechte Anwendung von PSM ist jedoch nicht nur aus ökonomischen Gesichtspunkten zu betrachten, sondern zugleich sollen mögliche Nebenwirkungen

auf den Naturhaushalt, eine Schädigung von Nachbarkulturen oder ein potentieller Eintrag in Nachbarkompartimente des Bodens, wie Grundwasserleiter oder Atmosphäre, verhindert werden. Ausgehend von diesen Anforderungen wurde ein computer-gestütztes Expertensystem zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von PSM (**PEMOSYS = Pesticide Monitoring System**) entwickelt. Darin werden Entscheidungshilfen zur Beurteilung des Verhaltens und Verbleibs in verschiedenen Kompartimenten von Agrar-Ökosystemen (Boden, Wasser, Luft, Pflanzen und Tiere) gegeben sowie Auswirkungen der Rückstände prognostiziert. Der Verbleib von Pflanzenschutzmitteln im Naturhaushalt beinhaltet Belastung, Verbreitung, Ausbreitungspfade, Transfer zwischen den Kompartimenten, Persistenz und Metabolismus einschließlich der Bildung und des Schicksals gebundener (nicht-extrahierbarer) Rückstände in Ökosystemen. Daraus ergeben sich auch die Grundlagen und Aufgaben eines **Nachzulassungs-Monitorings**, wie sie in Abbildung 2 in vier Themenkomplexen dargestellt sind.

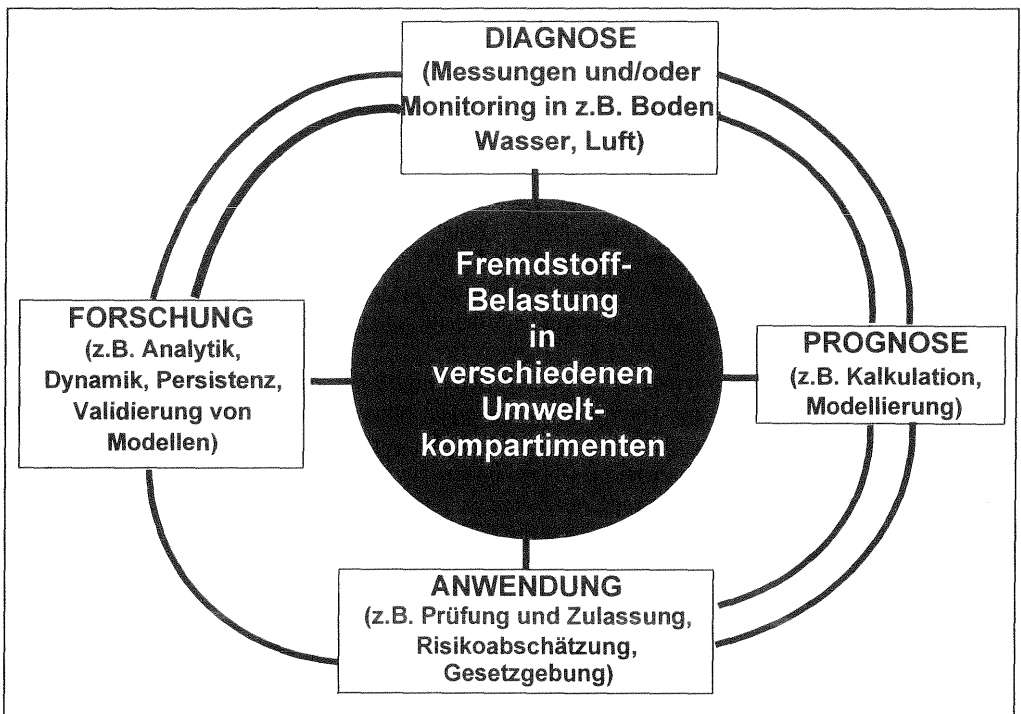


Abb. 2: Grundlagen und Aufgaben von Nachzulassungsuntersuchungen (chemical monitoring)

Eine landwirtschaftlich genutzte Fläche stellt ein sehr komplexes Ökosystem dar, welches in seinen Einzelprozessen nur äußerst schwer zu beschreiben ist. Trotzdem wird versucht, in Gesamtmodellen sämtliche Kompartimente zu berücksichtigen. Dabei kann die Verwendung von Modellen in der Landwirtschaft in verschiedene Anwendungsbereiche, nämlich für Forschungszwecke, Beratung oder Monitoring, unterteilt werden. Die Struktur der Eingabegrößen in ihrer Komplexität bestimmt die Genauigkeit der Ergebnisse und deren Einsatzmöglichkeiten. Der für eine richtige Entscheidung oder für eine genaue Simulation des Verhaltens von PSM erforderliche Kenntnisstand und die Datenfülle können aber oft zu Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung oder zu Ungenauigkeiten bei der Simulation führen. Das Expertensystem PEMOSYS gehört zur Klasse

sogenannter wissensbasierter Simulationssysteme, in denen Techniken mathematischer Simulationsmodelle und wissensbasierter KI-Methoden (KI = Künstliche Intelligenz) verknüpft werden. Dem Fachbenutzer sollen komfortable Werkzeuge zur Ausführung von Simulationsuntersuchungen an die Hand gegeben werden, ohne daß er Spezialkenntnisse über die Modellbildung und Simulation haben muß; hier liegt zukünftig ein großes Potential für die Modellierung in der Landwirtschaft.

Zugelassenen Präparate dürfen weder schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier oder auf das Grundwasser haben noch sonstige Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt. Trotzdem verbleibt bei der Einführung eines neuen Pflanzenschutzmittels oder einer Pflanzenschutzmaßnahme ein Restrisiko. Deshalb sind in begründeten Fällen Nachzulassungsuntersuchungen sowohl zum Verbleib (Chemical Monitoring) als auch zu den Auswirkungen (Biological Monitoring) erforderlich.

Um diese Forderung möglichst rationell umzusetzen, wurde am Institut für ökologische Chemie in Zusammenarbeit mit der Universität Bremen (Labor für Künstliche Intelligenz) das Expertensystem PEMOSYS entwickelt (PESTEMER et al., 1993a; PESTEMER, 1994) als Nachfolgesystem des Herbizidberatungssystems HERBASYS (GOTTESBÜREN, 1991). Damit kann für verschiedene Szenarien das Verhalten von PSM in ausgewählten Umweltkompartimenten simuliert werden (PESTEMER & GÜNTHER, 1993; GÜNTHER & PESTEMER, 1994).

Die Abbildung 3 zeigt die Systemstruktur von PEMOSYS, unterteilt in drei funktionelle Bereiche. Der oberste Bereich ist die **Benutzeroberfläche**, von der Benutzeranfragen an das System weitergegeben und die Simulationsergebnisse gezeigt werden. Mehrere Fenster sind gleichzeitig auf dem Bildschirm darstellbar, z. B. die Eingabedaten und eine Karte der in Frage kommenden Region. Durch objektorientierte Programmierung können in den Karten z. B. Bodeneigenschaften und Einwaschungstiefe übereinander angezeigt werden, wodurch Korrelationen anschaulich werden.

Der **Operationsbereich** enthält alle logischen Abläufe von PEMOSYS, die weiter in fünf Gruppen unterteilt sind. Die Inferenzmaschine ist mit der Wissensbasis verbunden, in der die für den Programmablauf notwendigen Regeln gespeichert sind. Auch die regelbasierte Strategie des Moduls CHEMPROG wird hier kontrolliert. Ein **Freitextsuchalgorithmus** ist für die Bereitstellung aller Informationen aus den Datenbanken verantwortlich, z. B. über Pflanzenschutzmittel, Kulturen, Wetter- und Bodendaten, die in Textform als Grafik oder Abbildung gespeichert sind. Im Modul für die **Parameterauswahl** sind Regeln für die optimale Auswahl und Ableitung von Eingabeparametern für die Simulationsmodelle implementiert. Das **Simulationsmodul** enthält zur Zeit Simulationsmodelle für Abbau und Einwaschung. Außerdem steht ein kontextorientiertes **Hilfesystem** zur Verfügung. Der **Daten- und Wissenserwerbsbereich** ermöglicht die Verwaltung der Daten- und Wissensbasen, wie sie z. Z. in PEMOSYS vorhanden sind (Abb. 4). Mittels WINDOWS-Layer-Technique (Abb. 5) erfolgt durch Übereinanderlegen verschiedener elektronischer Karten (z. B. Regional- und Schlagkarten) und den durch objektorientierte Programmierung (OOP) verknüpften Daten (z. B. Humus- oder Tongehalte) eine Visualisierung von Informationen und / oder Meß- bzw. Simulationsergebnissen (PESTEMER & GÜNTHER, 1993; GÜNTHER & PESTEMER, 1994). Zwischen den einzelnen Schichten werden Verknüpfungen durch Datenbank-Technologien, regelbasierten Wissen und wissensbasierte Simulationsmodelle vorgenommen.

Zur Zeit sind in PEMOSYS folgende Möglichkeiten implementiert:

- Simulation des Abbaus von PSM in den obersten 10 cm des Bodens (Modul ANPROG)
- Regelbasierte qualitative Bewertung des potentiellen Risikos einer Grundwasser-Gefährdung durch PSM (Modul CHEMPROG)
- Simulation des Abbaus und der Einwaschung von PSM (Modul VARLEACH)

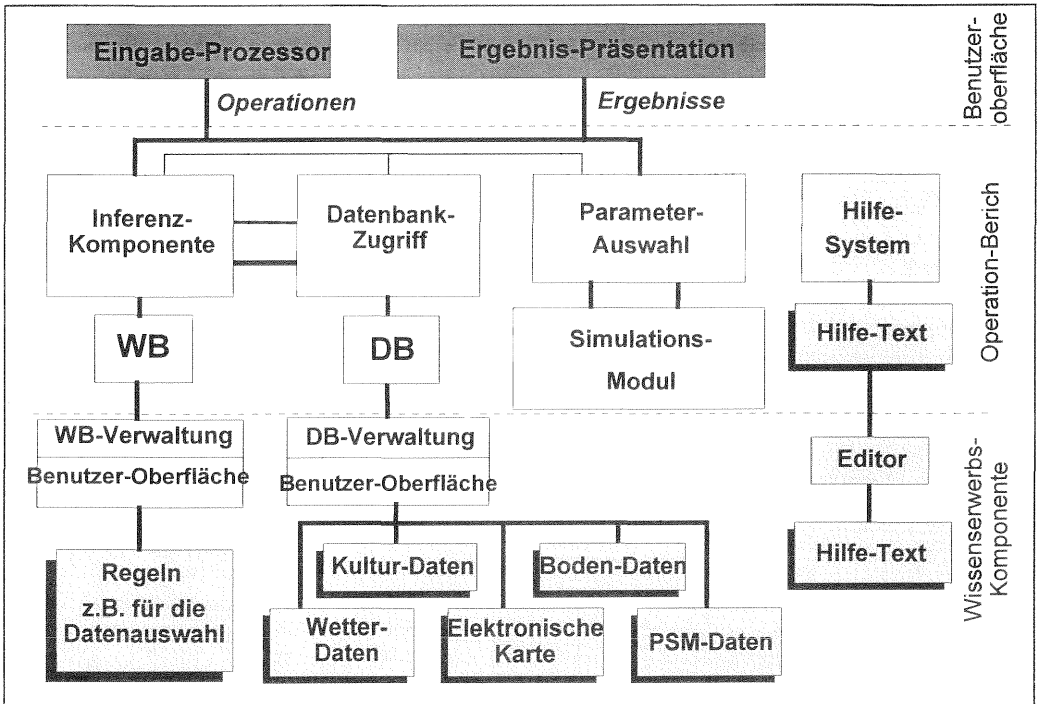


Abb. 3: Systemstruktur von PEMOSYS (WB = Wissensbasis, DB = Datenbank)

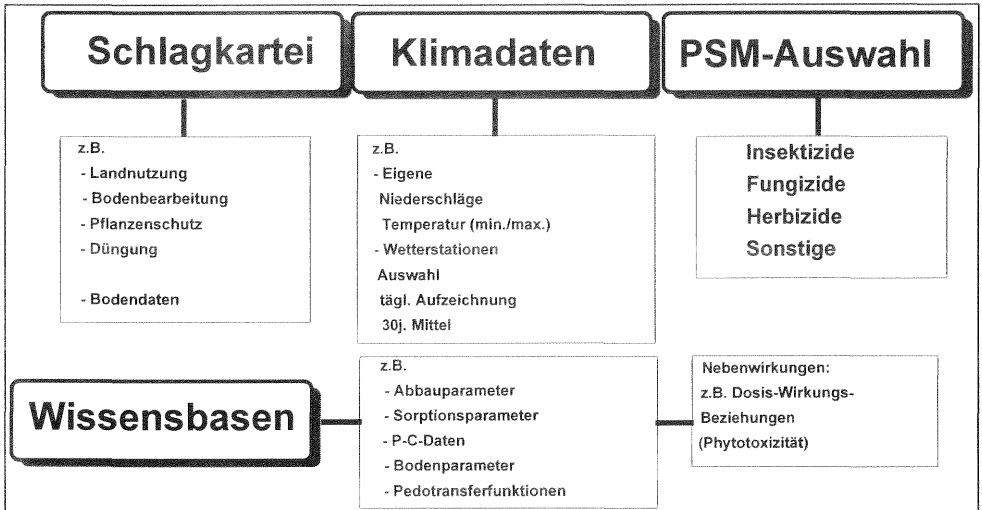


Abb. 4: Datenbanken und Wissensbasen in PEMOSYS zur Abschätzung und/oder Simulation bzw. Prognose des Verhaltens von PSM.

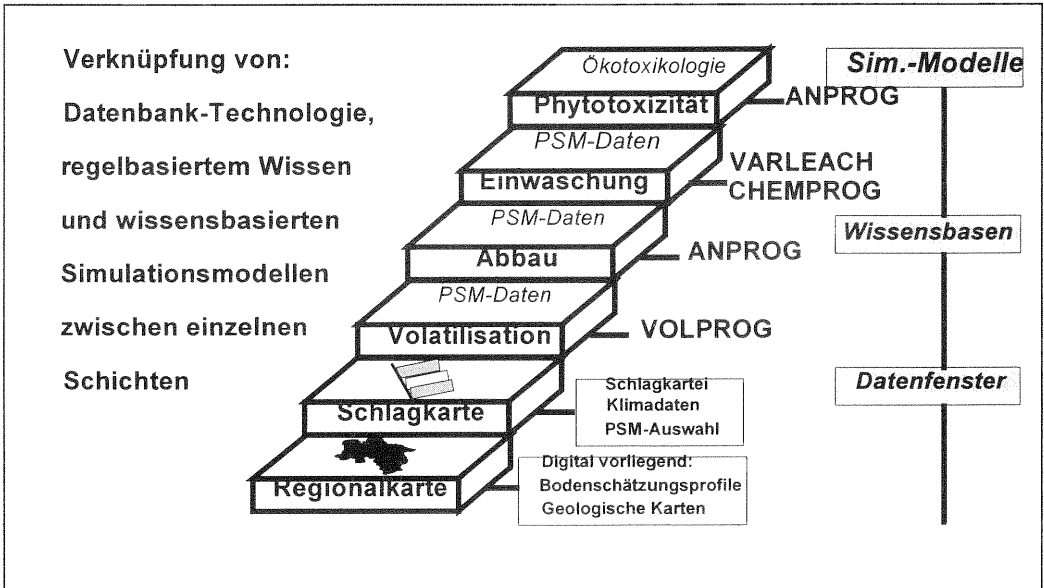


Abb. 5: WINDOWS-“Layer-Technique“ in PEMOSYS zur Visualisierung von Informationen und Simulationen

Als Rahmen für eine arealspezifische Beurteilung wurde ein Geographisches Informationssystem (GIS) gewählt, das eine übersichtliche Darstellung von gespeicherten Daten und erzielten Ergebnissen in Landkarten der jeweiligen Region ermöglicht. Ein Beispiel der Möglichkeiten zeigt Abbildung 6.

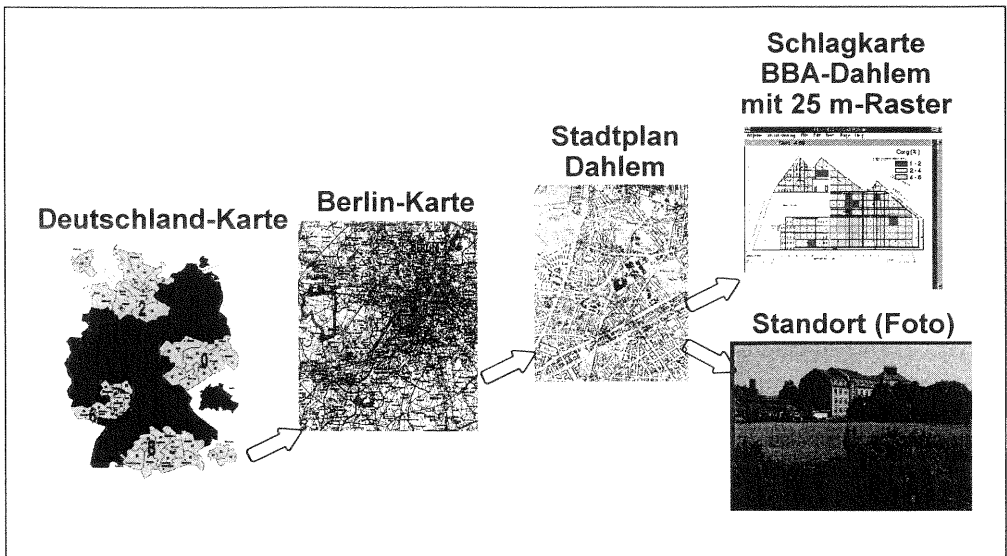


Abb. 6: WINDOWS-‘LAYER-TECHNIQUE’ in PEMOSYS zur Visualisierung von Informationen und Simulationen durch Objekt-orientierte Programmierung

Auf diese Weise werden Zusammenhänge zwischen gespeicherten Eingabedaten (z. B. Bodeneigenschaften) und dem simulierten Verhalten von PSM verdeutlicht. Als Referenzflächen dienen die über Deutschland verbreiteten Versuchsstandorte der Biologischen Bundesanstalt (z.B. Versuchsfläche der BBA in Berlin-Dahlem, Abb. 7), wo durch Rasterbeprobung alle relevanten Bodenparameter ermittelt wurden. Werte aus der Datenbasis oder auch Simulationsergebnisse können in PEMOSYS in Szenariokarten dargestellt werden, wie in Abb. 7 für die Humusgehalte des Standorts Dahlem exemplarisch dargestellt ist. Darin werden mittels 'Multi-Layer-Technik' bestimmte Bereiche der Karten mit entsprechenden Eigenschaften verknüpft. Durch implementierte Regeln können z.B. Daten in Klassen zusammengefaßt und farbig dargestellt werden oder auch zwecks einer Beurteilung in Beziehung zu Grenz- oder Richtwerten gesetzt werden. Tabelle 1 zeigt die Bodenvariabilität der einzelnen Teilflächen auf.

Klima- und Standortdaten sowie Wissensbasen mit Regeln und Fakten zur Beschreibung der Pflanzenschutzmittel-Dynamik werden im Geographischen Informationssystem mit wissensbasierten Simulationsmodellen verknüpft, um Verhalten und Verbleib von PSM flächenhaft zu prognostizieren. Damit können die umfangreichen Daten und Simulationsergebnisse nicht nur verwaltet und visualisiert werden, sondern auch als Beurteilungsgrundlage zur Risikoabschätzung im Rahmen von Nachsorgeuntersuchungen verwendet werden. Dadurch lassen sich eventuell kritische Situationen, z. B. bezüglich bestimmter Ökosysteme, Boden- oder Klimabedingungen, rasch ermitteln und notfalls weitere Untersuchungen, z.B. zur Validierung der Simulationsergebnisse durch Rückstandsanalysen im Feld, vorbereiten.

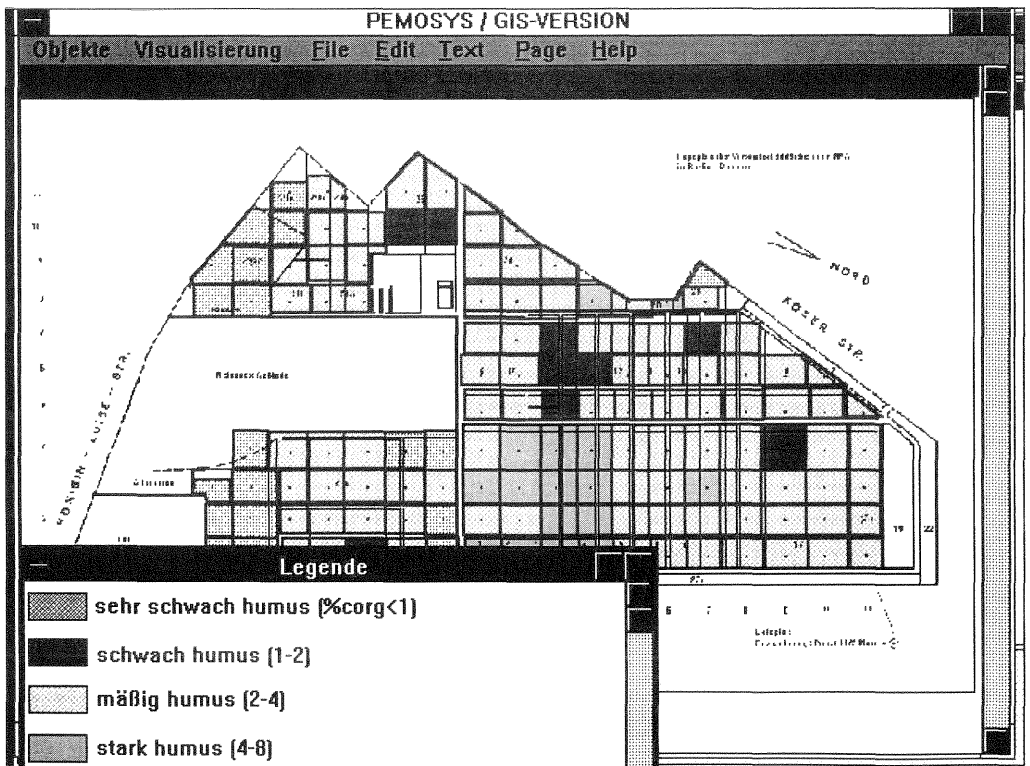


Abb. 7: Schlagkarte des BBA-Versuchsgeländes in Berlin-Dahlem mit 25 m-Raster und Visualisierung der Humusgehalte



Tab. 1: Bodenvariabilität der 103 Teilflächen der Rasterbeprobung (0-30 cm) am Versuchsstandort Dahlem der BBA in Berlin

Bestimmung der Feldkapazität und der Bodenarten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (ANON, 1982): S - Sand; SI2, SI3 - lehmiger Sand; Su - schluffiger Sand; Ls - sandiger Lehm.

Bodenart	S	SI2	SI3	Su	Ls
Anzahl	3	42	35	22	1
Ton (%)	4 - 5	5 - 8	8 - 14	1 - 5	22
pH	6,4 - 6,9	4,3 - 6,8	5,7 - 7,0	5,9 - 6,8	6,0
C <sub>org</sub> (%)	1,47 - 3,03	1,10 - 2,70	0,72 - 2,61	0,87 - 2,74	1,22
Feldkapazität (Vol. %), geschätzt	18	22	27	24	34

Am Beispiel des Herbizids Dicuran 700 flüssig sollen im Folgenden für die in PEMOSYS implementierten Module ANPROG (Abbau- und Nachbausimulation) und VARLEACH (Einwaschungsverhalten) die Anwendungsmöglichkeiten unter den verschiedensten Boden- und Klimabedingungen aufgezeigt werden. Der Validierung unter Praxisbedingungen wird dabei ein großer Stellenwert eingeräumt (GOTTESBÜREN, 1991; GOTTESBÜREN et al. 1991 und 1994a).

Die Teilkomponente **ANPROG** dient der Prognose des PSM-Abbaus und der Nachbaumöglichkeiten innerhalb von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Fruchtfolgen nach Anwendung von Herbiziden. Auch wenn Herbizide sachgerecht und bestimmungsgemäß angewendet werden, lassen sich geringfügige Schädigungen von Folgekulturen durch Herbizidrückstände im Boden, die aus Anwendungen in Vorkulturen resultieren, nicht immer ausschließen. Die zunehmende (Kultur-)Pflanzenschädigung hängt sowohl von der Pflanzenverfügbarkeit des Herbizidrückstands als auch von der jeweiligen (Kultur-)Pflanzenempfindlichkeit ab. Schäden an Fruchtfolgekulturen können insbesondere durch persistente Herbizide in Böden mit geringem Humusgehalt auftreten, wenn ungünstige Witterungsbedingungen deren Abbau verzögert haben. Auch nach vorzeitigem Umbruch herbizidbehandelter Flächen treten häufig Nachbauschäden auf. In der Eingabemaske von ANPROG (Abb. 8) stehen eine Reihe von Feldern zur Eingabe aller notwendigen Daten zur Beschreibung von Bodenkenngrößen, der Witterung oder zur Applikation verschiedener Wirkstoffe zur Verfügung. Zu jedem der Eingabefelder werden im Hilfe-Fenster die gewünschten Eingabeparameter erläutert und das benötigte Format angegeben. Werden die Berechnungen über den Zeitraum hinaus durchgeführt, für den aktuelle Witterungsdaten vorliegen, so werden langjährige tägliche Mittelwerte verwendet. Anhand benutzerspezifischer Angaben zu Standort, Applikation und Nachbaukultur werden aus der Wissensbasis Konstanten ausgewählt, die Temperatur- und Feuchteabhängigkeit des Herbizidabbaus charakterisieren. Mittels eines Simulationsmodells werden damit die Gesamtrückstände im Boden kalkuliert und die potentiell pflanzenverfügbaren Anteile anhand der Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ -Werte) berechnet. Die mögliche Schädigung bestimmter Nachbaukulturen wird unter Berücksichtigung der entsprechenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen, die die Empfindlichkeit der verschiedenen Kulturpflanzen kennzeichnen, vorhergesagt. Dem Anwender werden die Vorgehensweise und Unsicherheiten der Prognose durch das Expertensystem erklärt, um eine Kontrolle des Programms zu ermöglichen. Die grundlegenden Arbeiten für diese Vorgehensweise sind bei GOTTESBÜREN et al. (1990); GOTTESBÜREN (1991) und bei PESTEMER et al. (1980, 1983 und 1993b) beschrieben.

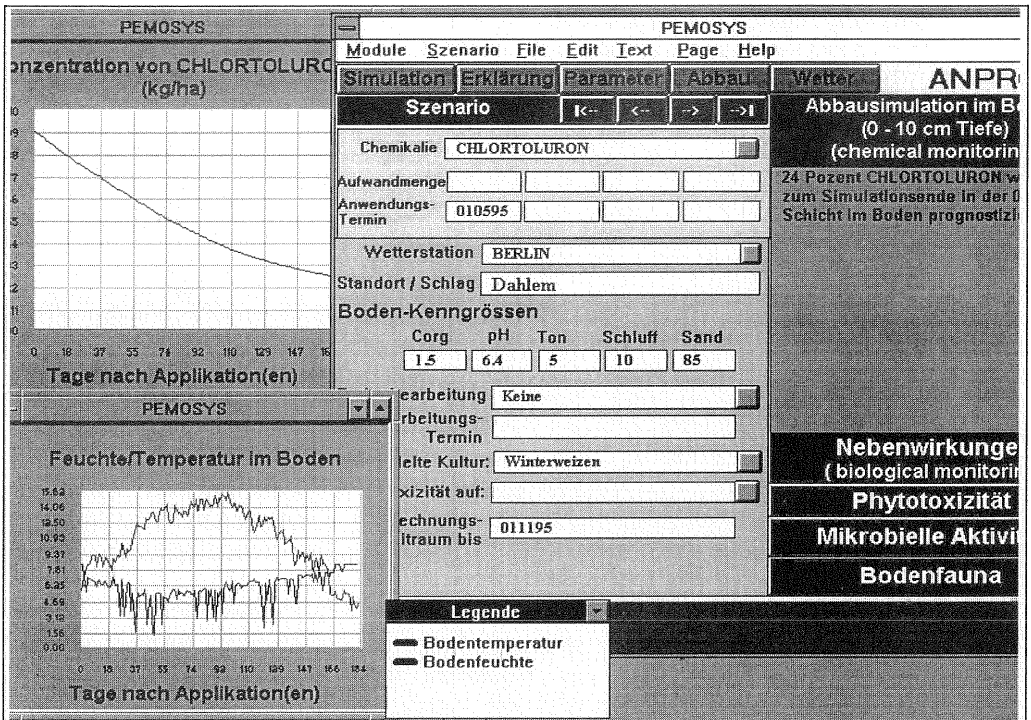


Abb. 8: Bildschirmlayout mit Eingabemaske des Moduls ANPROG und Beispielen einer graphischer Ergebnisausgabe (Witterung und Abbaukurve)

In Abb. 9 werden am Beispiel des Wirkstoffs Chlortoluron (2,1 kg AS/ha - 10 cm-Bodenschicht) in einer Szenarioberechnung bei Verwendung der in Tabelle 1 charakterisierten Teilflächen und der langjährigen Klimadaten (30jähriges Mittel) der Wetterstation Berlin-Dahlem (angenommene Applikation am 1.5.95) die Wirkstoffverluste über eine Simulationsdauer von 12 Monaten dargestellt. Die höchsten Wirkstoffverluste im Oberboden (0-10 cm) treten im lehmigen Sandboden mit  $DT_{90}$ -Werten von etwa 4,5 Monaten und die niedrigsten im Sandboden mit  $DT_{90}$ -Werten von rund 1 Jahr auf. In PEMOSYS werden die jeweiligen Verluste auf den entsprechenden Karten farblich visualisiert dargestellt, wobei Wirkstoffverluste von < 50 % rot, 50 - 90 %ige Verluste gelb und solche von > 90 % grün unterlegt werden.

Aus den jeweiligen Verlustraten können Inaktivierungszeiten für mögliche Nachbaukulturen abgeleitet werden, wie sie in Abb. 10 in Gegenüberstellung mit  $ED_{10}$ -Werten (= NOEL-Werte) für eine Reihe von Folgekulturen aufgezeigt werden. Auch hierbei erfolgt in PEMOSYS eine farbliche Visualisierung der Ergebnisse von Dosis-Wirkungs-Beziehungen der jeweiligen Herbizid/Kulturpflanzenkombination (grün = <  $ED_{10}$  [= NOEL]; gelb =  $ED_{10}$ - $ED_{30}$ ; rot =  $ED_{30}$ - $ED_{50}$  und magenta = >  $ED_{50}$ ).

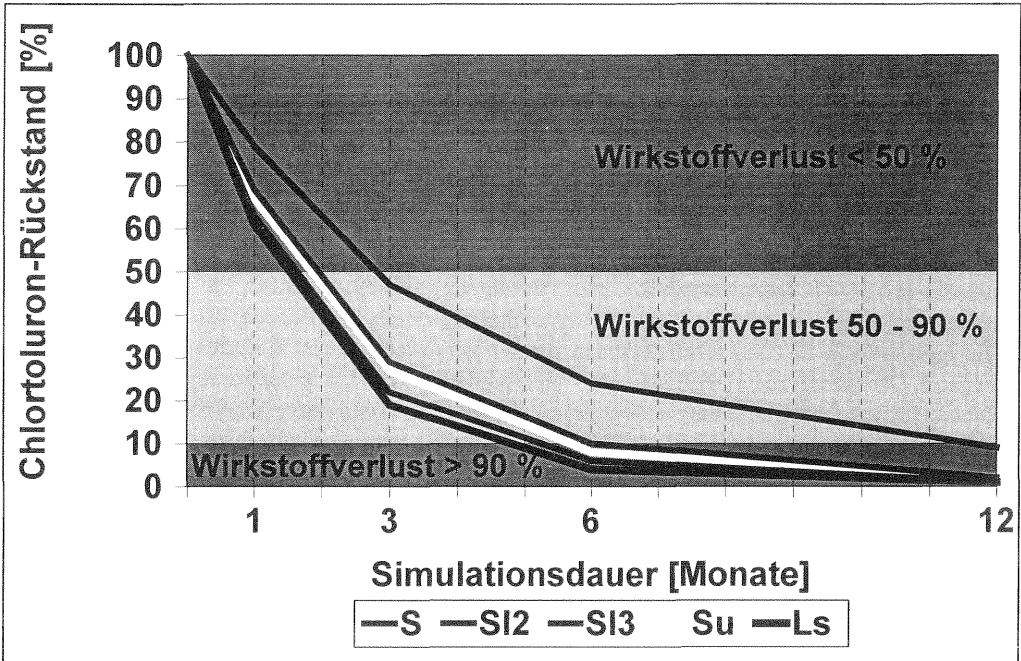


Abb. 9: Simulation des Abbauverhaltens von Chlortoluron bei unterschiedlichen Bodenarten am Standort Dahlem

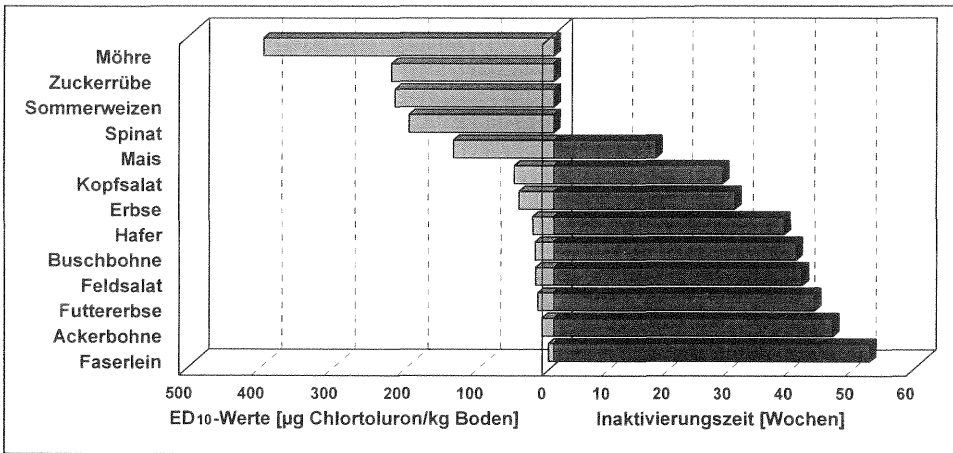


Abb. 10: Berechnete Inaktivierungszeiten von Chlortoluron für unterschiedliche Kulturpflanzen

Bisher sind für ca. 40 Herbizidwirkstoffe die entsprechenden Abbaukonstanten und für rund 200 Herbizid/Kulturpflanzenkombinationen die jeweiligen Dosis-Wirkungs-Beziehungen in den Wissensbasen von PEMOSYS integriert. Für rund 70 weitere PSM-Wirkstoffe werden z. Z. die Sorptions- und Abbauparameter aus den physikalisch-chemischen Wirkstoffdaten (z. B.  $K_{ow}$ - bzw.  $K_{oc}$ -Werte oder  $DT_{50}$ -Werte bei bestimmter Temperatur und Feuchtigkeit) unter Berücksichtigung

des jeweiligen Humus- oder Tongehalte der einzelnen Böden abgeleitet (WALKER, 1978; GOTTESBÜREN et al., 1994b; PESTEMER & GÜNTHER, 1995).

In der Teilkomponente **CHEMPROG** kann in einem regelbasierten System eine schlagspezifische Abschätzung des Grundwasser-Gefährdungspotentials vorgenommen werden, denn Überlegungen zu einem langfristig verantwortungsvollen Boden- und Grundwasserschutz erfordern beim Einsatz von PSM eine standort- und schlagspezifische Berücksichtigung des Verhaltens der verwendeten Wirkstoffe.

Daher werden Standort- und Bodeneigenschaften sowie Witterungsdaten, die vom Deutschen Wetterdienst für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt werden, in schlagspezifische Abschätzung einer potentiellen Grundwassergefährdung durch den Einsatz von PSM einbezogen. Dazu wurde eine vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) vorgeschlagene Regelstruktur (BLUME & BRÜMMER, 1987) modifiziert, mit Kenndaten bodenkundlicher Kartieranleitungen kombiniert und mittels 'Wenn-dann-Regeln' programmiert.

In der Wissensbasis von CHEMPROG sind 6 relative Bewertungskennzahlen (von 0 = praktisch nicht bis 5 = sehr stark) zur Charakterisierung des Verhaltens von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen wie z. B. Bindung an Ton und Humus oder Abbau aufgelistet. Diese Daten werden zu den betriebsspezifischen Boden- und Klimabedingungen in Beziehung gesetzt, und eine Abschätzung des Einwaschungspotentials wird vorgenommen. Daraus ergibt sich dann, ob die Anwendung eines Präparats für einen bestimmten Schlag als unbedenklich, weniger empfehlenswert oder bedenklich einzustufen ist. Dabei muß betont werden, daß keine absoluten Angaben, wie z. B. Überschreitung des Grenzwertes der EG-Trinkwasserverordnung, gemacht werden können, sondern lediglich der relative Gefährdungsgrad aufgrund von boden- und klimabedingten Gegebenheiten aufgezeigt wird.

Das Modul **VARLEACH** ermöglicht die Prognose des Einwaschungsverhaltens von PSM im Bodenprofil unter Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Variabilität von Abbau und Sorption der Wirkstoffe (GOTTESBÜREN et al., 1994b). **VARLEACH** verwendet zur Berechnung des Abbaus unter dem Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit in Abhängigkeit von Bodenart und -tiefe ebenfalls Daten aus der Wissensbasis von ANPROG. Abb. 11 zeigt die Eingabemaske des Moduls VARLEACH mit dem Beispiel einer graphischen Ergebnisausgabe.

In Abbildung 12 wird ebenfalls am Beispiel des Wirkstoffs Chlortoluron (2,1 kg AS/ha) in einer Szenarioberechnung bei Verwendung der in Tabelle 1 charakterisierten Teilflächen und den langjährigen Klimadaten (30jähriges Mittel) der Wetterstation Berlin-Dahlem (angenommene Applikation am 1.5.95) das Einwaschungsverhalten nach einer Simulationsdauer von 12 Monaten in Abhängigkeit der ermittelten  $K_d$ -Werte (Verteilungskoeffizienten) im Bereich von 1 bis 4,3 dargestellt. Die stärkste Einwaschung mit Spuren bis in die Bodenschicht von 20 - 30 cm wurde auf den Teilflächen mit geringen Humusgehalten ( $K_d$ -Werte um 1) simuliert. In PEMOSYS wird auch in diesem Modul die jeweilige Einwaschung auf den entsprechenden Karten farblich visualisiert, wobei die Rückstandsverteilung im Bodenprofil von 0 - 10 cm grün; 10 - 20 cm gelb; 20 - 30 cm rot und von > 30 cm magenta unterlegt wird.

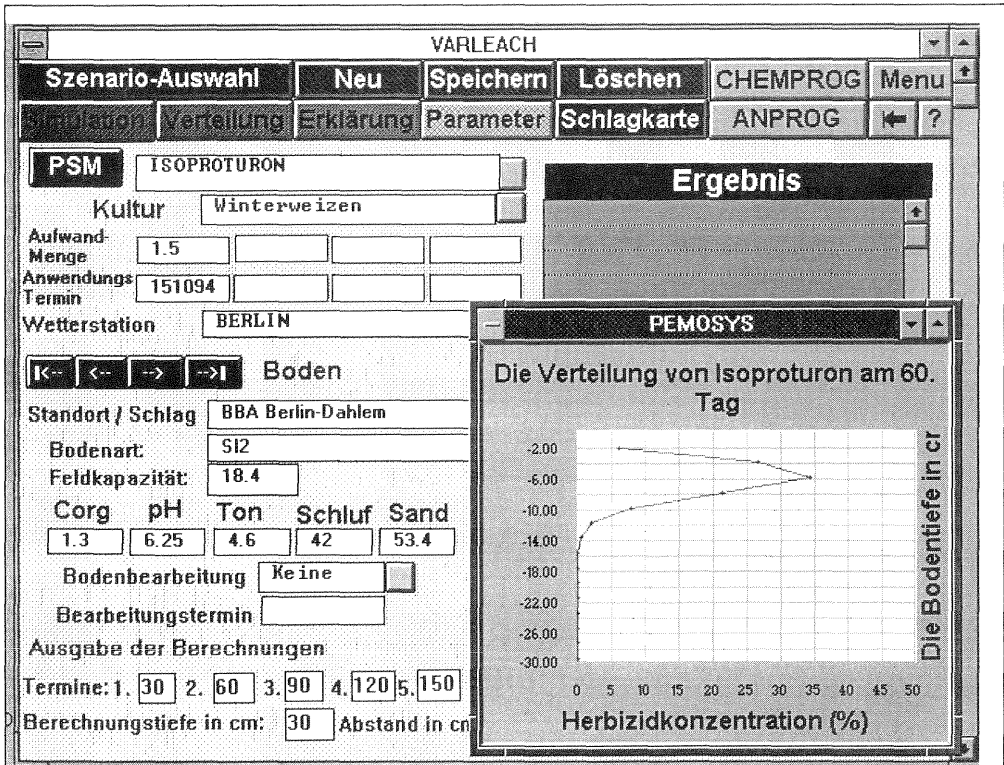


Abb. 11: Bildschirmlayout mit Eingabemaske und graphischer Ergebnisausgabe des Moduls VARLEACH

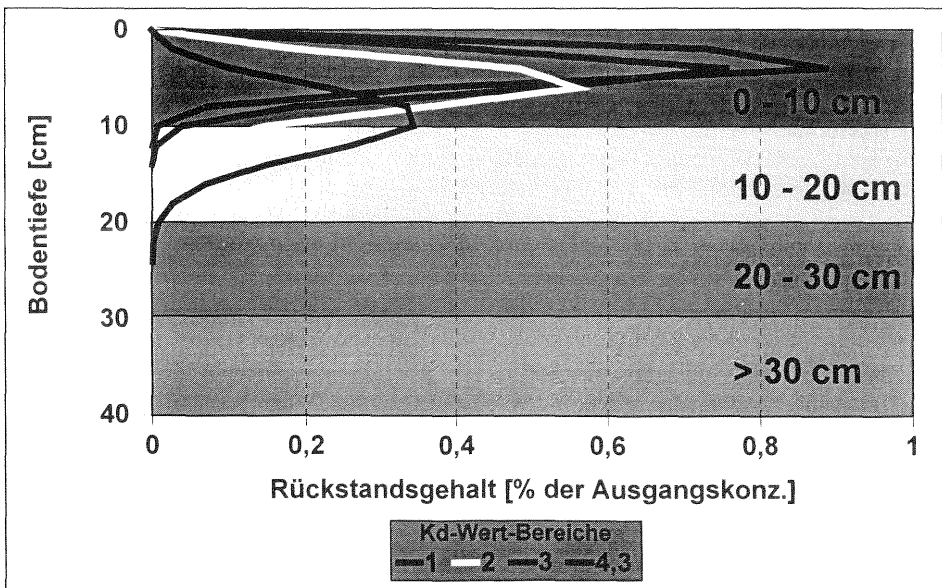


Abb. 12: Variabilität der Rückstandsverteilung (1 Jahr nach Applikation) von Chlortoluron bei unterschiedlichen Bodenarten am Standort Dahlem

Als ein Teil dieser Abschätzung ist auch das potentielle Einwaschungsrisiko zu sehen, wie es in Abbildung 13 dargestellt wird.

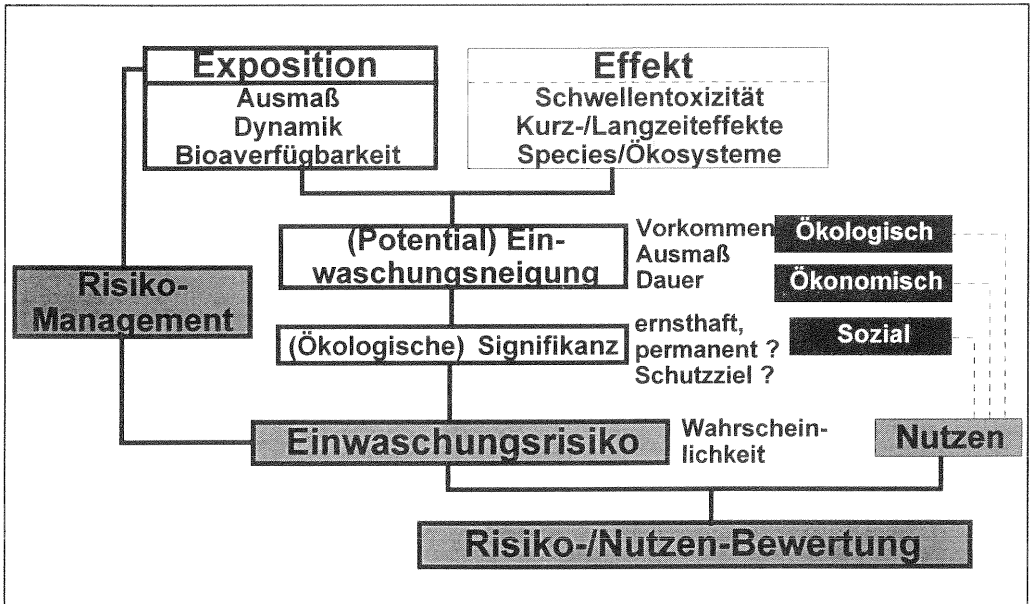


Abb. 13: Risikobewertung und Prinzipien der Risikobestimmung des Einwaschungspotentials von PSM als Bestandteil eines Nachzulassungsmonitorings (nach FAO-principles, ANON., 1990)

Ein regelbasiertes Modell zur Simulation der Verflüchtigung befindet sich im Aufbau (Modul VOLPROG). Zur Ermittlung von Basisdaten wurden dazu bereits für eine Reihe von PSM in Laborstudien die relative Verflüchtigung von Glas-, Boden- und Pflanzenoberflächen unter verschiedenen Versuchsbedingungen gemessen (PESTEMER & KRASEL, 1992; KRASEL & PESTEMER, 1993; PESTEMER et al., 1994). Ebenso sollen in einem späteren Ausbaustadium von PEMOSYS neben der Beurteilung phytotoxischer Effekte auch Nebenwirkungen im Hinblick auf mikrobielle Aktivitäten sowie auf ausgewählte Vertreter der Bodenfauna einbezogen werden. Damit ist dieses System ein wertvolles Instrument zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von PSM im Rahmen des Nachzulassungsmonitoring.

Nachzulassungsmonitoring spielt eine bedeutende Rolle bei der Risikoabschätzung bezüglich des Verhaltens von Xenobiotika (einschl. Pflanzenschutzmitteln) in Umweltkompartimenten. Dies kommt auch in den Empfehlungen der FAO (ANONYM, 1990) zum Ausdruck, wonach eine Risikoabschätzung in den Gesamtprozeß der Zulassung von PSM in den Mitgliedsländern einzuordnen ist.

**Literatur:**

- ANONYM, 1982: Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde: Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. Ausgabe, Hannover.
- ANONYM, 1990: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Guidelines on environmental criteria for the registration of pesticides. 3rd ed.
- BLUME, H.-P. und G. BRÜMMER, 1987: Prognose des Verhaltens von Pflanzenbehandlungsmitteln in Böden mittels einfacher Feldmethoden. *Landwirtschaftliche Forschung* **40**, 41-50.
- GOTTESBÜREN, B., W. PESTEMER, K. WANG, M.-B. WISCHNEWSKY und J. ZHAO, 1990: Prognose der Persistenz von Herbiziden und deren Auswirkungen auf Nachbarkulturen mit Hilfe eines computergestützten Expertensystems. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **97**, 394-415.
- GOTTESBÜREN, B., 1991: Konzeption, Entwicklung und Validierung des wissensbasierten Herbizid-Beratungssystems HERBASYS. Diss. Universität Hannover, 212 S.
- GOTTESBÜREN, B., W. PESTEMER, K. WANG, M.-B. WISCHNEWSKY und J. ZHAO, 1991: Concept, structure and validation of the expert system HERBASYS (Herbicide Advisory System) for selection of herbicides, prognosis of persistence and effects on succeeding crops. Symposium "Pesticides in soils and water": Current perspectives. BCPC Monograph No. 47, 129-138.
- GOTTESBÜREN, B., S. BEULKE, M. HEIERMANN und W. PESTEMER, 1994a: Freilandversuche zur Validierung von Prognosemodellen des Expertensystems "HERBASYS" zur Nachbauproblematik nach Herbizideinsatz. *Weed Research* **34**, 63-78.
- GOTTESBÜREN, B., W. PESTEMER und S. BEULKE, 1994b: Untersuchungen zur Charakterisierung und zu Auswirkungen der zeitlichen Veränderungen der Sorption von Herbiziden in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIV*, 661-670.
- GÜNTHER, P., and W. PESTEMER, 1994: Validation of simulation models with field data in order to investigate the importance of estimated and measured input parameters. European Society for Agronomy, Workshop on "Modelling the fate of agrochemicals and fertilizers in the Environment", Venedig, Italy, 3.-5. März 1994.
- KRASEL, G., and W. PESTEMER, 1993: Volatilization of herbicides from different surfaces. 8th EWRS-Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application", Braunschweig, June 1993, 399-406.
- PESTEMER, W., L. STALDER and B. ECKERT, 1980: Availability to plants of herbicide residues in soil. Part. 2. Data for use in vegetable crops. *Weed Research*, **20**, 349-353.
- PESTEMER, W., L. STALDER und C. A. POTTER, 1983: Nachbauprognosen bei Atrazinrückständen im Boden mit Hilfe von Verfügbarkeits- und Langzeit-Biotest-Daten. *Berichte des Fachgebietes Herbologie (Hohenheim)* **24**, 53-61.
- PESTEMER, W., and G. KRASEL, 1992: Loss of pesticides from plant and soil by volatilization. Brighton Crop Protection Conference (BCPC) -Pests and Diseases-1992, Vol. 1, 459-468.
- PESTEMER, W., and P. GÜNTHER, 1993: Use of an expert system for herbicide selection considering the leaching and degradation behaviour. IX Symposium Pesticide Chemistry "Mobility and degradation of xenobiotics", Piacenza (Italy), 12-13. Oct. 1993, 755-767.
- PESTEMER, W., P. GÜNTHER, M.-B. WISCHNEWSKY, I. NOVOPASHENNY, K. WANG und J. ZHAO, 1993a: Development of expert systems to aid the use of herbicides regarding their behaviour in soils. Brighton Crop Protection Conference (BCPC) - Weeds - 1993, 1365-1372.

- PESTEMER, W., M. HEIERMANN and P. GÜNTHER, 1993b: Implementation of simulation models into a herbicide advisory system (HERBASYS). Modeling of Geo-Biosphere Processes, Vol. 2, 129-141.
- PESTEMER, W., 1994: Einbindung von phytotoxischen und ökologisch-chemischen Daten zur Wirkung und zum Verhalten von Herbiziden in Expertensysteme für Beratung und Monitoring. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **46**, 115-121.
- PESTEMER, W., FROST M., KRASEL G., 1994: Comparison of direct and indirect estimation of pesticides volatilization from plant and soil surfaces. 8th International Congress of Pesticide Chemistry, Washington, July 4-9, 1994 (ACS/IUPAC), Vol.2, 546.
- PESTEMER, W. und P. GÜNTHER, 1995: Use of a Pesticide Monitoring System (PEMOSYS) for the risk assessment of pesticide leaching potential - Concept for post registration activities -. BCPC Monograph No. 62: Pesticide Movement to Water, 351-356.
- THORMANN, A., 1984: Bodenschutz als Teil einer vorsorgenden Umweltpolitik: Anforderungen an den Bodenschutz, Bodenfunktionen, Bodennutzungen, Schutzziele. In: Loccumer Protokolle "Schutz des Umweltmediums Boden", 2/1984, 25-39.
- WALKER, A., 1978: Simulation of the persistence of eight soil-applied herbicides. Weed Research **18**, 305-313.



G. Bachmann

**Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung von Bodenkontamination hinsichtlich des Boden-  
Pflanze-Pfades**

Umweltbundesamt, Berlin

Manuskript liegt nicht vor

M. Frielinghaus, B. Winnige und F. Gelfart

Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Institut für Bodenlandschaftsforschung, Müncheberg

## **Erfahrungen mit der DVWK-Kartieranleitung zur Erfassung von Stoffaustragsformen aus den Ackerflächen**

### **Problemstellung**

Im gewässerreichen nordostdeutschen Jungmoränengebiet spielen anthropogen verursachte Wassererosionsprozesse im lateralen Stoffhaushalt der Landschaften eine erheblichen Rolle (Frielinghaus et al., 1993, 1994). Neben der Zunahme der Flächenheterogenität durch die Bodenverlagerung von den Abtragsbereichen in die Senken und der Beeinträchtigung der Bodenfunktionen werden Stoffbelastungspotentiale für die Landschaften nachgewiesen (Deumlich et al. In Werner et al., 1994). Chemikalien aus Düngemitteln und Pestiziden akkumulieren seit Jahren in den Senken der Nutzflächen, so daß untersucht werden muß, ob die Speicher- und Pufferkapazität für diese Stoffe nicht lange überschritten und ein langfristiges Belastungspotential für das Grundwasser im Entstehen ist. Eine Standort- und nutzungsabhängige Quantifizierung dieser Akkumulation und die damit verbundenen chemischen, biologischen und physikalischen Veränderungen ist noch nicht abgeschlossen (Frielinghaus et al., 1995). Sediment- und Stoffausträge (Phosphor, Stickstoff, PSM) aus den Ackerflächen und Einträge in angrenzende Binnen- oder Fließgewässer sind für sensible Bereiche von besonderer Bedeutung, da z.B. vielfach die Einträge zu einem Nährstoffschub mit Eutrophierungsfolgen führen können.

Neben dem hohen Anteil an Binnengewässern in dieser Region sind einige Flüsse und die in sie einmündenden Vorfluter Schadstoffzuträger in Nord- und Ostsee. Da nur die ausgetragenen gröberen Bodensedimente in der Regel nach kürzeren Transportstrecken abgelagert werden, gelangen mit den in Suspension befindlichen Feinanteilen Schadstoffe wie Phosphor oder Stickstoff in die Ozeane. Jährliche Einträge in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen werden für das Gesamtgebiet Deutschlands mit 35.100 t Phosphor und 568.800 t Stickstoff angegeben. Davon werden bei P 38,0 % durch Bodenabtrag und 12,7 % durch Oberflächenabfluß und bei N 5,3 % durch Bodenabtrag und 3,7 % durch Oberflächenabfluß veranschlagt (Deumlich und Frielinghaus in Werner et al., 1994).

Für den Tatbestand, daß eine Gefahr im Hinblick auf Stoffeinträge für Regionen vorliegt, reichen mittels empirischer Modelle oder Algorithmen gewonnene Schätzwerte als grobe Informationen aus, für weitere detaillierte Einschätzungen oder exakte Bilanzen sind sie ungeeignet (Bork et al., 1991). Die Auswertung der mit der ABAG (Schwertmann et al., 1990) geschätzten Abträge zeigt, daß je nach Datengrundlage und Gebietsgröße große Differenzen auftreten.

Bisher können Retention und Retardation des erosionsbedingten Abflußgeschehens sowie Fremdwasserzuflüsse und Wasserzufluß durch "interflow", die alle einen Einfluß auf das niederschlagsbedingte Erosionsgeschehen haben, für größere Einzugsgebiete nur unzureichend beschrieben und quantifiziert werden. Alle Schätzungen beziehen sich auf einen flächenhaften Bodenabtrag, der allerdings im Jungmoränengebiet seltener auftritt als lineare Abtragsformen. Da in allen Modellen bisher von flächenhaften Sediment- und Schadstoffverlagerungen ausgegangen

wird, sind diese für eine treffsichere Regionalisierung nicht ausreichend. Eine weitere Einschränkung bisheriger Prognosemodelle liegt in der Unterschätzung der Wintererosion. Die Untersuchungen der vergangenen Jahre zeigen aber, daß neben Niederschlägen mit sehr hoher Intensität im Sommerhalbjahr besonders langanhaltende Niederschläge im Winterhalbjahr auf annähernd wassergesättigte Böden hohe Abtragsraten verursachen.

Da in absehbarer Zeit keine validierten Modelle vorliegen werden, wird für die Abschätzung von erosionsbedingten Einträgen in Gewässer eine zielorientierte Kartierung der Erosionspfade in Gewässer empfohlen. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für ein komplexes Schutzprogramm für Gewässer in erosionsgefährdeten Gebieten, das sowohl in die Landnutzung integrierbare Bewirtschaftungsmaßnahmen als auch Gestaltungsvorschläge für Gewässerrandstreifen enthält.

## Material und Methoden

Die von der AG Bodenerosion des DVWK unter unserer Mitwirkung erarbeitete Kartieranleitung (1995) verlangt eine Zielorientierung und erlaubt eine standortspezifische Untersetzung und Modifizierung der Kartierungsschritte. Im vorliegenden Beispielsgebiet (Dreescher Seegrabeneinzugsgebiet) wurde besonderer Wert auf die Kartierung der Emissions-/Immissionsbereiche der Erosionspfade gelegt. Von Anfang an war die Kompatibilität der dokumentierten Kartierergebnisse zu den Fachinformationssystemen des Landes Brandenburg beabsichtigt. In folgenden Teilschritten erfolgt die Kartierung:

- 2.1. Bestimmung der *potentiellen Erosionsgefährdung* auf der Grundlage der *Substratflächentypen* und *Neigungsflächentypen* der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK, 1983) für große gebiete (Gemeinden; Einzugsgebiete) oder auf der Grundlage der *Bodenschätzungs- und Hangneigungsdaten* für Teilgebiete oder kleine Einzugsgebiete
  - 2.2. Bestimmung der sich aus der Morphologie ergebenden *potentiellen Talwege* in mäßig und stark gefährdeten Gebietsausschnitten zur Ausgrenzung von bevorzugten Abflußbahnen mittels digitalisierter Höhenkarten oder eines Höhenmodells.
- Die Ergebnisse von 2.1. und 2.2. erlauben eine erste Ausweisung von potentiellen Schwerpunktgebieten.
- 2.3. Bestimmung der landnutzungsabhängigen Gefährdung nach den zeitlich und räumlich variierenden Bodenbedeckungsgraden mit Pflanzen oder ihren Rückständen (Frielinghaus et al., 1994).
  - 2.4. Kartierung der aktuellen Erosionspfade, -formen und -schäden nach der DVWK-Kartieranleitung (1995) mit eigener standortspezifischer Untersetzung.
  - 2.5. Kennzeichnung der Emissions-/Immissionsbereiche zwischen den Erosionsflächen und den benachbarten Ökotope (Gewässer, Feuchtbiopte u.s.w.).
  - 2.6. Computergestützte Übernahme der Kartiersymbole in digitalisierte Karten verschiedener Maßstäbe mittels AUTO CAD, Herstellung thematischer Karten im Maßstab 1:5.000, 1:10.000 sowie 1:25.000 je nach dem angestrebten Kartierungsziel
  - 2.7. Eingabe und Speicherung der codierten Schadensblätter in eine Sachdatenbank, Übernahme in Fachinformationssysteme.

## Ergebnisse

Eine standortspezifische Anpassung an die Datenbasen sowie Ergebnisse der Faktorenbewertung Niederschlagserosivität, Bodenerodierbarkeit, Relief und Landnutzung ergab eine Konzentration auf zeitliche und örtliche Schwerpunkte der Kartierung.

Die Differenzen im Niederschlagsgeschehen der vergangenen Jahre waren nicht gravierend im Untersuchungsgebiet. Im Durchschnitt langjähriger Messungen wirkten etwa 10 bis 15 Niederschläge im Jahr erosionsauslösend. Eine deutliche Verschiebung ergab sich aber in den letzten fünf Jahren in das Winterhalbjahr (Frielinghaus et al., 1995). Durchschnittstemperaturen über  $0^{\circ}$  sowie anhaltende Niederschläge führten vielfach zu reichlichen Abflussspenden durch Überschreitung der maximalen Speicherkapazität des Bodens.

Die Bodenerodierbarkeit der sandigen Lehm- und lehmigen Sandböden wird bei zunehmender Wassersättigung primär durch die abnehmenden Werte für den Schwerkraftwiderstand bestimmt. Horizontsprünge im Aufbau der Bodenprofile verstärken die Erodibilität bei hohen Bodenfeuchtegehalten weiter.

Die Oberflächenmorphologie der Jungmoränengebiete wird durch hohe Reliefenergie und einen großen Anteil von Schnittbereichen zwischen erosionsgefährdeten Flächen und Gewässern geprägt. Von daher ergibt sich die Notwendigkeit, die Übertrittsbereiche zwischen Acker- und Gewässerökotopen besonders gründlich zu kartieren (Abb. 1, Abb. 2a + b).

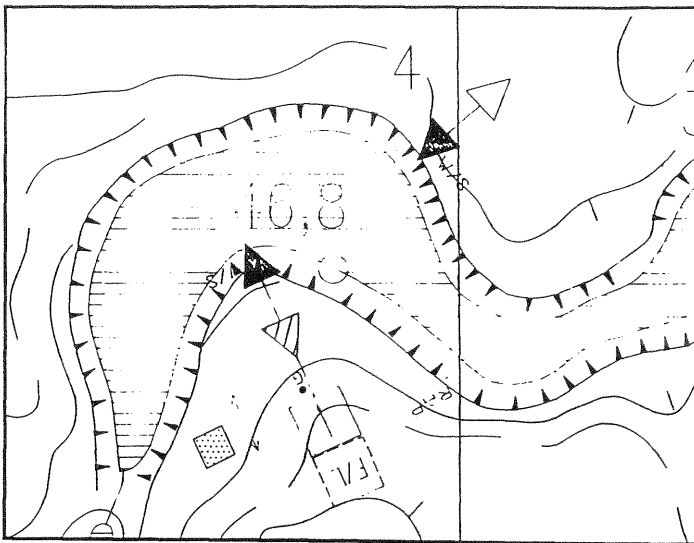


Abb. 1: Beispiel einer Kartierung im Maßstab 1:5 000

Tritt eine nutzungsbedingte Wasserbündelung wie in vorgegebenen Abflußbahnen durch Fahrspuren auf, entstehen Gräben und Gullies, die sich im Winterhalbjahr ständig vergrößern und zu umfangreicher Bodenverlagerung führen bzw. meist zu Emissions-/Immissionspfaden entwickeln. Besonders gefährdet sind Flächen, die nach der Bestellung der Fruchtarten im

Spätsommer oder Herbst eine Dünger- oder Pflanzenschutzmittelbehandlung erfahren wie Winterraps oder Winterweizen oder Flächen, die eine starke Spurenbelastung nach der Ernte aufweisen wie nach Zuckerrüben oder Mais.

Kartenblatt-Nr.: \_\_\_\_\_ Gemeinde: \_\_\_\_\_ Gemeinde-Nr.: \_\_\_\_\_ Gefährdungsklasse\*: \_\_\_\_\_  
 Landschaftsschutzkategorie: \_\_\_\_\_ Gemarkung: \_\_\_\_\_ Flurstück: \_\_\_\_\_ Them. Karte ja nein  
 Kartierungsdatum: \_\_\_\_\_ Kartierer: \_\_\_\_\_

### Blatt 1: Grunddaten

Block 1: Landnutzung	Symbol	ja	nein
1.1 Wald	WAD		
1.2 Grünland	GRL		-
1.2.1 extensiv: (Sukzession, Wiesen, Hutungen)	GRE		-
1.2.2 intensiv: (Weiden, Mähweiden, mehrschnittige Wiesen)	GRI		-
1.3. Ackerland	ACK		-
1.3.1 intensiv (Wintergetreide, Reihenkulturen)	ACI		-
1.3.2. extensiv ( mehrjähriges Feldfutter, Ackerbrache, beginnende Sukzession)	ACE		-
1.4. Sonderkulturen	SKU		
<b>Block 2: Angrenzende Landschaftsformationen</b>			
2.1.Hohlform mit Gewässer	WA		
2.2 Hohlform mit Vorflut	V		
2.3.Soll	SO		
2.4.Feuchtbiotop	FB		
2.5 Magerrasen	MR		
2.6 Siedlungsflächen (Straßen, Wege, versiegelte Flächen)	SF		
2.7 Ackerfläche	ACK		
2.8 Grünland	GRL		
2.9 Wald	WAD		
2.10 Sonstiges	SON		
<b>3. Bemerkungen:</b>			

#### Erläuterungen:

\* abgeleitet aus der Datenbank: Potentielle erosionsgefährdung nach der MMK

Abb. 2a: Datendokumentation der Kartiererergebnisse in Fachinformationssysteme, Blatt 1

Zusammenfassend läßt sich einschätzen, daß der Schwerpunkt der Kartierung in potentiell erosionsgefährdeten Gebieten mit morphologisch vorgegebenen Talwegen und intensiver Agrarnutzung in Gebieten mit einem hohen Anteil schützenswerter Gewässer im zeitigen Frühjahr liegt.

Die verlagerten Sedimentmengen können in der Regel nur durch die Ausmessung der Ausräumvolumina geschätzt werden. Die Belastung der Gewässer erfolgt im wesentlichen durch die

an die Feinanteile (Feinschluff und Ton) des Bodens adsorbierten chemischen Verbindungen, die für einzelne Standorte inzwischen grob geschätzt werden können.

### Blatt 2: Kartierung des Erosionssystems

Lage des Systems in der TOP- Karte:

Beginn am Oberhang: R= H=  
 Ende am Unterhang oder Feldrand: R= H=

Maßstab der Kartierung: 1: 5.000...O; 1:10.000...O; !:25.000...O;

Block 1 Abtragsformen	Symbol	Länge m	Breite m	Tiefe m	Fläche m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>
1.1 flächenhafte Formen	F/V	-	-	-		-
	F/F	-	-	-		-
	F/L	-	-	-		-
1.2 lineare Formen	L					
	L/RL					-
	L/RN					
	L/G					
	L/TL					
	L/AB					
	L/S					
	L/K					
1.3 flächenhaft lineare Formen	FL					-
	FL/P					-
	FL/F					-
	FL/K-D					-
<b>Block 2 Auftragsformen</b>						
Sedimentation	A	-	-	-		
	A/V	-	-	-		
	A/M	-	-	-		
	A/E	-	-	-		
	A/A	-	-	-		
<b>Block 3: Austragsformen</b>						
Emission	E	-	-	-	-	-
flächenhaft	E/F	-	-	-	-	-
flächenhaft linear	E/FL	-	-	-	-	-
linear als Graben	E/G	-	-	-	-	-

Erläuterungen:

Abb. 2b: Datendokumentation der Kartierergebnisse in Fachinformationssysteme, Blatt 2

### Schlußfolgerungen

1. Die Bewertung der Bodenerosion hinsichtlich des Stoffhaushaltes von betroffenen Landschaften erfordert eine veränderte Wichtung der ablaufenden Sediment- und Stoffverlagerungsprozesse im Onsite- und im Offsite-Bereich. Flächenintern (Onsite) spielt die Beeinträchtigung der ökologischen Bodenfunktionen sowohl innerhalb der Abtragsbereiche als auch der

- Auftragsbereiche eine zunehmende Rolle. Außerdem sind die Schadstoffbelastungspotentiale, die sich flächenintern in den Akkumulationsbereichen herausbilden, ein beachtlicher Umweltfaktor.
2. Flächenextern (Offsite) werden zunehmend erosionsbedingte Stoffeinträge in Binnengewässer und Vorfluter registriert. Der Schutz der Gewässer oder ihre Sanierung verlangen eine genaue Identifizierung der oberflächlichen Eintragspfade, um bei entsprechender Gefährdung Puffer- und Filterbereiche zwischen den intensiv genutzten Ackerflächen und den zu schützenden Gewässern zu schaffen oder um im Falle starker Gefährdung und hoher Gewässersensitivität eine Änderung der Landnutzung auf der Initialfläche der Wassererosion zu erwirken.
  3. Da gegenwärtig keine Modelle vorhanden sind, die eine Beschreibung des Verlaufs und der Eintrittswahrscheinlichkeit linearer Eintragspfade ermöglichen, müssen Kartiermethoden zu Hilfe genommen werden.
  4. Die vorgestellte Kartiermethode ist weniger für eine flächendeckende Bilanzierung von Erosionsschäden geeignet, sondern sollte zielorientiert in Schwerpunktgebieten angewendet werden. Sie erlaubt eine quantitative Abstufung des Eintragungsumfanges und eine grobe Einschätzung der unmittelbaren Gewässerbelastung.
  5. Die vorgestellten Datendokumentationsblätter können je nach verwendeten Fachinformationssystemen von den Nutzern unter Beachtung der Kartierungsziele speziellen Bedürfnissen angepaßt werden und sind ebenfalls aus in FIS Gewässer integrierbar.

## Literatur

- Bork, H.-R., de Ploey, J., Schick, A. P. (ed.) (1991): Erosion, transport and deposition processes.- Theories and models. Catena Supplement 19, Catena-Verlag.
- Frielinghaus, M., Schmidt, R. (1993): Onsite and Offsite damages by erosion in landscapes of East Germany. In: Farm Land Erosion. Wicherek, S. (ed.) Elsevier Amsterdam, London, New York, Tokyo. 587 S., 47-59.
- Frielinghaus, M., Petelkau, H., Roth, C. (1994): Evaluation of increased erosion risk on slopes with wheel tracks. In: ISTRO Proceedings of 13<sup>th</sup> International Conference, 347-352.
- Frielinghaus, M. (1995): Abtrag von Böden/Erosionsformen. In: Autorenkollektiv, Handbuch für Bodenkunde, comed Verlag, im Druck.
- Schwertmann, U. Vogl, W., Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Ulmer Verlag Stuttgart.
- Werner, W., Wodsak, H. P. (1994): Stickstoff- und Phosphoreintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. Schriftenreihe agrarspectrum. DLG Verlag Frankfurt/Main, 243 S.

F. Riepert

Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, Institut für Ökotoxikologie im Pflanzenschutz, Berlin

### **Organisation und Stand der Normung von Prüfverfahren zur Beurteilung der Bodenqualität (ISO/DIN)**

Anhang I der im Entwurf zum Bodenschutzgesetz vorgesehenen Bodenschutz- und Altlastenverordnung nennt u.a. die fallweise vorzunehmenden Probennahme-, Untersuchungs- und Analyseverfahren.

Solche Prüfvorgaben erfordern ein Inventar an Methoden, dessen Akzeptanz nach Möglichkeit in einem internationalen Harmonisierungsverfahren hergestellt werden konnte. Ein Beispiel also für den Bedarf genormter Prüfverfahren.

Nachfolgend sollen die Normungsaktivitäten der International Organization for Standardization (ISO) und verbunden damit des Deutschen Institutes für Normung (DIN) für den Bereich Bodenbeschaffenheit (Soil Quality) dargestellt werden.

#### **Organisation**

Die „International Organization for Standardization (ISO) wurde 1947 gegründet und hat ihren Sitz in Genf. Die eigentliche Normungsarbeit wird von sogenannten Technical Committees (TC) geleistet, die sich je nach Umfang des Normungsbereichs in weitere Untereinheiten, Subcommittees, Working und Project Groups gliedern. Die Mitglieder der ISO sind nationale Normungseinrichtungen, die, was das Engagement an einem TC angeht, entscheiden können, ob sie Participating- oder Observatory - Members sein wollen. Sekretariate der Technical- und Sub-Committees werden von den nationalen Normungseinrichtungen unterhalten. Die Arbeits- oder Projektgruppen werden von Obleuten (Convenor) betreut, die von den nationalen Normungseinrichtungen als Experten benannt und von den ISO Working Groups (WG) bestätigt werden. Das Sekretariat des ISO/TC 190 Soil Quality liegt beim NNI (Netherlands Normalization Institute). Zur Zeit gibt es 11 aktive und 10 beobachtende Mitgliedsländer.

Nachdem 1985 die Niederlande ihre Bereitschaft zur Übernahme des Sekretariats signalisiert hatten, konnte 1986 in Den Haag die erste Sitzung des TC 190 - Soil Quality (Bodenbeschaffenheit) stattfinden.

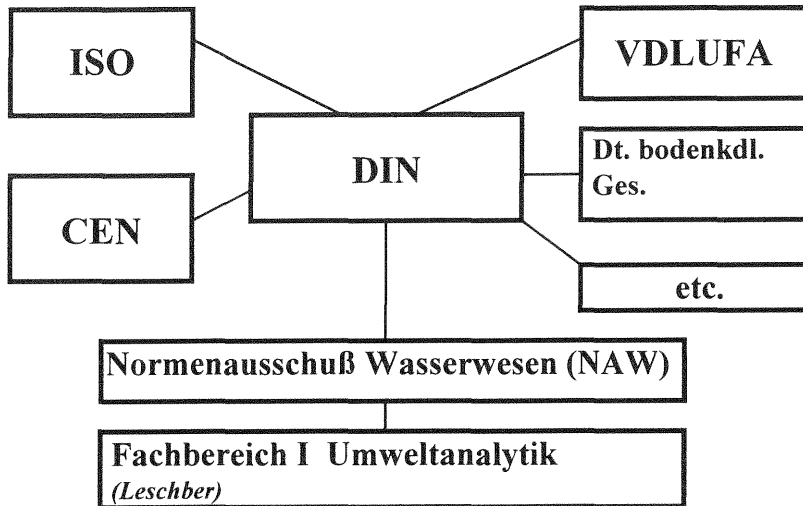
Die erste Plenarversammlung gab sich ein Mandat, das die bereits bestehenden Arbeitsgebiete für Luft und Wasser nun für den Boden in sinnvoller Weise ergänzen sollte. Das ISO/TC 190 sollte sich demzufolge mit der Normung auf dem Gebiet der Bodenbeschaffenheit einschließlich der Bodenklassifizierung, der international einheitlichen Definition der Fachausdrücke, der Probenahme, der eigentlichen Analysenverfahren sowie der Beschreibung der Bodencharakteristika befassen. Zulässige Grenzwerte für die Bodenbelastung wurden dabei ausdrücklich ausgenommen. Für die Umsetzung dieses Auftrages in praktische Arbeit wurden zunächst fünf Sub-committees (Unterausschüsse) eingerichtet. Ein weiterer Unterausschuß (SC 6), der sich mit radiologischen Untersuchungsmethoden befassen sollte, kam auf der 3. Sitzung, 1988, hinzu, wurde aber wieder suspendiert.

Im April diesen Jahres fand auf Initiative des DIN und des Umweltbundesamtes die konstituierende Sitzung eines weiteren Unterausschusses, des SC 7, „Nutzungsbezogener Bodenschutz“ bzw. „Soil and site assessment“, in Berlin statt.

Die Mitarbeit von Vertretern interessierter deutscher Institutionen wird über die Koordinierungsstelle Umweltschutz im DIN sichergestellt (Folie 1). Als Spiegelgremium hat der Normenausschuß Wasserwesen (NAW) für das ISO/TC 190 einen neuen Fachbereich „Boden“ geschaffen.



Folie 1



<b>IB1</b> Boden-Terminologie und Kodifizierung (ISO/TC 190 SC 1) <i>Bannick / Finnern</i>	<b>UA<sub>2</sub>/UA<sub>3</sub></b> Fauna / Flora <i>Riepert</i>
<b>IB2</b> Boden-Probennahme (ISO/TC 190 SC2) <i>Crößmann</i>	<b>IB5</b> Phys. Bodenuntersuchungsverf. (ISO/TC 190/SC5) <i>Horn</i>
<b>IB3</b> Chem. Bodenuntersuchungsverf. (ISO/TC 190 SC3) <i>Pottkamp</i>	<b>IB6</b> Radiolog. Bodenuntersuchungsverf. (ISO/TC 190 SC6) <i>Hübel</i>
<b>UA<sub>1</sub></b> Schwermetalle <i>Pottkamp</i>	<b>IB7</b> Bodenschutz u. Bodensanierung unter Nutzungsaspekten (ISO/TC 190/SC7) <i>Bannick</i>
<b>UA<sub>2</sub></b> Nährstoffe <i>Deller</i>	<b>AK<sub>1</sub></b> Bodenaushub <b>AK<sub>2</sub></b> Grundwasser
<b>UA<sub>3</sub></b> Organische Schadstoffe <i>Liphard</i>	
<b>UA<sub>4</sub>/IB5/ AK 5 GA</b> Physikalisch-Chemische Bodenkennwerte <i>Wolkewitz</i>	
<b>IB4</b> Biologische Bodenuntersuchungsverfahren (ISO/TC 190 SC4) <i>Riepert</i>	
<b>UA<sub>1</sub></b> Mikrobiologie <i>Wilke</i>	

### Schwerpunkte der internationalen Normung im TC 190:

**Der Unterausschuß 1 „Terminologie“** (Folie 2) hat zu den Bereichen Bodenschutz und Bodenkontamination einen Entwurf eines viersprachigen Vokabulars (Englisch, Französisch, Russisch u. Deutsch) zu Begriffen und Definitionen erarbeitet. In Vorbereitung sind ähnliche Vokabulare zu den Themen Probenahmen, Risikobewertung und Bodensanierung.

#### Folie 2

### Organisation und Arbeitsschwerpunkte der Unterausschüsse des ISO/TC 190 „Soil Quality“

**Sub-Committee 1:** „Evaluation of Criteria, Terminology and Codification“

**Vorsitz und Sekretariat:** Frankreich

11 aktive und 10 beobachtende Mitgliedsländer

**Struktur des SC 1:**

- WG 1 - Terminology (Legros, F)
- WG 2 - Terminology, soil protection (Bannick, D)
- WG 3 - Data codification and management (Northcliff, UK)

#### Arbeitsprogramm

##### **Soil quality - vocabulary:**

- ISO/CD 11074-1 - Part 1: Terms and definitions relating to soil protection and soil pollution
- ISO/CD 11074-2 - Part 2: Terms and definitions relating to sampling
- ISO/NP 11074-3 - Part 3: Terms and definitions related to risk assessment and soil rehabilitation
- ISO/CD 11259 : „Soil quality“ - Description of soils and sites

Vom **Unterausschuß 2 „Probennahme“** (Folie 3) wurden Entwürfe für Anleitungen (Guidance) zur Anlage von Probennahmeprogrammen, zu Probennahmetechniken und auch zur Dokumentation der im Rahmen der Probenahmen durchgeführten Verfahren vorgelegt.

Bereits als Norm verabschiedet ist eine vom Unterausschuß 4 - „Biologische Verfahren“ erarbeitete Anleitung „Guidance on the collection handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory“, die in das Programm dieses Unterausschusses aufgenommen wurde.

Ein von der Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlage Bodenschutz in Zusammenarbeit mit Länder- und Bundesbehörden erarbeiteter „Mindestdatensatz Bodenuntersuchung“ konnte inhaltlich vollständig integriert werden.

**Folie 3**

<b>Sub-Committee 2:</b>	Sampling
<b>Vorsitz und Sekretariat:</b>	Crößmann/Paetz (DIN)
12 aktive und 11 beobachtende Mitgliedsländer	
<b>Struktur des SC 2:</b>	PG 1 - Guidance on the design of sampling programmes (Paetz, D)
	PG 2 - Guidance on sampling techniques (Coggan, UK)
	PG 3 - Guidance on safety (Coggan, UK)
	PG 4 - Sampling of agricultural land or other natural (nature-near) sites (Crößmann, D)
	PG 5 - Sampling of urban and industrial sites (Bosman, NL)

**Arbeitsprogramm:**

- Sampling techniques
- Sampling strategies
- preservation of samples
- safety requires

Die von den Projektgruppen (PG) bearbeiteten Dokumente befinden sich noch im Abstimmungsprozeß (Committee-Draft) ISO/CD 10381 bis 10381-4.

Einziger veröffentlichter Standard: ISO 10381-6 „Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory (Entwicklung durch SC 4 - Biological Methods)“.

Der **Unterausschuß 3 „Chemische Verfahren und Bodenparameter“** (Folie 4) befaßt sich mit allgemeinen Anleitungen zur Probenvorbehandlung für physikalisch-chemische Untersuchungen sowie für die Untersuchung organischer Schadstoffe. Davon abweichende Vorgehensweisen sind Bestandteil stoffspezifischer Analysenverfahren.

Ein weiterer Gegenstand von Harmonisierungsbemühungen sind Extraktionsverfahren als Voraussetzung der späteren analytischen Gehaltsbestimmung von Schadstoffen im Boden.

Für die Bestimmung von Gesamtgehalten liegt ein Normentwurf zum Königswasseraufschluß vor. Zur Erfassung mobiler Stoffgehalte sollen Normen erstellt werden, die die Extraktion mit Ammoniumnitrat (DIN - V 19730) sowie Verfahren mit Natriumnitrat bzw. Calciumchlorid als Extraktionslösungen einschließen.

Zur Charakterisierung des mobilisierbaren Gehaltes ist die Extraktion mittels EDTA (Ethylen-diamintetraessigsäure) und zusätzlichen Extraktionslösungen als Entwurf in Vorbereitung.

Als weiterer Bereich der Normung sind die Bestimmung von Spurenmetallen, Stickstoff und seinen Verbindungen, Phosphor, Sulfat und Cyanide zu nennen.

Zur Erfassung organischer Schadstoffe in Böden werden Normen für die Bestimmung von Mineralölen, PAK, PCB, persistenten Herbiziden sowie Phenolen und Chlorphenolen erarbeitet.

Eine weitere Arbeitsgruppe befaßt sich mit der Normung von Verfahren zur Bestimmung wichtiger Bodenparameter wie des pH-Wertes, der effektiven und potentiellen Kationenaustauschkapazität, des Carbonatgehaltes und des Gehaltes an organischer Substanz.

#### **Folie 4**

<b>Sub-Committee 3:</b>	Chemical Methods and Soil Characteristics
15 aktive und 12 beobachtende Mitgliedsländer	
<b>Vorsitz und Sekretariat:</b>	Leschber/Paetz (DIN, D)
Struktur des SC 3:	WG 1 - Trace elements (Pottkamp, D)
	WG 2 - Total nitrogen and nitrogen compounds (Deller, D)
	WG 3 - Sulphate, sulphite, sulphide and elemental sulphur* (Smith, UK)
	WG 4 - Cyanide (Horvath, H)
	WG 5 - Total phosphor compounds (Consalter, I)
	WG 6 - Hydrocarbons (Liphard, D)
	WG 7 - Polychlorinated biphenyls and pesticides (Frintrop, NL)
	WG 8 - Electrical conductivity, pH, cation exchange capacity and carbon compounds (Houba, NL)
	WG 9 - Pretreatment of soil samples (Leschber, D)
*) ruht	

Der **Unterausschuß 4 „Biologische Verfahren“** (Folie 5) befaßt sich mit der Normung von Prüfverfahren zur Charakterisierung von Wirkungen von Schadstoffen auf Bodenorganismen der Makro- und Mesofauna, höhere Pflanzen und mikrobielle Funktionen.

Im Bereich der Bodenfauna ist der aus der OECD Methodensammlung bekannte Regenwurm Akuttest (*Eisenia fetida*) als Norm verabschiedet. Der hierauf aufbauende Reproduktionstest steht vor der Verabschiedung und ein Freilandtest liegt als Entwurf vor. Die Mesofauna ist mit einem Reproduktionstest an Collembolen vertreten.

Als Normen für Tests mit höheren Pflanzen wurden ein Wurzellängentest an der Gerste sowie der 14 Tage-Wachstumstest an einer mono- bzw. dikotylen Pflanzenart (OECD, EG) verabschiedet. In Vorbereitung ist eine Anleitung für Feldversuche.

Im Bereich der mikrobiellen Funktionstests wurden eine allgemeine Anleitung zur Prüfung des biologischen Abbaus unter aeroben Bedingungen sowie zwei Inkubationssystemen, eine Anleitung zur Probennahme für mikrobielle Untersuchungen unter aeroben Bedingungen, Methoden zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse, zur N-Mineralisierung und Nitrifizierung als Normen verabschiedet oder stehen kurz vor der Verabschiedung.

**Folie 5**

**Sub-Committee 4:** „Biological Methods“

12 aktive und 9 beobachtende Mitgliedsländer

**Vorsitz und Sekretariat:** Cook/Wellings (BSI, UK)

**Struktur des SC 4:** WG 1 - Biodegradability (Kloskowski, D)  
 WG 2 - Effects on Soil Fauna (Riepert, D)  
 WG 3 - Effects on Soil Flora (Stark, UK)  
 WG 4 - Effects on Soil Microorganisms (Cook, UK)

**Veröffentlichte Normen:**

- ISO 10381-6 - Sampling for aerobic microbiological tests (through ISO/TC 190/SC 2)
- ISO 11268-1 - Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*)  
 Part 1: Method for the determination of acute toxicity using artificial soil substrate
- ISO 11269-1 - Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora  
 Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth
- ISO 11266-1 - Soil quality - Guidance on laboratory tests for biodegradation in soil  
 Part 1: Aerobic conditions

Der **Unterausschuß 5 „Physikalische Verfahren“** (Folie 6) bearbeitet zur Zeit Normen für die Bestimmung des Wassergehaltes im Labor und im Feld, zur Bestimmung der Trockenrohdichte und Partikeldichte, zur Korngrößenverteilung, zum Redoxpotential, zum Wasserhaltevermögen und zur Erosionsempfindlichkeit.

Im Verlaufe der Normungsarbeit wurde klar, daß es nicht ausreicht, Normen für einzelne Untersuchungen zur Verfügung zu stellen, sondern darüberhinaus erschien es erforderlich, daß auch Mindestuntersuchungsprogramme als Planungshilfe beschrieben werden sollten, die unter bestimmten Bedingungen vorzunehmende Einzeluntersuchungen benennen.

**Folie 6**

**Sub-Committee 5:** „Physical methods“

11 aktive und 10 beobachtende Mitgliedsländer

**Vorsitz und Sekretariat:** Halbertsma/Welling (NL)

**Struktur des SC 5:** WG 2 - Hydraulic conductivity (Halbertsma, NL)  
 WG 3 - Water content (van Vuuren, NL)  
 WG 4 - Soil water potential (Chossat/Gardner, IRL)  
 WG 6 - Particle size distribution (Loveland, UK)  
 WG 8 - Aggregate stability (Horn, D)  
 WG 9 - Redox potential (Stepniewski, PL) Fortsetzung b.w.

<b>Bisherige Arbeitsgruppen</b>	
<b>die aufgelöst wurden:</b>	WG 1 - Water retention characteristics (1993)
	WG 5 - Geo-electrical and electromagnetic investigations (1988)
	WG 7 - Bulk density (1993)

Hierfür wurde **der Unterausschuß 7 „Nutzungsbezogener Bodenschutz“** (Folie 7) gegründet.

Die Zielsetzung des Ausschusses liegt in der Erarbeitung von Mindestuntersuchungsprogrammen für verschiedene vorrangige Fragestellungen im Bodenschutz. Neben der Darstellung der Problematik und der Untersuchungsziele sollen die angestrebten Normen im wesentlichen Referenzlisten von Einzeluntersuchungsverfahren beinhalten. Die Erarbeitung von Untersuchungsverfahren selbst ist nicht Aufgabe dieses Projektes, jedoch ggf. die Formulierung weiteren Normungsbedarfs.

Die offizielle Ausrichtung (Scope) dieses Unterausschusses wurde formuliert:

„Development of standards in the field of soil and site assessment giving guidance on the kind and extent of soil site characterization necessary for specific objectives“ (Entwicklung von Normen im Bereich des nutzungsbezogenen Bodenschutzes zur Anleitung welcher Art und in welchem Ausmaß eine Bodencharakterisierung für bestimmte Zwecke erforderlich ist).

Als Arbeitsschwerpunkte (Resolution 2 der konstituierenden Sitzung) wurden festgesetzt:

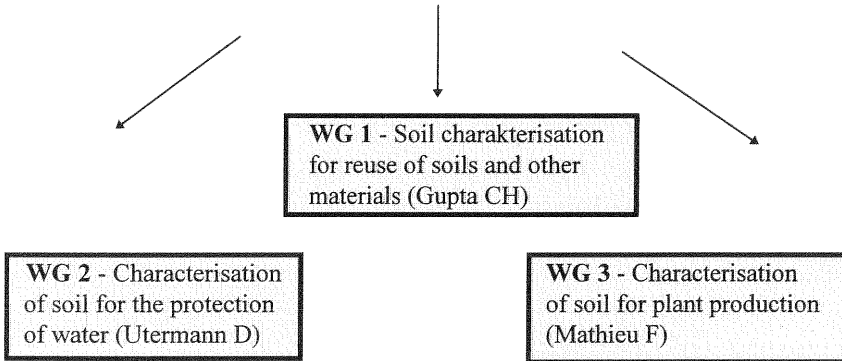
- Soil requirements for reuse of wastes (CH)  
(Bodenvoraussetzungen für die Wiederverwendung von Abfällen)
- Soil quality relative to water protection (D)  
(Bodenbeschaffenheit und Auswirkungen auf das Wasser)
- Soil quality relative to human health (DK/S)  
(Bodenbeschaffenheit und Auswirkungen für den Gesundheitsschutz)
- Soil quality relative to soil monitoring (atmospheric in/outputs) (NL/S)  
(Bodenbeschaffenheit und Bodenmonitoring)
- Suitability of soils for specific use (F/U.K)  
(Eignung von Böden für besondere Verwendungszwecke)
- Soil improvement (UK/CH)  
(Bodenverbesserung)
- Soil quality relative to ecology (D/F)  
(Bodenbeschaffenheit und Auswirkungen für die Ökologie)

Zu den aufgeführten Arbeitsschwerpunkten wurden auf dem diesjährigen ISO/TC 190 Treffen im Oktober in Wageningen (NL) Richtlinienentwürfe vorgelegt und zur Diskussion gestellt.

Folie 7**Sub-Committee 7: „Soil and site assessment“**

11 aktive und 10 beobachtende Mitgliedsländer

Vorsitz und Sekretariat: Bannick/Paetz (D)

**Struktur des SC 7****Weitere mögliche Arbeits- oder Projektgruppen:**

- Ecotoxicological characterisation of soil and soil materials (Wilke D)
- Characterisation of soils with respect to human exposure (n.n. DK)
- Guidance on monitoring soil quality (Palsma NL)
- Characterisation of soils for restoration and improvement of damaged or degraded soils (Smith U.K.)

**Bilanz der vom TC 190 Soil Quality geleisteten Arbeit:**

Im Laufe seiner 10-jährigen Tätigkeit des TC 190 wurden 34 Normen verabschiedet, 12 sind in Vorbereitung und weitere 13 sind in Bearbeitung.

M. Frielinghaus, H. Petelkau und K. Seidel

ZALF e.V., Institut für Bodenlandschaftsforschung, Müncheberg

**Bewertung von Lasteinträgen in Landnutzungssystemen als Problem für die Realisierung ökologischer Bodenfunktionen**

Manuskript liegt nicht vor



## Sanierung schadstoffbelasteter Böden

B.-D. Traulsen, G. Schönhard und W. Pestemer

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin

### **Erfassung, Beurteilung und Sanierung schadstoffbelasteter Böden in Ballungsräumen**

#### Zusammenfassung

Die Erfassung der Schadstoffbelastung von Verdachtsflächen auf Altlasten wie ehemalige Tankstellen, Kokereien oder Galvanikbetriebe erfolgt im Ballungsgebiet Berlin richtlinienkonform durch Analyse der Gesamtgehalte. Die Anordnung zur Durchführung von Bodensanierungen wird gleichermaßen auf dieser Grundlage getroffen. Die Verminderung der Gesamtgehalte anorganischer Schadstoffe ist durch Bodenwäsche oder thermische Behandlung möglich. Bei landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzflächen und im Kleingartenbereich ist auf dieser Basis weder eine Aussage zur akuten Belastung der angebauten Pflanzenarten noch des Grundwassers möglich, noch sind die genannten Behandlungsmaßnahmen mit tragbarem finanziellen Aufwand zu realisieren.

Geprüft werden Sanierungen durch Veränderungen der chemischen oder physikalischen Bodenparameter zur Verminderung der Verfügbarkeit. Diese können nur durch spezielle Extraktionen der verfügbaren Schadstoffanteile erfaßt werden. Die Beurteilung der Belastung und die Überprüfung immobilisierender Sanierungsmaßnahmen wird auf der Basis der Schwermetall-Analyse in extrahierten Bodenlösungen durchgeführt.

Als Maßnahme zur langfristigen Gefährdungsverminderung bei Schwermetallbelastungen haben sich in Gefäß- und Feldversuchen verschiedene Tonmineralien bewährt. Bei leichten Böden ist durch die Erhöhung des Tongehaltes um 3 % eine Verminderung der Schwermetallverfügbarkeit um 30-40 % anhand geringerer Schwermetallgehalte in den extrahierten Bodenlösungen und entsprechend in den angebauten Pflanzenarten nachgewiesen. Zusätzliche Kalkung und Zufuhr organischer Substanz in Form qualitativ hochwertiger Komposte führten zu weiterer Verminderung der mobilen Schwermetallgehalte.

#### **Einleitung**

Die Nutzung natürlicher Ressourcen zur Energiegewinnung oder zur industriellen oder handwerklichen Produktion führt in Ballungsgebieten wie z. B. Berlin zu einer großflächigen Verteilung der genutzten Materialien bzw. deren Abfallprodukte. Auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen ebenso wie in Kleingartenanlagen werden zusätzlich durch die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, mineralischen und organischen Düngern sowie Klärschlämmen oder Müllkomposten dem Boden aktiv Fremdstoffe zugeführt. Insgesamt resultiert daraus eine deutliche (Schad-) Stoffbelastung der Umwelt (Traulsen, 1991). Neben organischen Verbindungen, die häufig eine akuten Gefährdung bedeuten, aber dem natürlichen Abbau unterliegen, stellen besonders die Metalle, bedingt durch ihre Akkumulation im Boden, eine permanente Gefährdung dar.

Aus diesem Grunde sind für Metalle im Boden Daten erarbeitet worden, die unterschiedlich als Orientierungsdaten, tolerierbare Gesamtgehalte, Richtwerte, usw. bezeichnet werden. Deren Einhaltung soll primär eine Gefährdung des Menschen, unabhängig vom Belastungspfad, ausschließen. Aus diesen Daten wurden die ersten Grenzwerte für Schwermetalle in Böden in der

Klärschlammverordnung auf der Basis von Gesamtgehalten festgelegt, obwohl wissenschaftlich sich gesicherte Aussagen zur toxikologischen Bewertung daraus nicht ableiten lassen.

Bodenkontaminationen werden bei Überschreitung der Grenzwerte definitionsgemäß zu Altlasten, die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr notwendig machen. Die Art der durchzuführenden Maßnahmen ist an Sanierungszielwerte gebunden. Diese sind in Listen zusammengefaßt, die in den verschiedenen Bundesländern bedauerlicherweise z. T. stark variieren. Zumindest sind in der Regel schutzgutorientierte Sanierungszielwerte vorgegeben. Nach dem neuesten Gutachten des Rates der Sachverständigen für Altlasten sind dabei Maßnahmen mit gleichem Erfolg, bezogen auf die Gefahrenabwehr für das jeweilige Schutzgut, gleichzusetzen. Demnach wären bei Schwermetallkontaminationen von Böden, z. B. von landwirtschaftlicher Nutzflächen, Immobilisierung und Entfernen durch Bodenwäsche gleichzusetzen, wenn durch beide Maßnahmen die Aufnahme in die Pflanzen und die Auswaschung in das Grundwasser auf ein vertretbares Niveau gesenkt wird. Der Nachweis erfolgt z. B. nach der Berliner Liste (Anonym, 1995) durch Analyse der Schwermetalle und der verfügbaren Anteile durch eine genormte Extraktion des Bodens mit destilliertem Wasser (S4 Extrakt). Bei Unterschreitung dieser Richtwerte ist die Sanierung als erfolgreich im Sinne der Gefahrenabwehr einzustufen. Ob durch die Bodenlösungsextraktion die Wirkung der Immobilisierung mit Tonmineralen korrekt erfaßt wird, ist in Gefäß- und Feldversuchen an einem mit Cadmium und Zink kontaminierten Boden geprüft worden.

## Material und Methoden

### 1 Gefäßversuche

Boden: lehmiger Sand mit 70 % Sand, 21 % Schluff und 9 % Ton, 2 % organische Substanz, Cadmiumgehalt: 12 mg Cd/kg Boden TS, pH-Wert 5,9

Kultur: Mitscherlichgefäße mit 6 kg Boden, Zugabe der Tonminerale 1,7% und 3,4% bezogen auf die Boden TS

### 2 Feldversuche

Boden (s. o.), Einarbeitung von 1 bzw. 3 kg Tonmineralen/m<sup>2</sup>

### 3 Untersuchungsmethoden

1. Bodenextraktion: Königswasser
2. Bodenlösungsauszüge: Aluminiumoxidkerzen (Fa. Haldenwanger, Berlin), zentrale Unterdruckanlage mit einer Vakuumpumpe mit 1000 l/min Saugvermögen, je nach Anzahl der angeschlossenen Saugkerzen (100-250) konnte eine Saugspannung von pF 2,5-2,9 realisiert werden.
3. Pflanzen: Veraschung bei 450°C, Aufschluss mit 2N HCL, Molybdän: Aufschluß mit Fluß-/Perchlorsäure
4. Messung der Spurenelemente und Schwermetalle: AAS-Graphitrohrküvette (Perkin Elmer 3030), AAS-Flamme (Luft-Acetylen-Gemisch)
5. pH-Werte: mit 0,01M CaCl<sub>2</sub> Lösung
6. organische Substanz: Glühverlust

## Ergebnisse

Die unter den Produktbezeichnungen „Bentonit“, „Edasil“ oder „Calplus“ zur Verfügung stehenden Tonminerale sind bezüglich ihrer Wirkung auf eine Verminderung der Schwermetallverfügbarkeit

geprüft worden. Anhand der graphischen Darstellungen einiger repräsentativer Versuchsergebnisse lassen sich folgende Aussagen ableiten:

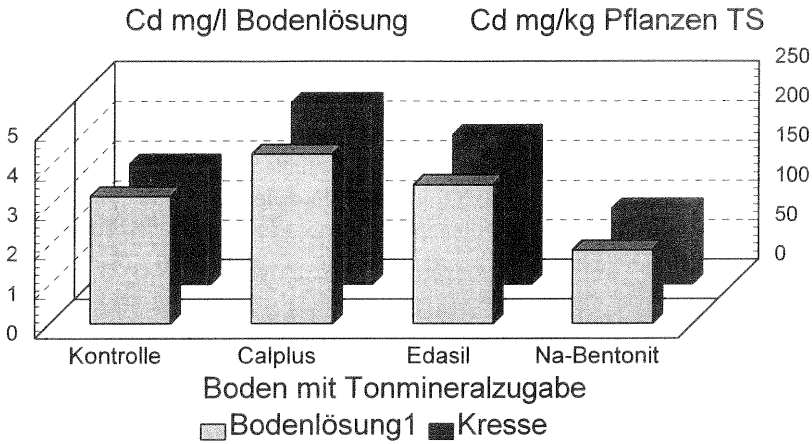


Abb. 1: Cadmiumgehalte im ersten Bodenlösungsextrakt und in Gartenkresse

Bei der Variante mit Na-Bentonit zeigten sich schon nach 14 Tagen Kulturdauer Immobilisierungseffekte. Die Cd- (Abb.1) und Zn-Gehalte (Abb.2) in der Bodenlösung liegen deutlich niedriger als bei der Kontrolle und zeigen enge Beziehungen zu den Gehalten in der Gartenkresse. Im Vergleich zu allen geprüften Kulturpflanzen hat die Kresse zwar eine wesentlich höhere Cadmiumaufnahme, aber selbst bei Gehalten von 200 mg Cd/kg TS waren keine Wachstumsbeeinträchtigungen oder Schadsymptome festzustellen. Die hohen Cadmiumgehalte sind besonders wegen der Kulturdauer von nur 14 Tagen bemerkenswert, da allgemein eine zunehmende Anreicherung von Schadstoffen in Abhängigkeit von der Transpirationsleistung zu erwarten ist.

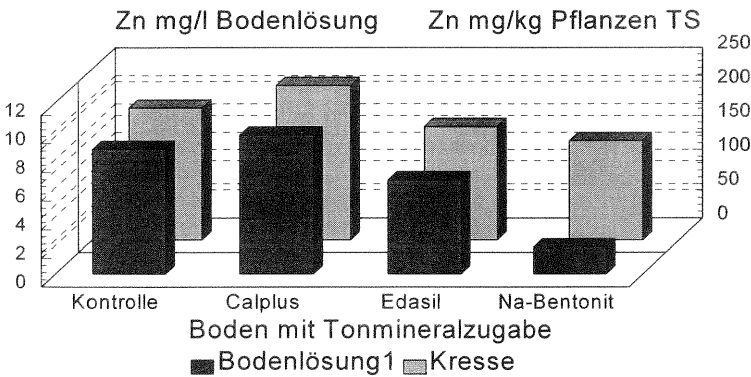


Abb. 2: Zinkgehalte im ersten Bodenlösungsextrakt und in der Kresse nach der Bodensanierung mit unterschiedlichen Tonmineralien

Die Zinkgehalte in der Kresse werden in enger Korrelation mit der Bodenlösung durch die Zugabe von dem mit Natrium angereicherten Bentonit am stärksten vermindert (Abb. 2), dies resultiert aus dem starken Einfluß auf den pH-Wert durch das alkalische Na-Bentonit. Die Erhöhung des pH-Wertes von 5,9 auf 6,4 bewirkt ohne die Immobilisierungseffekte schon eine deutliche Verminderung der Cd- und Zn-Verfügbarkeit in Böden (Rietz,1981). Untersuchungen auf dem Versuchsfeld der BBA-Dahlem mit Kalkung als alleiniger Sanierungsmaßnahme (Traulsen,1987) erbrachten ähnliche Ergebnisse.

Die Sonnenblumen als Folgekultur zeigten bezüglich der Cd- und Zn-Gehalte gleich gute Korrelationen mit den Gehalten in der Bodenlösung, die Cd-Anreicherung (Abb. 3) war aber wesentlich geringer als bei der Gartenkresse, obwohl die Cd-Gehalte in der Bodenlösung identische Werte aufwiesen. Die Wirkung von Calplus nimmt mit der Kulturdauer zu, während Edasil im Sinne einer Immobilisierung der Schwermetalle Cadmium und Zink noch keine positive Wirkung zeigt.

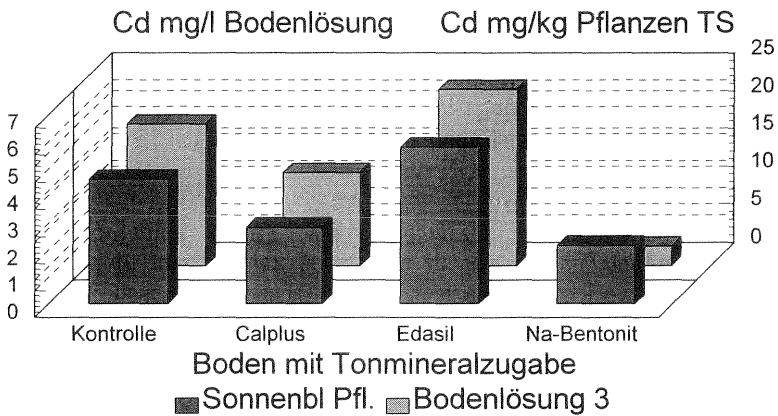


Abb 3: Cadmiumgehalte der Folgekultur Sonnenblumen und der 3. Bodenlösungsextraktion

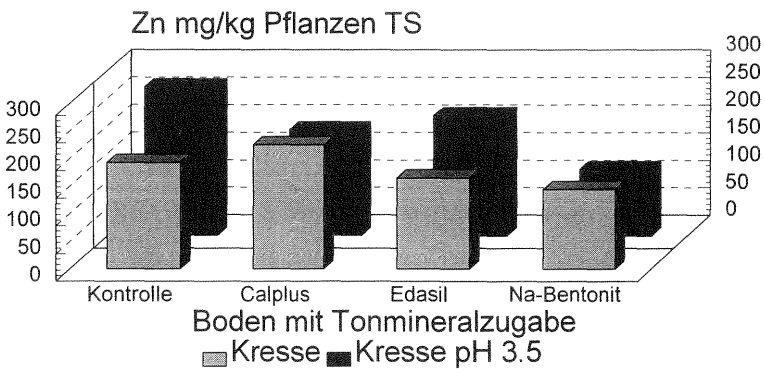


Abb.4: Wirkung der Absenkung des pH-Wertes auf die Cd-Gehalte in der Bodenlösung und in Kresse

Der Eintrag von Regenwasser mit in Berlin-Dahlem gemessenen pH-Werten zwischen 6,5 und 3,9 führt bei angrenzenden Böden unter Flächenstilllegungsmaßnahmen zu erhöhter Auswaschung von Nährstoffen. Der starke Calciumaustrag bei den hier vorliegenden leichten Böden führte nach 4 Jahren zu deutlichen Absenkungen der pH-Werte.

Daraus resultiert in Böden von Ballungsgebieten, die in der Regel mit Schwermetallen belastet sind, eine verstärkte Auswaschung und somit eine Belastung des Grundwassers. Besonders durch die Einarbeitung von Na-Bentonit konnte die durch den Säureeintrag erhöhte Cd-Konzentration in der Kresse (Abb. 4) vermindert werden, die Cd-Gehalte dieser Variante entsprechen denen der Kresse ohne Säureeintrag. Eine Ansäuerung des Bodens mit daraus resultierender Mobilitätssteigerung erhöht die Wirkung von Calplus aufgrund der Anreicherung von Calcium beim Produktionsprozeß.

### Diskussion

Die Erfassung und Bewertung von Altlasten muß sich im Bereich der anorganischen Schadstoffe neben der Erfassung der Gesamtgehalte intensiver an Extraktionen zur Beurteilung der akuten Mobilität und Verfügbarkeit orientieren (Berliner Liste, S-4 Extraktion). Sinnvolle Aussagen zur akuten Gefährdung, im Altlastenbereich als Gefahrenabwehr eingestuft, sind auf der Basis der Gesamtgehalte, auch unter Berücksichtigung nutzungs- und schutzgutbezogener Daten (Eikmann, 1991), nicht möglich.

Die Zufuhr von Substanzen in Aufwandmengen von wenigen Kilogramm je m<sup>2</sup> zur Veränderung der chemischen und physikalischen Bodenparameter bewirkt keinen Verdünnungseffekt. Der Nachweis der Sanierungswirkung ist demnach durch die Analyse der Gesamtgehalte nicht zu erbringen.

Bodenextraktionen mit Neutralsalzlösungen (CaCl<sub>2</sub>), verdünnten Säuren oder Komplexbildnern (VDLUFA,1991), lassen zwar, ebenso wie wässrige Bodenextrakte (Horak,1982), Aussagen über lösliche Schwermetallfraktionen zu, Korrelationen mit den Gehalten im Pflanzenmaterial sind aber häufig kaum erkennbar. Der Zusammenhang zwischen den Schwermetallgehalten in Bodenlösungen, gewonnen durch Extraktion nach dem Saugkerzenverfahren und den Gehalten im Pflanzenmaterial, ist, wie am Beispiel Zink (Abb.5) dargestellt, für nahezu alle Schwermetalle (Traulsen 1992) nachgewiesen.

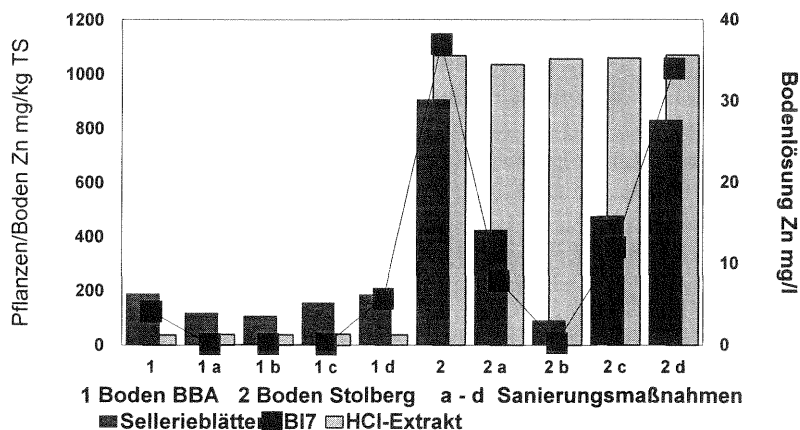


Abb 5: Zinkgehalte in Bodenlösungen und Pflanzen sowie Bodengesamtgehalte

Die Korrelationskoeffizienten liegen in der Regel im Bereich 0,7-0,99. Eine zutreffende Sanierungsbewertung auf der Basis der Schwermetallgehalte in der Bodenlösung ist möglich.

Eine Bodensanierung mit Tonmineralien hat aufgrund der Lebensdauer der Tonpartikel von 30-60 Jahren eine akzeptable Langzeitwirkung. Durch die Vielzahl der untersuchten Böden und durch die Verwendung unterschiedlicher Tonzusammensetzungen und Aufbereitungen ist bei Belastungssituationen ein gezielter Einsatz der bei der speziellen Belastung wirksamsten Tonmineralien möglich. Neben der Sofortwirkung, die auch durch die Erhöhung des pH-Wertes bedingt ist, ist besonders die Langzeitwirkung als Maßstab für eine erfolgreiche Sanierung anzusehen.

Sanierungsmaßnahmen wie Bodenwäsche oder thermische Reinigung durch Hochtemperaturbehandlung sollten vorrangig bei extrem hohen, räumlich begrenzten Belastungen mit Schwermetallen oder organischen Schadstoffen, bei denen ein biologischer Abbau nicht oder nur schwierig möglich ist, gewählt werden. Die Problematik beim Wiedereinbau der so gereinigten Böden (Traulsen, 1993) ist in der Zerstörung oder Entfernung der organischen Substanz des Bodens sowie der Abtrennung der Ton- und Schluffanteile zu sehen.

## Literatur

- Anonym: Bewertungskriterien für die Beurteilung stofflicher Belastungen von Böden und Grundwasser in Berlin (Berliner Liste 1995), Amtsblatt für Berlin, Januar 1995
- Eikmann T., Kloke A.: Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungsdaten für (Schad-)Stoffe in Böden, VDLUFA Mitteilungen, Heft 1, 1991
- Horak O.: Die Beziehung zwischen der pflanzlichen Aufnahme einiger Mikroelemente und deren wasserlöslichem Anteil im Boden, Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 39, Kongreßband, 404-414, 1982
- Rietz E., Söchting H.: Extraktionsverhalten und Bindung von Schwermetallen in Böden unterschiedlichen Belastungsgrades, Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 38, 1981
- Traulsen B.-D., Schönhard G.: Sanierung eines Kupferaltlastenstandortes - Modellversuch - Standortsanierung, Landwirtsch. Forsch. 40, Heft 4, 364-370, 1987
- Traulsen B.-D.: Bodenverunreinigung durch essentielle Pflanzennährstoffe. Bodenverunreinigungen, Europäische Akademie für Umweltfragen e. V., 44 - 104, 1991
- Traulsen B.-D.: Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit von Metallen im Boden. Kongreßband : Biologische Sanierung schwermetallkontaminierter Böden, FGU Berlin, Utech 1992
- Traulsen B.- D.: Beschaffenheit von Böden, Waschsanden und Substraten aus Bodenwaschanlagen. Tagungsband „ Biologische Bodensanierung “, FGU Berlin, Utech 1993
- VDLUFA: Methodenbuch, Band I, Untersuchung von Böden, Neubearbeitet von Prof. Dr. G. Hoffmann, VDLUFA-Verlag Darmstadt, 1991

B. Schönmuth, H. Lyr und U. Burth

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für integrierten Pflanzenschutz, Kleinmachnow

## **Sanierung TNT-verseuchter Flächen durch Gehölze**

### **Problem**

Im zweiten Weltkrieg wurden im Deutschen Reich 1,66 Millionen Tonnen an Sprengstoffen produziert, davon allein 0,8 Millionen Tonnen Trinitrotoluol (2,4,6-TNT). Mehr als 50 Jahre nach Kriegsende belasten Überreste und Abbaustoffe der damaligen Rüstungsindustrie noch immer großflächig zahlreiche Standorte ehemaliger Produktionsanlagen.

### **Gefährdungspotential**

Das Gefährdungspotential liegt in den humantoxischen Wirkungen des TNTs. Vergiftungserscheinungen bei Munitionsarbeitern sind schon während des Krieges festgestellt worden. Oft sind die Vorstufen der TNT-Produktion, z.B. das 2,6-Dinitrotoluol, aber auch biologische Abbauprodukte wie die Aminonitrotoluole 2-ADNT und 4-ADNT weit giftiger als TNT selbst. Das kanzerogene Potential von Nitroaromaten ist erst in den letzten Jahren bekanntgeworden.

Ein Sanierungsbedarf besteht vor allem wegen der Gefährdung von Trinkwassereinzugsgebieten.

### **Sanierungsverfahren**

Physikalisch-technische Sanierungsverfahren (Verbrennung, chemische Bodenwäsche, Thermal Stripping) sind recht aufwendig. Aus Kostengründen können diese Verfahren daher nur punktuell an hochkontaminierten Plätzen eingesetzt werden.

Seit den siebziger Jahre sind wertvolle Erkenntnisse über biologische Abbauege bei Mikroorganismen gewonnen worden. Die Abb. 1 zeigt dazu ein vereinfachtes Schema.

TNT kann stufenweise reduziert werden. Wichtige Metabolite sind die beiden Monoaminonitrotoluole (4-ADNT, 2-ADNT), nachfolgend die isomeren Diaminonitrotoluole (2,4-DANT, 2,6-DANT) und schließlich das 2,4,6-Triaminotoluol (TAT).

Die Umsetzung mikrobiologischer Sanierungsverfahren vom Labormaßstab in die Praxis bereitet noch Schwierigkeiten. Es müssen die kontaminierten Böden bewegt und in Mieten speziell kompostiert werden; der notwendige Zusatz von organischem Material wie z.B. Stroh, Melasse oder Rindenmulch erhöht den Aufwand.

### **Dekontamination durch Gehölze**

Für die großen TNT-verseuchten Areale, die einen geringen oder mittleren Kontaminationsgrad (bis 20 ppm) aufweisen, steht bisher kein kostenmäßig erträgliches Sanierungsverfahren zur Verfügung.

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Biologische Sanierung von Rüstungsaltslasten“ ergab sich für uns die Möglichkeit als Teilvorhaben 6 „Dekontamination sprengstoffbelasteter Böden mit Hilfe speziell selektierter Pflanzenarten bzw. -sorten“, einen Beitrag zur Entwicklung eines einfachen biologischen Sanierungsverfahrens zu leisten

Ausgangspunkt unseres Drittmittelprojektes waren Hinweise, daß TNT durch einige krautige Pflanzen aus dem Boden aufgenommen werden kann. Darüber hinaus war nachgewiesen, daß TNT in Pflanzen auch abgebaut werden kann. Unsere Idee war nun, mit Hilfe von Pflanzen dem kontaminierten Boden die Schadstoffe zu entziehen.

Dazu sollte an tiefwurzelndem, definiertem Pflanzenmaterial zunächst geprüft werden, ob und welche Arten/Sorten/Klone prinzipiell in der Lage sind, Explosivstoffe ohne Wachstumshemmung zu ertragen. Hierzu sollten umfangreiche Screeningversuche durchgeführt werden.

Dabei erfolgte die Bevorzugung von Gehölzen wegen der guten Tiefendurchwurzelung und Belebung der Mikroorganismenflora, sowie ihrer Langlebigkeit und ihres möglichen Nebeneffektes als Repositionspflanzen und als Lieferanten nachwachsender Rohstoffe.

Als zweites sollte die Ursache einer möglichen TNT-Toleranz geklärt werden. Umgehen solche toleranten Gehölze den Stressfaktor TNT oder nehmen sie TNT auf? Sind sie in Lage TNT abzubauen? Sind TNT-Metabolite in den Gehölzen nachweisbar?

Nach einigen Voruntersuchungen mit anderen Gehölzen haben wir uns bald auf Stecklinge von Weiden und Pappeln festgelegt. Erste Screening-Versuche zur Wachstumstestung wurden in Hydrokultur an 27 Weidenklonen durchgeführt. Danach folgten Gefäßversuche in Sandkultur.

Die Analytik erfolgte mittels Gaschromatographie (ECD).

Unsere bisherigen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Von 11 in Gefäßversuchen getesteten Pappel- und 25 Weiden-Klonen konnten die Weidenklone EW-013, EW-034, EW-038 und die Pappelklone ZP-007, EP-001, EP-003 mit erhöhter TNT-Toleranz in Sandkultur ausgelesen werden. Die Ergebnisse harmonisieren jedoch nicht mit vorab in Wasserkultur durchgeführten Screening-Versuchen.
2. Alle in ihrem Wachstum gegenüber TNT toleranten Klone enthalten TNT und die Metabolite 2-ADNT und 4-ADNT, wenn auch in unterschiedlichem Maße.
3. Durch eine Bepflanzung künstlich mit TNT kontaminierten Sandes (5, 10, 20 ppm) mit je einem ausgewählten toleranten Pappelklon und einem ausgewählten toleranten Weidenklon wird der TNT-Gehalt des Sandes innerhalb von 6 Wochen auf etwa 60 % gegenüber der unbepflanzten Variante vermindert.
4. Wenig TNT, stärker jedoch die beiden Abbauprodukte 2-Amino-4,6-dinitrotoluol (2-ADNT) und 4-Amino-2,6-dinitrotoluol (4-ADNT) werden in den ausgelesenen Gehölzklonen akkumuliert.
5. Diese Akkumulation nimmt mit der Erhöhung der applizierten TNT-Konzentration im Sand zu.
6. In 6 Wochen findet die Hauptakkumulation der Nitroaromaten zunächst in der Wurzel statt. Geringere Mengen werden auch in oberirdische Pflanzenteile (Steckholz, Sproß, z.T. in die Blätter) transportiert, dabei nimmt die nachweisbare Konzentration in den oberen Pflanzenteilen ab. Es ist zu vermuten, daß mit längeren Kulturzeiten eine weitere Verlagerung in den Sproß erfolgt, was noch zu prüfen ist.
7. Die selektierten Weiden und Pappeln erfüllen die Vielzahl von Anforderungen, die an Dekontaminationspflanzen gestellt werden sollten: Sie ertragen mittlere TNT-Konzentrationen (bis 20 ppm), sie nehmen TNT und auch TNT-Metabolite auf. Sie sind durch ihr gutes Regenerationsvermögen langfristig und wiederholt beerntbar, bewirken eine tiefe Bodendurchwurzelung, sind vegetativ vermehrbar, müssen nur einmal angepflanzt werden und haben eine lange Standzeit.
8. Weiden und Pappeln sind keine Nahrungs- und Futterpflanzen, und bieten somit kein Gefährdungspotential.
9. Bis geklärt werden kann, in welchem Umfange TNT, bzw. seine Metabolite durch die Gehölze selbst „entgiftet“ werden, bleibt die Verbrennung des Erntegutes in Müllverbrennungsanlagen eine vorerst praktisch faßbare Möglichkeit zur allmählichen Dekontamination des Bodens.



10. Eine Kompostierung des holzigen Erntegutes mit TNT-abbauenden Weißfäulepilzen, über deren Dekontaminationspotenz bei anderen Projektpartnern gearbeitet wird, eröffnet sich als weitere Möglichkeit.

Obwohl zum jetzigen Zeitpunkt noch wesentliche Probleme - wie Standorttoleranz, mikrobielle Vorgänge in der Rhizosphäre, die Bioverfügbarkeit der an organischem Material adsorbierten Schadstoffe - offen bleiben müssen, erscheint eine Dekontamination durch Gehölze prinzipiell möglich und praktisch durchführbar.

### Abbau von 2,4,6-Trinitrotoluol (Phase 1), nach FELLER 1992

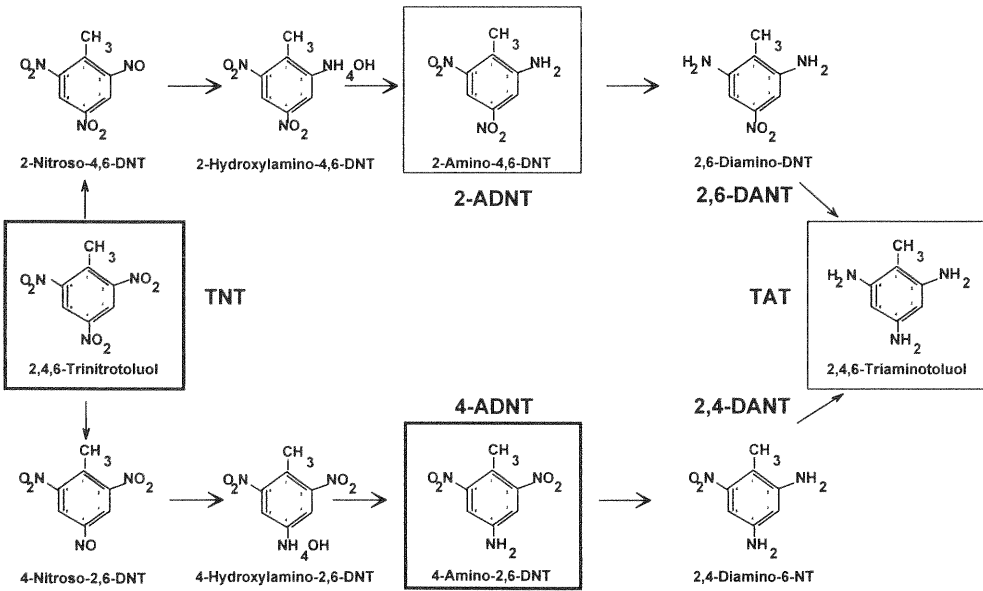


Abb. 1: Abbau von Trinitrotoluol

C. Norr und H. Lyr

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für integrierten Pflanzenschutz, Kleinmachnow

### **Abbau von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) durch Mykorrhizapilze**

Der Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe kommt aus ökotoxikologischer und toxikologischer Sicht besondere Bedeutung zu, da für eine Vielzahl der Verbindungen toxische, mutagene und kanzerogene Effekte nachgewiesen wurden (5).

PAK sind Verbindungen, deren Grundgerüst aus 2 oder mehreren kondensierten Benzolringen besteht. Auf Grund ihrer Hydrophobizität werden PAK im Boden stark sorbiert und weisen eine sehr hohe Persistenz auf.

Zur Entstehung von PAK kommt es bei unvollständiger Verbrennung oder Pyrolyse von organischem Material. Als Hauptquelle ist dabei die anthropogene PAK-Bildung anzusehen. Spitzenbelastungen des Bodens treten besonders im Zusammenhang mit Kokereien und Gaswerken sowie teer- und holzschutzmittelverarbeitenden Betrieben auf.

Die Arbeiten zur biologischen Bodensanierung blieben in den letzten Jahren fast ausschließlich auf die Mineralisierung und den unvollständigen Abbau von PAK beschränkt.

Humifizierungsvorgänge spielen jedoch in den natürlichen Stoffkreisläufen des Bodens eine entscheidende Rolle. Schlecht lösliche, schwer abbaubare Verbindungen werden zunächst in die Huminstruktur eingebaut und erst im Rahmen des Humuskreislaufes mineralisiert.

Das Verfahren dieses Verbundvorhabens zur PAK-Dekontamination des Bodens beruht auf der Nutzung dieser Humifizierungsprozesse, die mittels Kompostierung erheblich beschleunigt werden können. Ziel ist es, ein ökonomisch und ökologisch tragbares Kompostierungsverfahren zu entwickeln. Anschließend soll der Kompost auf Kippenrekultivierungsflächen ausgebracht werden, die für eine forstliche Nutzung vorgesehen sind.

In dem Zusammenhang ist durch das hier vorgestellte Teilprojekt zu prüfen:

- Kommt es durch PAK zu einer Schädigung der Ektomykorrhizen von Bäumen bzw. zu einer Hemmung der pflanzlichen Prozesse?
- Werden die im Humuskomplex des Kompostes gebundenen PAK durch Ektomykorrhizen wieder freigesetzt?
- Vermögen Ektomykorrhizen PAK oxidativ anzugreifen bzw. zu metabolisieren?

Unter Mykorrhiza ist die symbiontische Vergesellschaftung von Pilzen mit Wurzeln höherer Pflanzen zu verstehen. Bei Gehölzen bildet sich eine ektotrophe Mykorrhiza aus, d.h. die Wurzel wird von einem Geflecht aus Pilzfäden umhüllt und zwischen die Rindenzellen schiebt sich eine einschichtige Lage aus Pilzzellen, das sogenannte Hartig'sche Netz.

Solch mykorrhizierte Pflanzen zeichnen sich aus durch eine verbesserte Nährstoffversorgung, eine erhöhte Trockenstresstoleranz und die verstärkte Abwehr von bodenbürtigen Pathogenen (3, 4).

Kann für ausgewählte Ektomykorrhizen der Nachweis des PAK-Abbaus erbracht werden, wobei dem Toxizitätspotential entstehender Metabolite Beachtung zu schenken ist, bedeutet dies:

1. Im Rahmen des Projektes, daß bei allmählicher Freisetzung der PAK aus dem Humuskomplex nach Ausbringung des Kompostes auf den Rekultivierungsflächen ein weiterer Abbau der Verbindungen erfolgt.
2. Allgemein, daß über das Auspflanzen von gezielt beimpften Pflanzen die Sanierung von großflächigen, geringer kontaminierten Standorten möglich wird.

Das dreijährige Forschungsprojekt lief im Mai 1994 an. Den Schwerpunkt des ersten Jahres stellte die unmittelbare Versuchsvorbereitung dar. Dazu gehört die Anzucht mykorrhizafreier Pflanzen der Baumarten Kiefer, Birke und Eiche, die Beschaffung und Vermehrung von Mykorrhizapilzen in Reinkultur sowie die Entwicklung geeigneter Inokulationsverfahren.

Davon ausgehend, daß der PAK-Abbau durch Oxidation und Einbau von Hydroxylgruppen in das aromatische Ringsystem eingeleitet wird (2), sollen in unsere Untersuchungen vor allem Mykorrhizapilze einbezogen werden, die reich sind an Oxidationen katalysierenden Enzymen.

Es wurden die Fruchtkörper von Mykorrhizapilzen auf ihren Gehalt an drei Oxidoreduktasen untersucht. Der Nachweis von Laccase, Peroxidase und Tyrosinase erfolgte qualitativ mittels Farbstestreaktionen. Ob weiteren Enzymen (z.B. Cytochrom-P-450) bei der Oxidation von PAK Bedeutung zukommt, wird derzeit noch geprüft.

Die Tests mit den Fruchtkörpern ließen im allgemeinen einen sehr hohen Gehalt an Laccase und Tyrosinase bei den Gattungen *Lactarius* und *Russula* erkennen. Diese beiden Gattungen wären demzufolge von besonderem Interesse für unsere Untersuchungen. Nach dem heutigen Wissensstand zählen *Lactarius* und *Russula* allerdings zu den nicht kultivierbaren Gattungen.

Der Enzymnachweis im auf Agar angezogenen Myzel von Mykorrhizapilzen läßt Übereinstimmungen zu den Tests mit den Fruchtkörpern erkennen. *Amanita muscaria* erwies sich als sehr reich an Tyrosinase und bei *Suillus luteus* sowie *Xerocomus badius* konnten (wie schon bei den Fruchtkörpern) keine der ausgewählten Oxidoreduktasen nachgewiesen werden.

Derzeitig läuft im Rahmen von *in vitro*-Versuchen ein Screening der Pilze auf Schadstofftoleranz und PAK-Abbaufähigkeit. Als PAK-Modellsubstanzen sind Anthracen und Phenanthren sowie Pyren ausgewählt worden, d.h.: 3- bzw. 4-Ringverbindungen.

Da der Versuchskomplex noch nicht abgeschlossen ist, kann vorerst nur ein kurzer Einblick in die Analysen gegeben werden.

Das Toleranzverhalten der Pilze gegenüber PAK wird in Petrischalenversuchen bestimmt, wobei die Prüfsubstanz auf 4 Stellen im Agar mit steigender Konzentration appliziert wird. Über das Wachstum der Pilze können Aussagen zu den Toxizitätsschwellen gewonnen werden.

Bei *Paxillus involutus* und *Pisolithus tinctorius* bewirkten 25, 50 100 und 200µg Pyren eine deutliche Hemmung des Myzelwachstums. Im Falle von *Pisolithus tinctorius* kam es jedoch nach einiger Zeit in den unteren Konzentrationsbereichen zu einem Überwachsen der Applikationsstellen. Bei weiterer Verringerung der Pyren-Kontamination, d.h. unter 25µg, ist demzufolge mit Unterschieden im Toleranzverhalten der Pilze zu rechnen. Die Toxizitätsschwellen für Anthracen liegen sehr hoch. Selbst mit einer Menge von 800µg ist bei *Paxillus involutus* und *Pisolithus tinctorius* keine Hemmung des Myzelwachstums ausgelöst worden.

Das Screening der Ektomykorrhizen in Bezug auf ihre metabolischen Potenzen erfolgt, indem Fruchtkörperstücke definierter Größe für 48 Stunden in einer 0,001%igen Pyrenlösung inkubiert werden. Als Anhaltspunkt für die Metabolisierung des Schadstoffes dient die Pyren-

Wiederfindungsrate. Der Gehalt an Pyren wird mittels HPLC bestimmt. Zur Extraktion werden Ethylacetat sowie ein Gemisch aus Methanol und 2n KOH verwendet.

Erste ermittelte Ergebnisse stimmen optimistisch. Beim *Lactarius torminosus* sind mit 70 und 30% deutliche Unterschiede in der Pyren-Wiederfindungsrate von vitaler Variante und autoklavierter Kontrolle zu erkennen.

Von Nachteil bei dieser "Verschwindeanalytik" ist, daß keine Aussagen über den Verbleib des nicht mehr nachweisbaren Pyrens möglich sind. Es kann durchaus zum Abbau des Pyrens, wenn auch unvollständig, gekommen sein (1). Andererseits muß jedoch auch ein hoher Anteil von nicht extrahierten Pyren, das im vitalen Fruchtkörper gebunden vorliegt, in Betracht gezogen werden. Aus diesem Grunde wurden die Fruchtkörperstücke anschließend noch einer sauren Hydrolyse unterzogen. Der Aufschluß mit 25%iger Essigsäure führte nur in geringem Maße zu einer Freisetzung. Interessanterweise war bei vitaler Variante und autoklavierter Kontrolle eine Übereinstimmung in der Größenordnung zu erkennen.

Die Ergebnisse vom Aufschluß mit Schwefelsäure liegen noch nicht vor.

Die im Rahmen von *in vitro*-Versuchen gesammelten Ergebnisse sind durch Untersuchungen mit mykorrhizierten Pflanzen zu bestätigen. Für das Arbeiten mit Modellsubstanzen entwickelten wir eine neue Art der Applikation. Hierbei werden die PAK auf einen Glasfaserstreifen aufgetragen, der direkt auf den mykorrhizierten Wurzelballen gelegt wird. Durch die Gefäßwand wird der Glasfaserstreifen an den Wurzelballen gepreßt, so daß ein unmittelbarer Kontakt zwischen mykorrhizierter Wurzel und Schadstoff gegeben ist.

Im Vergleich zur traditionellen Kontaminationstechnik, bei der die Prüfsubstanzen dem Boden untergemischt werden, bestehen keine Probleme hinsichtlich der gleichmäßigen Verteilung sowie deren starken Sorption im Boden. Beim Screening der Pilze auf ihre PAK-Abbaufähigkeit läßt sich durch optimale Versuchsbedingungen der Aussagegewinn der Untersuchungen erhöhen.

Die Anwendbarkeit der neuen Applikationstechnik wurde in Vorversuchen mit <sup>14</sup>C-Pyren, die dankenswerterweise im Institut für ökologische Chemie der BBA Dahlem durchgeführt werden konnten, nachgewiesen. Die Auswertung ergab, daß sich die "Substanzauswaschung" aus dem Applikationsstreifen in Grenzen hält, ca. 70% der eingesetzten Radioaktivität sind nach zweiwöchiger Inkubation dort wiedergefunden worden. Durch das Glasvlies, mit dem der Topf verkleidet wurde, wird die Sorption von PAK an die Gefäßwand aus Plaste wirksam verhindert. Im Glasvlies sind 17% der Radioaktivität nachgewiesen worden, die hier anhaftenden Substanzen bleiben den mykorrhizierten Wurzeln weiter erschließbar.

#### Literatur

- ( 1 ) Cerniglia, C. E. ; Kelly, D. W. ; Freeman, J. P. ; Miller, D. W. : Microbial metabolism of Pyrene. - Chem.-Biol. Interactions, 57 (1986), 203-216
- ( 2 ) Cerniglia, C. E. : Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. - Biodegradation, 3 (1992), 351-368
- ( 3 ) Herrmann, S. ; Ritter, T. ; Kottke, I. ; Oberwinkler, F. : Steigerung der Leistungsfähigkeit von Forstpflanzen (*Fagus sylvatica* L. und *Quercus robur* L.) durch kontrollierte Mykorrhizierung. - Allg. Forst- u. J.-Ztg., 163 (1992) 4, 72-79
- ( 4 ) Marx, D. H. : The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of Pine roots to pathogenic infections. 1. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. - Phytopathology, 59 (1969), 153-163
- ( 5 ) Yang, S. K. ; Silverman, B. D. : Polycyclic aromatic hydrocarbons carcinogenesis: structure-activity relationship. - Boca Raton: CRC Press, 1988

H.-H. Liste

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Mikrobiologie, Berlin

## Bioremediation organischer Xenobiotika in der Rhizosphäre

### 1. Einleitung

Viele Böden sind mit organischen Fremdstoffen kontaminiert. Nach Schätzungen des Bundesumweltministeriums gibt es allein in Deutschland rund 140 000 Altlastenflächen. Eine Sanierung betroffener Böden ist meist unumgänglich, da z. T. erhebliche Gefahren für Mensch und Umwelt bestehen und eine natürliche Selbstreinigung oft sehr lange dauert.

Für die Remediation organisch kontaminierter Böden stehen eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahren zur Verfügung. Besonders attraktiv sind biotechnologische Verfahren der *in situ*-Sanierung. Sie basieren auf der Nutzung natürlicher Potentiale am Standort und sind somit sehr umweltverträglich und kostengünstig. Im Idealfall werden die Schadstoffe direkt im Erdreich mineralisiert, es entsteht mikrobielle Biomasse, und die Bodenfruchtbarkeit bleibt erhalten (Zeyer 1993). Allerdings führen konventionelle Verfahren der Biosanierung nicht immer zum Erfolg (Alexander 1991, Wilson und Jones 1993). Gründe dafür können u. a. hohe Toxizitäten und Abbauresistenzen der Schadstoffe sein, aber auch geringe Abundanzen und Aktivitäten standorteigener sowie inokulierter Mikroorganismen. Neue Biotechniken mit wirksameren Prinzipien sind daher dringend erforderlich. Vielversprechend ist die Nutzung von Pflanzen in sogenannten Verfahren der Phytoremediation (Schnoor et al. 1995).

Pflanzen beschleunigen die Sanierung kontaminierter Böden über 2 prinzipielle Mechanismen: a) durch eine Förderung des mikrobiellen Schadstoffabbaus im Wurzelraum und b) durch eine Aufnahme der Xenobiotika in die Pflanzenbiomasse (Shimp et al. 1993, Anderson et al. 1993, Schnoor et al. 1995). Der Erfolg einer Phytoremediation hängt dabei primär von der Förderung der mikrobiellen Mineralisation durch bestimmte Strukturen der mikrobiellen Gemeinschaft in der Rhizosphäre ab (Shimp et al. 1993). Diese Strukturen wiederum werden wesentlich von Art und Alter der Pflanze bestimmt (Martin 1971, Ferro et al. 1994). Primär müssen also Pflanzen gefunden werden, die auf organisch kontaminierten Böden gut wachsen und deren wurzelassoziierte Mikroorganismengemeinschaften degradative Populationen möglichst hoher Abundanzen enthalten. Hierzu ist wenig bekannt, aber der mögliche Nutzen neuer Erkenntnisse dürfte erheblich sein (Shimp et al. 1993).

Grundlegender Erkenntnisse bedarf es zur Phytoremediation von Böden, die mit höherwertigen, abbauresistenten PAK (polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) belastet sind. Bekannt ist zwar die besondere Bedeutung von Bodenbakterien beim Abbau der PAK (Shabad 1975), wenig weiß man dagegen über den Einfluß wurzelassoziiierter Bakteriengemeinschaften auf die Effektivität des Abbaus in der Rhizosphäre (Wolverton et al. 1989). Das Ziel vorliegender Untersuchungen war es daher, schadstofftolerante, remediative Kulturpflanzen zu screenen und die Diversität ihrer Rhizobakterienbiozösen zu erfassen.

### 2. Material und Methoden

**Boden:** Der Kontrollboden (lehmgiger Sand) stammt von einer BBA-Versuchsfläche in Berlin. Er wies die folgenden mittleren Kennwerte auf: pH 6,3, Humus (2,3 %), Sand (71 %), Schluff (26 %), Ton (3 %), MKW (28 mg/kg) und  $\Sigma$  PAK nach US-EPA (1,5 mg/kg). Der Schadboden wurde durch Mischen eines hochkontaminierten Bodens (Gaswerkstandort) mit Kontrollboden im Verhältnis 1:20 (wt/wt) hergestellt und über 30 Tage zur „Reifung“ gelagert. Der gereifte Schadboden wies folgende mittlere Xenobiotikagehalte auf: MKW (1550 mg/kg) und  $\Sigma$  PAK nach US-EPA (71,4

mg/kg). Zum Versuchsansatz wurden 13er Plastiktöpfe mit 1000 g naturfeuchtem Kontroll- oder Schadboden befüllt und auf Wassergehalte um 60 % der  $W_{k_{max}}$  eingestellt.

**Pflanzen:** Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lam.), Sommerwicke (*Vicia sativa* L.) sowie Weißer Senf (*Sinapis alba* L.) (Versuchssaatgut der Firma Saatunion GmbH, Hannover) wurden am 9. März 1995 mit einer Saattiefe von 15 Samen/Topf eingesät und nach 15 Tagen auf Standarddichten von 5 Pflanzen/Topf vereinzelt. Die Klimabedingungen für die im Gewächshaus wachsenden Pflanzen entsprachen denen eines mittleren Frühjahrs/Sommers.

**Analysen:** Die Schadstoffgehalte (MKW/PAK) im Boden wurden zu Beginn und am Ende des Abbauversuchs (95 Tage) aus jeweils 6 Töpfen je Variante doppelbestimmt. Die Analyse der MKW erfolgte nach DIN 38409-H18, die der PAK nach US-EPA (Methode 610) mittels HPLC. Die Pflanzenvitalität wurde zur Senfblüte (für Senf und Weidelgras) bzw. zur Wickenblüte (für Wicke) über die Photosyntheseaktivität frischer Blätter (sensorische Sauerstoffmessung) mit dem neuartigen Photosynthesemeßgerät PHOSY-MESS 2000 (SPECHT Meßtechnik für Umweltschutz GmbH Berlin) bestimmt. Zur Quantifizierung der pflanzlichen Biomassebildung am Ende des Abbauversuchs dienten die Trockenmassen von Sprossen und Wurzeln. Zur Bestimmung der Wurzelbesiedlung mit aeroben Bakterien (Abundanzen und Diversität) wurden im Jugendstadium und zur Blüte der Kulturpflanzen ungewaschene Wurzelproben (1 bzw. 10 g) in 6facher Wiederholung entnommen und in steriler NaCl-Lösung (0,1 %, wt/wt) suspendiert (20 min schütteln, 20 min absetzen). Nach mehrmaliger Verdünnung erfolgte das Ausplattieren von jeweils 0,1 ml auf Glycerin-Pepton-Agar nach Hirte (1961). Die Auswertung der Agarplatten erfolgte nach einer Inkubationszeit von 5 bis 7 Tagen und einer Temperatur von 25 °C im Dublikat. Die Bakterienabundanzen je Platte wurden nach Kolonietypen differenziert bestimmt. Referenzisolate wurden gereinigt, gelagert und werden sukzessive identifiziert. Zur Identifizierung dient das Microbial Identification System (MIS, Microbial ID Inc., Newark, Delaware, USA). Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt mit SAS (Statistical Analysis System).

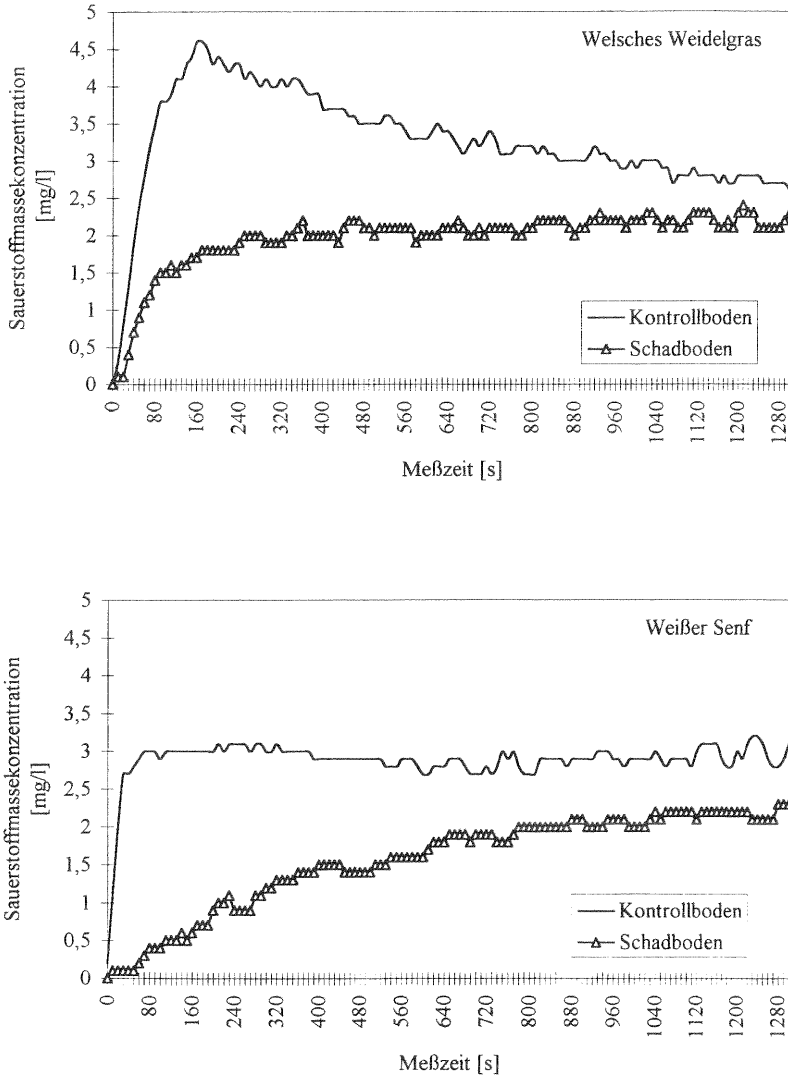
### 3. Ergebnisse und Diskussion

**Die getesteten Kulturpflanzen** reagierten differenziert auf die Xenobiotika im Schadboden. Der Pflanzenaufgang bei Senf und Wicke wurde xenobiotisch kaum beeinflusst oder leicht gehemmt, bei Weidelgras dagegen gefördert. Bei Senf bewirkten die Bodenschadstoffe einen verzögerten Blühbeginn und wie bei Weidelgras eine geschwächte Pflanzenvitalität (Abb. 1). Die Auswertung der Meßdaten zur photosynthetischen Leistung bei Wicke steht noch aus. Für sichere Aussagen zu Vitalitätsunterschieden zwischen den getesteten Pflanzenarten und damit zur pflanzenspezifischen Schadstofftoleranz sind Wiederholungsmessungen zu verschiedenen Terminen erforderlich.

Die Biomassebildung getesteter Kulturpflanzen ging unter dem Einfluß der Bodenschadstoffe zurück, wobei Weidelgras deutlich mehr Wurzelmasse als Senf und Wicke bildete (Abb. 2). Offensichtlich ist Welsches Weidelgras im Vergleich zu Senf und Wicke für einen Einsatz auf organisch belastetem Sandboden am besten geeignet. Gräser besitzen mit ihrem tiefgehenden, feinen Wurzelsystem gegenüber anderen Vegetationstypen ein ausgeprägtes bioremediatives Potential (Aprill and Sims 1990).

**Die Bestimmung der Bakterienbesiedlung** im Boden und in der Rhizosphäre getesteter Kulturpflanzen erbrachte 1253 Referenzisolate, von denen bislang 224 chemotaxonomisch identifiziert wurden. Erste Ergebnisse verdeutlichen den Einfluß von Bodenschadstoffen auf Abundanzen und Diversität der Bakteriengemeinschaften im Wurzelraum von juvenilem Weidelgras (Abb. 3). So wuchsen die rhizosphärischen Bakterienabundanzen im Schadboden auf mehr als das 10fache des Kontrollbodens an. Die Bakteriengemeinschaft im kontaminierten Graswurzelraum war taxonomisch auch anders strukturiert. Auffällig groß und für einen Abbau

organischer Xenobiotika durchaus relevant waren die nur im Schadboden nachgewiesenen Rhizosphärenpopulationen einiger *Pseudomonas* spp. Pseudomonaden können verschiedenste organische Verbindungen verwerten



**Abb. 1** Vitalität getesteter Kulturpflanzen auf kontaminiertem und unkontaminiertem Sandboden (Gefäßversuch, W. Weidelgrass und W. Senf, 54. Tag, Senfblüte)

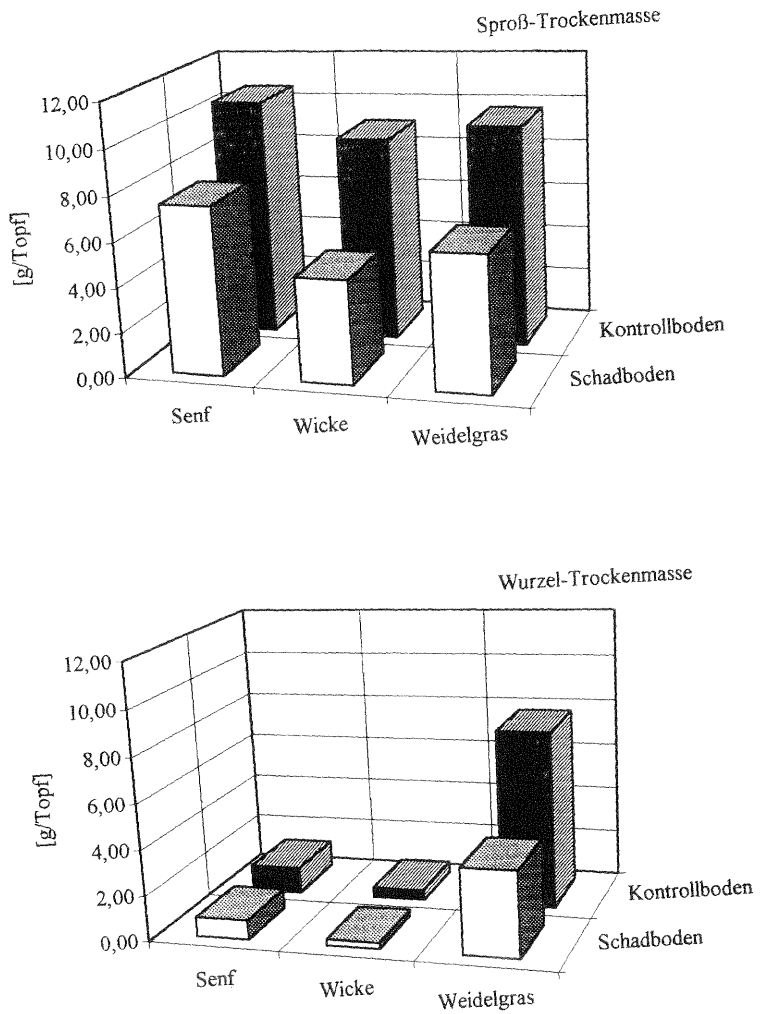
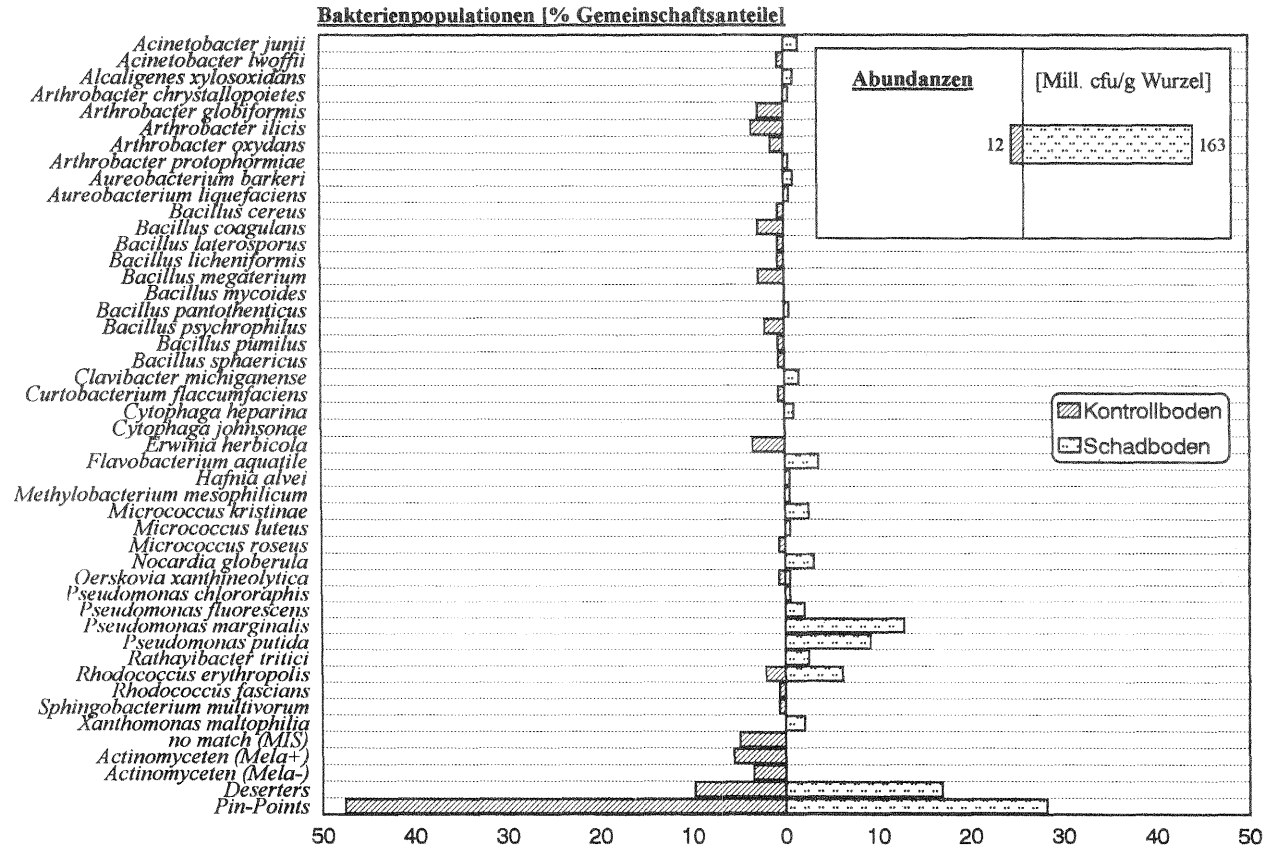


Abb. 2 Biomassebildung getesteter Kulturpflanzen auf kontaminiertem und unkontaminiertem Sandboden (Gefäßversuch, 95. Tag)





**Abb. 3** Abundanzen und Diversitäten aerober Bakteriengemeinschaften in den Rhizosphären getesteter Kulturpflanzen in kontaminiertem und unkontaminiertem Sandboden (Gefäßversuch, Welsches Weidelgras, juvenil, 15. Tag)

(Kloepper 1992), so auch eine Vielzahl höherwertiger PAK (Wilson und Jones 1993, Mueller et al. 1990). Sie bilden oft die dominanten Populationen in organischen Böden (Liste et al. 1994, Liste und Köhn 1994) sowie in der Rhizosphäre (Wilkinson et al. 1994), besitzen eine ausgeprägte Rhizosphärenkompetenz (Kloepper 1992) und sind somit potentielle Kandidaten für eine Inokulation in Verfahren der Phytoremediation organisch kontaminierter Böden. Folglich wird der Testung von isolierten *Pseudomonas* spp. im weiteren Projektverlauf besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

**Die Gehalte an Xenobiotika** im Schadboden wurden im Versuchszeitraum von 95 Tagen deutlich reduziert. Mineralölkohlenwasserstoffe gingen im unbewachsenen Boden auf etwa 31 % und die  $\Sigma$  16 PAK nach US-EPA bis auf 41 % der Ausgangskonzentrationen zurück. Senf und Wicke förderten den Abbau von MKW bis auf 28 % bzw. 27 % der Ausgangsgehalte. Weidelgras war an einer stärkeren Verminderung einiger 4-Ring-PAK beteiligt. Eine generell schnellere Abnahme der aromatischen Bodenschadstoffgehalte unter Vegetation war nicht nachzuweisen. Hierzu bedarf es weiterer Untersuchungen, so zur Inokulation mit degradativen Rhizosphärenbakterien.

#### 4. Zusammenfassung

Die Etablierung neuartiger Verfahren zur biotechnologischen *in situ*-Sanierung von Böden, wie sie die Phytoremediation darstellt, bedarf grundlegender Erkenntnisse zum mikrobiellen Abbau organischer Xenobiotika in der Rhizosphäre. Insbesondere zu Wechselwirkungen zwischen organischen Bodenschadstoffen, Pflanzenwachstum und den Strukturen wurzellosser Bakteriengemeinschaften ist wenig bekannt.

Im untersuchten Boden reagierten Kulturpflanzen und Rhizobakteriengemeinschaften deutlich auf organische Xenobiotika. Die Testpflanzen wurden über die Blühphase hinaus in Vitalität und Wachstum gehemmt. Dabei erwies sich Welsches Weidelgras als eine sehr schadstofftolerante Pflanzenart mit großer Wurzelmasse. Die Bakteriengemeinschaft in der organisch belasteten Rhizosphäre von jungen Graspflanzen wurde zahlenmäßig gefördert und strukturell verändert. Vor allem typische Rhizosphärenbakterien aus der bioremediativ bedeutsamen Gattung *Pseudomonas* waren im kontaminierten Graswurzelraum dominant. Senf und Wicke förderten die Abnahme von MKW, Weidelgras verminderte die Gehalte einiger 4-Ring-PAK. Eine generell stärkere Abnahme der Schadstoffgehalte im durchwurzelteten Boden war nicht nachzuweisen.

#### 5. Schlußfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, daß Welsches Weidelgras grundsätzlich für den biotechnologischen Einsatz auf organisch kontaminiertem Sandboden geeignet ist. Eine phytogene Förderung des Abbaus der organischen Xenobiotika war allerdings nicht sicher. Daher kommt sowohl einem erweiterten Pflanzenscreening unter Einbeziehung remediativer Wildpflanzen als auch einer Pflanzenbeimpfung mit konkurrenzfähigen, potentiell degradativen Rhizobakterien (z. B. *Pseudomonas* spp.) besondere Aufmerksamkeit zu. Ziel ist eine in der Rhizosphäre beschleunigte Biodegradation vor allem von länger-kettigen PAK.

**Danksagung:** Mein Dank gilt insbesondere Herrn Dr. S. Köhn (AG Bakteriologie am Institut für Mikrobiologie der BBA) für die tatkräftige Unterstützung bei den Arbeiten zur Bakterienidentifizierung mittels des Microbial Identification System (MIS).

Die hier vorgestellten Arbeiten sind Teil meines Habilitationsprojektes, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück.

## 5. Literatur

- Alexander, M., Research needs in bioremediation.  
*Environ. Sci. Technol.*, 25, 1972-1973 (1991)
- Anderson, T. A., Guthrie, E. A., und Walton, B. T., Bioremediation in the rhizosphere.  
*Environ. Sci. Technol.*, 27, 2630-2636 (1993)
- Aprill, W., und Sims, R. C., Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil.  
*Chemosphere*, 20, 253-265 (1990)
- Ferro, A. M., Sims, R. C., und Bugbee, B., Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil.  
*J. Environ. Qual.*, 23, 272-279 (1994)
- Hirte, W. F., Glycerin-Pepton-Agar, ein vorteilhafter Nährboden für bodenbakteriologische Arbeiten.  
*Zbl. Bakt. Abt. II*, 114, 141-146 (1961)
- Klopper, J. W., Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as biological control agents.  
 In: *Soil Microbial Ecology* (ed. by F. B. Metting, Jr.), Marcel Dekker Inc., 255-274 (1992)
- Liste, H.-H., Comparative investigations on the microbiology of natural and degraded low marshy soil.  
*Microbiol. Res.*, 149, 85-88 (1994)
- Liste, H.-H., Eschner, D., und Köhn, S., Auswirkungen einer Stilllegung von Niedermoorflächen auf Stoffdynamik, Bodenbiologie und Vegetation.  
*VDLUFA-Schriftenreihe*, 895-898 (1994),
- Martin, J. K., Influence of plant species and plant age on the rhizosphere microflora.  
*Aust. J. Biol. Sci.*, 24, 1143-1150 (1971)
- Mueller, J. G., Chapman, P. J., Blattmann, B. O., und Pritchard, P. H., Isolation and characterization of a fluoranthene utilizing strain of *Pseudomonas paucimobilis*.  
*Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 1079-1086 (1990)
- Rulkens, W. H., Grotenhuis, J. T., und Soczo, E. R., Sanierung von kontaminiertem Boden: Stand der Technik und wünschenswerte Weiterentwicklungen.  
 TNO/BMFT-Kongress, Band II, 1021-1033 (1993)
- Schnoor, J. L., Licht, L. A., McCutcheon, S. C., Lee Wolfe, N., und Carreira, L. H., Phytoremediation of organic and nutrient contaminants.  
*Environ. Sci. Technol.*, 29, 318A-323A (1995)
- Shabad, L. M., Circulation of carcinogenic substances in the environment: From laboratory experiments to field investigations.  
*GANN Monograph on Cancer Research*, 17, 179 (1975)
- Shimp, J. F., Tracy, J. C., Davis, L. C., Lee, E., Huang, W., Erickson, L. E., und Schnoor, J. L., Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials.  
*Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.*, 23, 41-77 (1993)
- Wilkinson, K. G., Sivasithamparam, K., Dixon, K. W., Fahy, P. C., und Bradley, J. K., Identification and characterization of bacteria associated with western Australian

orchids.

Soil. Biol. Biochem., 26, 137-142 (1994)

Wilson, S. C., und Jones, K. C., Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH's): A Review.

Environmental Pollution 81, 229-249 (1993)

Wolverton, B. C., Johnson, A., und Bounds, K., Interior landscape plants for indoor air pollution abatement.

NASA/ALCA Final Report, 1-22 (1989)

Zeyer, J., Biologische Sanierung - Illusionen und Realitäten.

Spektrum der Wissenschaft, 10, 90-92 (1993)

Resümee

U. Henk

Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten

**Bodenschutzgesetzgebung in Sachsen aus der Sicht der Landwirtschaft**

Für den Bodenschutz im Freistaat Sachsen ist das Umweltressort zuständig. Als Vertreter des Sächsischen Landwirtschaftsministeriums werde ich die Bodenschutzgesetzgebung daher ausschließlich aus landwirtschaftlicher Sicht betrachten.

Seit 1991 hat Sachsen ein Bodenschutzgesetz. Es heißt "Erstes Gesetz zur Abfallwirtschaft und zum Bodenschutz im Freistaat Sachsen", kurz EGAB. Welche Erfahrungen hat die Landwirtschaft bislang mit diesem Gesetz gemacht und welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus?

Eine kurze Antwort auf diese Frage möchte ich für 4 Problembereiche geben:

- Altlasten
- Flächeninanspruchnahme durch Baumaßnahmen
- Gebiete mit hoher Bodenbelastung
- Bodenerosion

Der Hauptanwendungsbereich des Gesetzes erstreckt sich bislang auf die Bereiche

- Abfallwirtschaft und
- Altlasten/Altstandorte.

Hier hat sich das Gesetz auch bewährt.

Die umfangreiche und rasch vollzogene **Altlasten-/Altstandorterkundung** hat auch für die Landwirtschaft Sicherheit geschaffen. Für Eigentümer von Grundstücken, auf denen sich Altlasten befinden, enthält das EGAB eine günstige Regelung:

Dem Eigentümer können zwar Maßnahmen zur Sicherung, Sanierung, Untersuchung usw. auferlegt werden, von dieser Inanspruchnahme kann der Eigentümer jedoch freigestellt werden, wenn die folgenden 2 Voraussetzungen vorliegen:

1. Die Bodenbelastung muß vor dem 1. Juli 1990 entstanden sein, zu einem Zeitpunkt, zu dem er keine tatsächliche Gewalt über sein Grundstück hatte und
2. die Durchführung der Maßnahme muß für ihn unzumutbar sein.

Die Regelung konnte im Einzelfall auch Eigentümern land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen zugute kommen. Auch in einem zukünftigen BBodSchG sollten Grundstückseigentümer, die nicht Verursacher von Bodenbelastungen sind, weitgehend von einer Inanspruchnahme freigestellt werden.

Ein wichtiges Bodenschutzproblem ist die **Flächeninanspruchnahmen durch Baumaßnahmen**. Das EGAB enthält hierzu eine Grundsatzbestimmung. Danach sind Land und Kommunen zur Berücksichtigung der Ziele und Grundsätze des Bodenschutzes bei Planungen und Baumaßnahmen verpflichtet. Darauf wirken auch die Bodenschutzbehörden im Rahmen ihrer Beteiligung in der Bauleitplanung hin. Weitergehende rechtliche Möglichkeiten bestehen für sie nicht. Die Grundsätze des Bodenschutzes nach EGAB sind auch im sächsischen Landesentwicklungsplan verankert. Darin wird auch landwirtschaftlichen Nutzungsinteressen Rechnung getragen. Ausgewählte Flächen mit landwirtschaftlich wertvollen Böden sollen in den Regionalplänen als Vorbehaltsgebiete für die Landwirtschaft ausgewiesen werden. Bei der Abwägung mit konkurrierenden Nutzungsansprüchen werden damit die landwirtschaftlichen Belange gestärkt.

Haben nun die Verpflichtungen nach EGAB und Landesentwicklungsplan tatsächlich den Bodenschutz stärker in das Blickfeld der Planungsträger gerückt? Wäre der Flächenverlust durch Baumaßnahmen ohne diese Verpflichtungen noch höher gewesen? Zur Beantwortung wären gezielte Untersuchungen notwendig, die jedoch nicht vorliegen. Unabhängig davon betrachten wir jedoch die derzeitige umfangreiche Flächeninanspruchnahme durch Baumaßnahmen mit Sorge. Das sächsische Umweltministerium schätzt, daß davon z. Z. jährlich ca. 0,2 % der sächsischen Landesfläche betroffen sind. Das wären 3 680 ha oder 36,8 km<sup>2</sup>. Der größte Anteil davon entfällt auf landwirtschaftlich genutzte Flächen, z. T. hochwertige Böden. Durch die vorrangige Nutzung vorhandener Flächen im Innenbereich (Baulückenschließung) der Städte und Gemeinden muß die Flächeninanspruchnahme zukünftig stark vermindert werden. Ungeklärte Eigentumsverhältnisse standen bisher der Nutzung dieser Möglichkeit jedoch vielerorts entgegen, so daß "Bauen auf der grünen Wiese" stattfand. In der Bauleitplanung

müssen zukünftig die Belange des Bodenschutzes ein stärkeres Gewicht bekommen. Hierauf richten sich vor allem die Erwartungen an das künftige BBodSchG. Zur Verminderung des Flächenverbrauches wurden in letzter Zeit einige interessante Vorschläge unterbreitet, die über den vorgesehenen Artikel 7 des EBBodSchG hinausgehen. Diese Vorschläge sollten geprüft werden.

Das EGAB stellt ein weitreichendes rechtliches Instrumentarium für die Umsetzung eines vorsorgenden Bodenschutzes zur Verfügung. Davon wurde bislang aber wenig Gebrauch gemacht. Daher sind rechtliche Konsequenzen für sächsische Landwirte aufgrund des EGAB nach meinem Kenntnisstand bislang nicht entstanden.

So wurden in Sachsen bislang noch keine **Bodenbelastungsgebiete** durch RVO für Flächen festgelegt, auf denen erhebliche Bodenbelastungen festgestellt werden. In der RVO können Verbote, Beschränkungen und Schutzmaßnahmen bestimmt werden, auch für die Land- und Forstwirtschaft.

Bodenbelastungsgebiete können zum Schutz und zur Sanierung des Bodens oder aus Gründen der Vorsorge für die menschliche Gesundheit oder zur Vorsorge gegen erhebliche Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes festgelegt werden. Diese Möglichkeit wird nun erstmals für zwei kleine Gebiete in Sachsen geprüft, jedoch sind bislang keine Verpflichtungen für die Landwirtschaft vorgesehen.

In einem ca. 700 ha großen Gebiet in der Nähe von Freiberg liegt eine sehr hohe geogen und anthropogen bedingte Schwermetallbelastung vor. Von Seiten der Agrarverwaltung wurden Untersuchungen durchgeführt sowie Kalkungsmaßnahmen und der Anbau nachwachsender Rohstoffe empfohlen.

Um landwirtschaftlich genutzte Flächen langfristig aus der Nahrungs- und Futterpflanzenproduktion auszuschließen, versucht der Freistaat Sachsen hier, diese Flächen im Rahmen eines Flurneuordnungsverfahrens zu erwerben.

Nach intensiven Beratungen mit allen Beteiligten wurde diese Vorgehensweise beschlossen. Eine weitere Prüfung der sich aus dem EGAB ergebenden Möglichkeiten wurde zunächst zurückgestellt. Aus der Festsetzung eines Bodenbelastungsgebietes und der Beschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung ergeben sich eine Reihe rechtlicher Probleme bis hin zur Frage der Entschädigung.

Das gravierendste, von der Landwirtschaft verursachte Bodenschutzproblem in Sachsen ist die **Bodenerosion**. Ca. 1/3 der sächsischen Ackerfläche gilt als stark erosionsgefährdet. Fast in jedem Jahr treten gebietsweise z. T. starke Schäden auf. In manchen Gebieten wiederholen sich diese Schäden häufig. Im Sinne des EGAB könnte hier durchaus die Besorgnis einer Bodenbelastung bestehen, so daß die Bodenschutzbehörde Maßnahmen zum Schutz des Bodens anordnen könnte. Das EGAB enthält jedoch eine Spezialregelung für die Landwirtschaft. Keine Bodenbelastung liegt nämlich vor, wenn Veränderungen der Beschaffenheit des Bodens im Zusammenhang mit einer

nachgewiesenen ordnungsgemäßen Land- und Forstwirtschaft entstehen. Soweit mir bekannt ist, wurde dieser Nachweis bislang von keinem Landwirt in Sachsen verlangt.

Ordnungsrechtliche Maßnahmen auf der Grundlage des EGAB werden bislang nicht angewendet. Hierbei bereitet den zuständigen Bodenschutzbehörden auch die Ausfüllung des Beurteilungsspielraumes, der sich aus den unbestimmten Rechtsbegriffen "Bodenbelastung" und "ordnungsgemäße Landwirtschaft" im Hinblick auf den Erosionsschutz ergibt, große Schwierigkeiten.

Stattdessen wurden in Gebieten mit besonders starken Erosionsschäden von den für den Bodenschutz zuständigen Behörden in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Landwirtschaft und den Landwirten kooperative Lösungen gesucht. Von der Landwirtschaft und von der Agrarverwaltung wird das sehr begrüßt. Mit Hilfe von Modellsimulationen werden verschiedene Gegenmaßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet.

Maßnahmen zum Bodenschutz in der Landwirtschaft werden in Sachsen somit ausschließlich durch Beratung und Förderprogramme umgesetzt. Diese Instrumente halten wird für effektiver als ordnungsrechtliche Maßnahmen. Bodenschutz stellt mittlerweile einen Schwerpunkt in der Beratung dar und ist eines der Hauptziele des Sächsischen Förderprogramms "Umweltgerechte Landwirtschaft". Hier werden den sächsischen Landwirten insbesondere die folgenden bodenschonenden Fördermaßnahmen angeboten:

- Anbau von Zwischenfrüchten (Umbruch nicht vor dem 10. Februar des Folgejahres)  
Förderhöhe: 130 DM/ha
- Begrünung der Flächen von Rotationsbrache im Rahmen der konjunkturellen Stilllegung (Umbruch frühestens 4 Wochen vor Wiederbestellung)  
Förderhöhe: 130 DM/ha
- Untersaaten (Umbruch nicht vor dem 10. Februar des Folgejahres)  
Förderhöhe: 80 DM/ha
- Untersaaten in Mais (Umbruch vor nachfolgender Winterfrucht möglich)  
Förderhöhe: 80 DM/ha
- Mulchsaat im Herbst  
Förderhöhe: 50 DM/ha
- Mulchsaaten im Frühjahr  
Förderhöhe: 50 DM/ha
- Umwandlung von Acker in Grünland  
Förderhöhe: 480 - 720 DM/ha

Umfangreiche Beregnungsversuche in Sachsen zur Validierung des Computerprogramms EROSION 2 D von J. SCHMIDT bestätigen, daß eine pfluglose Bodenbearbeitung in Verbindung mit Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat die effektivste Maßnahme zur Minimierung der Bodenerosion ist. Dieses Verfahren war in Sachsen bislang ungebräuchlich. Es stellt hohe fachliche Anforderungen an den Bewirtschafter. Vor einer großflächig erfolgreichen Anwendung sind Erfahrungen und Experimente auf Teilflächen erforderlich, außerdem Investitionen. Konservierende Bodenbearbeitung in Verbindung mit Mulchsaat kann nicht von heute auf morgen angeordnet werden.

Innerhalb von 1 Jahr ist der Anwendungsumfang der bodenschonenden Maßnahmen jedoch um über 40 000 Hektar gestiegen, von 6 899 ha auf 47 283 ha. In dieser Hinsicht ist eine erfreuliche Aufbruchstimmung unter den sächsischen Landwirten festzustellen. Die günstige Betriebsstruktur, der hohe Ausbildungsstand, die Neugier und Experimentierbereitschaft sowie die Förderung durch

das Programm "UL" sind die Ursache für die rapide Zunahme des Anwendungsumfanges. Da bei den sächsischen Betriebs- und Flächenstrukturen Kosteneinsparungen bei Beherrschung des Verfahrens möglich sind, gehört der konservierenden Bodenbearbeitung die Zukunft. Wir sind überzeugt, daß bodenschonende Bewirtschaftungsverfahren in wenigen Jahre in Sachsen zum Standard der ausgeübten Bewirtschaftung werden können. Damit verbunden sind positive Effekte auf die Bodenstruktur und die Verminderung des Nitratauswaschungspotentials nach Ende der Vegetationszeit.

Wir begrüßen, daß in dem jüngsten Entwurf des BBodSchG die Umsetzung eines vorsorgenden Bodenschutzes in der Landwirtschaft durch Beratung und nicht mit Hilfe des Ordnungsrechts umgesetzt werden soll.



R. Schultz

Ministerium Ländlicher Raum, Baden-Württemberg, Referat 28, Stuttgart

## **Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg**

### 1. Rechtsgrundlage

Baden-Württemberg hat als erstes deutsches Bundesland ein eigenständiges Bodenschutzgesetz erlassen - das „Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz-BodSchG)“ vom 24.06.1991. Das Gesetz ist am 01.09.1991 in Kraft getreten.

### 2. Zweck des Gesetzes

Das Bodenschutzgesetz verfolgt **verschiedene Ziele**:

- Böden erhalten,
- Böden vor Belastungen schützen,
- eingetretene Belastungen (Schäden, Stürme) beseitigen,
- Auswirkungen von Belastungen auf den Menschen und die Umwelt verhindern oder vermindern.

Dabei erfolgt der Bodenschutz nicht um seiner selbst willen, sondern als Naturkörper und Lebensgrundlage für Menschen und Tiere mit den **verschiedenen Funktionen**:

- Lebensraum für Bodenorganismen,
- Standort für die natürliche Vegetation
- Standort für Kulturpflanzen,
- Ausgleichskörper im Wasserkreislauf,
- Filter und Puffer für Schadstoffe,
- landschaftsgeschichtliche Urkunde.

### 3. Zuständigkeiten für den Vollzug

Entsprechend der Verwaltungsstruktur in Baden-Württemberg gibt es eine dreistufige Zuständigkeit der **Behörden**:

Oberste Bodenschutzbehörden

- Umweltministerium  
(grundsätzlich und für den immissionsbezogenen Bodenschutz),
- Ministerium Ländlicher Raum  
(für den produktionsbezogenen Bodenschutz),

Höhere (Obere) Bodenschutzbehörden

- Regierungspräsidien

Unsere Bodenschutzbehörden

- Landratsämter
- Bürgermeisterämter der Stadtkreise.

Daneben gibt es **technische Fachbehörden** für bestimmte Bereiche des produktionsbezogenen Bodenschutzes:

- Ämter für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur
- Forstämter.

Die früheren Ämter für Wasserwirtschaft und Bodenschutz waren ebenfalls technische Fachbehörden, sie wurden jedoch im Rahmen der Verwaltungsreform den Landratsämtern zugeordnet.

#### 4. Regelungsbereiche

Die Regelungsbereiche des Bodenschutzgesetzes ergeben sich aus den 6 Abschnitten:

- Allgemeine Bestimmungen (§§ 1 bis 7),
- Bodenüberwachung, Maßnahmen gegen Bodenbelastungen (§§ 8 bis 10),
- Land- und forstwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung (§§ 11 und 12),
- Bodenbelastungsgebiete (§§ 13 und 14),
- Erfassung und Überwachung der Bodenbeschaffenheit (§§ 15 bis 18),
- Zuständigkeit, Ordnungswidrigkeiten, Schlußbestimmungen (§§ 19 bis 24).

Entsprechend der obengenannten Zielsetzung kann zwischen Vorsorge und Gefahrenabwehr unterschieden werden.

#### 5. Vorsorgeregelungen

- Der Boden wird zum Schutzobjekt erklärt,
- es gilt der Besorgnisgrundsatz
- Behörden und Körperschaften des öffentlichen Rechts werden verpflichtet,
- Bodenbelastungsgebiete können festgesetzt werden,
- immissionsschutzrechtliche Anordnungen können getroffen werden,
- die Bodenschutzbehörden werden bei entsprechenden Planungen oder Gestattungsverfahren beteiligt,
- die Beschaffenheit des Bodens wird durch ein Bodeninformationssystem erfaßt und überwacht.

#### 6. Gefahrenabwehrregelungen

- Die Bodenschutzbehörden sind zur Abwehr ermächtigt,
- den Bodenschutzbehörden steht ein Maßnahmenkatalog zum Schutz und zur Sanierung des Bodens zur Verfügung:
- Untersuchungen,
- Sanierungsplan (Beseitigung oder Verminderung von Bodenbelastungen),
- Nutzungsverbote bzw. -beschränkungen,
- Verbot oder Beschränkung des Einsatzes bestimmter Stoffe,
- Rekultivierungsmaßnahmen,
- Überwachung (sofern die Beseitigung nicht möglich oder unzumutbar ist).

Verpflichtet sind der Verursacher (Handlungstäter), der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück (Duldung von Anordnungen/Übernahme von Kosten).

#### 7. Landwirtschaft

Bei der Landbewirtschaftung sind die

- Bodenfruchtbarkeit und die
- Leistungsfähigkeit des Bodens

durch standortgerechte Bewirtschaftungsmaßnahmen nachhaltig zu sichern.

Besonders angesprochen sind:

- die günstige Beeinflussung der Bodenstruktur,
- die Schonung des Bodenlebens,
- die Vermeidung der Bodenerosion,
- die Vermeidung von Bodenverdichtungen.

Zur Erfüllung der Anforderungen kann die Bodenschutzbehörde im Einvernehmen mit der technischen Fachbehörde Maßnahmen anordnen.

#### 8. Forstwirtschaft

Es gelten die Vorschriften des Landeswaldgesetzes.

#### 9. Untergesetzliche Regelungen

Das Bodenschutzgesetz ermächtigt zum Erlaß von Verwaltungsvorschriften. Derzeit liegen vor:

- Erste Verwaltungsvorschrift über die Einrichtung einer Bodenschutzkommission vom 04.12.1991,
- Zweite Verwaltungsvorschrift über die Probenahme und -aufbereitung vom 24.08.1993,
- Dritte Verwaltungsvorschrift über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden.

Verwaltungsvorschriften betreffend die organischen Schadstoffe und betreffend die landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung sind in Arbeit.

#### 10. Bisherige Erfahrungen

- Die Sensibilität für den Bodenschutz wurde erhöht. Dadurch hat die Beratung einen größeren Effekt,
- Die Bodenschutzbehörden werden in Planungen unterrichtet und angehört sowie bei einschlägigen Gestattungsverfahren regelmäßig beteiligt,
- Anordnungen zur Gefahrenabwehr aus Bodenbelastungen wurden erlassen (auf der Grundlage der untergesetzlichen Regelungen),
- Erfahrungen mit der Durchsetzung standortgerechter Bewirtschaftungsmaßnahmen im Wege der Anordnung bestehen noch nicht.

F. Klingauf und G. Bartels

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig

### Zusammenfassung

#### **Pflanzenschutzkolloquium "Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion" am 13./14.11.1995 in der BBA**

Verstärkte Umweltbelastungen durch intensive industrielle, städtische und landwirtschaftliche Landnutzung erfordern Strategien, um die natürlichen Ressourcen für die Nahrungsmittelproduktion und Trinkwasserversorgung zu schützen. Dem Schutz des Bodens als zentralem Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen kommt somit eine wichtige Bedeutung zu. Da das Schutzgut Boden nicht vermehrbar ist, sich kaum erneuert und nur über eine begrenzte Belastbarkeit verfügt, sind die Gefahren, die sich aus einer mittel- und langfristigen Anreicherung umweltgefährdender Stoffe im Boden ergeben, umso größer. Eine Überforderung der ökologischen Leistungsfähigkeit würde gleichzeitig eine Einschränkung seiner Nutzungsfähigkeiten, bis hin zur Aufgabe des Bodens als Standort z.B. für den Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln sowie zur nachhaltigen Verminderung der Ertragsfähigkeit und Bodenfruchtbarkeit bedeuten.

Angesichts dieser zunehmenden Bedeutung des Bodenschutzes und der Diskussion zum geplanten Bundes-Bodenschutzgesetz wurde am 13. und 14. November 1995 ein Pflanzenschutzkolloquium zum Thema "Strategien zum Bodenschutz in der pflanzlichen Produktion" in der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig durchgeführt.

Schwerpunkte der Veranstaltung waren:

- Bodenschutzgesetzgebung
- Belastungen und Auswirkungen von Schadstoffen und Pflanzenschutzmitteln im Boden
- Auswirkungen von Bodennutzungssystemen auf den Boden und Methoden zur Schonung des Bodens
- Bewertungsverfahren für den Bodenschutz
- Sanierung schadstoffbelasteter Böden.

Die Bedeutung der Landwirtschaft für den Bodenschutz wird bereits in der großflächigen Nutzung deutlich, wonach in den alten Bundesländern ca. 54 % der Fläche und in den neuen Bundesländern rund 57 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt werden.

Folgen einer nicht umweltverträglichen Landwirtschaft zeigen sich aktuell in den neuen Ländern durch eine zunehmende Bodenverdichtung, durch eine Zerstörung der natürlichen Strukturen, durch die Verringerung der Bodenfruchtbarkeit und letztlich durch die großflächige Erosion und Anreicherung der Böden mit Mineral- und Schadstoffen.

Zahlreiche Beiträge dokumentierten außerdem, daß sich die Art der landwirtschaftlichen Bodennutzung maßgeblich auf die Erhaltung der Bodenfunktionen auswirkt. Bei künftigen Anstrengungen zum Schutz des Bodens ist es auch unter dem Aspekt des Pflanzenschutzes zur Erfüllung der Vorsorgepflicht erforderlich, die landwirtschaftliche Bodennutzung standortgemäß (Boden, Klima, Bodenneigung sind als Standortfaktoren zu berücksichtigen) nach guter fachlicher Praxis umzusetzen.

Diese Forderung beinhaltet, daß Pflanzenschutzmittel unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte bestimmungsgemäß und sachgerecht nach den Kriterien des

integrierten Pflanzenschutzes anzuwenden sind. Bodenabträge, Bodenverdichtungen und eine Verminderung des Humusgehaltes sind zu vermeiden und die biologische Aktivität des Bodens ist zu erhalten oder zu fördern.

Aufgrund der Funktionen, der Nutzung und der Gefährdung des Bodens muß ein Bodenschutzrecht vorsorgeorientiert sein und langfristig den Schutz des Bodens gewährleisten. Beide Aspekte sind bereits in der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung aus dem Jahre 1985 zur umfassenden Sicherung des Bodens berücksichtigt worden. Bisher fehlen aber Rechtsvorschriften, die vornehmlich den Schutz des Bodens vor Stoffeintrag und Verbrauch zum Gegenstand haben. Das geltende Recht enthält jedoch schon eine Vielzahl von bodenschutzrelevanten Regelungen (z.B. Umweltrecht, Abfallrecht, Bundes-Immissionsschutzgesetz, Pflanzenschutzgesetz), die vom Anwender beachtet werden müssen.

Darüber hinaus sind die im Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht wie auch in der Klärschlammverordnung geregelten Anforderungen in Bezug auf stoffliche Einträge vorrangig zu beachten und Vorschriften des Abfallgesetzes über das Ausbringen von Jauche, Gülle und Stallmist einzuhalten.

Hinsichtlich der pflanzlichen Produktion auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes hat die BBA gemäß dem Gesetz zum Schutz von Kulturpflanzen (PflSchG vom 15.09.1986) Verantwortlichkeiten in Fragen des Bodenschutzes wahrgenommen. Die Berücksichtigung des Bodenschutzes wird vor allem in ihrem Aufgabenbereich im Rahmen der Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln umgesetzt - dies wird auch zukünftig bezüglich der europaweiten Harmonisierung gemäß der Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (91/414/EWG) zutreffen. So fließen beispielsweise Prüfungen und Untersuchungen über den Eintrag, das Verhalten und den Verbleib (Persistenz) und über die Auswirkungen auf Bodenmakro- und Bodenmikroorganismen in die Bewertung ein.

Angesichts des derzeit auf Bundesebene im Status eines Referentenentwurfs diskutierten Bundesbodenschutzgesetzes werden in den Bundesländern gegenwärtig entsprechende Gesetzesinitiativen vorbereitet oder sind bereits eingeleitet worden. In den Ländern Baden-Württemberg und Sachsen sind Länderregelungen zum Bodenschutz bereits verabschiedet.

Erfahrungen bei der Umsetzung verdeutlichen, daß die Hauptanwendungsbereiche der oben genannten Bodenschutzgesetze sich derzeit auf die Bereiche Altlasten und Abfallwirtschaft erstrecken, während die Belange des Bodenschutzes in der Landwirtschaft bereits weitgehend in anderen Regelwerken berücksichtigt worden sind (z.B. Pflanzenschutzgesetz, Trinkwasserverordnung, Gülleverordnung, Klärschlammverordnung). Weder in Sachsen noch in Baden-Württemberg sind so bisher standortgerechte Bewirtschaftungen durch ordnungsrechtliche Maßnahmen durchgesetzt worden. Vielmehr werden kooperative Lösungen gesucht und Maßnahmen zum Bodenschutz ausschließlich durch Beratung und Förderprogramme erfolversprechend umgesetzt. In Sachsen konnte beispielsweise mittels des Förderprogramms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ (Anbau von Zwischenfrüchten, Begrünung der Flächen von Rotationsbrache, Untersaaten, Mulchsaaten u.a.) ein Anstieg des Anwendungsumfangs von bodenschonenden Maßnahmen von ca. 7.000 auf 40.000 ha erzielt werden.

## Summary

### **Plant Protection Colloquium „Strategies for soil protection in agronomy“ Nov., 13./14. 1995 at the Federal Biological Research Center for Forestry and Agriculture, Braunschweig**

Increasing environmental pollution caused by intensive industrial, urban and agricultural land use requires strategies to protect the natural resources for crop production and drinking water supply. As soil is an essential part of natural balance and life basis of men, animals and plants, its protection is of immense importance. Since the protective good soil is not reproducible, scarcely is renewed, and its endurance is limited, the risks arising from medium- and long-term enrichment of environmental hazardous substances in the soil are all the higher. Overcharge of ecological capacity would mean reduction of usability at the same time, to the giving up of the soil as a location for food stuff and forage production as well as to a lasting decrease of yield and soil fertility.

In view of this growing importance of soil protection and the discussion about the projected *Bundes-Bodenschutzgesetz* a Plant Protection Colloquium was held from 13-14 November 1995 on the subject „Strategies for soil protection in agronomy“ at the Federal Biological Research Center in Braunschweig.

Focal points of this meeting were:

- Soil protection legislation
- Impacts and effects of pollutants and pesticides in soil
- Effects of soil utilization systems on soil and methods of soil preservation
- Valuation methods in soil protection
- Redevelopment of pollutant loaded soils.

The importance of agriculture on soil protection already is obvious in regard to large-area use, whereupon in the 'Old Länder' (former Federal Republic of Germany) about 54% of area and in the 'New Länder' (former German Democratic Republic) about 57% is agricultural area.

Results of an environmentally not compatible agriculture in the 'New Länder' currently show by an increasing soil compaction, devastation of natural soil structures, decrease of soil fertility, and, finally, by large-area erosion and enrichment of soils with mineral substances and pollutants.

In addition, numerous contributions demonstrate that the soil utilization system is substantial for conservation of soil functions. Regarding future efforts in soil protection it is necessary to turn agricultural soil utilization compatible to the location (soil, climate, gradient have to be taken into account as habitat factors) into practice, also under plant protection aspects due to precautionary principles (Good Agricultural Practice).

This request implies that pesticides have to be applied properly as licensed and under economical and ecological aspects as directed and due to criteria of integrated plant protection (IPM). Soil erosions, soil compactions, and decrease of humus content must be avoided, and biological soil activity must be preserved or advanced.

On account of functions, use and endangering of the soil, soil protection legislation has to be precaution-orientated and ensure long-term soil protection. Both aspects already have been taken into consideration in the soil protection programme of the Federal Government of 1985 for comprehensive soil protection. But up to now regulations are wanted especially treating protection of soil against input of substances and landscape consumption. However, law in force already implies a variety of regulation relevant for soil protection (e. g. environmental

law, waste legislation, Federal Ambient Pollution Control Act, plant protection act) which have to be paid attention to in application.

In addition, the requests directed in the law of fertilizers and in the plant protection law as well as those of ordinance of sewage sludge have to be observed with priority regarding input of chemicals, and waste act rules concerning spread of liquid manure, semi-liquid manure and stable manure have to be followed.

Concerning plant production on the field of plant protection, the BBA according to the plant protection act (PflSchG of Sept. 15, 1986) has taken upon responsibility for soil protection questions. In its field, consideration of soil protection especially is realized in the frame of examination and registration of pesticides - this will also apply in the future with regard to european harmonization due to the guideline of the Council of July 15, 1991 on the release of pesticides (91/414/EEG). Tests and studies f. i. on the input, behaviour and persistence of soil macro- and micro-organisms (edaphon) pass into the valuation.

In view of the federal soil protection law currently discussed on a federal level at the status of a *Referententwurf* the 'Länder' at present are preparing equivalent initiatives or already have started them. In Baden-Wurttemberg and Saxony laws of the Federal Land already have passed.

Experiences with their realization illustrate that the main range of application of the above mentioned soil protection laws at present refer to the subjects existing waste deposit and waste management, whereas concerns of soil protection already are largely considered in other regulations (e.g., plant protection act, ordinances on drinking water, slurry and sewage sludge). Thus neither in Saxony nor in Baden-Wurttemberg cultivation compatible to the location has been brought about by disciplinary measures so far. On the contrary, co-operative solutions are searched for and soil protection measures are realized effectively by advisory and support programmes only. In Saxony f. i. an increase of the application rate of soil protecting measures from about 7.000 to 40.000 ha was achieved by the support program „Environmentally Compatible Agriculture“ (e.g., intercropping, planting of fallow land, underseed, mulch seed).