

Aus der Bezirks-Hygieneinspektion und -institut Leipzig,  
Fachgebiet Bodenhygiene  
(Ärztlicher Direktor: OMR Dr. med. R. Ezold)

## **Umwelthygienische Aspekte des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (PSM)**

Von **Sigrid Arendt-Peter** und **J. G. Tauchnitz**  
Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen  
(Eingegangen am 28. Mai 1987)

### **1. Einleitung**

In den letzten 30-40 Jahren ist durch Eingriffe des Menschen unsere Umwelt sehr stark verändert worden. So große Veränderungen in einem solch kurzen Zeitraum hat es zuvor noch nie gegeben.

Durch Anbau von Monokulturen auf Riesenflächen werden Schädlingen ideale Entwicklungs- und Verbreitungsmöglichkeiten geboten. So ist durch die Intensivierung der Landwirtschaft die Gefahr wesentlich gestiegen, daß ganze Ernten durch Befall mit Schädlingen und Pathogenen vernichtet werden.

Eng verbunden mit dieser Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft ist die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Den Pflanzenschutzmitteln wird ein wesentlicher Anteil an der Erhöhung und Sicherung der Ernteerträge zugeschrieben. Auch wird durch ihre Anwendung viel menschliche Arbeitskraft eingespart.

Trotz der großen Erfolge und Leistungen der Landwirtschaft sind die damit verbundenen Nebenwirkungen für die Biosphäre nicht zu übersehen. Mit diesen in der Abbildung 1 dargestellten Nebenwirkungen, die eine enorme umwelthygienisch-ökotoxikologische Bedeutung haben, wollen wir uns auseinandersetzen.

#### **1.1. Allgemeines**

Seit der Anwendung chemischer Mittel im Pflanzenschutz hat sich in der DDR die Anzahl der staatlich zugelassenen Wirkstoffe ständig erhöht.

Das Pflanzenschutzmittelverzeichnis von 1960 umfaßte Präparate auf der Basis von etwa 55 Wirkstoffen (AdL 1960), das von 1972/73 von etwa 100 Wirkstoffen (AdL 1972/73). Im Verzeichnis von 1984/85 werden bereits mehr als 200 Wirkstoffe aufgeführt (AdL 1984/85). Im Weltmaßstab werden etwa 1000 Wirkstoffe angewandt (Beitz et al. 1982).

Aber auch die Bodenflächen, die mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden, nehmen ständig zu. Ebenso erhöhten sich die Kosten für den Pflanzenschutz.

Zu den in der Tabelle 1 ausgewiesenen Mittelkosten sind die Kosten für die Ausbringung in Höhe von 10 bis 20 M/ha und die übrigen Kosten für den Schutz der Kultur- und Nutzpflanzen hinzuzurechnen.

Der Behandlungsumfang ist in den einzelnen Kulturen sehr unterschiedlich. 1980 wurde folgende Anzahl der Behandlungen in der DDR durchgeführt (nach Beitz et al. 1982):

Getreide	2,3	Gemüse	3,0
Ölfrüchte	4,0	Obst	12,0
Zuckerrüben	4,1	(In Italien sind 30 Spritzungen im Jahr in den Obstkulturen keine Seltenheit)	
Kartoffeln	6,8		
Futterkulturen	0,5		

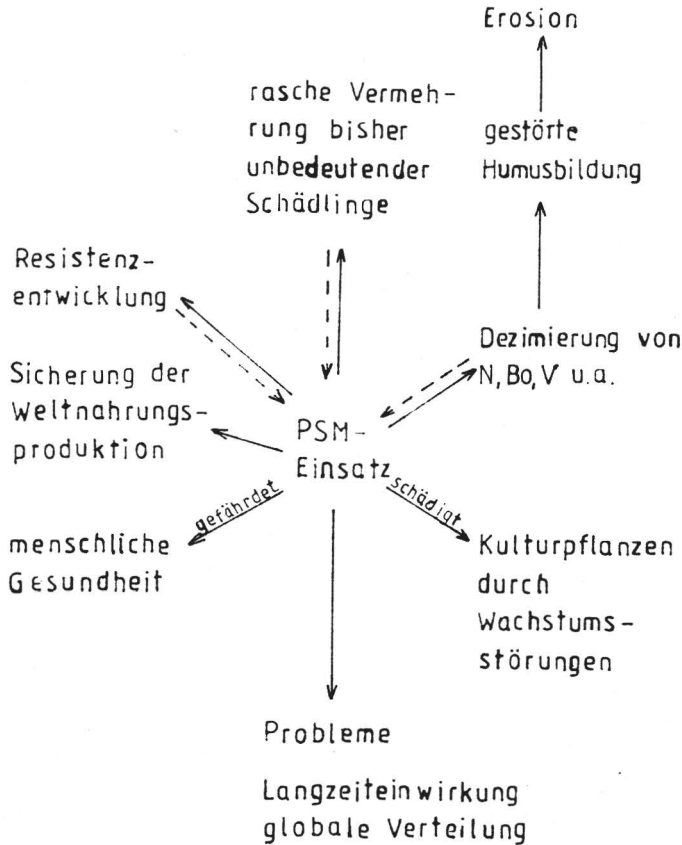


Abb. 1. Nebenwirkungen von PSM (Schema nach Stürmer 1984, geändert).  
 N – Nützlinge, Bo – Bodenorganismen, V – Vögel  
 ----- Prozeß zwingt zu verstärktem PSM-Einsatz

Tabelle 1. Aufwandsmengen im Pflanzenschutz in der DDR (nach Seidel 1982)

Jahr	Behandlungsumfang Tha <sup>1</sup>	Mittelkosten <sup>2</sup>
1967	4 370	15,3
1970	6 290	23,4
1972	7 385	30,6
1975	9 320	50,7
1980	10 000	69,0

<sup>1</sup> Ohne Saatgutbehandlung (Beizung, Inkrustierung usw.)

<sup>2</sup> Für PSM und MBP

Zahlreiche chemische PSM enthalten zwei oder mehrere Wirkstoffe. Es sind Kombinationsmittel. Diese haben ein besonders breites Wirkungsspektrum.

Nur ein Teil der ausgebrachten Wirkstoffe (1 % - 5 %) erreicht tatsächlich die Zielorganismen (Spaer und Lyr 1984). Der Rest gelangt in die Umwelt.

Besonders bei der aviochemischen Ausbringung der PSM ist die Gefahr, daß die Umgebung unbeabsichtigt mitbehandelt wird, sehr groß (Grahl et al. 1981). Kleingärten, ja ganze Siedlungen, stehende und fließende Gewässer können auf diese Weise mit PSM kontaminiert werden. Ein Abstand von 50 m zu schutzwürdigen Objekten (Siedlungshäuser) beim Versprühen von PSM erscheint uns zu gering (AdL 1984/85).

## 2. Ökotoxikologische Probleme des PSM-Einsatzes

### 2.1. Nebenwirkung des PSM auf Pflanzen und Tiere

Die Herbizide hemmen die Photosynthese und die Keimung. Auch stören sie das Atmungssystem und das Wachstum von Pflanzen.

Die Fungizide wirken auf den Eiweißstoffwechsel und auf die allgemeinen Zellfunktionen der pilzlichen Erreger ein. Die Insektizide greifen das periphere bzw. zentrale Nervensystem an. Das Resultat sind schwere Störungen, die zum Tode beim Insekt führen.

Bei den Insektiziden spielen drei Hauptklassen eine Rolle, so die organischen Phosphorverbindungen, die Carbamate und die chlorierten Kohlenwasserstoffe. Eine neue Entwicklung von PSM sind die synthetischen Pyrethroide. Diese kommen auch in der Natur vor.

Organische Phosphorverbindungen haben eine hohe, akute Toxizität für Säugtiere und Insekten. Diese Verbindungen sind nicht sehr persistent in der Umwelt. Dies wirft folgendes Problem auf. Es kann passieren, daß sie ihre Wirkung bereits verloren haben, ehe sie die Zielorganismen erreichen.

Die problematischsten PSM sind die chlorierten Kohlenwasserstoffe, da sie eine sehr lange Persistenz in der Umwelt haben. Chlorierte Kohlenwasserstoffe sind heute überall nachweisbar. Jahrzehntelang wurde das Insektizid DDT weltweit angewandt. Aber erst nach der Entwicklung empfindlicher Nachweismethoden, konnte festgestellt werden, daß dieser persistente Chlor-Kohlenwasserstoff ubiquitär auf der Welt verbreitet ist. Selbst dort, wo niemals DDT eingesetzt worden war, ist es noch nachweisbar, z. B. in den Geweben der Pinguine und anderer Vögel der Antarktis (Rohweder 1981, 1982).

Bereits durch geringe Mengen DDT können nützliche Organismen geschädigt werden. Für Krabben und Garnelen wirken 0,001 ppm DDT, für Regenbogenforellen 0,04 ppm DDT tödlich. Ab 0,015 ppm verlieren junge Atlantiklaxse die Orientierung im Wasser (Lötsch 1980).

Aber auch andere PSM können schon in niedrigen Dosen schädigend wirken.

Kulshresta und Jauhar (1986) wiesen nach, daß so geringe Konzentrationen wie 10 ppm Sevin (Carbaryl) und 0,00075 ppm Thiodan (Endosulfan) nach 30tägiger Einwirkungsdauer das Fischgehirn und dessen Funktion angreifen.

Herbizide und Fungizide können die Kulturpflanzen so stark beeinträchtigen, daß sie für Pflanzenkrankheiten und Schädlingsbefall anfälliger werden. So kann es z. B. durch Herbizide zu einem verstärkten Befall der Kulturpflanzen mit Pilzen kommen (Beulenbrand am Mais, Mehлтаubefall am Getreide) (Großmann und Pfister 1979, Heitefuss 1970). In mehltauggefährdeten Gebieten und bei mehltauanfälligen Sorten sollten bestimmte Herbizide wie Harnstoff- und Triazinderivate nicht verwendet werden (Heitefuss und Ibendahl 1979). Blattläuse bevorzugen herbizidhaltige Felder. Es müssen dann zusätzliche Insektizide zur Bekämpfung der Blattläuse eingesetzt werden.

Pestizide, die nur in geringen Mengen in der Umwelt vorhanden sind, können über den Weg der Nahrungsketten im tierischen und menschlichen Körper angereichert werden. Diese Anreicherung kann mehr als das Millionenfache betragen (Tab. 2).

Tabelle 2. Die Anreicherung von DDT über Nahrungsketten im Lebensraum Meer (nach Fritsche 1985)

Meerwasser:	0,000003
Phytoplankton:	0,003
Zooplankton:	0,04
Fische:	0,5-2
Meeresvögel:	25

Der DDT-Gehalt im Depotfett des Menschen ist deutlich abhängig vom gebietsweise starken Pestizideinsatz. Im allgemeinen liegen die Werte zwischen 1 und 10 mg/kg Fettgewebe. Für Rumänien werden 13 mg/kg, für Indien 17 mg/kg angegeben (WHO 1979). DDT reichert sich in der Eizelle an (Bäckström et al. 1965). Auch durchbricht es die Plazentaschranke beim Menschen (Zabon et al. 1969) und bei Tieren (Dedek, 1972). So sind DDT und seine Metabolite (DDE, DDD, DDOH, DDA und DCB) in allen fetalen Geweben nachweisbar. Bei Kühen wurde eine Zunahme der Totgeburten beobachtet (Labon 1965). DDT wurde bei Erwachsenen nicht nur im Fettgewebe, sondern auch in den Nieren, den Geschlechtsdrüsen, in der Leber, im Gehirn, in der Milz und in der Muttermilch nachgewiesen (s. auch Freye 1985, S. 250, Savage et al. 1982, Weisenberg et al. 1985). Durch die Muttermilch erhält es der Säugling. DDE kommt in 3- bis 4mal höheren Konzentrationen im Blut von Frühgeburten vor als in Normalgeburten (O'Leary et al. 1970). Diese weite Verbreitung und die hohe Persistenz des DDT waren der Anlaß für zahlreiche Länder, dieses Pestizid um 1970 herum zu verbieten. In der DDR gibt es seit 1970 ein vom Ministerrat beschlossenes Ablöseprogramm für DDT. Heute wird in der DDR DDT nur noch für die Zwiebel-saatinkrustierung und für bestimmte Zwecke in der Forstwirtschaft eingesetzt (Einzelbaumbehandlung) (Seidel 1981).

Doch 1986 sahen sich Kujawa et al. aufgrund ihrer Untersuchungen veranlaßt, darauf hinzuweisen, daß mit dem ubiquitären Vorkommen des Wirkstoffes auch in Zukunft zu rechnen ist. Die Verfasser waren darüber überrascht, daß bei ihren Versuchen die Gewebe der Kontrolltiere und deren Feten so hoch mit DDT kontaminiert waren. Diese Tiere hatten bei der Fütterung kein DDT erhalten. Die Überprüfung der Futtermittel ergab, daß in diesen DDT und dessen Metabolite enthalten waren. Diese Beobachtungen wurden 16 Jahre nach dem Ablöseprogramm und der weltweiten Restriktion des DDT gemacht.

Jeder, der mit Pestiziden umzugehen hat, muß beachten, daß alle Pflanzenschutzmittel biologisch aktiv sind. Es ist daher ein negativer Einfluß auf Mensch, Tier oder Pflanzen prinzipiell möglich. Es spielt dabei keine Rolle, ob das betreffende Mittel einer Giftabteilung angehört oder nicht (Pokorny 1981). Bei einigen PSM steigt die Giftigkeit mit der Temperatur oder bei Genuß von Spirituosen an. Es kommt also unter dem Einfluß von bestimmten Faktoren zu einer Verstärkung der gesundheitsschädigenden Wirkung.

Nach Schätzungen der WHO erkrankten jährlich ~ 500 000 Menschen durch PSM und etwa 5000 sterben daran (Davies 1975). Diese Schätzung ist sicher noch viel zu niedrig. Denn durch den Arzt werden nur die akuten Vergiftungen erfaßt. Eventuelle Symptome chronischer Belastungen durch Umweltschadstoffe entgehen der Anamnese. Die zunehmende Schadstoffbelastung ist mit nicht übersehbaren Risiken für den Menschen verbunden. Irreparable gesundheitliche Spätfolgen bedingt durch Xenobiotika können zur Zeit noch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Viele Biologen weisen schon seit langem auf die negativen Wirkungen hin, die PSM auf zahlreiche Lebewesen ausüben. Es ist eine Tatsache, daß durch diese Mittel das ökologische Gleichgewicht empfindlich gestört worden ist. Viele Pflanzen- und Tierarten sind gefährdet und vom Aussterben bedroht. Rohweder (1981, 1982) schreibt folgendes darüber:

„Bei über der Hälfte der mitteleuropäischen Amphibien, Reptilien, Vogel- und Säugetierarten muß befürchtet werden, daß sie in den nächsten Jahrzehnten aussterben werden, von 70 Süßwasserfischarten sind 52 bedroht.

- Weltweit muß mit der Ausrottung von 500 000 oder gar einer Million Pflanzen und Tierarten bis zum Jahre 2000 gerechnet werden.
- Nach Schätzungen sollen von 36 000 europäischen Insektenarten ein Drittel vom Aussterben bedroht sein.“

Diese prognostische Bilanz ist nicht allein durch die Chemisierung der Landwirtschaft bedingt, sondern auch andere Schadstoffbelastungen und Faktoren spielen hierbei eine Rolle.

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen kommt es bei Ausbringung von PSM immer wieder zu Schäden bei den Bienenvölkern. Ihre Zahl hat überall beachtlich abgenommen. In der BRD sollen die Bienenvölker um die Hälfte zurückgegangen sein (Wellenstein 1974). Die meisten Verluste der Bienenvölker in der DDR kamen in den letzten Jahren durch Dimethoat und Carbaryl zustande (Pokorny 1981).

Bei vielen Vögeln ist ein hoher DDT-Spiegel nachgewiesen worden. Die Bestände der Greifvögel haben stark abgenommen (Sedlag 1983). Der Weißkopfseeadler und der Europäische Seeadler sind vom Aussterben bedroht. Es ist festgestellt worden, daß DDT in den Ca-Stoffwechsel eingreift (Berthold und Thielke 1978, Conrad 1978). Die Folge davon ist, daß nur eine sehr dünne Kalkschale gebildet wird, die beim Brüten zerbricht (Hartner 1981).

Die PSM stören auch die Kommunikation unter Kleinlebewesen, die sich durch chemische Signale verständigen. So gehen die Bachflohkrebse ein. 1/10 000 der behördlich zugelassenen Konzentration eines Herbizids (Phosphenolsarkosin) verhindert die Nahrungs- und die Geschlechterfindung dieser Krebse (Lünzer 1984). 1982 war im Bereich des Bodensees ein großes Vogelsterben bedingt durch den Einsatz von PSM (Forth 1983). Aber trotz des Einsatzes von Insektiziden ist es bisher noch nicht gelungen, lästige Mücken und Stechfliegen auszurotten. Zahlreiche Insekten sind gegen Insektizide resistent geworden. Am Bodensee und am oberen Rheingebiet, aber auch am Balaton kommt es alljährlich zu starken Mückenplagen.

Trotz der zunehmenden Kosten und der immer größeren Ausmaße des chemischen Pflanzenschutzes haben die durch Schädlinge verursachten Verluste nicht abgenommen. So hat sich die Anwendung von Insektengiften seit dem 2. Weltkrieg verzehnfacht, der Insektenschaden soll aber trotzdem von 7 % auf 13 % zugenommen haben (Delucchi und Kern 1981). Der Ernteverlust der Welt beträgt insgesamt ~ 35 % (Behrendt 1981). Beim Speichern der sehr empfindlichen Erntegüter gehen nochmals 10–20 % verloren (Witting 1981). So beträgt der gesamte Ernteverlust ~ 45 %. „Und dies alles trotz der jährlichen Anwendungen von 2,25 Millionen Tonnen Pflanzenschutz-Chemikalien“ schreiben Spaer und Lyr (1984). Die Ernteverluste haben also nicht abgenommen, die toxikologische Last für Mensch, Tiere und Umgebung hat aber zugenommen.

Seit Beginn des Einsatzes von DDT bis etwa 1982 sollen ungefähr 5 Mill. Tonnen dieses Pestizids in der Welt erzeugt worden sein (Heinisch 1983). Die WHO (1979) gibt an, daß zwischen 1940–1977 (d. h. in einem Zeitraum von knapp 40 Jahren) mehr als 3 Mill. Tonnen DDT hergestellt worden sind. Demnach betrug die DDT-Produktion zwischen 1977–1982 etwa 2 Mill. Tonnen. So war in diesen 5 Jahren die DDT-Produktion pro Jahr durchschnittlich wesentlich höher (etwa das Fünffache) als vor 1977 und

das trotz der weltweiten starken Restriktion für DDT. Es ist somit kein Wunder, daß der DDT-Gehalt in den Lebewesen nicht abgenommen hat.

## 2.2. Nebenwirkungen der PSM im Boden

Die meisten Pestizide unterliegen im Boden komplizierten Ab- und Umbauprozessen. Der Boden ist das bedeutsamste Produktionsmittel des Menschen und ein natürliches Reinigungsmittel für viele Schadstoffe. Er ist daher äußerst wichtig für die Menschheit. Nach Scheschnew (1985) hängt vom Zustand des Bodens und des Wassers die Weiterentwicklung und vielleicht sogar die Existenz unserer Zivilisation insgesamt ab. Wasser und Luft kann man reinigen. Beim Boden ist das langwierig und sehr kompliziert (Exner 1984, Schönhard 1979, EPA 1986). Auf keinen Fall darf der Boden so geschädigt werden, daß die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt wird.

Sehr wichtig für die Bodenfruchtbarkeit sind die Lebewesen des Bodens. Dazu gehören die Mikroorganismen und die Bodentiere.

Die entscheidende Rolle für den Abbau der Pestizide im Boden kommt den Mikroorganismen zu (Rehm 1980, Fritsche 1985). Daneben laufen auch chemische und physikalische Prozesse im Boden ab, die zu Inaktivierungen von Pestiziden führen können (Sauerbeck 1985, Wallnöfer u. a. 1980). Durch mikrobielle Transformationen der PSM können Stoffe anderer chemischer Zusammensetzung gebildet werden. Diese sollen nach bisherigem Wissen meist keine Schädigung mehr ausüben. Durch diese mikrobiellen Einwirkungen können aus den PSM aber auch stabile Umwandlungsprodukte entstehen, die toxischer und stabiler als die Ausgangsprodukte sind. Korte (1980) schreibt, daß der größte Teil der heute angewandten Pestizide polare, stabile Umwandlungsprodukte bildet.

Organische Phosphatester gelten als nicht persistent. Deswegen wurden sie statt der chlorierten Kohlenwasserstoffe eingeführt. Inzwischen ist nachgewiesen worden, daß aus solchen Verbindungen durch Hydrolyse Phenole entstehen können, die wesentlich stabiler als die Ausgangsstoffe sind (Waggoner und Khasawinah 1974, Munnecke und Hsich 1976). So wird Fensulfothion durch Mikroorganismen zu Fensulfothionsulfid umgebildet. Dieses ist eine Entgiftungsreaktion (Timms und Mac Rae 1982, 1983). Das Fensulfothionsulfid wird in den Bakterienzellen gebunden. Aus dem Fensulfothionsulfid kann aber unter bestimmten Bedingungen das giftige Methylthiophenol entstehen (Mac Rae und Cameron 1985).

Das Organophosphat Dimethoat ist wegen seines raschen Abbaus der Rückstände empfohlen worden. Wenige Jahre später wurde davor gewarnt, weil aus dieser Verbindung Metabolite mit einer 8fach höheren Giftwirkung entstehen können (Schuphan 1974). 1973 wurde auch festgestellt, daß Dimethoat mutagen wirkt (Fahrig 1973).

Bestimmte Phenylharnstoffderivate, Acylanilide und Phenylcarbamate sind in ein- und mehrfach substituierte Chlor-Aniline umwandelbar. Diese können im Boden spontan zu stabilen Azoverbindungen kondensieren (Bartha und Pramer 1970). Aus Phenoxyalkansäuren bilden sich durch Abbau der aliphatischen Seitenketten Phenole. Phenole haben eine höhere Warmblüter-Toxizität als die Phenoxyalkansäuren (Gräser 1978).

Je nach den vorhandenen Bedingungen kann eine bestimmte Verbindung auf ganz verschiedenen Wegen abgebaut werden. Für Lindan sind mehr als 30 verschiedene Ab- bzw. Umbauwege bekannt (Engst et al. 1977, 1979). Niemand kann mit Sicherheit sagen, wie die Reaktionen verlaufen.

Durch Kombinationen verschiedener Präparate kann es im Boden zu einer Hemmung oder Beschleunigung des Abbaus kommen. Es können aber auch vollkommen neue Schädigungen entstehen (Scheunert und Korte 1985). Der Abbau von 2,4,5-T wird durch 2,3,6-Trichlorphenol und 2,3,4,5-Tetrachlorphenol gehemmt (Karns et al.

1983). Der Abbau von Herbiziden ist durch Aktivkohle (Moyer et al. 1972), aber auch durch Filterasche (Süss 1970, 1972) hinderbar.

Das Zusammenwirken vieler Faktoren entscheidet über das Schicksal eines Xenobiotikums im Boden. Dies ist auch der Grund für die vielen widersprüchlichen Ergebnisse in der Literatur. Die Komplexität, die im Boden vorliegt, erschwert eine Vorhersage über die Wirkungen, die durch ein Pestizid hervorgerufen werden.

Die Abbauleistungen der Mikroorganismen sind erstaunenswert umfangreich. Aber durch einige Stoffe, die der Mensch in den Boden bringt, sind die Mikroorganismen überfordert. So gibt es Verbindungen, die aufgrund ihrer chemischen Struktur nicht angreifbar sind. Andere Verbindungen sind zwar potentiell abbaubar, aber die Bedingungen dafür sind in der Umwelt nicht gegeben (Leisinger 1983, Ghisalba 1983).

So kommt z. B. Phenol in vielen Flüssen vor, obwohl es eine mikrobiell gut abbaubare Verbindung ist.

Lindan kann mehr als 15 Jahre im Boden verbleiben. Es gibt aber einen Schimmelpilz, der Lindan in kurzer Zeit im Laborversuch abzubauen vermag (Kujawa et al. 1976).

Über den Einfluß von PSM auf die Mikroorganismen-Gesellschaften des Bodens ist das Wissen noch sehr mangelhaft. Hier ist noch viel Arbeit zu leisten. Häufig begnügte man sich damit, die koloniebildenden Einheiten von Bakterien, Pilzen und Aktinomyceten zu erfassen. Auch wurden die  $\text{CO}_2$ -Bildung und die Enzymaktivitäten mit einbezogen. Es wurden vorübergehende Veränderungen dieser Parameter beobachtet, die sich nach einer gewissen Zeit wieder einregulierten. Daraus wurde geschlossen, daß PSM im allgemeinen wenig Einfluß auf die Mikroorganismen ausüben. Heute wissen wir, daß solche Untersuchungen allein nicht ausreichen, um Veränderungen der Lebensgemeinschaften im Boden zu erfassen. Es sind unbedingt Untersuchungen über das Artenspektrum der Mikroorganismen erforderlich. Es liegen auch bereits einige Ergebnisse dazu vor (Bangert 1984). So hat man bei Bodenpilzen Verschiebungen in der Zusammensetzung des Artenspektrums durch Pestizide bereits beobachtet (Domsch 1972). Wiederholte Anwendung der Fungizide Maneb und Zineb verminderte die Pilzpopulation um *Penicillium citricum* (Dubey 1970). Durch Methan-Natrium wird die Pilzzahl zunächst reduziert. Anschließend stellt sich die ursprüngliche Keimzahl wieder ein. Im Sandboden ist die Pilzflora jedoch nun artenärmer im Vergleich zum Kontrollboden (Martin et al. 1957). Sato (1983, 1985) wies nach, daß durch Pentachlorphenol die Mikroflora-Zusammensetzung sich ändert. Durch Carbamat-Fungizide werden nicht nur die pathogenen Pilze, sondern auch andere Glieder der Mikroorganismen-Gesellschaft im Boden beeinflusst. Das Besprühen von Weizenpflanzen mit Benomyl hatte eine Erhöhung der Rhizosphären-Bakterienzahl um 43 % zur Folge. *Pseudomonas fluorescens* nahm um 16 %, *Agrobacter* um 50 % und die Pilze um 67 % ab (Vrany et al. 1980). Im benomylbehandelten Boden waren noch 35 Tage danach die benomyltoleranten Pilze zahlreicher als im unbehandelten Boden (Oku 1979). Im behandelten Boden herrschen *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* und *Trichoderma* vor (Peeples 1974). Nematophage Pilze werden durch Benomyl vermindert (Kapur et al. 1981). Manche pathogenen Pilze werden sogar durch Benomyl gefördert, da die antagonistischen Bodenpilze unterdrückt werden (van der Hoeven und Bollen 1980, Backman et al. 1975). Viele Fungizide stören den Zelluloseabbau und die Denitrifikation (Bollag und Henninger 1979, Donecke et al. 1983). Durch viele Herbizide werden die Bodenalgae (Wright 1972) und *Bacillus spec.* vermindert (Ramanujam et al. 1979). Geringe Konzentrationen an Atrazin und auch 2,4-D schädigen die N-fixierenden Algen in Reiskulturen (Ivopky und Tweedy 1969). Auch hemmen sie die Antagonisten von im Boden lebenden pathogenen Organismen (Wirkand: zit. in

Scheffer und Schachtschabel 1982). 2,4,5-T beeinflusst die Morphologie und Kapselbildung von *Klebsiella*. Die Atmung wird völlig gehemmt, ohne daß die vitalen Zellen abnehmen (Wong et al. 1985).

Das Insektizid Aldicarb hemmt Algen und sporenbildende Bakterien. Aktinomyzeten und nitritoxidierende Bakterien werden dagegen gefördert (Malcomes et al. 1977). Zellulytische und hemizellulytische Bakterien sind schon geringen Carbaryl-Konzentrationen gegenüber sehr empfindlich (Schwartz et al. 1973). Die Ciliaten nehmen ebenfalls ab.

Durch Pestizide werden auch wichtige Bodentiere beeinflusst. Mehrjähriger Einsatz bestimmter Herbizide verändert die Zönosestruktur im Agro-Ökosystem (Mahn et al. 1983, Dunger 1982). Bodenzönosen mit Collembolen und Milben können noch mehrere Jahre nach der Insektizidanwendung Änderungen in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Durch Schädigung der Würmer durch Pestizide, vor allem durch Fungizide, kann es zur Zerstörung der Bodenstruktur kommen (van de Westerling 1972).

Wir sind noch weit entfernt davon, den Einfluß der Pestizide auf die Mikroorganismengesellschaften zu überschauen. Wir wissen noch nicht, ob es durch Xenobiotika zum Rückgang essentieller Mikroben kommt, die wichtig für die Bodenfruchtbarkeit sind (Schubert 1985). Diese Fragen zu klären, ist äußerst schwierig, da der Boden ein sehr kompliziertes Ökosystem ist. Die vielen verschiedenen Mikrobiotope im Boden befinden sich auf engstem Raum nebeneinander und sind daher schwer zu untersuchen. In Seen und Teichen dagegen sind entsprechende Bereiche gut abgegrenzt und der Analyse leichter zugänglich. Untersuchungen von Manke (1983) am Stechlinsee haben ergeben, daß die Organismen auf geringfügige, mit chemischen oder physikalischen Methoden kaum oder gar nicht meßbare Veränderungen im Temperatur- oder Stoffhaushalt der Seen äußerst empfindlich reagieren. Er schreibt, daß sie ihr Verhalten ändern, aus der Lebensstätte verschwinden und anderen Formen Platz machen. Auf jeden Fall ist analog damit zu rechnen, daß es auch im Boden zu solchen Veränderungen kommen kann.

So berichtet Wolf (1985) über phytoinhibitorische Wirkungen von Mikroorganismen im Boden. Zu solchen unerwünschten Effekten kommt es, wenn Fruchtfolgen mit hohem Anteil einer Fruchtart und besonders Monokulturen vorliegen. Es reichern sich dann im Boden schädigend wirkende Mikroorganismen bzw. deren Stoffwechselprodukte an. Wichtig ist auch die Mitteilung, daß in den USA auf einigen Feldern und Böden die eingesetzten Organophosphate und Carbamate plötzlich vollkommen wirkungslos blieben (Fox 1983, Read 1983, Jeffrey 1983). Dazu kommt es nur, wenn die Pestizide wiederholt verwendet werden. Dies ist aber bei kurzlebigen Verbindungen unbedingt erforderlich, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Anscheinend haben sich Abbauspezialisten herausgebildet, die sehr rasch die eingesetzten Pestizide ab- und umzubauen vermögen.

Ein sehr ernstes Problem für die Landwirtschaft ist die Bodenerosion. An diesem Prozeß ist neben anderen Faktoren (z. B. Bodenverdichtung durch schwere Maschinen) auch der Herbizideinsatz beteiligt. So wird durch frühzeitig aufgebrachte Herbizide das Keimen von Unkrautsamen und auch das Sprossen von Wurzelunkräutern verhindert. Die Folge davon ist, daß wegen fehlender Wurzelhaare sich kein richtiges Krümelgefüge bildet (Walter 1970). Es fehlt so an lebender organischer Substanz im Boden. Besonders bei Anbau von Mais, Futterrüben und Weinreben kann die Erosion sehr hoch sein. Bei diesen Fruchtarten werden mehrere Herbizidbehandlungen im Jahr durchgeführt. Dadurch fehlt eine bodenbedeckende Schicht, und es kommt zum Abtrag von wertvollem Boden. Nach Bückmann et al. (1985) gehen in Bayern im Extremfalle bis zu 200 t Boden/ha und Jahr verloren. 1 ha hat ungefähr 3 500 t Boden. Wenn keine Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, hätte Bayern in etwa 20 Jahren keinen fruchtbaren Boden mehr.



In der DDR sind 27,5 % der Ackerfläche durch Wassererosion mäßig bis stark gefährdet (Frielinghaus 1986). Messungen von 1982–1986 ergaben, daß auf Sandstandorten der Bodenabtrag höher ist als erwartet. Im Einzelfall werden bis 170 t/ha verlagert. Rechnungen haben ergeben, daß vom Lößhügelland der DDR jährlich 3,4 Mill. Tonnen fruchtbarer Boden abgeschwemmt werden (Saupe 1986). Saupe weist darauf hin, daß am Boden gebundene Schadstoffe unter Umständen im Wasser wieder remobilisiert werden können. Dadurch kann es zu neuen Umweltbelastungen kommen oder bereits vorhandene werden verstärkt. Biozide werden im Boden adsorbiert. Die Folgen davon sind, daß zum einen die gewünschte Wirkung vermindert wird, zum anderen können durch diese Adsorption die Biozide im Boden stark angereichert werden. Oft ist diese Bindung der Biozide im Boden nur schwach (Litz und Blume 1981). Bei einer Verdünnung der Bodenlösung, z. B. durch starken Regen oder durch Abschwemmen in Wasserkreisläufe, besteht die Gefahr der Grundwasserverunreinigung.

### 2.3. Auswirkungen des PSM-Einsatzes auf den Menschen

Die Anwendung von Pestiziden bringt immer gewisse Gefahren für den Menschen mit sich, die gegenwärtig noch nicht exakt eingeschätzt werden können. Durch das Ausbringen von PSM kann es zu Rückständen auf und in den Pflanzen kommen. Über den Boden können diese in die Pflanzen gelangen. Durch die Verfütterung der Pflanzen werden sie in tierischen Lebensmitteln angereichert. Untersuchungen von Stroh-Hopfenblatt-Pellets erbrachten bis zu 10 mg/kg Ethylen-bis-dithiocarbamate und bis zu 600 mg Cu/kg Futtermittel (Beitz et al. 1982). Rückstände auf Lebensmittel können sich auch durch den Vorratsschutz bilden (Hertzel und Schmidt 1985, Reinhold 1986). Unter Umständen kann es auch zur Giftung bei der Metabolisierung von Xenobiotika im Warmblüterorganismus kommen (Baake und Gustafsson 1985). In der Nahrung vorhandene, gebundene Wirkstoffe (Wirkstoffkonjugate) können gespalten werden und die frei werdenden Wirkstoffe toxisch wirken, z. B. glykosidisch gebundene Phenole. Diese Wirkstoffe werden bei den üblichen Rückstandsbestimmungen nicht erfaßt (Beitz et al. 1982). Auch Anilin-Rückstände werden von Pflanzenwurzeln aufgenommen und in die Schößlinge translociert (Still 1969). Tanaka et al. (1980) wiesen nach, daß Säugetierurin-Metabolite der Aniline stark mutagen wirken. Wahrscheinlich kommt den Nitrosobenzenen die mutagene Wirkung zu. 2,6-Diethylanilin erwies sich im Ames-Test stark mutagen (Lyons et al. 1985).

Die WHO machte 1985 darauf aufmerksam, daß durch sorgloses Umgehen mit Pestiziden unbeteiligte Menschen unbeabsichtigt belastet werden. Die mit solchen Arbeiten Beauftragten sind sich häufig gar nicht bewußt, daß solche Mittel gefährlich sein können. Forth schrieb 1983: „Das Vermeidbare tritt unvermeidlich ein. Ignoranz, Sorglosigkeit und manchmal auch Fahrlässigkeit der Laien, die mit gefährlichen Stoffen arbeitstäglich umgehen.“

Beispielsweise ist nicht einzusehen, warum Erholungsgebiete mit Pestiziden behandelt werden. Das gilt auch für den Einsatz von Herbiziden auf Zierrasen gegen blühende Kräuter. In der Schweiz gab es ungefähr 20 000 ha Zierrasen (Bundesamt 1985). Jährlich wurden 70–100 t Herbizide auf diesen Rasen ausgebracht. Kräuter sind aber Nahrung für Insekten. Diese wiederum dienen Singvögeln und Kleinsäugetern als Nahrungsquelle. So bietet z. B. die Brennessel für 30 Schmetterlingsarten eine Lebensgrundlage. Außerdem gehört z. B. diese Wildpflanze zu den Heilpflanzen. Wo bleibt noch Lebensraum für wildwachsende Heilkräuter? Darüber hinaus bleibt die Frage unbeantwortet, wie die Inhaltsstoffe von Heilkräutern und Kulturpflanzen durch systemisch wirkende Pestizide beeinflusst werden.

In der Schweiz wurde der Anbau von Zierrasen verboten. Andere Länder sollten diesem Beispiel folgen!

Wir sind gegenwärtig noch nicht in der Lage, die Auswirkungen der Belastung eines Ökosystems mit Pestiziden vollkommen einzuschätzen. Ebenso wenig sind aber auch die Auswirkungen auf den Gesundheitszustand des Menschen überschaubar. Berensci (1982) weist darauf hin, daß bei Arbeitern, die längere Zeit in der Agrochemisierung tätig waren, aufgrund epidemiologischer Untersuchungen mit einer mutagenen bzw. teratogenen Wirkung gerechnet werden muß. Bei langfristiger Einwirkung von HCH und DDT kann es zur Störung der Blutzellbildung und zur toxischen Schädigung der Leber und des Nervensystems kommen. Bei Exposition gegenüber mehreren Insektiziden sind polyneuritische Krankheitsbilder bei Arbeitern beobachtet worden. In der DDR werden durch Chlorkohlenwasserstoff-Insektizide bedingte Erkrankungen als Berufskrankheit anerkannt (Schüttmann 1971, Knoll und Jayaraman 1973). Subklinische Anfangsveränderungen der Intoxikation durch Pestizide, die mit anderen weniger sensitiven Methoden nicht nachweisbar sind, können mittels neurotoxikologischen und immuntoxikologischen Untersuchungen erkannt werden. So erbrachten Untersuchungen von Desi (1982), daß die Mehrzahl der Pestizide schon in niedrigen Dosen feine Veränderungen am Nerven- und Immunsystem hervorrufen. Aber auch subklinische Dosen von Schwermetallen wie Blei und Cadmium können bei längerer Einwirkungszeit die Immunitätsreaktionen von Ratten negativ beeinflussen (Surcel et al. 1984, Baginski 1981). In den USA wird vor Zinksalben wegen Schädigung des Immunsystems gewarnt (Chandra 1984).

Auch polychlorierte Biphenyle (PCB) schädigen das zelluläre und humorale Immunsystem (Loose et al. 1977, Safe 1983, Thomas und Hinsdall 1978, Reggiani und Bruppacher 1985). Die PCBs sind sehr persistent und weit verbreitet in der Umwelt. Über den Nahrungsweg werden sie im tierischen und menschlichen Körper angereichert.

Wirken diese Umweltschadstoffe alle gemeinsam auf den Organismus ein, muß mit koergistischen Wirkungen gerechnet werden. So verstärken subletale Dosen von PCB die Toxizität von DDT und Dieldrin (Knoll und Jayaraman 1973). Besonders empfindlich und schutzlos gegenüber diesen Umweltchemikalien sind die Säuglinge. Durch ihre natürliche Nahrung (Muttermilch) nehmen sie diese Schadstoffe von Geburt an auf. Auch können sie schon von der Eizelle her damit belastet sein. (DDT wird in der Eizelle angereichert, wie bereits erwähnt.) Untersuchungen einiger Länder erbrachten, daß die Muttermilch hoch kontaminiert ist mit Pestiziden wie HCH, HCB, DDT und Dieldrin (Umweltgutachten 1978, Pröstler 1981, Odzuck 1982). Die Werte lagen über der duldbaren Tagesdosis (Tab. 3).

Tabelle 3. Aufnahme von Pestiziden [%] der ADI-Werte berechnet für einen 4000 g schweren Säugling, der täglich 800 g Muttermilch trinkt (aus Pröstler 1981)

Pestizid	ADI-Wert [%]		Vielfaches des ADI-Wertes		Maximalwerte Vielfaches	
	1973/75	1979/80	1973/75	1979/80	%-ADI	1973/75
DDT	468	266	4-5	2	2080	20
HCB	2944	1666	30	17	112222	110
Dieldrin	660	333	6-7	3	4066	40
PCB	4353	2666	44	27	8600	86

(ADI-Werte: DDT - 0,005, HCB - 0,0006, Dieldrin - 0,0001, PCB - 0,001)

Die Humanmilch ist auch mit PCB kontaminiert. Die Werte betragen teilweise in der BRD mehr als 10 mg/kg Milchfett. Die Babys von Affenmüttern, bei denen Werte von 0,2-0,5 mg/kg Milchfett ermittelt wurden, waren krank (Friege und Nagel 1982). Kälber, die mit DDT-haltiger Muttermilch aufgezogen wurden, zeigten schwere

gesundheitliche Schäden und Nervenstörungen, die zum Teil tödlich verliefen. Die Muttertiere hatten Gras erhalten, das infolge aviochemischer Maikäfervernichtung kontaminiert worden war. Die Kühe selbst wiesen keine sichtbaren Schäden auf (Schuphan 1969).

Aufgrund solcher Beobachtungen sollte man in Betracht ziehen, daß eine Schwächung des Immunsystems durch Xenobiotika und Schwermetalle von Bedeutung sein kann für das Zustandekommen des Syndroms der Immunmangelkrankheiten. Wir wissen heute, daß der Nachweis des HIV-Virus nicht bedeutet, daß es zum Ausbruch der Krankheit kommen muß (Anonym 1985). Wie auch bei vielen anderen Infektionskrankheiten entscheidet die körperliche Verfassung über den Ausbruch dieser Krankheit. Der Zustand des Makroorganismus bestimmt, inwieweit der Mikroorganismus sich ausbreiten kann. Beim durch Umwelteinflüsse geschädigten Immunsystem hat das Virus auf jeden Fall mehr Chancen, die Abwehrmechanismen des Organismus zu überwinden.

Die ungefähr 30jährigen und jüngeren Menschen tragen von Beginn an Fremdstoffe in sich, die das Immunsystem schädigen. Das Auftreten neuer Krankheiten ist die logische Auswirkung solcher umweltbedingten Ursachen. Schuphan (1969, 1977) warnte immer wieder vor absoluten Behauptungen, daß dieser oder jener Pestizidrückstand in der vorgeschriebenen Menge garantiert unschädlich ist. Mit Kombinationswirkungen muß gerechnet werden. Das Problem, ob Schwellenkonzentrationen für Pestizide existieren oder nicht, ist noch nicht gelöst.

Noch 1979 wurde von der WHO mitgeteilt, daß es mehr als 30 Jahre nach der Einführung von DDT keinen Beweis dafür gibt, daß DDT kanzerogen für den Menschen ist. Die Mutagenität dieses Pestizids wäre sehr fraglich. Dagegen schreibt die WHO 1985, daß Untersuchungen in einigen Ländern erbrachten, daß persistente Pestizide in der Muttermilch in verhältnismäßig hoher Menge vorkommen, und ob diese erhöhten Konzentrationen in der Muttermilch eine Gefahr für die Gesundheit der Säuglinge darstellen, kann zur Zeit nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Auch wird in dieser Veröffentlichung der WHO von 1985 darauf hingewiesen, daß bei Testtieren folgende negativen Gesundheitswirkungen, bedingt durch den Gebrauch von Pestiziden, beobachtet worden sind: Teratogene, mutagene, embryotoxische und carcinogene Wirkungen (Herbizid 2,4 D; 2,4,5-T; chlororganische Pestizide).

Nicht unberücksichtigt werden darf bei dieser Betrachtung, daß die Wirkstoffe mit Spurenstoffen verunreinigt sein können, die ebenfalls negative Auswirkungen im Organismus hervorrufen (Autorenkollektiv 1985).

### 3. Schlußbemerkungen

Nach jahrzehntelangem intensiven chemischen Pflanzenschutz sind die damit verbundenen gefährlichen Nebenwirkungen nicht mehr zu übersehen. Das Werk „Der stumme Frühling“ von Carson (1964) war eine hervorragende Pioniertat. Ihre Mahnungen wurden weltweit verstanden und begannen Früchte zu tragen.

Wie wird die Landwirtschaft die aufgeworfenen Probleme lösen?

- Die Landwirtschaft (konventioneller Landbau) kann wie bisher das Ziel verfolgen, unbedingt Höchsterträge mit möglichst wenig Arbeitskräften zu erreichen. Dann müssen immer mehr und neue wirksame Pestizide zur Bekämpfung der Schädlinge und der „Unkräuter“ produziert werden. Es wird sich eine Art Wettlauf zwischen Neuentwicklungen, Resistenzbildungen und Abbauspezialisten herausbilden. Eventuell werden immer häufigere Spritzfolgen durchgeführt werden müssen. Die dadurch bedingten Gefahren für Umwelt und Mensch müssen in Kauf genommen werden. Es muß auch mit der Gefahr gerechnet werden, daß die Bodenfruchtbarkeit immer mehr zerstört wird und daß die Mehrerträge auf die Dauer nicht aufrecht-

zuerhalten sind. Zu bedenken ist auch, daß die Kosten für die Entwicklung eines neuen Pestizides bis zum Angebot sehr hoch sind.

- Mit den Bestrebungen der Erzeugung hochwertiger Nahrungsmittel, der Erhaltung der Artenvielfalt in der Natur und damit des Verzichts auf das Bestreben, die Schädlinge vollkommen auszurotten, wurde eine Vielzahl von „Alternativen Landbaumethoden“ entwickelt.
- Zunehmendes Interesse findet weltweit der integrierte Pflanzenschutz, da dieser in der Praxis realisierbar ist. Das Ziel hierbei ist, die natürlichen Abwehrkräfte der Bodenbearbeitung, richtige Fruchtfolgen, Verwendung gesunder resistenter Sorten und der bedarfsgerechte Nährstoffausgleich.

Wenn die Kulturen trotzdem ernstlich durch Schädlinge bedroht sind und biologische Mittel nicht ausreichen, nur dann werden aufgrund genauer Beobachtungen selektiv wirkende PSM eingesetzt. So werden bei dem integrierten Pflanzenschutz die Schadorganismen durch Anwendung aller wirtschaftlich, ökologisch und toxikologisch vertretbaren Methoden unter der wirtschaftlichen Schadensschwelle gehalten. Durch den integrierten Pflanzenschutz soll vermieden werden, daß die Nützlinge vernichtet und so natürliche Regulationskräfte ausgeschaltet werden. In der DDR ist in dieser Richtung bereits ein erfolgreiches Versuchsprogramm gelaufen (Roder 1976). Der Termin und das Ausmaß des Schädlingsbefalls im Obstbau wurden systematisch kontrolliert. Dadurch wurden im Jahresdurchschnitt die Hälfte der Insektizidbehandlungen eingespart, ohne daß Quantität oder Qualität der Ernte negativ beeinträchtigt wurden.

Aufgrund der unerwünschten Nebenwirkungen des „Chemikalieneinsatzes“ in der Landwirtschaft warnte 1985 die WHO davor, die erreichten hohen landwirtschaftlichen Erträge und die ökonomischen Gewinne überzubetonen und jede Betrachtung der negativen Wirkungen auf die Gesundheit des Menschen und auf die Umwelt auszuschließen.

Schon 1984 forderte die WHO auf, den Chemikalienverbrauch zu reduzieren.

Aus ökotoxikologischer Sicht ist es sicher vorteilhaft, sich alternativen Methoden der Landwirtschaft zuzuwenden, wie auch international immer mehr empfohlen wird. Voraussetzung dafür ist das Erkennen bzw. Anerkennen der unterschiedlichen Entwicklungstendenzen natürlicher und anthropogener Ökosysteme, „denn die für die Entwicklung des Ökosystems charakteristische Strategie des maximalen Schutzes (d. h. der Versuch, möglichst komplexe Biomassenstrukturen zu erreichen), gerät oft in Konflikt mit dem Ziel des Menschen, der maximalen Produktion“ (Odum 1983). Es geht letztendlich um einen Kompromiß zwischen Mensch und Natur.

Um diesen Prozeß zu vollziehen, ist es wichtig, daß die in der Landwirtschaft tätigen Fachkräfte lernen, ökologisch zu denken. So muß bei der Ausbildung der Landwirte das Fach Ökologie entsprechend berücksichtigt werden. Aber auch der Laie muß wissen, wie wichtig und wie gefährdet unser Boden ist. Viel Aufklärungsarbeit ist noch erforderlich, um das nötige Verantwortungsbewußtsein für den Boden zu entwickeln.

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Durch den Einsatz der PSM wurde die Umweltsituation des Menschen sehr verändert. Als Folge der Degradation von aquatischen und terrestrischen Ökosystemen ist im noch nicht erkannten Maße die Gesundheit der Menschen gefährdet. Die Aussage, ob ein Wirkstoff umweltfreundlich ist oder nicht, ist relativ und hängt darüber hinaus vom jeweiligen Erkenntnisstand ab. Insofern ist der Eintrag von PSM-Wirkstoffen in die verschiedensten Ökosysteme nur begrenzt, auf das Notwendigste beschränkt und qualifiziert, entsprechend dem neuesten Wissensstand, vorzunehmen.

## Schrifttum

- Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR: Pflanzenschutzmittelverzeichnis. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1960, 1972/73, 1984/85.
- Anonym: Entschließung der Minister und Senatoren der GSW: 1985, Erworbenes Immundefektsyndrom (AIDS). 54. Konferenz am 8./9. Oktober in Stuttgart. Öff. Gesundheitswesen 47 (1987) 645.
- Autorenkollektiv: Sachstand Dioxine, Stand November 1984, Berichte 5/85, Umweltbundesamt. Berlin: Erich-Schmidt-Verlag 1985.
- Baake, J., and J. Gustavsson: Mercapturic acid pathway metabolites of xenobiotics during enterohepatic circulation. Trends Pharm. Sci. 5 (1985) 517–527.
- Backman, R., A. Kabana and J. C. Williams: The effect of peanut leaf spot fungicides on the non-target pathogen *Sclerotium rolfsii*. Phytopathol. 65 (1975) 773.
- Bäckström, J., E. Hansson and S. Ullberg: Zit. in: Kujawa, M., R. Macholz, R. Knoll und R. Plass: Über das Verhalten von DDT in Rattenfeten und -neugeborenen. Z. ges. Hyg. 32 (1986) 468–470.
- Baginski, B.: Zum Einfluß von Schadstoffen auf das Immunsystem. I. Tierexperimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Schwermetallen. Umwelthyg., Jahresbericht 1981, Bd. 14. Essen: Verlag W. Girardet 1981, 113–124.
- Bangert, V.: Zum Schutz von Böden und Grundwasser vor Chemikalien. In: Stürmer, H.-D. (Hrsg.): Chemikalien in der Umwelt. BUND Freiburg i. Br.: Dreisam-Verlag 1984, 85–88.
- Bartha, R., und D. Pramer: Metabolism of Acylanilide herbicides. Adv. Appl. Microbiol. 13 (1970) 317–341.
- Behrendt, S.: Pflanzenbehandlungsmittel – essentielle Bausteine leistungsfähiger Pflanzenproduktion zum Nutzen von Produzenten und Verbrauchern. In: siehe bei Witting, S. 229–248.
- Beitz, H., H.-J. Goedicke und U. Banasiak: Rückstandstoxikologische Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und Mitteln zur Steuerung biologischer Prozesse. Fortschrittsber. Land- und Nahrungsgüterwirtsch. 20 (1982).
- Berensci, G.: Exzerpte der teratogenetischen und mutagenetischen Forschungsarbeiten des Institutes für Hygiene und Epidemiologie der Medizinischen Universität Szeged in Hinblick auf die Chemisierung. Kongr. Med. Aspekte des Umweltschutzes mit internationaler Beteiligung. 16.–19. Januar 1982 in Erfurt. Kurzfassungen. Ges. Allg. Kommun. Hyg. DDR, Mitt. 1982, Heft 5/6, S. 45.
- Berthold, P., und G. Thielke: Vogelschutz und Insektenbekämpfung. In: Döring, E., und I. Iglisch: Probleme der Insekten- und Zeckenbekämpfung. Berlin: Erich-Schmidt-Verlag 1978, 190–197.
- Bollag, J. M., and N. M. Henninger: Influence of pesticides on denitrification in soil and with an isolated bacterium. J. Environ. Qual. 5 (1979) 15–21.
- Bückmann, W., P. C. B. Draeger, J. Kressin, M. Patzak, A. Voegele und R. Zieschank: Probleme eines Regelwerks zum Schutz des Bodens. Natur und Landsch. 60 (1985) 98–102.
- Bundesamt für Umweltschutz und Bundesamt für Forstwesen: 20 000 ha Zierrasen – eine Chance für mehr Natur in Stadt und Land. Natur und Mensch (Rhenau-Bund) 27 (1985) 71–75.
- Carson, R. L.: Der stumme Frühling: München: Biederstein-Verlag 1964.
- Chandra, R. K.: Zink-Überschuß hemmt die Immunreaktion. J. Amer. Med. Assoc. 252 (1984) 1443, ref. in: Naturw. Rdsch. 38 (1985) 300.
- Conrad, B.: Auswirkungen der chemischen Umweltbelastung auf die Vogelwelt. In: Döring, E., und I. Iglisch. Probleme der Insekten- und Zeckenbekämpfung. Berlin: Erich-Schmidt-Verlag 1978, 198–203.
- Davies, J. E.: Current medical problems of pesticide management. J. Plant Protection News 4 (1975) 43–47.
- Dedek, W., und R. Schmidt: Untersuchungen zum transplazentaren Transport und Metabolismus von <sup>3</sup>H- und <sup>14</sup>C-markiertem DDT in graviden Mäusen unter Hungerbelastung. Pharmazie 27 (1972) 294–297.

- Delucchi, V., und H. Kern: Integrierter Pflanzenschutz. Grundlagen und Möglichkeiten. Schweiz. landwirtsch. Forsch. **20** (1981) 485–494.
- Desi, I.: Neurotoxikologische Tieruntersuchungen der Pestizide. Kongreß Med. Aspekte des Umweltschutzes mit internationaler Beteiligung, 16.–19. Jan. 1982 in Erfurt. Kurzfassungen. Ges. Allg. Kommun. Hyg. DDR. Mitt. 1982, Heft 5/6, S. 28.
- Domsch, K. H.: Einfluß von Pestiziden auf mikrobiologische Prozesse und ökologische Beziehungen im Boden. Ber. Landw. **50** (1972) 392–403.
- Donecke, B., G. Seguin und P. R. Ribereau-Gayon: Mancozeb effect on soil microorganisms and its degradation in soils. Soil. Sci. **135** (1983) 361–367.
- Dubey, H. D.: A nitrogen deficiency disease of sugarcane probable caused by repeated pesticide applications. Phytopathol. **60** (1970) 485–489.
- Dunger, W.: Die Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. Dechenia, Beih. **26** (1982) 151–157.
- Engst, R., R. M. Machholz and M. Kujawa: Recent state of lindane metabolism. Part I. Res. Rev. **68** (1977) 59–90.
- Engst, R., R. M. Machholz and M. Kujawa: Recent state of lindane metabolism. Part. II. Res. Rev. **72** (1979) 71–95.
- EPA: In situ flushing and soils washing technologies for superfund sites. Presented art: RCRA/Superfund Engineering Technology Transfer Symposium. Cincinnati: Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, U. S. EPA 1986.
- Exner, J. H.: In-Phase Detoxication of Dioxin-Contaminated Soil. Hazardous Waste **1** (1984) 2, 217–223.
- Fahrig, R.: Nachweis einer genetischen Wirkung von Organophosphor-Insektiziden. Naturwiss. **60** (1973) 50–51.
- Forth, W.: Unvermeidbare und vermeidbare Gefahren für die Gesundheit aus der Umwelt. Münchener med. Wochenschr. **125** (1983) 351–356.
- Fox, J. L.: Soil microbes pose problems for pesticides. Science **221** (1983) 1029–1031.
- Friege, H., und R. Nagel: Umweltgift PCB. BUND Freiburg i. Br.: Dreisam-Verlag 1982.
- Frielinghaus, M.: Bodenschutz vor Erosion durch Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. 5. Fachtagung der KdT – AG Schutz und Nutzung des Bodens vom 14.–15. Okt. 1986 in Magdeburg. Kurzfassungen.
- Fritsche, W.: Umwelt-Mikrobiologie. Berlin: Akademie-Verlag 1985, 69.
- Freye, H.-A.: Humanökologie. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1985, 250.
- Ghisalba, O.: Chemical wastes and their biodegradation-overview. Experientia **39** (1983) 1247–1257.
- Grahl, K., W. Georgi, W. Dedek und H. Goralozyk: Gewässerkontamination durch Butonat infolge aviochemischer Applikation von Fekama AT 25 auf forstwirtschaftlichen Nutzflächen. Acta Hydrochim. hydrobiol. **9** (1981) 627–637.
- Gräser 1978: Zit. in: Beitz, H., H.-J. Goedicke und U. Banasiak 1972, 12.
- Großmann, F., und J. A. Pfister: Nebenwirkungen von Herbiziden auf Maiskrankheiten, insbesondere Maisbeulenbrand. In: DFG Forschungsbericht Herbizide. Boppard: Harald-Boldt-Verlag 1979, 41–48.
- Hartner, L.: Wie schädigen chlorierte Kohlenwasserstoffe die Vögel? Ökol. Vögel (Ecol. Birds) **3** (1981) Sonderh., 33–38.
- Heinisch, E.: Menschliche Gewebe und Organe als Indikatoren territorialer Schadstoffbelastungen. Hercynia N. F. **20** (1983) 99–116.
- Heitefuss, R.: Nebenwirkungen von Herbiziden auf Pflanzenkrankheiten und deren Erreger. Z. Pflanzkrankh. Pflanzenschutz **5** (1970) Sonderh., 117–127.
- Heitefuss, R., und W.-D. Ibendahl: Physiologische und biochemische Untersuchungen zur Ursache von herbizidbedingten Veränderungen der Anfälligkeit von Weizen gegenüber Mehltau (*Erysiphe graminis*). In: DFG Forschungsbericht Herbizide. Boppard: Harald-Boldt-Verlag 1979, 52–57.

- Hertzfel, I., und G. Schmidt: Durchlässigkeit von Kunststoffröhren für Methylbromid. *Gesundh.-Ing.* **106** (1985) 43–46.
- Hoeven, E. P. van der, und G. J. Bollen: Effect of benomyl on soil fungi associated with rye. 1. Effect on the incidence of sharp eye spot caused by *Rhizoctonia cerealis*. *Neth. J. Plant Pathol.* **86** (1980) 163–168.
- Ivopky, C., und B. G. Tweedy: *Weet Sci.* **17** (1969) 110, zit. in: Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch für Bodenkunde. Stuttgart: Enke-Verlag 1982.
- Jeffrey, L. F.: Soil microbes pose problems for pesticides: *Science* **221** (1983) 1029–1032.
- Kapur, S., W. Beltfield und N. H. S. Gibson: The effects of fungicides on soil fungi with special reference to nematophagous species. *Pedobiologia* **21** (1981) 172–179.
- Karns, J. S., J. J. Kilbane, S. Duttgupta und A. M. Chakrabarty: Metabolism of Halophenols by 2,4,5-Trichlorphenoxyacetic acid – degrading *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.* **46** (1983) 1176–1181.
- Knoll, W., und S. Jayaraman: Zur Kontamination von Humanmilch mit chlorierten Kohlenwasserstoffen. *Die Nahrung* **17** (1973) 599–615.
- Korte, F.: *Ökologische Chemie: Grundlagen und Konzepte für die ökologische Beurteilung von Chemikalien*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1980.
- Kujawa, M., M. Härtig, R. M. Macholz und R. Engst: Der Abbau von Lindan durch eine Schimmelpilzkultur. *Die Nahrung* **20** (1976) 181–185.
- Kujawa, M., R. Macholz, R. Knoll und R. Plasse: Über das Verhalten von DDT in Rattenfeten und -neugeborenen. *Z. ges. Hyg.* **32** (1986) 468–470.
- Kulshresta, S. K., and L. Jauhar: Impairments Induced by Sublethal Doses of Sevin and Thiodan *Channa striatus* B (Channidae). *Acta hydrochim. hydrobiol.* **14** (1986) 429–432.
- Labon, R. C., T. E. Archer, D. G. Crosby and S. H. Peoples: 1965, zit. bei Kujawa et al. 1986.
- Leisinger, T.: Microorganisms and Xenobiotic Compounds. *Experientia* **39** (1983) 1183–1191.
- Litz, N., und H.-P. Blume: Das Verhalten des Herbizids 2,4,5-T in deutschen Acker- und Waldböden. *Z. Pflanzenernährung Bodenkd.* **148** (1985) 289–305.
- Loose, L. D., K. A. Pittmann, K. F. Benitz und J. B. Silkworth: Polychlorinated biphenyl and hexachlorobenzene induced humoral immunosuppression. *J. Reticuloendothelial Soc.* **22** (1977) 253–261.
- Lötsch, B.: Die Gefahren chemischer Schädlingsbekämpfungsmittel. I. Teil. *ifoam* **33** (1980) 2–6.
- Lünzer, I.: Der biologische Landbau – zukunftsweisende Alternative und umweltschonende Nahrungsmittelproduktion. Zur Rückstandssituation bei konventionell und ökologisch erzeugter Produktion. In: Stürmer, H.-D. (Hrsg.): *Chemikalien in der Umwelt*. BUND Freiburg i. Br.: Dreisam-Verlag 1984, 61–73.
- Lyons, C. D., S. E. Katz und R. Bartha: Persistence and mutagenic potential of Herbicides derived Aniline residues in pond water. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* **35** (1985) 696–703.
- Mac Rae, I. C., and A. J. Cameron: Bacterial reduction of Fensulfothion and its hydrolysis product – methylsulfinyl phenol. *Appl. Environm. Microbiol.* **49** (1985) 236–237.
- Mahn, E.-G., K. Germershausen, B. Helmecke, B. Hickisch, A. Kästner, J. Prasse und G. Sternkopf: Kurzzeitliche und langfristige Veränderungen von Zönosestrukturen im Agro-Ökosystem bei mehrjährigem Herbizideinsatz. *Wiss. Z. Univ. Halle* **32** (1983) Nr. 3, 69–96.
- Malcomes, H. P., W. Studel und R. Thielemann: Einfluß langjähriger Anwendung von Themik 10 G (Aldicarb) in einer Zuckerrüben-Monokultur auf Bodenmikroorganismen. *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienstes (Braunschw.)* **29** (1977) 52–57.
- Manke, E.: Bei den Limologen am Stechlin. *Spektrum* **14** (1983) 18–21.
- Martin, J. P., R. C. Baines und J. O. Ervin: Influence of soil fumigation for citrus replants on the fungus population of the soil. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* **21** (1957) 163–170.
- Moyer, J. R., R. J. Hance und C. E. McKone: The effect of adsorbents on the rate of degradation of herbicides incubated with soil. *Soil Biol. Biochem.* **5** (1972) 307–311.

- Munneke, D. M. M., und D. P. Hsieh: Pathways of microbial metabolism of parathion. *Appl. Environ. Microbiol.* **31** (1976) 63–69.
- Odum, P. E.: Grundlagen der Ökologie. 2 Bde. Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag 1983.
- Odzuk, W.: Umweltbelastungen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 1982.
- Oku, H., K. Oki, T. Shiraiski, K. Sato und S. Ouchi: Effects of fungicides benomyl and thiram on soil microflora and some soil inhabitant fungi. *Sci. Rpt. Fac. Agr. Okayama Univ. (Japan)* **54** (1979) 1–12.
- O'Leary, J. A., J. E. Davies, W. F. Edmundson und M. Feldmann: 1970, zit. bei Kujawa et al. 1986.
- Peebles, J. L.: Microbial activity in benomyl-treated soils. *Phytopathol.* **64** (1974) 857–863.
- Pokorny, D.: Grundlagen der Düngung und des Pflanzenschutzes. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1981.
- Pröstler, E.: Stillen trotz verseuchter Umwelt. *Öko Bericht* 19. Freiburg i. Br.: Dreisam-Verlag 1981.
- Ramanujam, T., C. Bellinck et J. Mayaudon: Effect des herbicides sur la decomposition de la cellulose <sup>14</sup>C dans les sols. Influence des phenylcarbammates sur l'activite biologique. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* **16** (1979) 151–156.
- Read, D. C.: Enhanced microbial degradation of Carbofuran and Fensulfothion after repeated application to acid mineral soil. *Agr. Ecosystem Environ.* **10** (1983) 37–47.
- Reggiani, G., und R. Bruppacher: Symptoms, Signs and Findings in Humans Exposed to PCB's and Their Derivatives. *Environmental Health Perspectives* **60** (1985) 225–232.
- Rehm, H.-J.: Industrielle Mikrobiologie. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1980, 700.
- Reinhold, R.: Zur Kontamination plastverpackter Lebensmittel mit Dichlorvos nach Anwendung von Fekama-Dichlorvos 50. *Z. ges. Hyg.* **32** (1986) 465–467.
- Roder, W., G. Feyerabend und H. Rogoll: Landwirtschaftlicher Pflanzenschutz. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1976, 105.
- Rohweder, O.: Ökodilemma. Sonderdruck aus „Natur und Mensch“ **23** (1981) H. 2–6; **24** (1982) H. 1–4.
- Safe, St.: Polychlorinated Biphenyls (PCB's) and Polybrominated Biphenyls (PBB's): Biochemistry, Toxicology and Mechanism of Action. *CRC Critical Rev. Toxicology* **13** (1983) 4, 319–396.
- Sato, K.: Effect of a pesticide, pentachlorophenol (PCP) on soil microflora. I. Effect of PCP on microbiological processes in soil percolated with glycine. *Plant and Soil* **75** (1983) 417–426.
- Sato, K.: Effect of a pesticide, pentachlorophenol (PCP) on soil microflora. II. Effect of PCP on bacterial flora in soil percolated with glycine or water. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **31** (1985) 197–210.
- Sauerbeck, D.: Funktion, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrökulturchemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung, H. 10. Stuttgart/Mainz: Verlag W. Kohlhammer GmbH 1985.
- Saupe, G.: Zur quantitativen Prognose des Bodenabtrages durch Wassererosion im Lößhügelland der DDR. 5. Fachtagung der KdT – AG Schutz und Nutzung des Bodens vom 14. bis 15. Okt. 1986 in Magdeburg. Kurzfassung: S. 9.
- Savage, E. P., et al.: Pesticides in Human Breast Milk. *Banbury Report* **11** (1982) 77–85.
- Schechnew, W. V.: Die zwei Dimensionen der Ökologie. Wissenschaften in der UdSSR (Akademie der Wissenschaften der UdSSR) 1985 (4), S. 82–91.
- Scheunert, I., and F. Korte: Interactions in the fate of chemicals in terrestrial systems. *Eco-toxicol. Environ. Safety* **9** (1985) 385–391.
- Schönhard, G.: Vergleich der Wirkung von Kalk und einem Kationenaustauscher bei der Festlegung von Schwermetallen im Boden. *Landwirtsch. Forsch.* **32** (1979) 4, 395–404.



- Schubert, R.: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1985, 133.
- Schuphan, W.: Pestizide, Nutzen und möglicher Schaden. Zbl. Bakt. Parasitenkd. **210** (1969) 240–258.
- Schuphan, W.: Die Situation im Pflanzenschutz als Problem der Qualitätsforschung. Anzeiger Schädlingskunde. Pflanzen- und Umweltschutz **47** (1974) 49–57.
- Schuphan, W.: Pflanzenzüchtung und moderne Kulturmaßnahmen, Fortschritt oder Rückschritt? *Qualitas Plantarum* (Den Haag) **27** (1977) 1–35.
- Schüttmann, W.: Klinische Beobachtungen zur chronischen Toxizität der Chlorkohlenwasserstoff-Pestizide. Z. ges. Hyg. **17** (1971) 12–18.
- Schwartz, C. C., J. G. Nagy and C. L. Streeter: Pesticide effect on rumen microbial function. *J. Anim. Sci.* **37** (1973) 821–827.
- Sedlag, U.: Vom Aussterben der Tiere. Leipzig/Jena/Berlin: Urania-Verlag 1983.
- Seidel, D.: Grundlagen der Phytopathologie und des Pflanzenschutzes. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1981.
- Spaer, D., und H. Lyr: The use of fungicides and resistant crop varieties as basis of modern plant protection strategies. In: *Systemic Fungicides and Antifungal Compounds*. 7. Internat. Symp. der Gesellschaft für Allgemeine und Technische Mikrobiologie in der biologischen Gesellschaft der DDR und der Gesellschaft für Mykologie der Medizinischen Gesellschaft der DDR vom 20.–26. 5. 1983. AdL DDR Tagungsbericht Nr. 222 (1984) 7–16.
- Still, G. G.: Metabolism of 3,4-dichloropropionanilide: in plants: The metabolic fate of the 3,4-dichloroaniline moiety. *Science* **159** (1967) 992–993.
- Stürmer, H.-D.: *Chemikalien und Umwelt*. Hrsg. BUND Freiburg i. Br.: Dreisam-Verlag 1984.
- Surcel, D., Z. Anca, St. Rimboiu und Al Abraham: Interaktion von Blei und Kadmium bezüglich einiger immunologischer Parameter. *Igiena (Bucuresti)* **33** (1984) 97–102.
- Süss, A.: Über den Abbau von Bodenherbiziden in verschiedenen Böden bei wiederholter und kombinierter Anwendung. *Bayer. Landw. Jahrb.* **47** (1970) 33–41.
- Süss, A., C. Eben und H. Siegmund: Verhalten von adsorbierten Herbiziden im Boden und deren Verfügbarkeit für die Pflanzen. *Z. Pfl.-Krankh., Pfl.-Path., Pfl.-Schutz. Sonderheft VI* (1972) 65–74.
- Tanaka, K. J., S. Marui and T. Mu: Mutagenicity of extracts of urine from rats treated with aromatic amines. *Mutat. Res.* **79** (1980) 173–176.
- Thomas, P. T., and R. D. Hinsdall: Effect of polychlorinated biphenyls on the immune response of Rhesus monkeys and mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **44** (1978) 41–49.
- Timms, P., and I. C. Mac Rae: Conversion of Fensulfothion Sulfide and Its Accumulation. *Australian J. Biol. Sci.* **35** (1982) 661–667.
- Timms, P., and I. C. Mac Rae: Reduction of Fensulfothion and Accumulation of the Product Fensulfothion Sulfide by Selected Microbes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **31** (1983) 112–118.
- Umweltgutachten 1978. Deutscher Bundestag, 8. Wahlperiode. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Drucksache 8/1938 vom 19. 9. 1978. Bonn: Verlag Dr. H. Heger 1978.
- Vrany, J., M. Stanek and V. Vancura: Rhizosphere microflora and colonization of wheat roots by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* after foliar application of urea and benomyl. *Folia Microbiol.* **25** (1980) 476–482.
- Waggoner, T. B., and A. M. Khasawinah: New aspects of organophosphorus pesticides. *Res. Rev.* **53** (1974) 79–97.
- Wallhöfer, P., et al.: Gebundene Rückstände chemischer Pflanzenschutzmittel in Boden und Pflanze. *Gesunde Pflanze* **32** (1980) 112–121.
- Walter, B.: Der Einfluß verschiedener Herbizide auf Struktur und Mikrobiologie des Bodens. *Z. Pfl.-Krankh., Pfl.-Schutz, Sonderheft V* (1970) 29–31.

- Weisenberg, E., et al.: Polychlorinated Biphenyl and Organochlorine Insecticides in Human Milk in Israel. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **14** (1985) 517–521.
- Wellenstein, G.: Imkerei und Umweltgifte. *Allg. Dtsch. Imkerztg.* **8** (1974) 191–196.
- Westerling, I. van de: 1972 Deterioration of soil structure in worm-free orchard soils. *Pedobiologia* **12** (1972) 6–15.
- WHO: Environmental Health Criteria: DDT and its Derivatives. Geneva: WHO 1979, 194 pp.
- WHO: Chemistry and specifications of pesticides. Serie 699. Geneva 1984.
- WHO: Environmental pollution in relation to development. Techn. Report Series 718. Geneva: 1985. WHO Expert Committee.
- Wirkand, M. O.: Zit. in: Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Enke-Verlag 1982.
- Witting, R.: Vorratsschutz mit Konservierungs- und Silierhilfsmitteln. In: Chemie in der Landwirtschaft, BASF-Symposium vom 12. September 1979 in Limburger Hof. Köln: Verlag Wissenschaft und Politik, Berend von Nottbeck 1981, 277–288.
- Wolf, H. J.: Phytoinhibitorische Metabolite von Bodenorganismen. *Zbl. Mikrobiol.* **140** (1985) 363–374.
- Wolter, D.: 1972 DDT in Oberflächengewässern. *Z. ges. Hyg.* **18** (1972) 247–248.
- Wong, S. H., D. R. Cullimore and L. Bruce: Effect of 2,4,5-Trichlorophenoxy Acetic (2,4,5-T) on the Morphology of *Klebsiella* spp. from Environmental and Clinical Sources. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **35** (1985) 739–744.
- Wright, S. J. L.: The effect of some herbicides on the growth of *Chlorella pyrenoidosa*. *Chemosphere* **1** (1972) 11–19.
- Zabon, M. R., R. Tyr und L. Tatorre: Zit. in: Kujawa, M., et al. 1986.

Dr. rer. nat. Sigrid Arendt-Peter  
Dr. sc. nat. Joachim G. Tauchnitz  
Rat des Bezirkes Leipzig  
Bezirks-Hygieneinspektion und -institut  
Beethovenstraße 25  
Leipzig  
DDR - 7010