

ANGEWANDTE CHEMIE

FORTSETZUNG DER ZEITSCHRIFT »DIE CHEMIE«
HERAUSGEGEBEN VON DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

84. JAHRGANG 1972
HEFT 7
SEITE 271–318

Chemischer Pflanzenschutz – gestern, heute und morgen^[**]

Von Klaus Sasse^[*]

Herrn Professor Richard Wegler zum 65. Geburtstag gewidmet

Der chemische Pflanzenschutz ist ein wichtiger Faktor für die Sicherstellung pflanzlicher Ernterträge und daher für Land- und Volkswirtschaft von weitreichender Bedeutung. Nach 30-jähriger systematischer Forschung stehen heute hochwirksame Chemikalien zur Bekämpfung der meisten wichtigen Schädlinge unserer Kulturpflanzen zur Verfügung. Infolge der Dynamik in der belebten Natur bedürfen diese Mittel auch in der Zukunft einer ständigen Ergänzung und Verbesserung. Die im Rahmen der „toxischen Gesamtsituation“ und der Umweltkontamination auf den chemischen Pflanzenschutz entfallenden Probleme sind weitgehend bekannt. Künftige Entwicklungen werden der weiteren Verminderung der Gefahren für Mensch und Umwelt in zunehmendem Maße Rechnung tragen.

1. Die Schadensursachen an Kulturpflanzen

Bereits Darwin hat den Begriff eines natürlichen Gleichgewichts mit dem Kampf der lebenden Organismen ums Dasein umschrieben. Seit der Mensch begonnen hat, die Natur für seine Zwecke auszunutzen und zu verändern, hat er in dieses Gleichgewicht eingegriffen und den Kampf gegen all die Kräfte aufgenommen, die dieses Gleichgewicht wieder herzustellen versuchen.

Da alle tierischen Lebewesen und eine große Zahl niederer Pflanzen nicht in der Lage sind, organische Substanz aus Kohlendioxid und Wasser aufzubauen und somit auf pflanzliche (oder tierische) Nahrung angewiesen sind, hatten alle Pflanzen zu allen Zeiten schon ihre natürlichen Feinde.

Schon der Mensch früherer Jahrhunderte mußte sich daher damit abfinden, daß er nicht alles, was er säte, auch ernten konnte, jedoch blieb ihm lange Zeit ein großer Teil der natürlichen Ursachen hierfür verborgen. Am offensichtlichsten erkennbar war der Schaden, den Insekten an Kulturpflanzen anrichten. Insekten nehmen eine überragende Sonderstellung im Tierreich ein. Mit über einer halben

Million beschriebener Arten, von denen mindestens 5000 als ausgesprochene Schädlinge unserer Kulturpflanzen angesehen werden müssen, machen sie die größte aller Tierklassen auf unserer Erde aus. Neben den Insekten waren auch Milben, Schnecken, Vögel und Nagetiere ganz allgemein schon vor mehreren Jahrhunderten als ungetreue Nutznießer unserer Kulturpflanzen erkannt worden.

Die Ursachen für Pflanzenkrankheiten blieben im Gegensatz dazu sehr lange Zeit mysteriös. Daß die Kulturpflanzen früherer Zeiten aber wie heute einer ständigen Gefährdung durch Krankheiten ausgesetzt waren, dafür gibt es viele geschichtliche Belege^[1]. So gehören „Dürre und Brand“ des Getreides in die Aufzählung der Strafen, die nach dem Mosaischen Gesetz auf Ungehorsam stehen (5. Mose 28, Vers 22). Die Römer feierten alljährlich ein Fest, genannt die Robigalia, von dem sie sich einen Schutz ihres Getreides gegen „Rost“-Befall versprachen, und Plinius d. Ä. gibt in seiner „Naturalis Historia“, Band 17/18 (77 n. Chr.), schon eine Reihe von Maßnahmen gegen Getreidekrankheiten an. Obwohl bereits im Altertum Erfahrungen über die Übertragbarkeit einiger menschlicher Krankheiten (z. B. Lepra) durch Kontakt oder die Luft vorlagen, führten erst die eingehenderen Untersuchungen von De Bary über die Biologie und Physiologie der Pilze (1853) sowie von Kühn über die Rolle der Pilze im Infektions- und Krankheitsgeschehen (1858) zu den heute selbstverständlichen Erkenntnissen über die parasitäre Ursache der Pflanzenkrankheiten. Im Gefolge der Studienergebnisse von Pasteur (1822–1895) und Koch (1876) konnten

[*] Dr. K. Sasse
Wissenschaftliches Hauptlaboratorium
der Farbenfabriken Bayer AG
509 Leverkusen-Bayerwerk

[**] Nach einem Vortrag bei der Hauptversammlung der Gesellschaft Deutscher Chemiker am 17. September 1971 in Karlsruhe.

mehrere Pflanzenschädigungen bald auch auf den Einfluß von Bakterien und Viren zurückgeführt werden.

Neben den tierischen Parasiten und den phytopathogenen Pilzen, Bakterien und Viren sind auch Unkräuter als Schädlinge anzusehen, da sie den Kulturpflanzen den für eine optimale Entwicklung notwendigen Lebensraum sowie Licht, Feuchtigkeit und Bodennährstoffe entziehen. Die Zusammensetzung dieses gesamten Spektrums an Schädlingen ist nach Art und Häufigkeit von einer Vielzahl von Standortfaktoren abhängig. Infolge der ständigen Dynamik in der belebten Natur ist diese Zusammensetzung am jeweiligen Ort einem fortwährenden qualitativen und quantitativen Wandel unterworfen, sobald durch Änderung der Umweltfaktoren bestimmte Elemente der Lebensgemeinschaft begünstigt oder benachteiligt werden. Hierzu gehören letzten Endes auch Änderungen der Kultur- und Pflanzenschutzmaßnahmen.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Verschleppung von Pflanzenfeinden in bis dato noch unbefallene Gebiete zu, die durch den weltweiten Handel mit Saat-, Pflanz- und Erntegütern stark gefördert wird. Beispiele: Die Schädlingsprobleme im französischen Weinbau in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, als mit dem Sortenwechsel nacheinander der echte Mehltau, die Reblaus und der falsche Mehltau zu Hauptschädlingen wurden und katastrophale Ernteverluste verursachten. Der Kartoffelkäfer, im 1. Weltkrieg aus den USA eingeschleppt, verbreitete sich von Frankreich über Deutschland bis weit nach Osteuropa. Der Tabakblauschimmel, 1958 aus Amerika nach England übertragen, drang quer durch Europa bis in den Vorderen Orient und Nordafrika vor.

2. Die Auswirkungen der Schäden am Erntegut

2.1. Der volkswirtschaftliche Aspekt

In Ländern mit vorwiegend agrarwirtschaftlicher Struktur muß ein Ausfall an landwirtschaftlichen Erträgen zu einer starken Verminderung des Volkseinkommens und mitunter zu einem Verlust der Handelsbasis führen. Hieraus können sich Teuerungen, wirtschaftliche Zerrüttung, soziale Unruhen, möglicherweise auch weiterreichende politische Konsequenzen ergeben. Beispiele: Das verheerende Auftreten der Kraut- und Knollenfäule im Kartoffelbau Irlands 1845/46, das zu einer fast völligen Vernichtung der Ernte führte. 250000 Menschen sollen hierdurch an Hunger gestorben sein, 2,5 Millionen verließen ihr Land. Dieselbe Krankheit löste 1916/17 auch in Deutschland echte Hungersnot aus (Kohlrübenwinter). Um 1870 wurden die Kaffeeplantagen auf Ceylon so stark durch eine Rostkrankheit befallen, daß man den Kaffeebau vollständig aufgab und durch Teeanpflanzung ersetzte. Die Einwanderung des Baumwoll-Kapselkäfers von Mexiko in die Südstaaten der USA um die letzte Jahrhundertwende senkte die Ernte um durchschnittlich 50%, so daß eine große Zahl der Farmer aufgegeben wurde und vor allem der farbige Bevölkerungsanteil seiner Lebensgrundlage beraubt wurde. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts führte in zahlreichen Gebieten des karibischen Raumes die Panamakrankheit zur Aufgabe großer Bananen-Anbauflächen. Auf Jamaika, dem

bedeutendsten Bananenexporteur, das 52% seiner Exporterlöse aus dieser Kultur gewann, war 1940 etwa die Hälfte der Plantagen vernichtet.

2.2. Der ernährungswirtschaftliche Aspekt

Eine nach Menge und Qualität ausreichende Ernährung ist für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des einzelnen wie der Menschheit überhaupt oberste Voraussetzung. Darüber hinaus stellt sich die ständig prekärer werdende Frage, ob und wie die sich nahezu explosionsartig vermehrende Menschheit in kommenden Generationen überhaupt noch am Ernährungsminimum gehalten werden kann. So ist allein in den kommenden 30 Jahren mit einer Bevölkerungszunahme von 3.5 auf 6 Milliarden zu rechnen, wenn sich nicht künstliche Geburtenregulatoren oder die als natürliches Geburtenregulativ anzusehende allgemeine Anhebung des Lebensstandards stärker auswirken. Nach Erhebungen der „Food and Agriculture Organization“ der Vereinten Nationen (FAO) leiden heute rund 500 Millionen Menschen an Unterernährung, und 1.5 Milliarden werden falsch oder nicht ausreichend ernährt.

Der eigentliche Hunger auf der Welt ist ein Eiweißhunger. Als ausreichende Ernährung wird die Zusammensetzung der Nahrung aus 25% animalischer und 75% vegetabilischem Kost angesehen. Zur Zeit herrscht die widersinnig erscheinende Situation, daß gerade in den Ländern, in denen der vorwiegende Teil der Bevölkerung im Agrarbereich

Tabelle 1. Erntevergleiche. Angegeben sind die Erträge in Doppelzentner pro Hektar.

Gebiet	Reis (dz/ha)			Weizen (dz/ha) 1964/65	Anteil an Weltproduktion (%)
	1945	1955	1965		
Japan	20	30	50		
Indien + Pakistan	13	13	16		
UdSSR				10.9	27.9
Europa (ohne UdSSR)				20.9	22.9
Nord- und Zentralamerika				16.4	20.2
Asien (ohne China und UdSSR)				8.6	11.9
China				6.9 [a]	6.0

[a] Angaben für 1953.

Tabelle 2. Maßnahmen zur Steigerung landwirtschaftlicher Erträge.

- a) Erweiterung der Anbauflächen
- b) Verbesserung der Standortwahl für bestimmte Kulturpflanzen
- c) Bodenbearbeitung und -verbesserung (Auflockerung, Be- und Entwässerung, Düngung)
- d) Artenwahl und züchterische Maßnahmen
- e) Rationalisierung der Bewirtschaftungsmaßnahmen
- f) Verbesserung der Agrarstruktur
- g) Schädlingsbekämpfung und Unkrautbeseitigung
- h) Ernte- und Saatgutsicherung (Transport, Lagerung, Konservierung)

tätig ist, die geringsten Erträge pro Flächeneinheit eingebracht werden (Tabelle 1)^[2]. Für die wenig industrialisierten Länder steht die Frage der Steigerung landwirtschaftlicher Erträge aus ernährungspolitischen Gründen im Vordergrund. Hierfür geeignete Maßnahmen sind in Ta-

belle 2 zusammengestellt. Es wird geschätzt, daß allein durch gezielte Pflanzenschutzmaßnahmen die Reisernte in Asien verdoppelt werden könnte.

2.3. Der agrarwirtschaftliche (ökonomische) Aspekt

In den hochindustrialisierten Ländern steht in der landwirtschaftlichen Produktion weniger das ernährungspolitische Moment als vielmehr der Gewinn im Verhältnis zum Aufwand an Arbeitskraft und Betriebsmitteln, d. h. die Rentabilität, im Vordergrund der Betrachtung. Wesentliche Faktoren zur Erreichung eines rentablen Ergebnisses unter Berücksichtigung der Marktpreissituation sind ein hoher Ertrag pro Flächeneinheit, die Erzeugung von Erntegut in marktgerechter, hochwertiger Qualität und (angesichts der ständig knapper und teurer werdenden Arbeitskraft) die Rationalisierung der Arbeit. In welchem Ausmaß die Erträge pro Flächeneinheit durch ackerbauliche Maßnahmen erhöht werden können, sollen einige Zahlenbeispiele veranschaulichen (Tabellen 3 und 4). In den USA

Tabelle 3. Kartoffelanbau in Deutschland.

Zeitraum	Erntefläche (ha)	Ertrag (dz/ha)
1901–1905	1 262 000	61.7
1921–1925	1 360 000	71.6
1941–1945	1 141 000	94.7
1947	851 000	124.5
1950	684 000	170.3

Tabelle 4. Erntevergleiche mehrerer Kulturen in USA.

Kultur	Ertrag (dz/ha)			
	1938	1948	1958	1968
Weizen	8.4	11.4	17.4	18.0
Mais	16.3	25.0	30.3	46.1
Baumwolle	2.6	3.4	5.1	5.6

konnte also innerhalb von 30 Jahren die Ernte an Weizen und Baumwolle pro Flächeneinheit mehr als verdoppelt, die an Mais sogar verdreifacht werden.

2.4. Der gesundheitliche Aspekt

Eine Verunreinigung der Nahrungsgüter durch Insekten und deren Exkremeante, durch Pilz-, Bakterien- oder Virusbefall sowie durch Fremdpflanzen oder deren Teile ist nicht nur als Qualitätsminderung zu betrachten. Vielmehr gibt es eine Reihe beachtenswerter Beispiele dafür, daß hierdurch in unsere Nahrung gelangende Fremdstoffe ernstliche gesundheitliche Schäden bei Mensch und Tier hervorrufen können^[3]:

Die giftigen Alkaloide des Getreideparasiten *Claviceps purpurea* (Mutterkorn) führten in der Vergangenheit zu sehr verbreiteten Vergiftungsfällen (Ergotismus). In den meisten Kulturländern ist daher der höchstzulässige Mutterkornanteil in Getreide oder Mehl gesetzlich vorge-

schrieben. Die Häufung von Leberzirrhosen und Leberkrebs vor allem in asiatischen Ländern wird mit dem auf *Penicillium islandicum* und *P. citrinum* zurückzuführenden „gelben Reis“ in Zusammenhang gebracht. Besonders toxisch sind die von *Aspergillus*-Arten (insbesondere *A. flavus*) produzierten Aflatoxine, die als Verunreinigung an Erdnüssen oder Erdnußmehl und Mais in Truthühner, Schweine und Rinder gelangen und über Leberschädigungen vielfach zu starken Vergiftungen führen.

Insekten und deren Fragmente in der Nahrung sind nicht nur ekelregend, sondern ebenfalls vielfach gesundheitsgefährdend. Daher ist z. B. in zahlreichen Ländern festgelegt, wie stark Mehl durch Insektenbruchstücke verunreinigt sein darf.

Viele als Unkräuter geltende Pflanzen enthalten für den Warmblüter giftige Alkaloide oder Saponine. Gelangen sie in die Nahrung von Mensch und Haustier, so können sich schwere Vergiftungen ergeben.

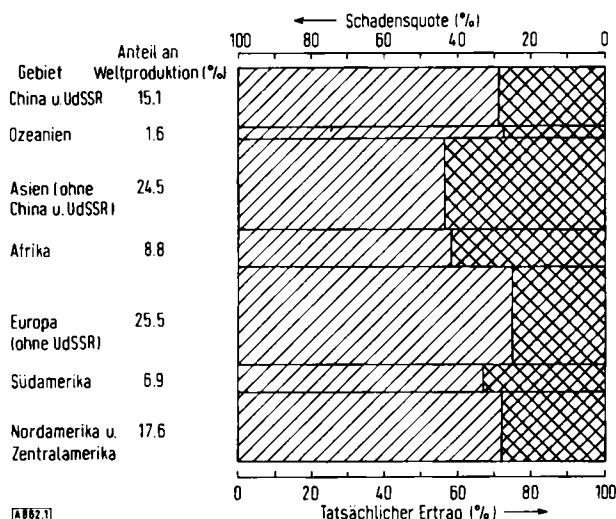


Abb. 1. Regionale Verteilung der Gesamternteerträge und Schadensquoten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß aus ernährungspolitischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Gründen eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion nach Menge und Qualität eine der Hauptaufgaben der Menschheit ist. Der durch Schädlinge verursachte Gesamtschaden an der Welternte wird heute auf etwa 35% der möglichen Ernte geschätzt (Abb. 1). Das entspricht einem Wertschaden von 70–90 Milliarden \$.

3. Die Entwicklung des chemischen Pflanzenschutzes

Vor dem 19. Jahrhundert fehlte eine auf gesicherter ätiologischer Grundlage basierende Betrachtungsweise der Pflanzenkrankheiten und -schädlinge. Demgemäß besaßen erste populäre Darstellungen über Bekämpfungsmaßnahmen^[4, 5] vorwiegend mystischen Charakter. Echte Erfolge dürften praktisch ausschließlich mechanische Methoden verzeichnet haben. Als chemische Mittel kamen anfangs

nur anorganische Materialien und Pflanzeninhaltsstoffe infrage. Auf welche Weise herausgefunden wurde, welche von ihnen tatsächlich wirksam sind, ist nur bruchstückhaft historisch belegt.

3.1. Insektizide

Bereits um die Mitte des 19. Jahrhunderts waren mehrere natürliche insektizide Prinzipien, z. B. die des Tabaks (Nicotin), der Blüten von Pyrethrum-Arten (Pyrethrine) und der Wurzeln einiger Leguminosen (Rotenoide) bekannt. Zu dieser Zeit wurden auch Petroleum oder seine Fraktionen zur Insektenbekämpfung eingesetzt. Die wegen ihrer mangelnden biologischen Abbaufähigkeit und ihrer hohen Gifigkeit für den Menschen heute in vielen Teilen der Welt verbotenen Arsenpräparate und die nur in geschlossenen Räumen verwendbare Blausäure vervollständigten die Palette.

Als erstes rein organisches, metallfreies Insektizid wurde in Deutschland 1892 4,6-Dinitro-2-methyl-phenol (Antinonin) zur Bekämpfung der Nonne (*Lymantria monacha*) eingeführt, dessen breiterem Einsatz die geringe Pflanzenverträglichkeit und relativ hohe Gifigkeit entgegenstanden. Weitere Teilerfolge konnten mit aliphatischen Rho-danverbindungen (1932), dem Phenothiazin (1934) und den Nitrocarbazolen (1938) erzielt werden.

Der große Durchbruch zu einem universell brauchbaren Kontaktinsektizid gelang erst dem Schweizer P. Müller mit dem *p,p'*-Dichlordiphenyl-1,1,1-trichlor-äthan (DDT), das ab 1940 wegen seiner breiten insektiziden Wirkung im Pflanzenschutz und im Hygienebereich einen unvergleichlichen Siegeszug durch die ganze Welt antrat. Durch das DDT konnten erstmals für die Übertragung gefährlicher Krankheiten verantwortliche Insekten (Anophelesmücken/Malaria, Kleiderläuse/Fleckfieber, Tse-Tse-Fliege/Schlafkrankheit) durchschlagend bekämpft und in mehreren Gebieten völlig ausgerottet werden (zum DDT-Verbot vgl. Abschnitt 7).

Fast gleichzeitig wurden in den Jahren 1941–1945 auch die insektiziden Eigenschaften anderer Chlorkohlenwasserstoffe erkannt, so des γ -Hexachlor-cyclohexans, des Toxaphens und der Polychlor-polycyclen. Die als Fraß- und Kontaktgifte wirkenden Chlorkohlenwasserstoffe besitzen meist hohe chemische Persistenz, die langdauernde Wirkung gewährleistet, aber auch die Gefahr der Kumulation in Warmblütern und Umwelt mit sich bringt.

Weltweite Bedeutung erlangten auch die Mitte der dreißiger Jahre von G. Schrader begonnenen Arbeiten an organischen Phosphorverbindungen, die 1944 mit der Entdeckung der Parathione (E 605) einen ersten Höhepunkt erreichten. In der Folgezeit wurde aus dieser Stoffklasse eine Vielzahl anderer hochwirksamer Insektizide aufgefunden, die jedoch die Parathione in bezug auf universelle Anwendbarkeit und Preiswürdigkeit bisher nicht übertreffen konnten. Trotz 30-jähriger intensiver Bearbeitung ist die Erforschung der Organophosphor-Insektizide auch heute noch nicht abgeschlossen. Ab 1950 gelang mit einigen Vertretern dieser Stoffklasse (Systox-Gruppe) auch die Entwicklung systemischer Präparate, die der Pflanze einen innerthera-

peutischen Schutz vor allem gegen saugende Schadinsekten verleihen.

Die Chlorkohlenwasserstoffe und die organischen Phosphorverbindungen haben in den vergangenen 25 Jahren die Voraussetzungen dafür geschaffen, daß heute in praktisch allen Kulturpflanzenbeständen die wesentlichen Schadinsekten unter Kontrolle gehalten werden können. Eine gewisse Ergänzung fanden diese Pestizide durch die ebenfalls als Cholinesterase-Hemmer wirkenden *N*-Methyl- und *N,N*-Dimethyl-carbamidsäureester von Phenolen, heterocyclischen Enolen und Oximen.

3.2. Fungizide

Infolge der viele Jahrhunderte dominierenden Ansicht, daß die Ursache für die Erkrankung von Pflanzen größtenteils auf Unzuträglichkeiten des Bodens zurückzuführen ist, versuchte man schon in sehr früher Zeit, diesen Widerwärtigkeiten durch Behandlung des Saatgutes zu begegnen. Man begann mit Wein und Urin. Im 17. Jahrhundert ging man z. B. in England dazu über, Getreidesaatgut zu „salzen“. Ab etwa 1760 wurde das Kochsalz durch Kupfersulfat ersetzt, das wegen seiner keimschädigenden Eigenschaften jedoch nicht befriedigte. Die eigentliche Bedeutung des Kupfers als Fungizid, die es für bestimmte Einsatzgebiete, vor allem im Weinbau, bis heute behaupten konnte, erlangte es in Form von Kupfersulfat-Kalk-Brühen (Bordeauxbrühe, Millardet 1885) und Kupferoxidchlorid.

Auf eine mindestens ebenso lange Geschichte als Fungizid wie die Kupfersalze kann der Schwefel zurückblicken, der bereits in vorchristlicher Zeit als reinigende Substanz galt und schon von Homer in der Ilias und Odyssee erwähnt wird. Die erste sicher verbürgte Anwendung des Schwefels als fungizides Pflanzenschutzmittel geht auf Forsyth (1803) zurück, der gegen Mehltauernkrankungen an Obst ein Spritzgemisch aus Tabak, Schwefel, Kalk und Holunderknospen empfahl. Auch heute hat der Netzschwefel noch praktische Bedeutung als Fungizid. Schließlich sei aus der Frühzeit der Fungizide noch der Formaldehyd erwähnt, der 1888 zum erstenmal als Desinfektionsmittel und 1895 zur Saatgutbehandlung herangezogen wurde.

Der deutsche Phytopathologe Hiltner erkannte 1910 die Wirkung des als Bakterizid bekannten Quecksilber(II)-chlorids gegen den Schneeschimmel an Getreide. Versuche, diese sehr giftige und wenig pflanzenverträgliche Substanz zu ersetzen, führten 1915 zum 3-Chlor-4-hydroxyphenyl-quecksilber(II)-hydroxid (Uspulun), dem ersten für die Landwirtschaft industriell hergestellten Fungizid. Hieraus wurden in der Folgezeit mehrere Alkyl- und Aryl-quecksilberverbindungen entwickelt (Ceresane, 1930), die als Saatgutbeizmittel in der Breite und Sicherheit ihrer Wirkung seither durch kein anderes Mittel übertroffen werden konnten.

In den Jahren 1933–1935 wurden die fungiziden Eigenschaften von Dithiocarbamaten und Thiuramdisulfiden erkannt. Universelle Anwendung im Obst-, Wein-, Kartoffel- und Hopfenbau fanden aber erst die Metallsalze der Alkylen-bis(dithiocarbamate) (1941). Ein neuer Standard für die Bekämpfung einer großen Zahl von Krankheiten an

grünen Pflanzenteilen wurde durch die Entdeckung der Trichlormethylsulfenyl-Derivate von Dicarbonsäureimiden gesetzt (1951), die den Einsatz der Kupfer- und Dithiocarbamat-Präparate im Obst- und Weinbau stark zurückdrängen konnten.

Nachdem hierdurch gezeigt worden war, daß sich unter metallfreien, rein organischen Verbindungen breit wirkende Fungizide befinden, brachte die systematische Forschung in der Folgezeit eine große Zahl neuer brauchbarer Wirkstoffgruppen zutage. Infolge größerer Varianz in bezug auf morphologischen Aufbau, Infektionsort und Art der Schädigung sind phytopathogene Pilze längst nicht so universell mit Präparaten gleicher Struktur oder Wirkungsart zu bekämpfen wie Insekten. Demgemäß besitzt eine vollständige Fungizidpalette größeren Umfang als die der Insektizide.

Erst in den letzten Jahren ist man auf systemische Fungizide gestoßen, die im Gegensatz zu den herkömmlichen, rein protektiven Mitteln den Pflanzen einen von der Stabilität der Spritzbeläge unabhängigen innertherapeutischen Schutz gegen Pilzbefall verleihen (Benzimidazol- und Pyrimidin-Derivate). Einige von ihnen (Oxathiin-Derivate) ermöglichen auch die Behandlung früher nicht bekämpfbarer Krankheiten, wie der Flugbrand- und Rostkrankheiten an Getreide.

3.3. Herbizide

Die Vertilgung von Unkraut in Kulturpflanzenbeständen ist zweifellos eine der schwierigsten Pflanzenschutzmaßnahmen, da sie Präparate erfordert, die unter praktisch gleich hoch entwickelten Organismen ganz bestimmte Arten aussondern. Für solche Stoffe lieferte weder die Natur selbst beispielhafte Vorbilder, noch befand sich unter den in der Frühzeit der Chemie bekannten Substanzen etwas Brauchbares. Darüber hinaus dürfte die Höhe der durch Unkrautkonkurrenz verursachten Ernteminderungen lange Zeit unterschätzt worden sein, so daß erhöhte Aufwendungen für Herbizide nicht sinnvoll erscheinen mußten. Demzufolge wurden bis in die Mitte der vierziger Jahre fast ausschließlich anorganische Verbindungen verwendet, die in großen Mengen billig zur Verfügung standen. Dies waren vor allem Eisensulfat (ab 1900), Schwefelsäure (ab 1910), Ammoniumsulfat und (ab 1942) Ammoniumsulfamat, Arsen(III)-oxid und Natriumarsenit. Natriumchlorat (ab 1900) und Natriumborat (ab 1930) werden trotz ihrer hohen Aufwandmengen und einer Reihe anderer Nachteile auch heute noch zur totalen Unkrautbekämpfung verwendet. Das Natriumsalz des 4,6-Dinitro-2-methyl-phenols war das erste in der Praxis verwendete organische Herbizid (1932).

Die systematische Entwicklung von Selektivherbiziden setzte erst gegen Ende des letzten Krieges ein und nahm dann einen rasanten Verlauf. Während es 1945 nur drei oder vier Herbizide von kommerzieller Bedeutung gab, stieg deren Zahl bis 1956 auf etwa 40, bis 1963 auf etwa 90, und heute dürfen weit mehr als 100 Wirkstoffe mit unterschiedlichem Wirkungsspektrum und unterschiedlicher Wirkungsweise zur Verfügung stehen.

Der wesentliche Anstoß für diese Entwicklung wurde durch die Entdeckung der Aryloxy-fettsäuren 1942–1944 in den USA und in England gegeben. Diese nach ihrem Wirkungsprinzip als Wuchsstoffherbizide klassifizierten Substanzen töten praktisch ausschließlich dicotyle Pflanzen ab, was ihre Anwendung in Getreidekulturen gestattet. Dieser Stoffklasse kommt unter allen bekannten Herbiziden auch heute noch die größte wirtschaftliche Bedeutung zu. Wuchsstoffähnliche Eigenschaften besitzt auch eine Reihe von Chlorbenzoësäuren und Chlorphenylessigsäuren.

Eine weitere bedeutsame Gruppe von Herbiziden sind die Photosynthese-Hemmer. Da alle höheren Pflanzen Energiehaushalt und Stoffaufbau über die Photosynthese bewerkstelligen, ist es verständlich, daß die hochwirksamen Substanzen dieser Art in ausreichender Konzentration alles Pflanzenwachstum unterbinden und daher zur totalen Unkrautvernichtung geeignet sind. Trotzdem ist es erstaunlich, daß viele Kulturpflanzen einige dieser Stoffe zu tolerieren vermögen. Die wichtigsten heute bekannten Photosynthese-Hemmer sind *N*-Aryl-*N'*-alkyl-harnstoffe, Diamino-s-triazine, Carbonsäureanilide, Uracile und Pyrazine.

Bevorzugte herbizide Wirkung gegenüber grasartigen Pflanzen weisen *N*-Aryl-carbamidsäureester, *N,N*-Dialkylthiocarbamidsäureester und Chloressigsäureamide auf. Quaternierte Bipyridyle stören den Elektronenübergang während der Photosynthese und bewirken eine Ansammlung von Wasserstoffperoxid, das die grünen Pflanzenteile zerstört. Von steigender wirtschaftlicher Bedeutung sind auch Herbizide vom Typ der Nitro-diaryläther (Reis) und der dreifach negativ substituierten *N,N*-Dialkylaniline (Baumwolle).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die gezielte und systematische Durchforschung der heute präparativ gut zugänglichen organischen Verbindungen eine Fülle biologisch aktiver Stoffe hervorgebracht hat und in Zukunft sicherlich auch noch bringen wird.

4. Aufgaben des chemischen Pflanzenschutzes für die nähere Zukunft

Die künftige Entwicklung des chemischen Pflanzenschutzes wird im wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt: Bedürfnisse des Marktes, Preissituation und „Gesamterscheinungsbild“ der Wirkstoffe. Die Bedürfnisse des Marktes richten sich einerseits nach der Bedeutung der einzelnen Kulturpflanzen, andererseits nach den für bestimmte Kulturpflanzen spezifischen Bekämpfungsproblemen. Für die meisten Indikationen stehen heute Wirkstoffe mit beachtlich hoher Potenz zur Verfügung. Durch Großproduktion konnten ihre Herstellungskosten zum Teil beachtlich gesenkt werden. Neue Wirkstoffe haben nur dann größere Marktaussichten, wenn sie eine günstigere Preis-Wirkungs-Relation aufweisen, Marktlücken schließen oder Wirkungsvorteile besitzen.

Welche Entwicklungstendenzen zeichnen sich für die nähere Zukunft ab? Unter dem Gesichtspunkt rationellerer und ergiebigerer landwirtschaftlicher Methoden wird sich der Trend zu großflächigen Monokulturen und arbeits-

kräftesparenden Maßnahmen weiter fortsetzen. Unter den Großkulturen werden solche mit hohen Flächenerträgen (z. B. Mais) und solche mit stark eiweißhaltigem Erntegut (z. B. Soja) steigende Bedeutung gewinnen. Die wechselnden Bekämpfungsprobleme gerade in diesen Kulturen werden besondere Aufmerksamkeit erfordern. Der Bedarf an Unkrautbekämpfungsmitteln wird, wie schon in den letzten Jahren, weiter zunehmen. So ist der Verbrauch an Herbiziden in der Bundesrepublik Deutschland von 1962 bis 1969 auf das Vierfache gestiegen. Vom gesamten Weltumsatz an Pflanzenschutzmitteln machen Herbicide heute bereits mehr als 50% aus.

Weltweit besteht ein Bedarf an Wirkstoffen gegen Parasiten, die mit den bisherigen Mitteln nur unbefriedigend oder überhaupt nicht bekämpft werden können. Hierzu gehören beispielsweise Viren, Bakterien sowie Erreger der System- und Welkeerkrankungen. Neue Wirkstoffe werden auch in den für den chemischen Pflanzenschutz bisher nur wenig erschlossenen Ländern oder Kulturen erforderlich, da die sich hier durch spezielle Schädlingsvorkommen und -vergesellschaftung, Klima- und Bodenverhältnisse ergebenden Bekämpfungsprobleme mit den bisherigen Mitteln nicht immer befriedigend lösen lassen.

Darüber hinaus ist auch in Zukunft damit zu rechnen, daß infolge Verschiebung biologischer Gleichgewichte, Artenverschleppung und ähnlicher Vorgänge ökonomisch heute noch unbedeutende Schadparasiten sich so stark vermehren, daß gezielte Gegenmaßnahmen notwendig werden. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß das Schädlingsaufkommen in unseren Kulturpflanzenbeständen einem ständigen Wandel nach Art und Häufigkeit unterliegt. Hauptursachen hierfür sind einerseits in Kulturmaßnahmen zu suchen, wie der zunehmenden Tendenz zu großflächigen Monokulturen, dem fehlenden Fruchtwechsel und der Züchtung von Hochertragssorten. Andererseits selektionieren die meisten gebräuchlichen Pflanzenschutzmittel unempfindlichere Schädlingsarten, deren Vermehrung durch den freiwerdenden Lebensraum weiter begünstigt wird. Darüber hinaus wird in steigendem Maße bei einigen Insekten- und Milbenarten, teilweise auch bei pilzlichen Parasiten, die Ausbildung und Vermehrung resisternter Biotypen beobachtet, deren Bekämpfung neue Wirkstoffe erfordert. Neue Wirkstoffe werden weiterhin auch als Ersatz für die heute als toxikologisch bedenklich und umweltbelastend anzusehenden Präparate benötigt.

Ernteihilfsmittel werden im Rahmen der Einsparung teurer Arbeitskraft in Zukunft steigende Bedeutung gewinnen. Die bisher als Voraussetzung für die maschinelle Ernteeinbringung notwendige Entblätterung von Baumwollpflanzen wird möglicherweise auch im Obst- und Weinbau Eingang finden, sobald hierfür geeignete Chemikalien zur Verfügung stehen. Derzeitige Forschungsrichtungen lassen damit rechnen, daß landwirtschaftliche Chemikalien künftig in steigendem Maße auch zur gezielten Wachstumsbeeinflussung von Kulturpflanzen herangezogen werden können. Erreichbar scheinen u.a. folgende Effekte: Wachstumshemmung und -beschleunigung, Verzögerung und Beschleunigung von Blüte und Fruchtreife, Verminderung oder Verstärkung des Fruchtansatzes, Erhöhung von Eiweiß- und Zuckergehalt des Erntegutes, Ertragssteigerung und Erhöhung der Froststabilität.

5. Nichtchemische Bekämpfungsmethoden – Biologische Schädlingsbekämpfung

In Fachkreisen und in der Öffentlichkeit ist besonders in jüngster Vergangenheit immer wieder die Frage diskutiert worden, ob auf den Einsatz chemischer Mittel zur Schädlingsbekämpfung nicht grundsätzlich verzichtet und die Ernteerträge allein durch biologische Verfahren sichergestellt werden könnten. Unter den sich hierfür ergebenden Möglichkeiten verdienen einerseits alle dem Schädlingsaufkommen entgegenwirkenden Maßnahmen an den Kulturpflanzen Beachtung, z. B. richtige Standortwahl, Bodenbearbeitung, züchterische Maßnahmen und Fruchtwechsel^[16]. Vor allem in der Aufzucht krankheitsresistenter Pflanzensorten sind in der Vergangenheit sehr bemerkenswerte Erfolge erzielt worden. Die andererseits gegen die Parasiten selbst zu richtenden biologischen Bekämpfungsmaßnahmen^[7–9] bestehen in der Förderung der am bestimmten Ort bereits existierenden natürlichen Feinde der Schädlinge und der Einführung neuer Arten solcher Organismen. Bei einzelnen Insektenarten konnten z.B. durch gezielten Einsatz von Raubinsekten, insektenpathogenen Pilzen und Bakterien gewisse Bekämpfungserfolge erzielt werden. Auch ist in den USA kürzlich für den gleichen Zweck eine Viruspräparation zur beschränkten Anwendung freigegeben worden. Es bestehen jedoch berechtigte Zweifel, ob diese „natürlichen“ Mittel in den notwendigen Aufwandmengen für den Menschen völlig ungefährlich sind. Auch lassen sich die Folgen einer gezielten Verschiebung des biologischen Gleichgewichtes durch den vermehrten Einsatz dieser „Nützlinge“ schwer abschätzen.

Im Rahmen einer Insektenbekämpfung ohne Insektizide sind in der Vergangenheit noch einige andere Verfahren eingehend bearbeitet worden oder werden noch weiterentwickelt: die Sterilisierung durch γ -Strahlen oder Chemikalien sowie die Verwendung von Lockstoffen, Repellentien, Antifeedants und Hormonen. Als einziges dieser Bekämpfungsverfahren hat die Insektensterilisation einige beachtenswerte Erfolge aus der Praxis zu vermelden. Diese Methode kann nur großräumig zum Erfolg geführt werden; sie erfordert staatliche Regie und eine umfangreiche Organisation. Durch die Freisetzung sehr vieler zusätzlicher Insekten müssen vorübergehend höhere Schadensquoten an den Kulturpflanzen in Kauf genommen werden. Bei kleinflächigen Anwendungen mit eventuell toxikologisch unbedenklichen Chemikalien ist der Bekämpfungserfolg ungewiß und tritt allenfalls erst nach längerer Zeit ein.

In den letzten Jahren gelang die Isolierung und Strukturaufklärung zweier Hormone, die für die Insekten-Metamorphose verantwortlich sind, des Häutungshormons Ecdyson und des Juvenilhormons^[10–12]. Die hieran geknüpfte Hoffnung, die Vermehrung von Insekten weitläufig gewissermaßen mit ihren körpereigenen Stoffen oder synthetischen Analogen kontrollieren zu können, hat sich bisher leider nicht erfüllt.

Die nüchterne Einschätzung der Leistungsfähigkeit aller hier aufgeführten Verfahren läßt zum augenblicklichen Zeitpunkt nicht den Schluß zu, daß zur Beherrschung der Schadensursachen in der Landwirtschaft auf den Einsatz

chemischer Pflanzenschutzmittel völlig verzichtet werden kann. Jedoch sollten im Rahmen der Resistenzentwicklung, der Rückstandsproblematik, der Nützlingsschonung und der Umweltkontamination alle aussichtsreich scheinenden Ausweichmöglichkeiten ausgeschöpft und gefördert werden.

Die optimale Kombination biologischer und chemischer Bekämpfungsmaßnahmen strebt man mit einer Vorgehensweise an, für die in jüngerer Zeit die Bezeichnung „Integrierter Pflanzenschutz“ geprägt wurde. Hierbei wird der Leitgedanke verfolgt, daß bei Ausschöpfung aller biologischen Möglichkeiten unter Inkaufnahme bestimmter Schadensquoten nur solche chemischen Mittel in solchen Mengen angewendet werden, daß sich ein optimales Gleichgewicht zwischen Schädlingen und Nützlingen einpendelt. Die Verwirklichung dieses Ziels verlangt nicht nur vom Landwirt ein planvolles, von Momentansituationen abhängiges flexibles Vorgehen, sondern darüber hinaus für viele Einzelkulturen sehr unterschiedliche spezifische Wirkstoffe, die heute erst in geringer Zahl zur Verfügung stehen. Auch bleibt die Frage einer eventuellen Resistenzförderung bei der Anwendung absichtlich unterschwelliger Dosen der Wirkstoffe offen.

6. Zur Toxikologie von Schädlingsbekämpfungsmitteln

Pflanzenschutzmittel sind entgegen vielfach verbreiteter Ansicht nicht „Biozide“ oder Gifte schlechthin. Die meisten der heute verwendeten Wirkstoffe greifen nur in einen bestimmten Stoffwechselvorgang ein, der nur für einzelne Gruppen von Lebewesen lebenswichtige Bedeutung besitzt. Wie aus einer Zusammenstellung von *Maier-Bode*^[13] (Tabelle 5) ersichtlich ist, befinden sich unter den jeweils

Tabelle 5. Akute orale Toxizität der vermutlich meist verwendeten je 20 Insektizide, Fungizide und Herbizide für Ratten, angegeben als LD₅₀ (per os) in mg/kg. Diese Wirkstoffe können z. T. auch unter anderen Namen in den Handel kommen.

LD ₅₀ (mg/kg)	20 Insektizide	20 Fungizide	20 Herbizide
bis 20	6 [a]		
21–100	6 [b]	1 [c]	2 [d]
101–500	4 [e]	3 [f]	3 [g]
501–1000	2		2
> 1000	2	16	13

[a] Azinphos, Disulfoton, Methyl-Parathion, Parathion, Mevinphos, Phosphamidon.

[b] Aldrin, Dichlorphos, Dieldrin, Endosulfan, Methyldemeton, Lindan.

[c] Phenylquecksilberacetat.

[d] Dinoceb, DNOC.

[e] DDT, Diazinon, Dimethoat, Fenthion.

[f] Nabam, Fentinacetat, Trichlordinitrobenzol.

[g] Diquat, Paraquat, 2,4-D.

20 vermutlich meist verwendeten Insektiziden, Fungiziden und Herbiziden nur wenige Stoffe mit höchster akuter oraler Giftigkeit für Warmblüter, und zwar ausschließlich bei Insektiziden. Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutz-

fläche, der mit Pflanzenschutzmitteln der Giftklasse I behandelt wird, beträgt insgesamt nur etwa 1%. Da die höchstgiftigen Insektizide relativ schnell unter atmosphärischen Bedingungen abgebaut werden, ist praktisch ausschließlich der Anwender gefährdet. Obwohl der moderne Landwirt mit den Schutzmaßnahmen beim Ausbringen toxischer Pflanzenschutzmittel vertraut ist, besteht der Wunsch, die hochgiftigen Insektizide in Zukunft durch weniger toxische Wirkstoffe zu ersetzen, was in den vergangenen Jahren auch schon in beachtlichem Maße gelungen ist.

Von weitaus größerer Bedeutung ist die Frage, inwieweit die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel zur Verunreinigung unserer Nahrungsmittel führt und in welchem Maße solche Verunreinigungen die Gesundheit gefährden. Für die richtige Einschätzung dieses Fragenkomplexes sollten wir uns vergegenwärtigen, daß unsere Nahrung aus einem unübersehbaren Gemisch von vielen Tausend Stoffen besteht, von denen nur ein begrenzter Teil dem körpereigenen Energiehaushalt und Stoffaufbau dient. Sehr viele dieser natürlichen Stoffe sind uns unbekannt; es darf aber mit Sicherheit angenommen werden, daß viele hiervon in überhöhter Menge zur Gesundheitsgefährdung führen. Weitere ungewollt mit unserer Nahrung aufgenommene Stoffe stammen aus der Tierzucht (Hormone, Antibiotika, Pharmaka und andere Futtermittelzusätze), aus Konserverungs- und Schönungsmitteln, künstlichen Farb- und Geschmacksstoffen sowie eventuell auch aus Verpackungsmaterialien.

Es muß als selbstverständlich gelten, daß der Konsument trotz erhöhter Ansprüche an die Qualität pflanzlicher Ernteprodukte nicht unbestimmten Gefahren ausgesetzt werden darf. Durch die heute bei der Registrierung von Wirkstoffen vorzulegenden Unterlagen und eine wirksame Kontrolle der Anwendungsvorschriften und Wartezeiten sollte eine gesundheitliche Gefährdung des Menschen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können.

Es sollte auch daran erinnert werden, daß ein großer Teil der eingesetzten Pflanzenschutzmittel mit dem späteren Erntegut überhaupt nicht in Berührung kommt, wenn diese am Saatgut oder im Boden angewendet werden oder vor der Fruchtbildung auf grüne Pflanzenteile gelangen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die ausgebrachten Wirkstoffe durch physikalische und chemische Einflüsse allmählich abgebaut werden. Für die Rückstandssituation ist entscheidend, welche Mengen der Wirkstoffe oder ihrer Abbauprodukte auf oder im Erntegut verbleiben.

Die auf oder in den Nahrungsmitteln als gesundheitlich ungefährlich angesehenen, zulässigen Höchstmengen von Pflanzenschutzmitteln („Toleranzen“) sind heute in vielen Ländern gesetzlich festgelegt, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. im Rahmen des Lebensmittelgesetzes in der Höchstmengen-Verordnung vom 30. November 1966. Toleranzen sind keine toxikologischen „Schwellenwerte“, deren Überschreitung unbedingt gesundheitliche Konsequenzen nach sich ziehen würde. Sie sind in erster Linie als Limitationen anzusehen, die es erlauben, der mißbräuchlichen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln juristisch entgegentreten zu können. Wissenschaftliche Grundlage für die Festlegung von Höchstmengen ist die toxikologisch

vertretbare Toleranz, die sich aus der maximalen, in chronischen Tierversuchen ermittelten, untoxischen Dosis unter Berücksichtigung eines ausreichenden Sicherheitsfaktors errechnet. Bedauerlicherweise unterscheiden sich die in den verschiedenen Ländern zugelassenen Rückstandshöchstmengen für die einzelnen Wirkstoffe nicht unerheblich, was die Kontrollmaßnahmen für über die Landesgrenzen gehende Erntegüter außerordentlich erschwert.

Die Untersuchungen zur Bestimmung der chronisch-toxikologischen Eigenschaften sind der aufwendigste und kostspieligste Teil der Entwicklungsarbeiten an einem neuen Pflanzenschutzmittel. Chronische Fütterungsversuche müssen in optimal hohen Dosierungen an mindestens zwei Säugetierarten über zwei Jahre durchgeführt werden, was bei Ratten fast der gesamten Lebensdauer entspricht. Nur solche Wirkstoffe, die völlig unverdächtig sind, carcinogene, teratogene, embryonaltoxische Eigenschaften zu besitzen oder wesentliche Organveränderungen zu verursachen, dürfen als gesundheitlich unbedenklich gelten. Nach den heutigen Maßstäben trifft das für eine Reihe älterer Wirkstoffe nicht mehr zu. Durch Gesetzesverordnungen ist vorgeschrieben, daß diese Chemikalien in oder auf Lebensmitteln in nachweisbarer Menge nicht vorhanden sein dürfen (Nulltoleranzen). Unter das Verbot oder die Einschränkung der Anwendung als Pflanzenschutzmittel fallen in Deutschland z. Z. vier Stoffgruppen (Arsenverbindungen, Fluoresigsäure und Derivate, Quecksilberverbindungen – mit Ausnahme der Saatgutbehandlung – und Selenverbindungen) sowie zehn Einzelwirkstoffe, unter denen sich acht Chlorkohlenwasserstoff-Insektizide befinden.

7. Umweltprobleme

Der große Mangel an sachlicher Information über den Einfluß von Verunreinigungen in der Atemluft, in Trinkwasser sowie Nahrungs- und Genußmitteln auf das gesundheitliche Befinden des Menschen haben in jüngster Vergangenheit zu allgemeiner Unsicherheit und Vergiftungsangst geführt. Den außerordentlichen Fortschritten im Gesundheitswesen und der Hygiene steht als Negativum die mit dem Bevölkerungszuwachs, dem steigenden Lebensstandard und der zunehmenden Technisierung zusammenhängende, enorm steigende Menge an Abfallprodukten gegenüber. Die natürlichen physikalischen, chemischen und biologischen Reinigungsmechanismen unserer Umwelt scheinen hierdurch in Einzelfällen bereits über die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit belastet zu sein.

Im Rahmen einer unerwünschten Beeinflussung der lebenden Umwelt durch Pflanzenschutzmittel ist zu unterscheiden zwischen akuten örtlichen Nebenerscheinungen einerseits und einer in größeren Bereichen auftretenden Verbreitung und Anreicherung bestimmter Wirkstoffe im Boden und in Gewässern sowie möglicherweise auch in der Nahrungskette andererseits. Unerwünschte, lokal begrenzte Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf frei lebende Tiere, z. B. Wild, Vögel, Fische, werden hin und wieder beobachtet, wenn auch die Zahl dieser Vorfälle, die tatsächlich auf Pflanzenschutzmittel zurückzuführen sind, gerin-

ger ist, als es gemeinhin angenommen oder behauptet wird. Vergiftungsercheinungen dieser Art stehen in der Regel mit den höher toxischen, aber nur kurze Zeit stabilen Wirkstoffen für die Nager- oder Insektenbekämpfung in Verbindung. Sie sind keine absolute Folge von Bekämpfungsmaßnahmen, sondern in den meisten beobachteten Fällen auf falsche Anwendung, mangelnde Sorgfalt oder unglückliche Umstände zurückzuführen. Diese Verluste an frei lebenden Tieren treten jedoch in sehr eng begrenzten Bereichen auf und gleichen sich schnell wieder aus. Trotz steigenden Verbrauchs an Pflanzenschutzmitteln hat sich z. B. der Bestand an Rehen und Rotwild in der Bundesrepublik Deutschland seit dem letzten Weltkrieg um das fünf- bis zehnfache vermehrt.

Erhöhte Beachtung erfordert die mit der Stabilität von Pflanzenschutzwirkstoffen und deren Metaboliten zusammenhängende Problematik. Von den Kurzzeitinsektiziden abgesehen, wird von den meisten Präparaten Beständigkeit über einen bestimmten Zeitraum auf dem Pflanzenmaterial oder im oder auf dem Boden verlangt. Nur dann kann der gewünschte Bekämpfungserfolg, z. B. gegen Unkräuter oder Pilzkrankheiten, gewährleistet werden. Auf der anderen Seite erfordern die Genießbarkeit des Erntegutes, die mögliche längerzeitige Beeinflussung des Kulturbodens sowie die unerwünschte Verunreinigung von Grund- und Fließwasser einen natürlichen Abbau der Wirkstoffe.

Von den als umweltbelastend anzusehenden Metallen und metallähnlichen Elementen hat im Rahmen von Pflanzenschutzmaßnahmen nur das Quecksilber in Form von Saatbeizmitteln weltweite Bedeutung. Allerdings ist die im Rahmen des Pflanzenschutzes „verbrauchte“ Quecksilbermenge gering im Vergleich zum Gesamtverbrauch. In der Bundesrepublik Deutschland gelangten 1969 von insgesamt 760 ts nur 27 ts (3.6%) in den Agrarsektor. Die hierdurch dem Boden zusätzlich zugeführte Quecksilbermenge ist nach neueren Untersuchungen nur ein Bruchteil dessen, was aus anderen Quellen aus dem Luftraum niedergeschlagen wird. Größere Gefahren birgt das mit Quecksilberverbindungen behandelte Saatgut selbst, wenn es wider jede Vernunft an Vieh versüßt wird. Die über Fische in die Nahrungskette gelangenden Quecksilbermengen stammen mit Sicherheit aus Verunreinigungen, die nicht mit dem Pflanzenschutz in Zusammenhang stehen.

Eine Anreicherung von Pflanzenschutzmitteln im Boden ist dann zu befürchten, wenn diese keine genügenden Angriffspunkte für einen atmosphärischen oder mikrobiologischen Abbau bieten. Dadurch bedingte Schwierigkeiten sind in der Regel örtlich begrenzt. Eine weiterreichende Umweltkontamination kann eintreten, wenn diese Mittel in großen Arealen und über einen längeren Zeitraum wiederholt angewendet werden, wobei auch mit einer Verbreitung über das eigentliche Anwendungsgebiet hinaus durch die Luft, über Grund- und Fließwasser sowie über Nahrungsketten gerechnet werden muß.

Das Problem der Umweltkontamination durch Pflanzenschutzmittel wurde zum erstenmal im Zusammenhang mit dem DDT aufgeworfen. Obwohl sich inzwischen herausgestellt hat, daß ein Teil der ursprünglich dem DDT angelasteten Verunreinigungen der Umwelt den Polychlor-biphenylen zuzuschreiben sind, die seit mehr als 40 Jahren

für vielerlei technische Zwecke verwendet werden, ist unbestritten, daß DDT heute überall auf der Welt nachweisbar ist. Die Ursache hierfür liegt einerseits in der hohen Persistenz dieser Verbindung (Halbwertszeit ca. 30 Monate) und andererseits daran, daß sowohl die Kleinlebewelt einschließlich des Planktons als auch das Fettgewebe höherer Tiere diesen Stoff in hoher Menge zu speichern vermag. Durch sehr umfangreiche Studien^[14] konnte aber dargelegt werden, daß, von wenigen lokalen Ausnahmen abgesehen, die ubiquitär auftretenden DDT-Konzentrationen weder für den Menschen noch für die freilebende Tierwelt eine nachweisbare gesundheitliche Schädigung befürchten lassen müssen. Unter Berücksichtigung heute noch nicht übersehbarer Eventualitäten haben sich allerdings die mit Gesundheits- und Umweltfragen betrauten staatlichen Instanzen mehrerer Länder dazu entschlossen, den Einsatz von DDT weitgehend zu verbieten und nur noch für bestimmte Anwendungsgebiete ausnahmsweise zuzulassen. Unter analogen Aspekten sind auch die übrigen, ebenfalls relativ persistenten Chlorkohlenwasserstoff-Insektizide in eine solche Reglementierung einbezogen worden. Um für die Zukunft die Einführung neuer persistenter Wirkstoffe zu unterbinden, werden neuerdings bei der Registrierung neuer Präparate auch Angaben über deren Abbauperioden verlangt.

8. Ausblick

Nach dem heutigen Stand unserer Entwicklung kann die intensive Landwirtschaft unter dem Zwang, Lebensmittel in ausreichender Menge und marktgemäßer Qualität zu erzeugen, auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Wachstumsregulatoren nicht verzichten. Nichtchemische, wirtschaftlich tragbare Schädlingsbekämpfungsmethoden können, so wünschenswert sie auch wären, nach unseren derzeitigen Kenntnissen die chemischen Mittel nicht grundsätzlich ersetzen. Pestizide sollten nach Art und Menge so eingesetzt werden, daß eine gesundheitliche Gefährdung des Menschen ausgeschlossen und eine schädliche Belastung der Umwelt vermieden wird. Dazu ist notwendig, daß alle Anwender von Pflanzenschutzmitteln die für den sachgemäßen Gebrauch erarbeiteten Empfehlungen und Vorschriften beachten und sich auch ihrer Verantwortung gegenüber ihren Mitmenschen und der Umwelt bewußt sind. Das bedeutet: Auswahl der für den bestimmten Zweck optimal geeigneten Mittel, Bevorzugung selektiver Wirkstoffe, Beschränkung auf notwendige Aufwandmengen, Einhaltung von Wartezeiten und Vermeidung von Großflächenbehandlungen mit persistenten Mitteln. Es ist niemandem damit gedient, wenn einzelne an sich höchst

bedauerliche, aber für das Gesamtbild unbedeutende Randerscheinungen dazu benutzt werden, der Öffentlichkeit zu suggerieren, daß sich die Menschheit mit Pflanzenschutzmitteln allmählich selbst vergiftet. Die bestehenden Rechtsvorschriften, verbunden mit der Kontrolle ihrer Einhaltung, sind nach unserem heutigen Wissensstand ausreichend, die gesundheitliche Unbedenklichkeit unserer Nahrung zu gewährleisten.

Entwicklung und Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sind längst keine ausschließliche Angelegenheit für Industrie und Landwirtschaft mehr. Zur Lösung der vielfältigen Probleme wäre es daher außerordentlich begrüßenswert, wenn die in manchen Bereichen schon gut funktionierende Zusammenarbeit zwischen der Privatwirtschaft einerseits und Hochschulinstituten sowie amtlichen Institutionen andererseits weiter belebt und intensiviert würde.

Wegen der heutzutage weltweiten Verteilung von Ernährungsgütern und auch im Rahmen von Fragen der Umweltbeeinflussung wird es immer dringlicher, die im Zusammenhang mit dem Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln getroffenen nationalen Regelungen in zwischenstaatliche Vereinbarungen einzubauen. Die von der Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen (FAO) in Zusammenarbeit mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erarbeiteten Empfehlungen für international geltende Rückstandstoleranzen sind ein hoffnungsvoller Anfang hierfür.

Eingegangen am 11. Juni 1971 [A 862]

- [1] G. B. Orlob, Pflanzenschutz-Nachrichten „Bayer“ 17, 185 (1964).
- [2] H. H. Cramer, Pflanzenschutz-Nachrichten „Bayer“ 20, 1 (1967).
- [3] W. Bartels u. H. H. Cramer, Pflanzenschutz-Nachrichten „Bayer“ 19, 129 (1966).
- [4] W. Forsyth: Über die Krankheiten und Schäden der Obst- und Forstbäume, nebst der Beschreibung eines von ihm erfundenen und bewährten Hilfsmittels, 1791.
- [5] Anonym: Erfahrungsmäßige Anweisung zur richtigen Kenntnis der Krankheiten der Wald- und Gartenbäume, der Getreidearten, Futterkräuter, Küchengewürze, Blumen, nebst den bewährten Mitteln dagegen, 1795.
- [6] F. Sprau, Arch. Pflanzenschutz 6, 225 (1970).
- [7] H. L. Sweetman: The principles of biological control—Interrelation of hosts and pests and utilization in regulation of animal and plant populations, WM. C. Brown Comp., Dubuque, Iowa, 1958.
- [8] J. M. Franz in: Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Bd. 6, 2. Aufl., 3. Lfg., Paul Parey, Berlin 1961, S. 1 ff.
- [9] W. W. Kilgore u. R. L. Doutt: Pest Control, Biological, Physical and Selected Chemical Methods. Academic Press, New York 1967.
- [10] V. V. Wiglesworth, Endeavour 24, 21 (1965).
- [11] H. Hoffmeister, Chem. Unserer Zeit 3, 140 (1969).
- [12] C. E. Berkoff, Quart. Rev. Chem. Soc. 23, 372 (1969).
- [13] H. Maier-Bode, Z. Praeventivmed. 10, 285 (1965).
- [14] Siehe z. B. D. A. Spencer: An Ecologist views the Environment. National Agricultural Chemicals Association, Washington 1970.