

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



**Auswirkungen eines langjährigen Einsatzes  
von Pflanzenschutzmitteln  
bei unterschiedlichen Intensitätsstufen  
und Entwicklung von Bewertungskriterien**

**Effects of a long-term application of  
plant protection products used in different intensities and  
development of assessment criterions**

Zusammengestellt von  
**Dr. Gerhard Bartels**  
und  
**Dr. Thomas Kampmann**

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

Heft 295

Berlin 1994

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

Kommissionsverlag Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH Berlin/Wien  
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3004-8

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Die Auswirkungen eines langjährigen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln bei unterschiedlichen Intensitätsstufen und Entwicklung von Bewertungskriterien = Effects of a long-term application of plant protection products used in different intensities and development of assessment criterions / hrsg. von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Zsgest. von Gerhard Bartels und Thomas Kampmann. – Berlin; Wien : Blackwell-Wiss.-Verl. [in Komm.], 1994**  
(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 295)  
ISBN 3-8263-3004-8

NE: Bartels, Gerhard [Hrsg.]; Effects of a long-term application of plant protection products used in different intensities and development of assessment criterions; Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft <Berlin; Braunschweig>: Mitteilungen aus der...

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

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

1994 Kommissionsverlag Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH Berlin/Wien, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin  
Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin

I N H A L T

G. BARTELS

- I. Zielsetzung des Projekts..... 7

G. BARTELS, H. NORDMEYER, T. KAMPMANN

- II. Versuchsstandort "Ahlum"..... 9

W. EBING, G. KREUZIG, H. STEMMER

- III. Untersuchungen zum Rückstandsverhalten der im Pflanzenschutzmittel-Großversuch Ahlum angewandten Fungizide und Insektizide..... 44

B. GOTTESBÜREN, W. PESTEMER

- IV. Prognose der Persistenz von Herbiziden und deren Auswirkungen auf Nachbarkulturen nach langjähriger Anwendung..... 70

K. POHL, H.-P. MALKOMES

- V. Einfluß langjähriger unterschiedlicher Pflanzenschutzintensitäten im Ackerbau auf die Aktivität von Bodenmikroorganismen.....115

W. SAUTHOFF, H. NIRENBERG, B. METZLER, U. GRUHN

- VI. Untersuchungen über den Einfluß einer intensiven Pflanzenproduktion auf die Zusammensetzung der Bodenpilzflora.....143

W. SAUTHOFF, W. OESTERREICHER

- VII. Untersuchungen über den Einfluß einer intensiven Pflanzenproduktion auf die Zusammensetzung der Bodenalgelflora.....167

E. KNÜSTING, G. BARTELS

- VIII. Einfluß unterschiedlich hoher Intensitäten acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Populationsdichte der Regenwürmer.....192

D. HEIMANN-DETFLESEN, S. THEISS, U. HEIMBACH

IX. Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftungsintensitäten auf die Collembolenfauna des Ackerbodens.....230

T. KAMPMANN, V. KÖLLNER

X. Vergleichende Untersuchungen von Milbenpopulationen in Ackerböden bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität.....274

B. LELIVELDT, D. STURHAN

XI. Untersuchungen über Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität auf die Nematodenzönose eines Ackerbodens.....318

T. KAMPMANN, B. GOTTESBÜREN, E. KNÜSTING, H.-P. MALKOMES

XII. Bewertungskriterien zur Belastung von Agrarökosystemen, Verknüpfung und Bewertung der Teilprojektdaten und Folgerungen für die Landwirtschaft.....353

C. KULA

XIII. Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf Laufkäfer (Coleoptera; Carabidae).....385

XIV. Liste aller Veröffentlichungen über die

Versuchsfläche "Ahlum".....401



C O N T E N T S

G. BARTELS

I. The aim of the project..... 7

G. BARTELS, H. NORDMEYER, T. KAMPMANN

II. The location "Ahlum"..... 9

W. EBING, G. KREUZIG, H. STEMMER

III. Studies on the residue behaviour of fungicides  
and insecticides applied during experimental  
main-project of Ahlum..... 44

B. GOTTESBÜREN, W. PESTEMER

IV. Prognosis on persistence of herbicides and  
effects of residues on succeeding crops after  
long-term application..... 70

K. POHL, H.-P. MALKOMES

V. Influence of long-term application of different  
pesticide treatment on soil microbial activity.....115

W. SAUTHOFF, H. NIRENBERG, B. METZLER, U. GRUHN

VI. Does a highly intensive plant production  
induce changes in the fungal soil flora?.....143

W. SAUTHOFF, W. OESTERREICHER

VII. Does a highly intensive plant production  
induce changes in the algal soil flora?.....167

G. BARTELS, E. KNÜSTING

VIII. Effects of different intensive plant production  
on the population density of earthworms.....192

D. HEIMANN-DETLEFSEN, S. THEISS, U. HEIMBÄCH

IX. Effects of different intensities of cultivation  
on the Collembola of agricultural soil.....230

T. KAMPMANN, V. KÖLLNER

- X. Comparative investigations on populations of mites in agricultural soils and the impact of different intensities of cultivation.....274

B. LELIVELDT, D. STURHAN

- XI. Studies on the impact of different intensity of cultivation on the nematode community in field soil.....318

T. KAMPMANN, B. GOTTESBÜREN, E. KNÜSTING, H.-P. MALKOMES

- XII. Criteria of stress in agricultural ecosystems, its connection and assessment of data and conclusions for agriculture.....353

C. KULA

- XIII. Effects of different intensity of plant production on carabid beetles (Coleoptera; Carabidae).....385

- XIV. List of all publications on the location "Ahlum".....401

## I ZIELSETZUNG DES PROJEKTS

Gerhard Bartels

Der Boden ist Lebensraum und Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen sowie Teil der Ökosysteme mit ihren Stoffkreisläufen.

Zu den Stoffeinträgen in den Boden gehören auch Pflanzenschutzmittel, die in der Landwirtschaft eine wichtige Stellung zur Sicherung und Erleichterung der Produktion einnehmen. Markt- und betriebswirtschaftliche Zwänge haben den Einsatz dieser Produktionsmittel gerade in der intensiven Landwirtschaft steigen lassen. Obwohl die Landwirtschaft unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf diese Produktionsmittel nicht verzichten kann, muß sichergestellt sein, daß negative Einflüsse auf die erzeugten pflanzlichen Produkte und auf den Boden ausgeschlossen werden.

Der Schutz des Bodens wird mittelbar und unmittelbar durch eine Vielzahl von Gesetzen geregelt. Hierzu gehört auch das Gesetz zum Schutze der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz). Um eine langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit zu gewährleisten, ist in diesem Pflanzenschutzgesetz neben dem Schutz von Mensch, Tier und Pflanze die Schutzwürdigkeit des Naturhaushaltes, der als Wirkungsgefüge seiner Bestandteile Boden, Wasser und Luft sowie Tiere und Pflanzen definiert wird, ausdrücklich erwähnt.

Pflanzenschutzmittel gelangen bei der Anwendung entweder gezielt oder z. T. ungewollt in oder auf den Boden. Sie unterliegen nicht nur den dort ablaufenden Prozessen wie z. B. Sorption, Verlagerung und Abbau, sondern können selbst Einfluß nehmen auf Organismen, insbesondere Mikroorganismen und deren Aktivitäten. Gerade für Pflanzenschutzmittel kann jedoch der Einfluß auf pflanzenpathogene Organismen, wie z. B. Bodenpilze, Ziel der Behandlung sein. Daher ist speziell für die auf oder in den Boden gelangenden Pflanzenschutzmittel der Aspekt der Auswirkungen von besonderer Bedeutung. Unsicherheiten ergeben sich zur Zeit insbesondere in der Bewertung nachweisbarer Wirkungen.

Ein frühzeitiges Erkennen und Vermeiden potentieller Gefährdungen des Bodens setzt voraus, daß geeignete, vor allem aber empfindliche und aussagekräftige Untersuchungsmethoden zur Verfügung stehen, um derartige Einflüsse zu erfassen und zu bewerten.

Ziel der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen war die Erfassung und Bewertung möglicher Beeinflussungen des Agrarökosystems durch unterschiedlich intensive Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in differenzierten Landwirtschaftssystemen.

Dabei waren drei Themenkomplexe vorrangig zu unterscheiden:

1. Das Rückstandsverhalten von Pflanzenschutzmitteln im Boden
2. Die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenmikroflora
3. Die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfauna.

Auch wenn bei den heute zugelassenen Pflanzenschutzmitteln keine nennenswerten Akkumulationen beobachtet wurden, blieb die Frage zu klären, welche Konzentrationen im Boden gerade bei langjährig wiederholter Anwendung zu möglichen schädlichen Auswirkungen führen. Bei der Betrachtung der Persistenz von Pflanzenschutzmitteln im Boden ist neben einer Prognose der Rückstandssituation vor allem die Persistenz der biologischen Aktivität, die primär für potentielle Auswirkungen auf den Naturhaushalt verantwortlich ist, zu berücksichtigen.

Bei der Bearbeitung möglicher langfristiger Auswirkungen von Pflanzenschutzmaßnahmen ist darüberhinaus insbesondere die Artenzusammensetzung und Regenerationsfähigkeit der Bodenbiozönose von Bedeutung.

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1987-1990 auf dem Versuchsstandort Ahlum des Versuchsgutes der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig durchgeführt. Das Versuchsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie finanziell gefördert. Dem Bundesministerium und allen Mitarbeitern, die an der Durchführung dieses Projektes beteiligt waren, sei an dieser Stelle ein herzlicher Dank gesagt.

## I AIMS OF THE PROJECT

Gerhard Bartels

The soil is the habitat and basis of the existence for human beings, animals and plants as well as a part of the ecosystem and the element cycle.

Pesticides are important to secure the yield of crops and to facilitate harvesting and they represent an important part of the input of elements into the soil. Economic compulsions lead to an increase of the use of pesticides in intensive agriculture. Farmers can not do without the use of pesticides because of economic reasons but it has to be made sure that there is no negative effect on the produced plants and the soil.

A number of different governmental laws guarantees the protection of the soil. Part of this corpus fo laws is the German Plant Protection Act (Pflanzenschutzgesetz). To ensure a lasting security of soil fertility, this act insists on the protection of human beings, animals and plants and particularly on the need of the protection of the natural balance. This natural balance is defined as soil, water and air and all interactions between them.

When pesticides are applied they contaminate the soil in an intended or unintended way. Pesticides in and on the soil are not only exposed to all natural processes like sorption, movement and degradation but they may also have an influence on organisms, especially microorganisms and their activity. This influence on soil microorganisms provided they are pest species can be an aim of pesticides. The aspect of side effects is particularly important concerning those pesticides which get on or in the soil. At present it is above all difficult to evaluate detectable effects.

An early detection of unwanted effects is needed to avoid damage to the soil. Therefore sensitive and effective methods have to be designed and to be used in order to detect and evaluate undesired effects.

The aim of this research project was to detect and evaluate possible effects of different intensities of pesticide use in different crop management systems on the agroecosystem.

Three different topics had to be considered as a matter of priority:

1. Behaviour of the residues of pesticides in soil.
2. Side effects of pesticides on soil microflora.
3. Side effects of pesticides on soil microfauna.

Although no significant accumulation of today's registered pesticides in the soil is known, the question had to be answered which concentration of pesticides in the soil can be harmful especially when products are used repeatedly for many years. Apart from the persistence of pesticides in soil and the prognosis of residues it is above all the persistence of biological activity being primarily responsible for the potential effects on the natural balance which has to be taken into consideration.

When searching for possible and longlasting effects of pesticides especially the spectrum of species and the regenerative power of the soil biocoenosis are very important factors.

The experiments were carried out between 1987 to 1990 on a field near Ahlum belonging to the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry in Braunschweig. The project was financially supported by the German Ministry of Technology and Science. We would like to thank the German Ministry and all other participants involved in the practical work on the project.

## II VERSUCHSSTANDORT "AHLUM"

Gerhard Bartels, Henning Nordmeyer, Thomas Kampmann

### 1 Lage, Exposition und Boden

Die Untersuchungen im Rahmen des BMFT-Bodenschutzprogramms wurden auf einer Versuchsfläche der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) durchgeführt. Diese Versuchsfläche Ahlum liegt östlich der Stadt Wolfenbüttel. Die genaue Lage der Fläche ist der Deutschen Grundkarte 1:5000, Blatt Atzum - Süd (Nr. 3829/8) zu entnehmen. Der Standort gehört zum Ostbraunschweigischen Hügelland. Es handelt sich um eine Bördenlandschaft mit überwiegender Ackernutzung auf großflächig, weitgehend einheitlichen, guten Böden. Vorherrschend sind flachwellige Lössböden bzw. flachhängige Lössbecken mit Hangfußlagen. In Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial, der Entwicklungszeit und den Umweltbedingungen bildete sich eine typische Bodengesellschaft heraus. Bei den Böden dieser Region handelt es sich im allgemeinen um Schluffböden aus gering mächtigen bis mächtigen Lössdecken mit hohem Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser. Dabei sind frische, örtlich jedoch auch staunasse Böden anzutreffen. Als Bodentypen kommen Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden vor, die an Ober- und Mittelhängen teilweise erodiert sind. An Unterhängen treten häufig Kolluvien auf. Der Standort gehört zur subkontinentalen Bergvorlandregion. Das Relief ist als flachwellig mit Höhenlagen zwischen 100 bis 120 m ü. NN. anzusprechen.

Das Klima der Region ist als verhältnismäßig trocken einzustufen. Die Jahresniederschläge liegen im langjährigen Mittel bei 638 mm. Das Jahresmittel der Temperatur liegt geringfügig unter 9 °C. Die klimatische Wasserbilanz von Oktober bis März ist positiv. Während der Hauptvegetationsperiode treten dagegen Defizite bis 100 mm auf.

Um Aussagen über den Nähr- und Schadstoffhaushalt sowie möglicher Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfauna und -flora eines Ökosystems machen zu können, ist die Erfassung der Bodeneigenschaften von grundsätzlicher Bedeutung.

Anhand der bodenkundlichen Kartierung (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 1988) des Standortes sowie in weiteren Detailuntersuchungen erfolgte eine genaue Charakterisierung des Standortes Ahlum. Dabei zeigte sich, daß auch auf Schlägen, die allgemein als homogen eingestuft werden (z. B. Lößböden), eine räumliche Heterogenität (Variabilität) der Bodeneigenschaften festzustellen ist. Diese darf bei der Bewertung nutzungsspezifischer Auswirkungen auf die Prozesse im Boden nicht unberücksichtigt bleiben.

Im einzelnen läßt sich der Versuchsstandort Ahlum folgendermaßen charakterisieren:

Das Ausgangsgestein der Bodenbildung ist sehr unterschiedlich. Teilweise ist jungweichselzeitlicher, weitgehend entkalkter Löß unterlagert von Kalksteinzersatz der Oberkreide mit hohem bis sehr hohem Carbonatgehalt (bis > 50 Gew. %) anzutreffen. Primäre Kalkgehalte treten je nach Lößmächtigkeit zwischen 20 und 200 cm unter Geländeoberfläche auf. Im nordöstlichen Teil der Versuchsfläche folgt mächtiger Lößlehm über verschiedenen saaleiszeitlichen Lockersedimenten (Geschiebelehm, glazifluviale Sande, Geschiebemergel). Die Lößmächtigkeit des Standortes schwankt zwischen wenigen cm und 190 cm (Abb. 1).

Der Löß ist vollständig entkalkt. Die schwankenden Mächtigkeiten des Lösses sind auf unterschiedlich starke Akkumulation schon während der Sedimentationsphase und auf wechselnde Erosionsintensitäten zurückzuführen.

Bei der bodenkundlichen Kartierung konnten 11 Bodeneinheiten als relativ homogene Areale bestimmt werden. Vorherrschend sind drei Bodentypen mit verschiedenen Übergangsformen. Anzutreffen sind Rendzinen (1,5 % der Gesamtfläche), Parabraunerden (74,5 % der Gesamtfläche) und Kolluvien (24 % der Gesamtfläche). Alle



Böden weisen eine mittlere Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Zustand auf (10 bis 40 cm/d). Als typisches Bodenprofil ist auf diesem Standort die Parabraunerde anzutreffen.

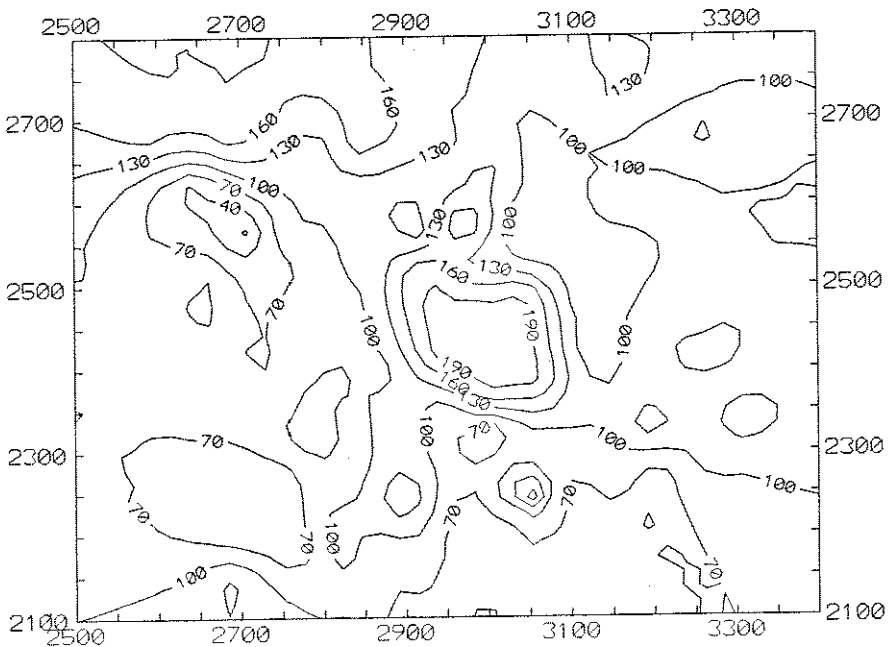


Abb. 1: Karte der Lößmächtigkeit (Koordinatenangabe als Hoch- und Rechtswerte)

Dieser Bodentyp kann z. B. durch folgende Horizontabfolge gekennzeichnet werden:

- Ap: Ackerkrume (bis 30 cm Tiefe)
- Al: Tonverarmungshorizont (bis 46 cm Tiefe)
- Bt: Tonanreicherungshorizont (bis 92 cm Tiefe)
- Bv: Verbraunung (bis 105 cm Tiefe)
- Bv-Sw: Verbraunung-Staunässe (bis 115 cm Tiefe)
- II Cv: geologischer Schichtwechsel (Geschiebelehm oder glazifluviatiler Sand)

Charakteristisch für den Bodentyp Parabraunerde ist der Tonanreicherungs-horizont. Er hat am Standort Ahlum eine Mächtigkeit von 3 bis 47 cm (Abb. 2) und beginnt zwischen 23 und 82 cm Tiefe im Bodenprofil (Abb. 3). In Tabelle 1 sind exemplarisch die wesentlichen Bodeneigenschaften eines typischen Leitprofils zusammengestellt. Dazu gehört der organische Kohlenstoffgehalt ( $C_{org.}$ ), der pH-Wert, die Kationenaustauschkapazität (KAK), die Körnung (Sand, Schluff, Ton), das Gesamtporenvolumen (GVP) und die Lagerungsdichte (Ld).

Tab. 1: Bodeneigenschaften eines typischen Leitprofils des Standortes Ahlum (\* = keine Daten verfügbar)

Horizont	Entnahmetiefe [cm]	C <sub>org.</sub> [%]	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	KAK mmol <sup>+</sup> z <sup>-1</sup> /100g Boden]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	GVP [%]	L <sub>d</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]
Ap	0 - 25	1,8	6,6	10,9	6,7	79,3	14,0	*	1,40
Al	25 - 36	1,4	6,6	10,5	*	*	*	*	*
Bt-Al	36 - 46	0,4	6,7	13,5	2,7	73,9	23,4	40,0	1,59
Bt1	46 - 60	0,3	6,8	16,8	*	*	*	*	*
Bt2	60 - 75	0,3	6,7	17,2	5,2	67,0	27,9	42,0	1,53
Bt3	75 - 92	0,2	6,9	14,1	*	*	*	*	*
IIBv	92 -105	0,2	7,4	12,7	40,7	40,0	19,3	*	*

Bei den Bodeneigenschaften ist zu unterscheiden zwischen quasi-zeitkonstanten Bodenmerkmalen wie z. B. Körnung und dem Gehalt an organischer Substanz und zeitlich labilen Merkmalen wie z.B. Nährstoffgehalte. Der Gehalt an organischer Substanz kann kurzfristig nur durch extreme Bewirtschaftungsänderungen beeinflusst werden (z. B. Krümenvertiefung, Grünlandumbruch).

Auf der Versuchsfläche wird die Körnung der Bodentypen durch die Dominanz der Schlufffraktion geprägt. Je nach Ausgangsmaterial können die Anteile 80 % erreichen. Die Bodenart ist in der Ackerkrume (0-30 cm) im wesentlichen als toniger Schluff anzusprechen. Dieser Körnungsklasse können 95 % der Gesamtfläche zugeordnet werden. Die Verschlammungsneigung läßt sich aufgrund der Tongehalte (bis 25 % im Oberboden) als schwach bis mittel

einstufen, während die potentielle Erodierbarkeit als mittel bis hoch anzusehen ist. Das Gesamtporenvolumen liegt im Durchschnitt bei 50 %; die nutzbare Feldkapazität bei 25 Vol%. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes ist als hoch zu bewerten. Für 98,5 % der Fläche konnten für die Ackerkrume Lagerungsdichten ( $d_B$ ) von 1,2 bis 1,4 ( $g/cm^3$ ) ermittelt werden. Im Unterboden betragen die Raumgewichte bis 1,7 ( $g/cm^3$ ).

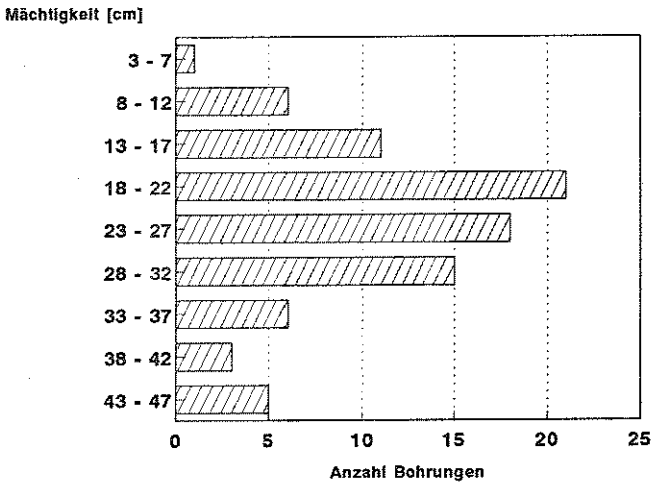


Abb. 2: Mächtigkeit der Tonanreicherungshorizonte

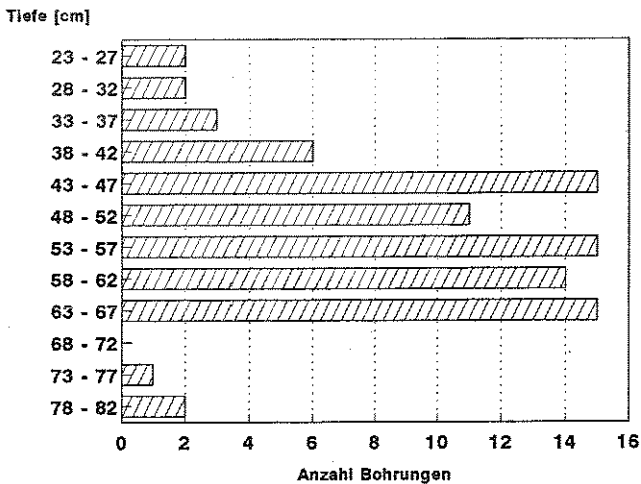


Abb. 3: Obergrenze der Tonanreicherungshorizonte

Nach den Ergebnissen der Bodenkartierung können 75 % der Versuchsfläche Ahlum als schwach humos (Bodenkundliche Kartieranleitung, 1982) und 25 % als humos bezeichnet werden. Die zum Teil niedrigen Humusgehalte haben ihre Ursache in den guten Zersetzungsbedingungen im Boden. Die Humusqualität des Standortes Ahlum kann nach der ermittelten Kationenaustauschkapazität (10 mmol/100 g Boden) und dem engen C/N-Verhältnis (10 bis 15) als mittel eingestuft werden. Daraus ist ein hoher Huminsäureanteil der organischen Substanz abzuleiten.

Ähnlich wie beim Humusgehalt können auch für den pH-Wert bestimmte Verteilungsflächen auf dem Gesamtschlag angegeben werden. Die Spannbreite liegt zwischen pH 6,25 und 7,45. 56 % der Gesamtfläche wird durch einen mittleren pH-Wert von 6,85 (6,65 bis 7,05) repräsentiert.

In Detailuntersuchungen wurden im Herbst 1988 auf den drei Teilschlägen und den jeweiligen Intensitäten die Gehalte an organischem Kohlenstoff und die pH-Werte ermittelt. Dazu wurden Bodenproben aus 0 bis 10 cm Tiefe gezogen und auf die entsprechenden Parameter untersucht. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 zusammengestellt. Zwischen den einzelnen Schlägen und Intensitäten konnten nur geringe Unterschiede im Humusgehalt ermittelt werden (Abb. 4). Dies ist auch zu erwarten, da die Versuchsfläche gleichmäßig, langjährig ackerbaulich genutzt wurde. Der Humusgehalt als quasi zeitkonstante Größe reagiert kurzfristig nicht auf bestimmte Bewirtschaftungsweisen (z. B. verschiedene Intensitäten). Unter den vorliegenden klimatischen Bedingungen ist ein jährlicher Abbau der organischen Bodenmasse von 2 bis 3 % zu erwarten. Das entspricht etwa einer Abnahme des Humusgehaltes von 1,8 auf 1,75 %. Dies liegt im Streubereich der Meßmethode, so daß geringfügige Veränderungen nicht erfaßt werden können.

Daß insgesamt immer von einer Heterogenität der Bodeneigenschaften ausgegangen werden muß, zeigen die Ergebnisse einer Rasterbeprobung (30 x 78 m) auf Teilflächen des 36 ha Schlages (Abb. 5). Die nach einem geostatistischen Verfahren (Kriging)

ausgewerteten Daten zeigen die Variabilität des Kohlenstoffgehaltes ( $C_{org.}$ ) in der Bodenschicht 0 bis 10 cm. Es wird deutlich, daß in dem betrachteten Bodenareal Schwankungen von 1,1 bis 1,8 % auftreten. Insgesamt ist der Standort bei dieser Schwankungsbreite noch als relativ homogen anzusehen.

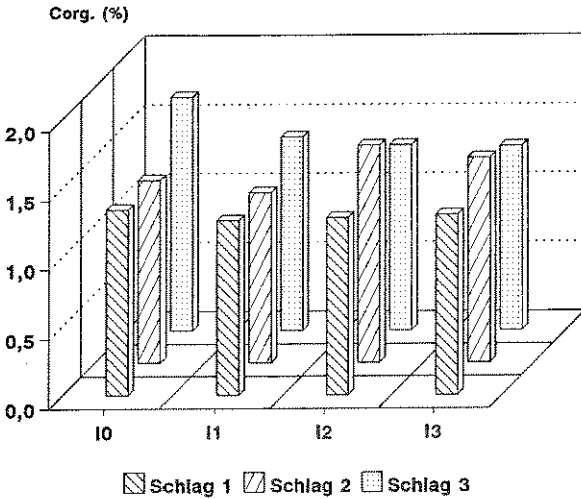


Abb. 4: Organische Kohlenstoffgehalte ( $C_{org.}$ ) auf verschiedenen Schlägen und Intensitäten des Standortes Ahlum (Probenahme Herbst 1988)

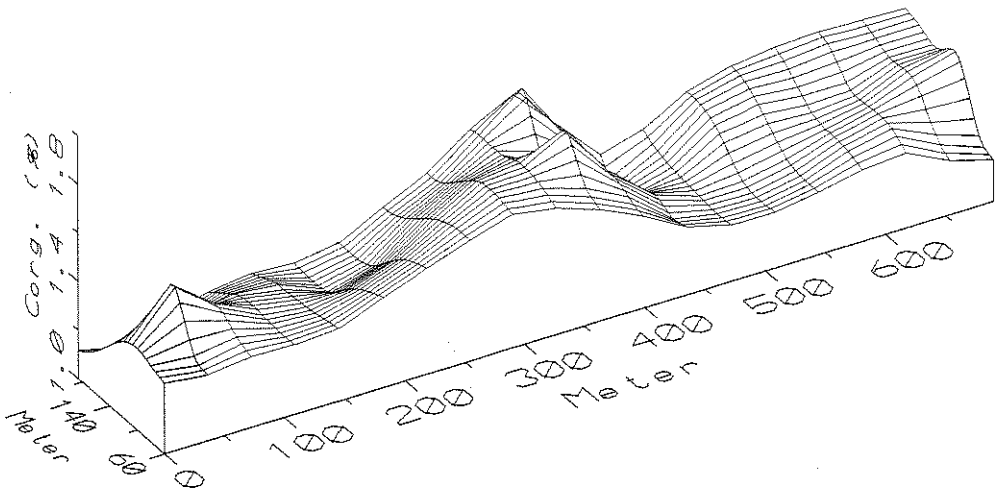


Abb. 5: Räumliche Variabilität des Kohlenstoffgehaltes ( $C_{org.}$ ) auf einer Teilfläche des Standortes Ahlum (Mittelhang)

Die Ermittlung der pH-Werte ergab ein einheitliches Bild (Abb. 6). Am niedrigsten waren die Werte auf Schlag I (6,5 bis 6,6) und auf Schlag II (6,9 bis 7,0). Die höchsten Werte wurden auf Schlag III gemessen (6,8 bis 7,1). Diese Werte sind pedologisch bedingt (z. T. Kalksteinzersatz in der Ackerkrume) und aus der geschichtlichen Nutzung der Schläge entstanden und nicht kurzfristig durch bestimmte Maßnahmen im Rahmen des Bodenschutzprogramms. Durch pedologische und nutzungspezifische Einflüsse ist es langfristig zur Bildung spezifischer Horizonte mit hoher oder niedriger Merkmalsstreuung gekommen.

Die Auswertung der bodenkundlichen Kartierung und der Detailuntersuchungen hat gezeigt, daß der Standort Ahlum keinesfalls als homogen einzustufen ist. Die räumliche Variabilität bestimmter Bodeneigenschaften und Merkmale erfordert daher z.B. eine flächenabhängige Bewertung des Verhaltens von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln (z. B. Sorption, Abbau, Verlagerung).

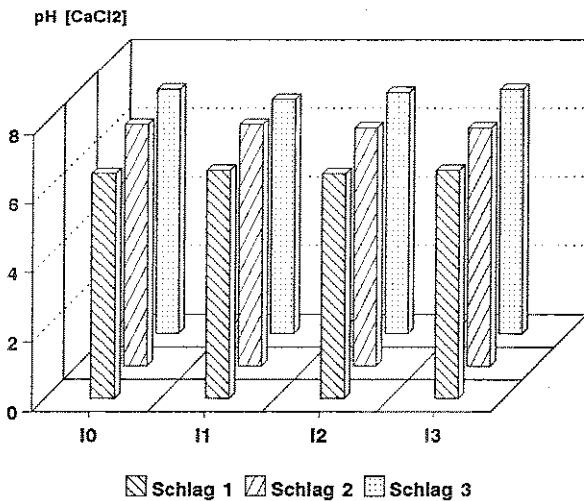


Abb. 6: pH-Werte auf verschiedenen Schlägen und Intensitäten des Standortes Ahlum (Probenahme Herbst 1988)

## 2 Vorgeschichte, Schlagaufteilung, Fruchtarten, Fruchtfolge, Bewirtschaftungsintensität

Die 36 ha große Versuchsfläche Ahlum war bereits sechs Jahre vor Beginn dieser Untersuchungen in das Feldversuchsprogramm der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft integriert. In dieser Zeit wurden großflächige Versuche zu der Frage der wirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftungsformen auf die Pflanzenproduktion durchgeführt.

Die gesamte Versuchsfläche wurde dazu in drei gleich große Teilflächen von je 12 ha unterteilt, auf denen in jedem Jahr nebeneinander die Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste angebaut wurden. Im zeitlichen Nacheinander standen im 1. Anbaujahr Zuckerrübe, im 2. Anbaujahr Winterweizen und im 3. Anbaujahr Wintergerste. Daraus ergibt sich die Fruchtfolge Zuckerrübe-Winterweizen-Wintergerste, eine im südniedersächsischen Raum überwiegende Anbaufolge in viehlos wirtschaftenden Ackerbaubetrieben.

Jede dieser Kulturarten wurde zunächst in drei, später in vier Intensitätsstufen bewirtschaftet. Hierzu erfolgte eine weitere Aufteilung der 12 ha großen Teilflächen jeder Kultur in nochmals vier Parzellen, die im anliegenden Plan (Abb. 7) mit  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  gekennzeichnet sind. In eingelagerten Kleinparzellenversuchen, gekennzeichnet mit den Ziffern 1-12 bzw. 1-14 wurde der Klärung spezieller ökonomischer Fragestellungen nachgegangen.

Die Versuchsanlage wurde so konzipiert, daß die unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten standortgebunden waren. Das bedeutete, daß die verschiedenen Intensitäten innerhalb einer Kulturart, aber auch zwischen den Kulturen immer auf den gleichen Teilflächen auftraten.

Die verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten unterschieden sich vorrangig in der Höhe und Intensität des Dünge- und Pflanzenschutzmittel-Einsatzes. Sie lassen sich wie folgt definieren:

- Intensität  $I_0$ : Pflanzenproduktion ohne jeglichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel und geringem Einsatz von Stickstoff-Düngemitteln
- Intensität  $I_1$ : Pflanzenproduktion mit suboptimalem Einsatz an chemischen Pflanzenschutzmitteln und Stickstoff-Düngemitteln unter Verzicht auf einen hohen Naturalertrag
- Intensität  $I_2$ : Integrierte Pflanzenproduktion mit gezieltem Einsatz an chemischen Pflanzenschutzmitteln und Stickstoff-Düngemitteln bei Optimierung des Naturalertrages und Minimierung des Produktionsmittel-Einsatzes
- Intensität  $I_3$ : Pflanzenproduktion unter Nutzung aller zugelassenen und erforderlichen Produktionsmittel zur Erzielung eines maximalen Naturalertrages bei möglichst hoher Wirtschaftlichkeit

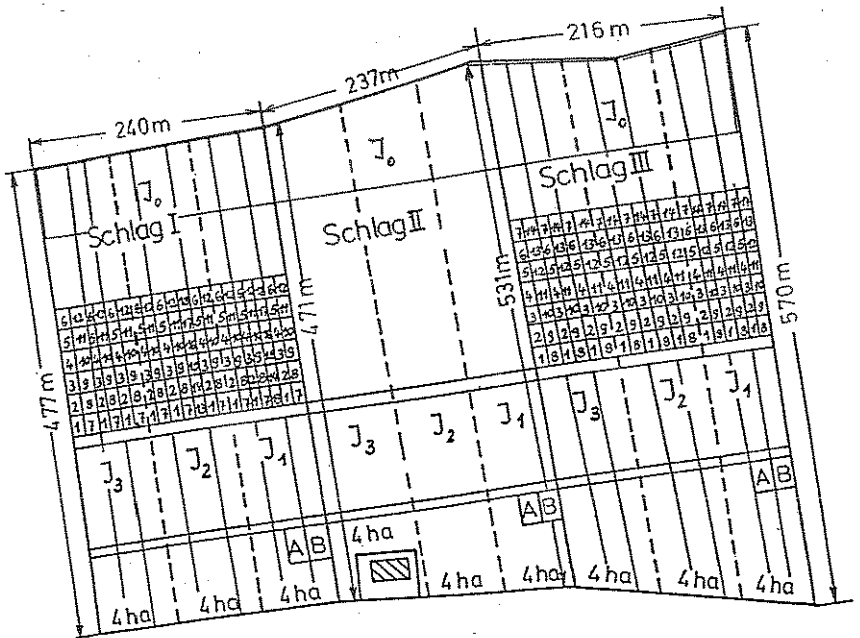


Abb. 7: Versuchsfläche "Ahlum" mit Aufteilung nach Schlägen und Intensitäten  $I_0$  bis  $I_3$



### 3 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Die Bewirtschaftung der gesamten Versuchsfläche orientierte sich an den Prinzipien einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung. Die Grundbodenbearbeitung wurde in allen Intensitätsstufen nach einheitlichen Gesichtspunkten durchgeführt, wobei generell der Pflug für eine bodenwendende Bodenbearbeitung eingesetzt wurde. Die Grunddüngung mit den Hauptnährstoffen Kalium, Phosphor und Calcium erfolgte nach jährlich vorgenommenen Bodenanalysen. Die Düngung erfolgte hierbei als Vorratsdüngung für einen Zeitraum von drei Jahren und wurde generell vor dem Anbau von Zuckerrüben in der Fruchtfolge vorgenommen. Auch im Bereich der Saattechnik erfolgte keine Differenzierung zwischen den Intensitätsstufen. Die Aussaat erfolgte einheitlich als Drillsaat, als Saattermin wurde ein ortsüblicher Zeitpunkt angenommen, der weitgehend durch die Fruchtfolge vorgegeben war. So erfolgte die Aussaat der Wintergerste in der Zeit zwischen dem 21. und 28. September. Da der Winterweizen in der Fruchtfolge nach Zuckerrüben stand, war die Saatzeit in diesen Fällen vom Erntetermin der Zuckerrüben abhängig und lag zwischen dem 11.11. und 16.11. Die Zuckerrübensaat wurde in erster Linie von der Befahrbarkeit und Erwärmung der Böden im Frühjahr beeinflusst und erfolgte 1987 am 18. April, 1988 am 30. und 31. März und 1989 am 13. April.

Die Aussaatstärke war bei Zuckerrüben generell einheitlich. Die Aussaat erfolgte in Form der Einzelkornablage bei einem Kornabstand von 20 cm in der Reihe und 45 cm zwischen den Reihen. Sowohl bei Wintergerste als auch bei Winterweizen richtete sich die Aussaatmenge nach der Keimfähigkeit und dem Tausendkorngewicht des Saatgutes, hier erfolgte eine Differenzierung zwischen den einzelnen Intensitätsstufen.

Die Aussaatstärken schwankten bei Gerste in den einzelnen Jahren in den Intensitätsstufen  $I_0$  bis  $I_1$  zwischen 280 und 290 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> und in  $I_3$  zwischen 290 und 300 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>.

Die Weizenaussaatstärke wurde den vorherrschenden Witterungsbedingungen im Herbst angepaßt. Sie lag in den Varianten  $I_0$  bis

I<sub>2</sub> zwischen 400 und 450 Körnern/m<sup>2</sup> und in I<sub>3</sub> zwischen 430 und 450 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>.

Die Saatgutbeizung wurde auf die jeweiligen Bewirtschaftungsintensitäten ausgerichtet. Generell kam nur gebeiztes Saatgut zur Aussaat.

Bei Zuckerrüben wurde generell eine Saatgutpillierung mit "Metsurol" vorgenommen. Zur weiteren Auflaufsicherung der Pflanzen wurde in den Varianten I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> im Jahre 1987 das Insektizidgranulat Curaterr in einer Aufwandmenge von 0,5 g/lfd. Meter Rübenreihe appliziert. In der Variante I<sub>3</sub> erfolgte dagegen eine Flächenspritzung mit dem Insektizid "Verindal Ultra" in einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha. 1988 erfolgte in allen Varianten mit Ausnahme der Variante I<sub>0</sub> eine Applikation von 0,6 g/lfd. Meter "Curaterr Granulat" und 1989 von 0,5 g/lfd. Meter Rübenreihe "Curaterr Granulat".

Die Beizung des Getreidesaatgutes diente in den Intensitätsvarianten I<sub>0</sub>-I<sub>2</sub> ausschließlich der Auflaufsicherung, in I<sub>3</sub> zusätzlich der Ausschaltung des Krankheitsfrühbefalls des Getreides.

Im Bereich der Sortenwahl wurden sowohl bei Wintergerste als auch bei Winterweizen jeweils drei verschiedene Sorten in jeder Intensitätsstufe angebaut. Dabei dienten die Ertragsleistung und das Resistenzverhalten gegen Krankheiten als Auswahlkriterien. Generell wurde eine Sorte mit hoher Krankheitsresistenz unabhängig von der Ertragsleistung ausgewählt, eine zweite Sorte mit hoher Ertragsleistung und mittlerer Krankheitsfähigkeit und eine weitere Sorte mit höchster Ertragsleistung und geringer Krankheitsresistenz. Ziel dieser Sortenvariation war die Abklärung der Frage, unter welcher Intensität die verschiedenen Sorten geeignet sind, ihre relative Vorzüglichkeit hinsichtlich der monetären Ertragsleistung unter Beweis zu stellen. Da innerhalb des Zuckerrübensortiments nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Krankheitsanfälligkeit bestehen, wurde hier auf eine Sortendifferenzierung verzichtet.

Stärkere Variation zwischen den einzelnen Bewirtschaftungsintensitäten wurden im Bereich der Stickstoffdüngung und des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes vorgenommen. Einzelheiten dazu ergeben sich aus den anliegenden Tabellen.

Grundlage der Stickstoffdüngung bildeten die Analysewerte des mineralischen Stickstoffs zu Vegetationsbeginn, die nach der N-Min-Methode ermittelt wurden.

Folgende Gesamtmengen an mineralischem Stickstoff wurden in den einzelnen Intensitätsstufen, den einzelnen Kulturen und Jahren verabreicht:

Jahr/Kultur	kg/ha rein N (mineralisch)				
	Intensitätsstufe	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
1987/W-Gerste		40.5	126.9	168.5	197.0
1988/W-Gerste		40.5	120.2	148.5	180.9
1989/W-Gerste		54.0	94.5	137.0	191.7
kg in 3 Jahren		135.0	341.6	454.0	569.6
1987/W-Weizen		40.5	177.7	227.7	254.7
1988/W-Weizen		59.4	151.2	202.5	221.4
1989/W-Weizen		54.0	153.9	205.2	264.6
kg in 3 Jahren		153.9	482.8	635.4	740.7

Da die Stickstoffdüngung im Zuckerrübenanbau nur unbedeutenden Einfluß auf das Krankheitsauftreten in den Beständen hat, wurde hier nur eine geringfügige Aufwandddifferenzierung in den Intensitäten I<sub>1</sub>-I<sub>3</sub> vorgenommen.

Ziel der Düngung war die Erzielung einer qualitativ hochwertigen Einzelrübe mit hohem Zuckergehalt und guter technischer Verarbeitbarkeit.

Der Gesamtaufwand an mineralischem Stickstoff betrug in den drei Untersuchungsjahren in den Intensitäten I<sub>0</sub> = 54,9 kg/ha, I<sub>1</sub> = 391,1 kg/ha, I<sub>2</sub> = 400,3 kg/ha und I<sub>3</sub> = 409,4 kg/ha.

Die unterschiedlichen Aufwendungen im Pflanzenschutzbereich in Abhängigkeit von der Kulturart und der Bewirtschaftungsintensität ergeben sich aus den folgenden Tabellen:

Tab. 2: Pflanzenschutzmaßnahmen in der Fruchtart "Zuckerrübe"

Fruchtart/Jahr		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Zuckerrübe/1987	<u>Herbizide:</u>				
	Avadex BW	-	-	-	3.5 l/ha
	Pyramin FL	-	1.5 l/ha	1.5 l/ha	4.0 l/ha
	Betanal	-	2.7 l/ha	2.7 l/ha	4.0 l/ha
	Tramat	-	2.7 l/ha	2.0 l/ha	2.0 l/ha
	<u>Insektizide:</u>				
	Verindal Ultra	-	-	-	1.0 l/ha
Curaterr Granulat	-	0.5* g/m	0.5 g/m	-	
Zuckerrübe/1988	<u>Herbizide:</u>				
	Pyramin FL	-	1.33 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	Betanal Tandem	-	4.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	Goltix WG	-	3.0 l/ha	3.0 l/ha	3.0 l/ha
	Fusilade	-	-	-	1.5 l/ha
	<u>Insektizide:</u>				
	Curaterr Granulat	-	0.6 g/m	0.6 g/m	0.6 g/m
Zuckerrübe/1989	<u>Herbizide:</u>				
	Pyramin	-	5.0 kg/ha	2.0 kg/ha	4.0 kg/ha
	Betanal Tandem	-	7.0 l/ha	5.0 l/ha	5.0 l/ha
	Goltix WG	-	3.0 kg/ha	3.0 kg/ha	3.0 kg/ha
	Fusilade	-	-	1.0 l/ha	-
	<u>Insektizide:</u>				
	Curaterr Granulat	-	0.5 g/m	0.5 g/m	0.5 g/m
Pirimor	-	0.5 g/ha	0.5 g/ha	0.5 g/ha	
Metasystox	-	-	-	0.8 l/ha	

\* Curaterr Granulat wurde stets als g/lfd. Meter Rübenreihe appliziert

Tab. 3: Pflanzenschutzmaßnahmen in der Fruchtart "Wintergerste"

Fruchtart/Jahr		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	
<b>Getreide</b>						
W-Gerste/1987	<u>Herbizide:</u>					
	Stomp	-	-	-	5.0 l/ha	
	Arelon	-	-	2.0 l/ha	-	
	U 46 KV	-	-	4.0 l/ha	4.0 l/ha	
	M52	-	4.0 l/ha	-	-	
	<u>Fungizide:</u>					
	Sportak alpha	-	-	-	1.5 l/ha	
	Corbel	-	-	-	0.5 l/ha	
	Desmel	-	-	0.5 l/ha	0.5 l/ha	
	<u>Wachstumsregler:</u>					
	Terpal C	-	-	1.0 l/ha	1.5 l/ha	
	Cerone	-	-	0.3 l/ha	0.5 l/ha	
	W-Gerste/1988	<u>Herbizide:</u>				
		Stomp	-	-	-	5.0 l/ha
Arelon		-	-	2.5 l/ha	-	
M 52		-	4.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha	
<u>Fungizide:</u>						
Sportak		-	-	-	1.2 l/ha	
Calixin		-	-	-	0.5 l/ha	
Desmel		-	-	0.5 l/ha	0.5 l/ha	
<u>Wachstumsregler:</u>						
Terpal C		-	-	1.5 l/ha	1.5 l/ha	
Cerone		-	-	-	0.5 l/ha	
W-Gerste/1989		<u>Herbizide:</u>				
		Stomp	-	-	-	4.5 l/ha
		Arelon	-	-	2.5 l/ha	-
	M 52	-	4.0 l/ha	-	-	
	Hedonal N	-	-	1.5 l/ha	1.5 l/ha	
	<u>Fungizide:</u>					
	Sportak	-	-	-	1.0 l/ha	
	Colt	-	-	-	1.0 l/ha	
	Corbel	-	-	-	0.2 l/ha	
	Afugan	-	-	1.0 l/ha	1.0 l/ha	
	Desmel	-	-	0.5 l/ha	0.5 l/ha	
	<u>Wachstumsregler:</u>					
	CCC	-	-	-	1.5 l/ha	
	Terpal C	-	-	1.5 l/ha	1.0 l/ha	
Cerone	-	-	0.3 l/ha	0.6 l/ha		

Tab. 4: Pflanzenschutzmaßnahmen in der Fruchtart "Winterweizen"

Fruchtart/Jahr		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
<b>Getreide</b>					
W-Weizen/1987	<u>Herbizide:</u>				
	Arelon	-	-	-	1.5 l/ha
	CMPP	-	-	-	3.0 l/ha
	M 52	-	4.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	<u>Fungizide:</u>				
	Sportak alpha	-	-	-	1.5 l/ha
	Corbel	-	0.5 l/ha	1.0 l/ha	1.5 l/ha
	Desmel	-	-	0.3* l/ha	0.8 l/ha
	Bayfidan	-	0.3 l/ha	0.5 l/ha	0.5 l/ha
	Dyrene	-	2.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	<u>Wachstumsregler:</u>				
	CCC	-	1.0 l/ha	2.0** l/ha	2.5 l/ha
	<u>Insektizide:</u>				
	E 605 forte	-	-	-	0.21 l/ha
	Pirimor	-	-	0.15 kg/ha	0.15 kg/ha
W-Weizen/1988	<u>Herbizide:</u>				
	Duplosan KV	-	-	2.0 l/ha	2.0 l/ha
	M 52	-	4.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	<u>Fungizide:</u>				
	Sportak alpha	-	-	-	1.5 l/ha
	Corbel	-	-	1.3 l/ha	1.4 l/ha
	Desmel	-	-	-	0.3 l/ha
	Bayfidan	-	0.5 l/ha	1.0 l/ha	0.5 l/ha
	Dyrene	-	2.0 l/ha	4.0 l/ha	4.0 l/ha
	<u>Wachstumsregler:</u>				
	CCC	-	-	-	1.4 l/ha Sorte Ares 1.7 l/ha Sorte Kanzler 1.8 l/ha Sorte Kraka
	<u>Insektizide:</u>				
	E 605 forte	-	-	-	0.21 l/ha
	Pirimor	-	0.15 kg/ha	0.15 kg/ha	0.2 kg/ha
	W-Weizen/1989	<u>Herbizide:</u>			
Arelon		-	2.0 l/ha	2.0 l/ha	2.0 l/ha
Duplosan KV		-	-	2.0 l/ha	2.0 l/ha
U 46 DP Fluid		-	-	2.0 l/ha	2.0 l/ha
U 46 M Fluid		-	1.5 l/ha	1.5 l/ha	1.5 l/ha
Starane		-	1.0 l/ha	-	-
<u>Fungizide:</u>					
Corbel		-	-	0.8 l/ha	1.7 l/ha
Desmel		-	-	0.3 l/ha	0.6 l/ha
Bayfidan		-	0.3 l/ha	0.5 l/ha	0.5 l/ha
Dyrene		-	2.0 l/ha	3.0 l/ha	4.0 l/ha
<u>Wachstumsregler:</u>					
CCC		-	1.0 l/ha	1.0 l/ha	2.1 l/ha
<u>Insektizide:</u>					
Somicidin		-	-	0.3 l/ha	-
E 605 forte	-	-	-	0.3 l/ha	
Pirimor	-	-	0.15 kg/ha	0.3 kg/ha	

\* In I<sub>2</sub> in der Sorte Kanzler zusätzlich 0.3 l/ha Desmel

\*\* In I<sub>2</sub> in der Sorte Ares nur 1.5 l/ha CCC

Alle Pflanzenschutzmaßnahmen wurden mit praxisüblichen Pflanzenschutzgeräten ausgebracht. Die Wasseraufwandmengen betragen je Spritzvorgang generell 200 l/ha, lediglich die Fungizide Sportak und Sportak alpha wurden mit 350 l/ha Wasseraufwandmenge appliziert.

Ertragsentwicklung [dt/ha]:

Kultur	Jahr/Intensitätsstufe	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
W-Gerste	1987	47.0	64.3	76.3	76.3
	1988	57.0	62.0	82.0	83.3
	1989	66.0	67.0	95.0	93.0
W-Weizen	1987	64.0	79.7	91.7	93.7
	1988	56.7	70.0	81.7	93.7
	1989	46.0	47.0	58.0	67.0

Bei der Darstellung der Erträge handelt es sich um Mittelwerte aller Sorten in den einzelnen Bewirtschaftungsintensitäten. Die sehr niedrigen Erträge im Winterweizen des Jahres 1989 sind auf eine im gesamten norddeutschen Raum aufgetretene und zu spät erkannte Viruskrankheit zurückzuführen.

Kultur	Jahr/Intensitätsstufe	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Zuckerrübe	1987	-*	609	593	555
	1988	-*	462	480	453
	1989	256	572	580	589

\* Eine Ertragsfeststellung in den Jahren 1987 und 1988 wurde in der Variante I<sub>0</sub> nicht durchgeführt, da eine Beerntung der Flächen infolge völliger Verunkrautung nicht möglich war.

Tab. 5: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag I im Erntejahr 1987 in der Kultur "Zuckerrüben"

SCHLAG I		Erntejahr 1987		Kultur: Zuckerrüben		Sorten: Bravo (Mesurolpillierung)	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
10.04.87	N-Düngung	115	115	115	115		kg/ha Harnstoff
15.04.87	Pflugfurche für Saat	+	+	+	+		
18.04.87	Pflugfurche für Saat	+	+	+	+		
18.04.87	Aussaaf Zuckerrübe	+	+	+	+		
18.04.87	Herbizidspritzung				3.5		l/ha Avadex BW
18.04.87	Herbizidspritzung		1.5*	1.5*	4.0**		l/ha Pyramin fl.
18.04.87	Insektizidspritzung				1.0		l/ha Verindal Ultra
18.04.87	Insektizidspritzung		0.5	0.5			g/ha/lfd. m Rübenreihe Curaterr
20.05.87	mechan. Unkrautbekämpfung	+	+	+	-		Hackmaschine
26.05.87	Herbizidspritzung				2.0**		l/ha Betanal
26.05.87	Herbizidspritzung				2.0**		l/ha Tramet
27.05.87	Herbizidspritzung		0.7*	0.7*			l/ha Betanal
27.05.87	Herbizidspritzung		0.7*	0.7*			l/ha Tramet
09.06.87	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0		l/ha Betanal
09.06.87	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0		l/ha Tramet
10.06.87	N-Düngung		90	110	130		kg/ha Harnstoff
01.08. bis							
03.08.87	mechan. Unkrautbekämpfung	-	+	+	+		Handhacke
03.11. bis							
06.11.87	Rübenernte	+	+	+	+		

\* Applikation der Herbizide als 15 cm breites Band

\*\* Applikation der Herbizide in der Fläche



Tab. 6: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag I im Erntejahr 1988 in der Kultur "Winterweizen"

SCHLAG I		Erntejahr 1988		Kultur: Winterweizen		Sorten: Ares, Kraka, Kanzler	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
10.11.87	Saatfurche zu W-Weizen	+	+	+	+		
11.11.87	Saatfurche zu W-Weizen	+	+	+	+		
11.11.87	Aussaafurche W-Weizen	400	400	400	430	Körner/m <sup>2</sup>	
18.03.88	N-Düngung	220	220	220	220	kg/ha Kalkammonsalpeter	
20.04.88	N-Düngung			110	150	kg/ha Kalkammonsalpeter	
27.04.88	Wachstumsreglereinsatz		1.0	1.0	1.0	l/ha CCC, Sorte Ares	
27.04.88	Wachstumsreglereinsatz		1.0	1.0	1.3	l/ha CCC, Sorte Kanzler	
27.04.88	Wachstumsreglereinsatz		1.0	1.5	1.5	l/ha CCC, Sorte Kraka	
28.04.88	Herbizidspritzung			2.0	2.0	l/ha Duplosan KV	
05.05.88	Fungizidspritzung				0.4	l/ha Corbel, Sorte Kanzler	
06.05.88	Fungizidspritzung				0.4	l/ha Corbel, Sorten Ares, Kraka	
10.05.88	N-Düngung		110	110	150	kg/ha Kalkammonsalpeter	
10.05.88	Wachstumsreglereinsatz			0.3	0.4	l/ha CCC	
10.05.88	Fungizidspritzung			0.5	0.5*	l/ha Corbel	
10.05.88	Fungizidspritzung				1.5	l/ha Sportak alpha	
24.05.88	N-Düngung		80	80	80	kg/ha Kalkammonsalpeter	
27.05.88	N-Düngung			80		kg/ha Kalkammonsalpeter	
27.05.88	Herbizidspritzung		4.0	4.0	4.0	l/ha M 52	
02.06.88	N-Düngung		150	150	220	kg/ha Kalkammonsalpeter	
02.06.88	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Corbel	
02.06.88	Fungizidspritzung				0.3	l/ha Desmel	
02.06.88	Insektizidspritzung				0.21	l/ha E 605 forte	
11.06.88	Fungizidspritzung			0.4		l/ha Corbel	
11.06.88	Fungizidspritzung			0.5		l/ha Bayfidan	
11.06.88	Fungizidspritzung			4.0		l/ha Dyrene	
13.06.88	Fungizidspritzung			0.4		l/ha Corbel	
13.06.88	Fungizidspritzung		0.5	0.5	0.5	l/ha Bayfidan	
13.06.88	Fungizidspritzung		2.0	4.0	4.0	l/ha Dyrene	
27.06.88	Insektizidspritzung		0.15	0.15	0.20	kg/ha Pirimor	
11.08.88	Ernte	+	+	+	+		

\* in I<sub>3</sub> nur bei den Sorten Ares und Kraka

Tab. 7: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag I im Erntejahr 1989 in der Kultur "Wintergerste"

SCHLAG I						
Erntejahr 1989		Kultur: Wintergerste		Sorten: Andrea, Ermo, Catinka		
Datum	Maßnahmen	Intensität				
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	
09.09.88	Kalk-Düngung	3500	3500	3500	3500	kg/ha kohlen-saurer Kalk (80-95 % CaCO <sub>3</sub> )
13.09.88	Saatfurche zu W-Gerste	+	+	+	+	
21.09.88	Saatfurche zu W-Gerste	+	+	+	+	
21.09.88	Aussaart	280	280	280	300	Körner/m <sup>2</sup>
23.09.88	Herbizidspritzung Nachsaat				5.0	l/ha Stomp
07.03.89	N-Düngung	200	200	200	200	kg/ha Kalkammonsalpeter
20.03.89	Herbizidspritzung			2.5		l/ha Arelon
06.04.89	N-Düngung			110	110	kg/ha Kalkammonsalpeter
18.04.89	N-Düngung				110	kg/ha Kalkammonsalpeter
24.04.89	Wachstumsreglereinsatz				1.5	l/ha CCC
24.04.89	Wachstumsreglereinsatz				1.0	l/ha Terpal C
24.04.89	Fungizidspritzung				0.2	l/ha Corbel
24.04.89	Fungizidspritzung				1.0	l/ha Sportak
02.05.89	Herbizidspritzung		4.0			l/ha M 52
02.05.89	Herbizidspritzung			1.5	1.5	l/ha Hedonal M
03.05.89	Fungizidspritzung			1.0		l/ha Afugan
03.05.89	Fungizidspritzung			0.5		l/ha Desmel
05.05.89	Wachstumsreglereinsatz			1.5		l/ha Terpal C
09.05.89	Fungizidspritzung			0.3	0.6	l/ha Cerone
16.05.89	N-Düngung		150	200		kg/ha Kalkammonsalpeter
16.05.89	Fungizidspritzung				1.0	l/ha Afugan
16.05.89	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Desmel
18.05.89	N-Düngung				290	kg/ha Kalkammonsalpeter
12.07.89	Ernte	+	+	+	+	
17.07.89	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	Spatenrollegge
31.07.89	Kalk-Düngung	60	60	60	60	kg/ha Kalkmergel (45 % CaO)
01.08.89	Kalidüngung	6.5	6.5	6.5	6.5	kg/ha Kornkali (40 % K <sub>2</sub> O)
03.08.89	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	
04.08.89	Aussaart Gründüngung	+	+	+	+	165 kg/ha Ackerbohnen

Tab. 8: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag II im Erntejahr 1987 in der Kultur "Winterweizen"

SCHLAG II		Erntejahr 1987		Kultur: Winterweizen		Sorten: Ares, Kraka, Kanzler	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
11.11.86	Aussaat W-Weizen	400	400	400	500	Körner/m <sup>2</sup>	
01.04.87	N-Düngung	150	150	200	200	kg/ha Kalkammonsalpeter	
24.04.87	Herbizidspritzung				1.5	l/ha Arelon	
29.04.87	N-Düngung			50	50	kg/ha Harnstoff	
29.04.87	Wachstumsreglereinsatz		1.0	1.0	1.0	l/ha CCC	
08.05.87	N-Düngung		100		100	kg/ha Kalkammonsalpeter	
08.05.87	Wachstumsreglereinsatz				0.5	l/ha CCC	
08.05.87	Herbizidspritzung				3.0	l/ha CMPP	
14.05.87	N-Düngung			110		kg/ha Kalkammonsalpeter	
14.05.87	Wachstumsreglereinsatz			0.5	0.5	l/ha CCC	
14.05.87	Fungizidspritzung				1.5	l/ha Sportak alpha	
14.05.87	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Corbel	} Tankmischung
14.05.87	Fungizidspritzung				0.3	l/ha Desmel	
21.05.87	N-Düngung		110			kg/ha Kalkammonsalpeter	
26.05.87	N-Düngung				110	kg/ha Kalkammonsalpeter	
26.05.87	Fungizidspritzung		0.5			l/ha Corbel	
03.06.87	N-Düngung			75	75	kg/ha Kalkammonsalpeter	
09.06.87	N-Düngung		75	75	75	kg/ha Kalkammonsalpeter	
09.06.87	Wachstumsreglereinsatz			0.5	0.5	l/ha CCC*	
09.06.87	Herbizidspritzung		4.0	4.0	4.0	l/ha M 52	
09.06.87	Fungizidspritzung				0.3	l/ha Corbel	} Tankmischung
09.06.87	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Desmel	
19.06.87	N-Düngung		150	150	150	kg/ha Kalkammonsalpeter	
19.06.87	Fungizidspritzung			0.5	0.5	l/ha Corbel**	} Tankmischung
19.06.87	Fungizidspritzung			0.3	0.3	l/ha Desmel**	
25.06.87	N-Düngung		75	150	150	kg/ha Kalkammonsalpeter	
29.06.87	Fungizidspritzung		0.3	0.5	0.5	l/ha Bayfidan	
29.06.87	Fungizidspritzung		2.0	4.0	4.0	l/ha Dyrene	
29.06.87	Insektizidspritzung				0.21	l/ha E 605 forte	
10.07.87	Insektizidspritzung			0.15	0.15	kg/ha Pirimor	
01.09.87	Ernte	+	+	+	+		

\* bei Kraka u. Kanzler

\*\* bei Kanzler

Tab. 9: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag II im Erntejahr 1988 in der Kultur "Wintergerste"

SCHLAG II		Erntejahr 1988		Kultur: Wintergerste		Sorten: Andrea, Ermo, Catinka	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
22.09.87	Saatfurche zu W-Gerste	+	+	+	+		
28.09.87	Saatfurche zu W-Gerste	+	+	+	+		
28.09.87	Aussaat	280	280	280	300	Körner/m <sup>2</sup>	
29.09.87	Herbizidspritzung				5.0	l/ha Stomp	
18.03.88	N-Düngung	150	150	220	220	kg/ha Kalkammonsalpeter	
08.04.88	Herbizidspritzung			2.5		l/ha Arelon	
20.04.88	N-Düngung		110	110	150	kg/ha Kalkammonsalpeter	
28.04.88	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Calixin	
28.04.88	Fungizidspritzung				1.2	l/ha Sportak	
03.05.88	Wachstumsreglereinsatz			1.5	1.5	l/ha Terpal C	
09.05.88	Herbizidspritzung		4.0	4.0	4.0	l/ha M 52	
10.05.88	N-Düngung		185			kg/ha Kalkammonsalpeter	
13.05.88	Fungizidspritzung			0.5	0.5	l/ha Desmel	
13.05.88	Wachstumsreglereinsatz				0.5	l/ha Cerone	
16.05.88	N-Düngung			220	300	kg/ha Kalkammonsalpeter	
22.07.88	Ernte	+	+	+	+		
29.07.88	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	Samporollegge	
29.07.88	Kalk-Düngung	3000	3000	3000	3000	kg/ha kohlen-saurer Kalk (80-95 % CaCO <sub>2</sub> )	
04.08.88	Kalidüngung	500	500	500	500	kg/ha Kornkali (40 % K <sub>2</sub> O)	
19.08.88	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	Grubber u. Kreiselegge	
23.08.88	Aussaat Gründüngung	+	+	+	+	20 kg/ha Gelbsenf/Sorte: Emergo	
30.08.88	N-Düngung	110	110	110	110	kg/ha Harnstoff	

Tab. 10: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag II im Erntejahr 1989 in der Kultur "Zuckerrüben"

SCHLAG II		Erntejahr 1989		Kultur: Zuckerrüben		Sorten: Regina (Mesurolpillierung)	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
13.03.89	Einarbeitung Gründüngung	+	+	+	+	Grubber	
13.03.89	N-Düngung		200	200	200	kg/ha Harnstoff	
30.03.89	Pflugfurche für Saat	+	+	+	+		
30.03.89	Aussaat Zuckerrübe	+	+	+	+		
30.03.89	Insektizidspritzung		0.5	0.5	0.5	g/ha/lfd. m Rübenreihe Curaterr (Bandapplikation)	
31.03.89	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Pyramin fl.	
21.04.89	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Betanal Tandem	
21.04.89	Herbizidspritzung		1.0	1.0	1.0	l/ha Goltix WG	
08.05.89	Herbizidspritzung		2.0			l/ha Betanal Tandem	
08.05.89	Herbizidspritzung		1.0			l/ha Pyramin WG	
17.05.89	Herbizidspritzung			1.0		l/ha Fusilade + Oleo FC	
18.05.89	mechan. Unkrautbekämpfung	+	-	-	-	Hackmaschine	
18.05.89	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Goltix WG + Oleo FC	
24.05.89	Herbizidspritzung			2.0		l/ha Goltix WG	
24.05.89	Herbizidspritzung			3.0		l/ha Betanal Tandem	
27.05.89	Insektizidspritzung				0.3	kg/ha Pirimor	
29.05.89	Insektizidspritzung			0.3		kg/ha Pirimor	
29.05.89	Herbizidspritzung		3.0		3.0	l/ha Betanal Tandem	
29.05.89	Herbizidspritzung		2.0		2.0	l/ha Pyramin WG	
29.05.89	N-Düngung		220	220	220	kg/ha Kalkammonsalpeter	
08.06.89	Insektizidspritzung				0.8	l/ha Metasystox R	
13.06.89	Insektizidspritzung		0.2	0.3		kg/ha Pirimor	
22.06.89	Insektizidspritzung				0.3	kg/ha Pirimor	
23.06.89	Insektizidspritzung			0.3		kg/ha Pirimor	
29.06.89	Insektizidspritzung		0.3			kg/ha Pirimor	
06.07.89	Insektizidspritzung				0.3	kg/ha Pirimor	
10.07.89	Insektizidspritzung			0.3		kg/ha Pirimor	
03.11. bis							
15.11.89	Rübenernte	+	+	+	+		

Tab. 11: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag III im Erntejahr 1987 in der Kultur "Wintergerste"

SCHLAG III		Erntejahr 1987		Kultur: Wintergerste		Sorten: Catinka, Ermo, Tapir	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
24.09.86	Aussaat	290	290	290	290	Köner/m <sup>2</sup>	
25.08.86	Herbizidspritzung Nachsaat				5.0	l/ha Stomp	
01.04.87	N-Düngung	150	150	150	200	kg/ha Kalkammonsalpeter	
24.04.87	N-Düngung			100	100	kg/ha Harnstoff	
24.04.87	Herbizidspritzung			2.0		l/ha Arelon flüssig	
24.04.87	Herbizidspritzung			4.0	4.0	l/ha U 46 KV	
08.05.87	N-Düngung			100		kg/ha Kalkammonsalpeter	
08.05.87	Fungizidspritzung				1.5	l/ha Sportak alpha	
08.05.87	Fungizidspritzung				0.5	l/ha Corbel	
08.05.87	Wachstumsreglereinsatz			1.0	1.5	l/ha Terpal C	
14.05.87	N-Düngung			26		kg/ha Harnstoff	
21.05.87	N-Düngung		220			kg/ha Kalkammonsalpeter	
22.05.87	N-Düngung				100	kg/ha Kalkammonsalpeter	
23.05.87	Herbizidspritzung		4.0			l/ha M 52	
23.05.87	Fungizidspritzung			0.5	0.5	l/ha Desmel	
23.05.87	Wachstumsreglereinsatz			0.3	0.5	l/ha Cerone	
26.05.87	N-Düngung			260		kg/ha Kalkammonsalpeter	
29.05.87	N-Düngung				260	kg/ha Kalkammonsalpeter	
12.08.87	Ernte	+	+	-	-		
17.08.87	Ernte	-	-	+	+		
21.08.87	Kalk-Düngung	2000	2000	2000	2000	kg/ha Kalkmergel (45 % CaO)	
21.08.87	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	Spatenrollegge	
24.08.87	Kalidüngung	560	560	560	560	kg/ha Kornkali (40 % K <sub>2</sub> O)	
25.08.87	Phosphor- und N-Düngung	200	200	200	200	Diamonphosphat	
31.08.87	Stoppelbearbeitung	+	+	+	+	Grubber u. Kreiselegge	
02.09.87	Aussaat Gründüngung	+	+	+	+	24 kg/ha Gelbsenf/ Sorte: Maxi	

Tab. 12: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag III im Erntejahr 1988 in der Kultur "Zuckerrüben"

SCHLAG III Erntejahr 1988 Kultur: Zuckerrüben Sorte: Regina (Mesurolpillierung)						
Datum	Maßnahmen	Intensität				
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	
05.04.88	Einarbeitung Gründüngung	+	+	+	+	Grubber
05.04.88	N-Düngung		187	187	187	kg/ha Harnstoff 46 % N
11.04.88	Pflugfurche für Saat	+	+	+	+	
12.04.88	Pflugfurche für Saat	+	+	+	+	
13.04.88	Aussaaf Zuckerrübe	+	+	+	+	
14.04.88	Aussaaf Zuckerrübe	+	+	+	+	
13.04.88	Insektizidspritzung		0.6	0.6	0.6	g/ha/lfd. m Rübenreihe Curaterr (Water-Granulat Bandapplikation)
14.04.88	Herbizidspritzung		1.33			l/ha Pyramin fl. Bandapplikation (15 cm Band)
14.04.88	Herbizidspritzung			4.0	4.0	l/ha Pyramin fl. Flächenspritzung
10.05.88	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Betanal Tandem*
10.05.88	Herbizidspritzung		1.0	1.0	1.0	l/ha Goltix WG*
18.05.88	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Betanal Tandem*
18.05.88	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0	l/ha Goltix WG*
01.06.88	mechan. Unkrautbekämpfung	+	-	-	-	Hackmaschine
02.06.88	N-Düngung		220	220	220	kg/ha Kalkammonsalpeter
06.06.88	Herbizidspritzung				1.5/0.2	l/ha Fusilade/Citowett**
14.06.88	mechan. Unkrautbekämpfung	+	-	-	-	Hackmaschine
14.06.88	Insektizidspritzung		0.15	0.2	0.3	kg/ha Pirimor
30.06.88	Insektizidspritzung		0.15	0.2	0.3	kg/ha Pirimor
08.07.88	mechan. Unkrautbekämpfung	+	+	+	+	Handhacke
19.08. bis						
31.08.88	mechan. Unkrautbekämpfung	+	+	+	+	Handhacke
31.10. bis						
04.11.88	Rübenernte	+	+	+	+	

\* Betanal Tandem und Goltix WG in Flächenspritzung als Tankmischung

\*\* Fusilade/Citowett als Tankmischung

Tab. 13: Bewirtschaftungsmaßnahmen in Schlag III im Erntejahr 1989 in der Kultur "Winterweizen"

SCHLAG III		Erntejahr 1989		Kultur: Winterweizen		Sorten: Ares, Kraka, Kanzler	
Datum	Maßnahmen	Intensität					
		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		
08.11.88	Saatfurche zu W-Weizen	+	+	+	+		
09.11.88	Saatfurche zu W-Weizen	+	+	+	+		
09.11.88	Aussaat W-Weizen	400	400	400	450		Körner/m <sup>2</sup>
08.03.89	N-Düngung	200	200	200	200		kg/ha Kalkammonsalpeter
31.03.89	Herbizidspritzung		2.0	2.0	2.0		l/ha Arelon fl.
06.04.89	N-Düngung			110	110		kg/ha Kalkammonsalpeter
11.04.89	Fungizidspritzung				0.3		l/ha Corbel
12.04.89	Herbizidspritzung			2.0	2.0		l/ha Duplosan KW
12.04.89	Herbizidspritzung			2.0	2.0		l/ha U 46 DF Fluid
12.04.89	Wachstumsreglereinsatz		1.0	1.0	1.3		l/ha CCC
18.04.89	N-Düngung				110		kg/ha Kalkammonsalpeter
28.04.89	Herbizidspritzung		1.0				l/ha Starane 180
28.04.89	Fungizidspritzung			0.5			l/ha Corbel
03.05.89	N-Düngung		110	110	110		kg/ha Kalkammonsalpeter
03.05.89	Fungizidspritzung				0.3		l/ha Corbel
03.05.89	Wachstumsreglereinsatz				0.5		l/ha CCC
11.05.89	N-Düngung		80	80	80		kg/ha Kalkammonsalpeter
11.05.89	Fungizidspritzung				0.3		l/ha Corbel
11.05.89	Fungizidspritzung				0.3		l/ha Desmel
16.05.89	Fungizidspritzung			0.5	0.3		l/ha Corbel
16.05.89	Wachstumsreglereinsatz				0.3		l/ha CCC
17.05.89	Herbizidspritzung		1.5	1.5	1.5		l/ha U 46 M-Fluid
29.05.89	N-Düngung			150	150		kg/ha Kalkammonsalpeter
29.05.89	Fungizidspritzung			0.3	0.5		l/ha Corbel
29.05.89	Fungizidspritzung			0.3	0.3		l/ha Desmel
06.06.89	N-Düngung		180	150	220		kg/ha Kalkammonsalpeter
08.06.89	Fungizidspritzung			0.5			l/ha Bayfidan
08.06.89	Fungizidspritzung			3.0			l/ha Dyrene fl.
08.06.89	Insektizidspritzung			0.3			l/ha Sumicidin 10
12.06.89	Fungizidspritzung		0.3		0.5		l/ha Bayfidan
12.06.89	Fungizidspritzung		2.0		4.0		l/ha Dyrene fl.
12.06.89	Insektizidspritzung				0.3		l/ha E 605 forte
22.06.89	Insektizidspritzung				0.3		kg/ha Pirimor
23.06.89	Insektizidspritzung			0.15			kg/ha Pirimor
08.08.89	Ernte	+	+	+	+		



#### 4 Probenahme für alle Teilprojekte

Innerhalb dieses Verbundprojektes war eine Verknüpfung der Daten der einzelnen Teilprojekte (III-XII, Inhaltsverzeichnis Seite 3-4) vorgesehen. Um diese Verknüpfung bei neun Teilprojekten mit zum Teil völlig verschiedenen Ansprüchen an die Probenahme gewährleisten zu können, wurde die Probenahme für die meisten Projekte von zentraler Stelle aus durchgeführt. Für fast alle Projekte wurden über den gesamten Zeitraum in allen drei Schlägen und jeweils allen vier Intensitäten Bodenproben genommen.

Nur die Bodenpilze und Bodenalgae waren ausschließlich in  $I_0$  und  $I_3$  des Schlages II untersucht worden.

##### 4.1 Probenahme-fläche

Von den ca. 470-570 m langen und ca. 220-240 m breiten Schlägen wurde eine Fläche von 120 m Länge und der gesamten Breite des jeweiligen Schlages für die Probenahme abgeteilt (Abb. 7). Auf diesem Areal wurden die drei Bewirtschaftungsintensitäten  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  beprobt.

Die Intensität  $I_0$  lag jeweils in der oberen rechten Ecke des Schlages in der Intensität  $I_1$  und umfaßte eine Fläche von 50 m x 72 m (im Falle von Schlag II).

In jeder der vier Intensitäten eines Schlages wurde ein Raster aus 5 Parallelen (A, B, C, D, E) und 8 Wiederholungen (1-8) angelegt (Abb. 9). Dies führte in den drei Intensitäten  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  zu 40 gleich großen Feldern von  $12 \times 15 \text{ m} = 180 \text{ m}^2$ . Die 40 Felder der Intensität  $I_0$  waren halb so groß ( $6 \times 7,5 \text{ m} = 90 \text{ m}^2$ ).

Bei der Probenahme wurde in jedem dieser Felder ein Bodeneinstich vorgenommen, so daß sich pro Intensität 40 Einstiche und je Kultur (= vier Intensitäten) und pro Probenahmetermin insgesamt 160 Proben ergaben.

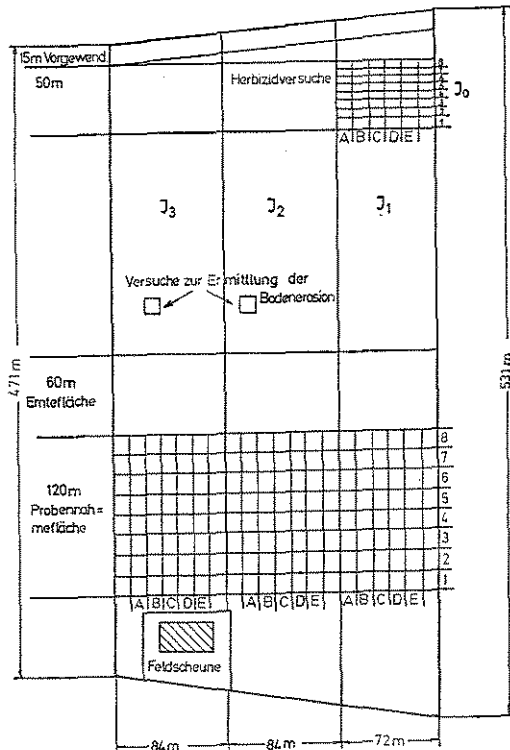


Abb. 9: Aufteilung eines Schlags (Schlag II) mit Darstellung der 40 Felder (5 Parallelen und 8 Wiederholungen) pro Intensität für die Probenahme

Für die Untersuchung der Rückstandsanalysen (Fungizide, Insektizide, Herbizide) wurden die 40 Einstiche pro Intensität und Probenahmetermin zu einer Mischprobe vereinigt, die dann weiter bearbeitet wurde.

Bei den mikrobiellen Aktivitäten wurden von den 40 Einstichen pro Intensität je 10 Einstiche aus den 5 Parallelen A bis E und 2 Wiederholungen (1+2, 3+4, 5+6, 7+8) zu einer Mischprobe vereinigt, so daß anschließend 4 Mischproben (Wiederholungen) pro Intensität und Termin bearbeitet wurden.

Bei den Bodenalgeln und -pilzen wurden die 40 Einstiche pro Intensität und Termin einzeln weiter untersucht.

Für die Nematoden wurde pro Probenahmetermin je ein Einstich in allen 5 Parallelen (A bis E), aber nur in vier Wiederholungen genommen. Die 5 Einstiche der Parallelen A bis E wurden zu je-

weils einer Mischprobe vereinigt, so daß sich pro Intensität und Termin vier Mischproben (Wiederholungen) ergaben.

Dieses Schema der Probenahme mußte aus methodischen Gründen bei den Regenwürmern, Collembolen und Bodenmilben abgeändert werden.

Bei den Regenwürmern erfolgte die Probenahme in einem Bereich von 50 m innerhalb der ausgewiesenen Probenahme- fläche. Dieses Areal war so in Transekte aufgeteilt, daß innerhalb der Vegetationsperiode jeweils in einem bestimmten Monat ein Transekt in 8 Wiederholungen beprobt wurde (Abb. 10). Somit wurde also jedes Feld der Fläche einer Intensität in einer Vegetationsperiode nur einmal beprobt.

Für die Collembolen und Bodenmilben, die aus gleichen Bodenproben extrahiert wurden, erfolgte die Probenahme in einer 100 m<sup>2</sup> großen Fläche etwa in der Mitte der Probenahme- fläche jeder Intensität und Kultur. Es wurden pro Intensität 14 Einstiche genommen, von denen je zwei Einstiche zu einer Mischprobe vereinigt wurden, so daß insgesamt 7 Proben pro Intensität und Termin extrahiert wurden. Die Probenahme erfolgte vor allem im Getreide sowohl in den Saatzeilen als auch zwischen den Saatzeilen.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, waren für die Analyse der Rückstandssituation der Pflanzenschutzmittel und die mikrobiellen Aktivitäten dieselben Proben verwendet worden.

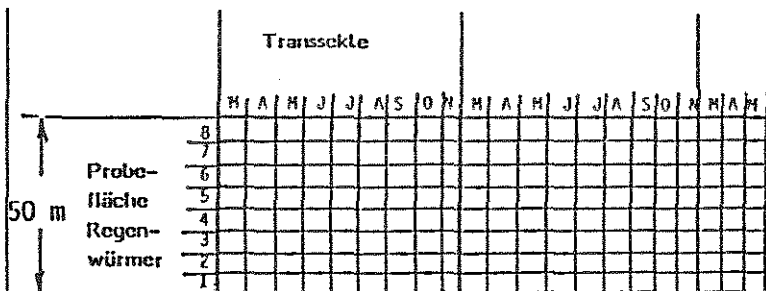


Abb. 10: Schema einer Intensität mit Einteilung der Probenahme- fläche für den Fang der Regenwürmer

#### 4.2 Methode der Probenahme

Die Proben für die Teilprojekte Rückstandsanalysen, mikrobielle Aktivitäten, Bodenalgae, Bodenpilze, Collembolen und Bodenmilben wurden mit einem generatorbetriebenen Bohrer mit einer Bohrsonde (HUMAX - H 300, Durchmesser 50 mm) von 5 cm Durchmesser und 30 cm Länge genommen. Die Bodenproben des Teilprojektes Nematoden wurden mit einem Bohrer von 1,6 cm Durchmesser und 30 cm Länge gezogen.

In das Bohrröhr wurden PVC-Hülsen (5 cm Durchmesser, 30 cm Länge) eingeschoben, die nach dem Einstich mit dem Bohrkern darin dem Bohrröhr entnommen und an beiden Enden verschlossen wurden. In diesen Bohrhülsen wurden die Proben ins Labor transportiert und anschließend innerhalb der nächsten 30 Stunden für weitere Laboranalysen aufbereitet.

Zu feuchte Proben wurden getrocknet, bis sie siebbar waren. Von allen Proben wurden, nachdem sie mit einer Maschenweite von 2,5 mm gesiebt worden waren, Bodenfeuchte und Frischgewicht als Bezugsbasis ermittelt. Anschließend wurden die Proben in den einzelnen Teilprojekten entsprechend ihren Fragestellungen weiterverarbeitet.

Bei den Teilprojekten Bodenalgae, Bodenpilze, Collembolen und Bodenmilben wurden die gezogenen Proben (Bodenzyylinder) unverändert weiterverwendet. Die Regenwürmer wurden mit einer Elektrofängermethode erfaßt (Oktett-Methode).

#### 4.3 Tiefenstufen

Die entnommenen Bodenzyylinder wurden in der Regel in mehrere vertikale Abschnitte (Tiefenstufen) unterteilt und als Teilproben bearbeitet und ausgewertet. Auf diese Weise konnten unterschiedliche Schichten des Ackerbodens analysiert werden. Bis in welche Tiefenstufen Bodenproben für die einzelnen Teilprojekte genommen wurden, ist aus Tab. 14 ersichtlich.

Demnach erfolgte die Probenahme bei den Bodenalgae und -pilzen nur bis in 5 cm Tiefe. Bei den mikrobiellen Aktivitäten, den Collembolen und den Bodenmilben bis in 10 cm, den Nematoden

sowie den Untersuchungen zur Rückstandssituation der Fungizide und Insektizide bis in 30 cm Tiefe. Die Regenwürmer wurden bis in 50 cm Tiefe, und die Rückstandssituation der Herbizide bis in 90 cm Tiefe untersucht.

#### 4.4 Probenahmetermine

Für die meisten Teilprojekte wurden die Proben im Abstand von vier Wochen genommen (Tab. 14). Für die drei Teilprojekte Bodenpilze, Bodenalgeln und Nematoden wurden sie im achtwöchigen Intervall gezogen.

Bis auf die beiden Teilprojekte Collembolen und Bodenmilben erstreckte sich die Probenahme für alle übrigen Teilprojekte über den Zeitraum der Vegetationsperiode. Für die Collembolen und Bodenmilben wurden ganzjährig Proben genommen.

Tab. 14: Verteilung der Probenahme nach der Tiefe und der Zeit in den einzelnen Teilprojekten (Veg.per. = Vegetationsperiode)

Teilprojekt	Gesamtiefe	Tiefenstufen	Zeitraum bzw. -punkt
"Fungizide, Insektizide"	bis 30 cm	0-5, 5-10 cm 10-20, 20-30 cm	4-wöchig (Veg.per.) Anfang u. Ende der Veg.per.
"Herbizide"	bis 90 cm	0-5, 5-10 cm 10-20, 20-30 cm bis 90 cm	4-wöchig (Veg.per.) Anfang u. Ende der Veg.per. nach der Ernte (teilweise)
"mikrobielle Aktivitäten"	bis 10 cm	0-5, 5-10 cm	4-wöchig (Veg.per.)
"Bodenpilze"	bis 5 cm	0-5 cm	8-wöchig (Veg.per.)
"Bodenalgeln"	bis 5 cm	0-5 cm	8-wöchig (Veg.per.)
"Regenwürmer"	bis 50 cm	0-50 cm	4-wöchig (Veg.per.)
"Collembolen"	bis 10 cm	0-5, 5-10 cm	4-wöchig (ganze Jahr)
"Bodenmilben"	bis 10 cm	0-5, 5-10 cm	4-wöchig (ganze Jahr)
"Nematoden"	bis 30 cm	0-15, 15-30 cm	8-wöchig (Veg.per.)

#### 4.5 Überblick über die Bearbeitung der Proben in den einzelnen Teilprojekten

Die Untersuchungsmethoden der einzelnen Projekte sind an entsprechender Stelle ausführlich dargestellt. Im folgenden wird nur ein Überblick über die im gesamten Verbundprojekt eingesetzten Untersuchungsmethoden gegeben.

- Teilprojekt "Rückstände der Fungizid- und Insektizidwirkstoffe": Kapillargaschromatographie bzw. Elektroneneinfangdetektor (vor allem Carbamate) oder Gaschromatographie.
- Teilprojekt "Rückstände der Herbizidwirkstoffe": Multimethode zur chromatographischen Rückstandsanalyse von Pflanzenschutzmitteln.
- Teilprojekt "Mikrobielle Aktivitäten": Dehydrogenaseaktivität durch spektralphotometrische Messung der TTC-Reduktion; Kurzzeitatmung durch Messung der CO<sub>2</sub>-Produktion im Ultra-rotgasanalysator nach Zusatz von Glucose; die Aktivitäten der Arylsulfatase, der alkalischen Phosphatase und der Fluoresceindiacetathydrolyse durch colorimetrische Messung der Spaltung von chromogenen Substraten.
  - Teilprojekt "Bodenpilze": Nach drei systematischen Gruppen getrennt bearbeitet; getrockneter, gemischter, gesiebter Boden, Auslegung von Partikeln in Petrischalen mit Nährmedium; Partikel mit mittlerem Trockengewicht von 0,4 mg für Ascomycetes, Basidiomycetes und Deuteromycetes, von 1,6 mg für Zygomycetes und von 2 mg für Oomycetes.
- Teilprojekt "Bodenalgen": gesiebter Boden in Petrischale wurde mit Bold's Basal Medium übersprüht; zwei Verdünnungsstufen der Bodensuspension mit Trockengewichten von 54 mg und 4 mg wurden homogenisiert und in Petrischalen mit Agarnährmedium gegossen.
- Teilprojekt "Regenwürmer": Austreibung mit elektrischer Fangmethode (Oktett-Methode); Ansteuerung der gegenüberliegenden Elektrodenpaare für die Dauer von 1 sec mit einer Spannung von 60 V, Dauer des Austreibungs Vorgangs 30 min.; Fixierung der Tiere in Alkohol.

- Teilprojekt "Collembolen": Extraktion der inversen und leicht zerbröckelten Bodenproben über 12 Tage in einem MACFADYEN-Extraktor (high-gradient extraction) bis zu einer Endtemperatur von 42 °C; Fixierung mit Pikrinsäure.
- Teilprojekt "Bodenmilben": Extraktion ebenso wie bei den Collembolen.
- Teilprojekt "Nematoden": Extraktion der Nematoden mit der  $MgSO_4$ -Zentrifugations-Methode; Fixierung mit Lösung aus Triäthanolamin,  $H_2O$  und Formaldehyd.

Der Standort "Ahlum"

#### Zusammenfassung

Die Untersuchungen des Bodenschutz-Verbundprojekts (gefördert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie) wurden auf der Versuchsfläche "Ahlum" der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft östlich der Stadt Wolfenbüttel durchgeführt.

Von Oktober bis März ist die klimatische Wasserbilanz positiv, in der Hauptvegetationszeit treten hingegen Defizite bis zu 100 mm auf. Am Standort herrschen von 11 Bodeneinheiten die Rendzinen, Parabraunerden und Kolluvien (vor allem an Unterhängen) vor. Insgesamt ist von einer Heterogenität der Bodeneigenschaften auszugehen. In Schlag III tritt als Ausnahme Kalksteinersatz in der Ackerkrume auf.

Die Versuchsfläche war bereits sechs Jahre vor Beginn der Untersuchungen in drei gleich große Teilflächen von je 12 ha unterteilt worden. Auf ihnen wurde im zeitlichen Nacheinander Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste angebaut. Jede dieser Kulturarten wurde zunächst in drei, später in vier Intensitätsstufen ( $I_0$ - $I_3$ ) bewirtschaftet.

Die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen erfolgten nach dem Prinzip einer ordnungsgemäßen und praxisbezogenen Landbewirtschaftung. Die bodenwendende Bearbeitung, die Grunddüngung, die Aussaat als Drillsaat und die Saattechnik wurden in allen Intensitätsstufen in gleicher Weise durchgeführt.

Während die Aussaatstärke bei den Zuckerrüben generell einheitlich war, lag sie beim Getreide zwischen 280 und 450 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>, je nach Intensität. Eine stärkere Variation zwischen den einzelnen Bewirtschaftungsintensitäten wurde in der Stickstoffdüngung und dem Pflanzenschutzmitteleinsatz vorgenommen.

Die Probenahme erfolgte in Arealen, die in 40 Felder (5 Parallelen mit je 8 Wiederholungen) eingeteilt wurden. Aus jedem dieser Felder wurde ein Einstich entnommen und die 40 Einstiche dann in der Regel zu einer Mischprobe vereinigt.

Bei den bodenzoologischen Teilprojekten mußte von diesem Probenschema abgewichen werden.

Die Analyse der Rückstandssituation der Pflanzenschutzmittel sowie die Untersuchungen der mikrobiellen Aktivität, der Collembolen und Milben erfolgte bis in eine Tiefe von 10 cm. Die Bodenalgen und -pilze wurden nur bis in 5 cm Tiefe, die Nematoden bis in 30 cm und die Regenwürmer bis in 50 cm Tiefe untersucht.

Die Probenahme erstreckte sich in der Regel über den Zeitraum der Vegetationsperiode. Nur für die Collembolen und Bodenmilben wurden ganzjährig Proben gezogen.

#### **The location "Ahlum"**

#### **Summary**

The investigations of the soil protection project (promoted by the Federal Ministry of Research and Technology) were conducted on the area "Ahlum" of the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA) in the east of the town of Wolfenbüttel.



From October to March a positive climatic water balance can be observed, but in the main vegetation period deficiencies up to 100 mm can be found. From 11 soil units the rendzinae, para-brown earths and colluviae (especially at bottom slope) predominate in this location. The properties of the soil are heterogeneous altogether. As an exception there is a decomposition of limestone in the surface soil in plot III.

Six years before the investigations started the area had been subdivided into three equal parts of 12 ha each. Sugar beet, winter-wheat and winter-barley were cultivated in this area successively. Each of these crops was cultivated in three, later in four intensities ( $I_0$ - $I_3$ ).

The agricultural and plant cultivation measurements were conducted on principles of regular and practical agricultural cultivation. The tilled soil, the basic dressing, the seeding as drilling and the technique of seeding were conducted in the intensities in the same way.

Whereas the seed density of sugar beet was generally equal, there was a difference of 280 to 450 grains/m<sup>2</sup> in the cereals according to the intensities. There was a stronger variation between the particular intensities in nitrogen fertilizing and the management of plant protection products.

The soil samples were taken in areas which were divided into 40 plots (5 parallel lines with 8 repetitions in each of them).

One soil sample was taken in each of these plots and they were united to a mixed sample. In the part-projects of soil zoology the scheduled sampling had to be taken in a different way.

The residues of plant protection products and the microbial activity, the Collembola and soil mites were investigated up to a depth of 10 cm. To soil algae and soil fungi samples were taken up to 5 cm, to the nematodes up to 30 cm and to the earthworms up to 50 cm.

The sampling was generally taken during the vegetation period. Only for Collembola and soil mites samples were taken during the whole year.

III **UNTERSUCHUNGEN ZUM RÜCKSTANDSVERHALTEN DER IM PFLANZEN-  
SCHUTZMITTEL-GROSSVERSUCH AHLUM ANGEWANDTEN FUNGIZIDE UND  
INSEKTIZIDE**

Winfried Ebing, Gertrud Kreuzig, Hildegard Stemmer

1 **Einleitung**

In diesem Teilprojekt wurde die Rückstandssituation der Fungizide und Insektizide erfaßt, die im Feldversuch Ahlum appliziert worden waren. Dazu waren rückstandsanalytische Extraktions- und Detektions-Methoden mit Hilfe von Gaschromatographie/Elektronen-Einfang-Detektor (GC/ECD) und GC/massenselektivem Detektor (GC/MSD) zu erarbeiten.

Von 1987 bis 1989 wurden auf den Versuchsflächen folgende fungizide und insektizide Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe eingesetzt:

**Fungizide:**

Die verschiedenen Wirkstoffklassen zugehörigen fungiziden Wirkstoffe fanden ausschließlich im Getreideanbau Anwendung.

Phosphorsäureester: Pyrazophos

Benzimidazol-Derivate: Carbendazim

Triazine: Anilazin

"Azol"-Fungizide: Prochloraz, Triadimenol, Propiconazol

Morpholin-Derivate: Fenpropimorph, Tridemorph.

**Insektizide:**

Die insektiziden Wirkstoffe Lindan (nur 1987) und Carbofuran wurden speziell im Zuckerrübenanbau eingesetzt, die anderen Wirkstoffe dagegen auch im Getreideanbau.

Chlorkohlenwasserstoffe: Lindan

Phosphorsäureester: Parathion

Carbamate: Carbofuran, Pirimicarb

Pyrethroide: Fenvalerat.

Zwischen 1983 und 1987 waren außer den genannten Wirkstoffen auch Captafol und Triadimefon zum Einsatz gekommen. Diese sowie

die eingesetzten Mäusebekämpfungsmittel und Beizmittel wurden rückstandsanalytisch nicht berücksichtigt.

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Während der Vegetationsperiode wurden Proben in vierwöchigem Rhythmus in 0-5 und 5-10 cm Tiefe, am Anfang und am Ende des Versuchsjahres zusätzlich in 10-20 und 20-30 cm Tiefe gezogen. Anschließend wurden die Bodenproben bis zur Analyse bei  $-70^{\circ}$  C gelagert. Die Rückstände der applizierten Pflanzenschutzmittel wurden mit Hilfe von Lösungsmitteln extrahiert.

Mit Ausnahme der fungiziden Morpholin-Derivate und der insektiziden Carbamate konnten die angewandten Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe mittels Kapillargaschromatographie/Elektroneneinfang-Detektor (GC/ECD) bestimmt werden. Darüber hinaus wurden Phosphorsäureester mit dem Flammen-Photometer-Detektor (PFPD) und thermionischen Detektor (NPD) erfaßt. Fenpropimorph, Pirimicarb und Carbofuran wurden mittels GC/MSD nachgewiesen. Einzelheiten zu den gaschromatographischen Meßbedingungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Substanz-Identifizierung wurde durch Gaschromatographie an zwei unterschiedlich polaren Kapillarsäulen abgesichert. Die Quantifizierung erfolgte mit der Methode des internen Standards. Für die Untersuchungen mittels GC/ECD wurde dazu Iso-drin, mit GC/NPD Carbophenothionmethyl, mit GC/FPD Isopenphos und mit GC/MSD Dodemorph verwendet.

Mit Ausnahme von Carbendazim wurden die Proben in Anlehnung an die Methode von SPECHT & TILLKES (1980) aufgearbeitet.

Die vollständige Extrahierbarkeit der Wirkstoffe aus dem Boden wurde mit verschiedenen Lösungsmitteln getestet, wobei sich der Einsatz eines Aceton/Wasser-Gemisches als vorteilhaft erwies. Nach Lösungsmittelzugabe wurde über Nacht geschüttelt und da-

nach filtriert. Der wässrigen Phase wurde zum Aussalzen NaCl hinzugefügt, um in der sich anschließenden Flüssig-flüssig-Verteilung mit Dichlormethan die Wirkstoffe quantitativ in die organische Phase zu überführen. Diese wurde mit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> getrocknet, filtriert und am Rotationsverdampfer (Kuderna-Danish-Evaporator) eingeeengt. Der Roh-Extrakt wurde mit einem Essigester/Cyclohexan-Gemisch (1:1) aufgenommen und mittels einer Gelpermeationschromatographie an Bio-Beads SX-3 gereinigt, so daß störende Einflüsse der Probenmatrix Boden minimiert wurden. Ein anschließender, probeweiser Einsatz einer Minikieselgelsäule ergab keinen weiteren Reinigungserfolg. Die gereinigte Probenlösung wurde am Rotationsverdampfer bis fast zur Trockne eingeeengt. Nach Zusatz des internen Standards wurde sie für die Bestimmung mittels GC/ECD bzw. GC/NPD in Toluol überführt; für die GC/MSD-Analytik wurde das Lösungsmittel vollständig im N<sub>2</sub>-Strom abgeblasen und die Probe mit Aceton aufgenommen.

Tab. 1: Gaschromatographische Meßbedingungen für die Analytik der Insektizide und Fungizide

GC	HP 5890	Varian 3600	Packard 439	HP 5890	HP 5730 A
Autosampler	HP 7673 A	-	-	HP 7673	HP 7671 A
Detektor	ECD	ITD	NPD	FPD	ECD*
Säule	Rtx-5	DB 5	DB 5	DB 5	DB 5
Länge	60 m	28 m	30 m	30 m	60 m
Durchm.	0.32 mm	0.25 mm	0.25 mm	0.25 mm	0.245 mm
Filtdicke	0.1 µm	0.25 µm	1.0 µm	0.25 µm	1.0 µm
Trägergas	H <sub>2</sub> (8 ml/min.)	He (6 ml/min.)	He (4.7 ml/min.)	He	H <sub>2</sub>
Vordruck	165 kPa	110 kPa	250 kPa	131kPa	172 kPa
Make-up-Gas	N <sub>2</sub> (59 ml/min.)	-	N <sub>2</sub> (19 ml/min.)	He (23 ml/min.)	N <sub>2</sub> (61 ml/min.)
Brenngase	-	-	H <sub>2</sub> (5.2 ml/min.) Luft (56 ml/min.)	H <sub>2</sub> (77 ml/min.) Luft (90 ml/min.)	-
Injektor-Temperatur	250 °C	280 °C	200 °C	225 °C	250 °C
Detektor-Temperatur	300 °C	205 °C	300 °C	200 °C	350 °C
Temperatur-Programm	90 °C (1)- 10 °C/min.- 150 °C (1)- 2 °C/min.- 300 °C (1)	70 °C (2)- 20 °C/min.- 120 °C (1)- 10 °C/min.- 200 °C (1)- 7 °C/min.- 280 °C (2)	70 °C- 10 °C/min.- 330 °C (10)	85 °C- 25 °C/min.- 250 °C (1)- 10 °C/min.- 300 °C (10)	85 °C- 2 °C/min.- 300 °C (8)

\* für Carbendazim-Analytik

Die quantitative Extraktion der Wirkstoffe aus den Bodenproben nach vorstehend beschriebenen Verfahren wurde durch Soxhlet-Extraktionen überprüft. Hierbei ergaben sich für Parallelproben gute Übereinstimmungen.

Identifiziert wurden die Verbindungen anhand ihrer Retentionszeiten (GC/ECD, GC/NPD) bzw. der Massenspektren (GC/MSD). Hier erfolgte die Quantifizierung auf den charakteristischen Massenspektren  $m/z$  128 für Fenpropimorph,  $m/z$  166 für Pirimicarb,  $m/z$  164 für Carbofuran und  $m/z$  154 für Dodemorph.

Für die Wirkstoffe Carbendazim wurde in Anlehnung an die DFG-Methode 378 ein Analyseverfahren entwickelt. Die Bodenproben wurden mit Wasser und Natriumhydrogencarbonat versetzt und nach Zugabe von Essigsäureethylester über Nacht geschüttelt. Das alkalisch reagierende Gemisch wurde filtriert und die wäßrige Phase mittels eines Scheidetrichters abgetrennt und verworfen. Der Wirkstoff wurde aus der organischen Phase mehrfach mit verdünnter Schwefelsäure ausgeschüttelt. Diese wurde mit Dichlormethan gewaschen und danach mit Natriumbicarbonatlösung neutralisiert. Aus dieser wässrigen Phase wurde das Carbendazim in Dichlormethan überführt. Die organische Phase wurde über  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  filtriert, am Rotationsverdampfer auf etwa 1 ml eingengt und im wohldosierten Stickstoff-Strom handwarm zur Trockne abgeblasen. Der Rückstand wurde mit Aceton aufgenommen, mit Pentafluorbenzylbromid im Überschuß bei  $50^\circ\text{C}$  vier Stunden umgesetzt und in 1 ml Toluol umgelöst. Nach der Reinigung über eine Minikieselgelsäule wurde das Eluat mit internem Standard (Isodrin) versetzt, auf 10 ml mit dem Eluationsgemisch (Toluol/Aceton 8:2) aufgefüllt und mittels GC/ECD analysiert.

Über Zusatzversuche wurden die Wiederfindungsraten und die Bestimmungsgrenzen ermittelt (Tab. 2).

Problematisch erwies sich die Analytik von Tridemorph, bei dem es sich um ein Gemisch homologer  $\text{C}_{11}$ - $\text{C}_{14}$ -4-Alkyl-2,6-dimethylmorpholine mit 60-70 % 4-Tridecyl-Isomeren handelt. Mittels Kapillargaschromatographie konnte dieses Mehrkomponenten- und Isomerengemisch unter Anwendung verschiedener Trennkapillaren und Temperaturprogramme sowie Elektronenstoß- und chemischer

Ionisation nicht in diskrete Einzelverbindungen getrennt werden. In einzelnen Proben des Schlages mit Wintergerste, auf dem Tridemorph 1988 appliziert wurde, konnte ein qualitativer Nachweis für Tridemorph nach Bleidnerextraktion nicht erbracht werden.

Tab. 2: Wiederfindungsraten und Bestimmungsgrenzen der untersuchten Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe

Wirkstoff	Wiederfindungsrate (%)	Bestimmungsgrenze ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ trockener Boden)
Anilazin	90	-
Captafol	68	2
Carbendazim	67	1
Carbofuran	91	1
Penpropimorph	84	1
Fenvalerat	98	2
Lindan	106	0.1
Parathion	107	1
Pirimicarb	87	1
Prochloraz	96	4
Propiconazol	90	10
Pyrazophos	92	2
Triadimefon	97	1
Triadimenol	103	10

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die nachgewiesenen Rückstände der Pflanzenschutzmittel in den Bodenproben, die im Untersuchungszeitraum 1987 - 1989 entnommen wurden, lagen selbst nach wiederholter Applikation stets im ppb-Bereich ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  bezogen auf trockenen Boden). Hierbei ist im Gegensatz zum Herbizideinsatz zu berücksichtigen, daß nicht der Boden, sondern der Kulturpflanzenbestand das Ziel der Anwendungen mit den hier untersuchten Wirkstoffen war. Ausnahmen davon bildete lediglich das im Zuckerrübenanbau eingesetzte Bodeninsektizid Carbofuran, das in Konzentrationen bis zu wenigen mg/kg Boden (ppm) nachgewiesen wurde.

### 3.1 Grundbelastung zu Beginn der Untersuchungen

Die Analysen der ersten Proben vom 1. April 1987 zeigten bereits unterschiedliche Vor- und Grundbelastungen der Böden für die als Intensitätsstufen  $I_1$  -  $I_3$  vorgesehenen Parzellen aller Schläge, die auf die Pflanzenschutzmaßnahmen aus den Jahren 1983 - 1986 und ggf. davor oder auf ubiquitäre Kontamination zurückzuführen waren. So konnte Lindan auch auf Parzellen ohne protokollierte Anwendung ( $I_1$  und  $I_2$ ) mit Konzentrationen zwischen 0.2 und 1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden nachgewiesen werden, die im jahreszeitlichen Verlauf keine signifikanten Abnahmen erkennen ließen. Auf Parzellen, auf denen Lindan vor 1987 angewendet wurde, lag das Konzentrationsniveau mit 2.6 bis 5.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden (WW,  $I_3$ , 0-30 cm Tiefe, appliziert 1983 und 1986) bzw. 1.2 bis 1.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden (ZR,  $I_3$ , 0-30 cm Tiefe, appliziert 1984) deutlich höher als bei solchen ohne protokollierte Anwendung. Bei der Untersuchung der vier Tiefenstufen (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm) auf  $I_3$  des Schlages mit Winterweizen zeigten sich von oben nach unten ansteigende Lindankonzentrationen von 2.5 auf 5.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden. Auf den Schlägen mit Wintergerste und Zuckerrüben ( $I_3$ ) allerdings konnte eine derartige Tendenz der Lindanverlagerung in den Unterboden nicht bestätigt werden, was mit den weiter zurückliegenden Applikationsterminen und dem durchmischenden Effekt der wiederholten Bodenbearbeitungsmaßnahmen begründet werden könnte. Die hier festgestellte Lindan-Situation steht im Einklang mit den Ergebnissen eines holländischen Dauerversuches (VOERMAN & BESEMER 1970, 1975).

Der Einfluß früherer Anwendungen spiegelte sich auch für Pyrazophos (WW:  $I_2$ ,  $I_3$ , 0-5 und 5-10 cm-Schicht, appliziert 1985) in einem durchschnittlichen Konzentrationswert von 9  $\mu\text{g}$  pro kg in beiden Bodenschichten wider, der ohne weiteren Einsatz dieses Fungizids über die Vegetationsperiode 1987 konstant blieb und erst gegen Ende des Jahres nach dem Pflügen die Bestimmungsgrenze erreichte.

Für Parathion konnte auf dem Schlag mit Winterweizen und Wintergerste (jeweils  $I_3$ , 0-5 und 5-10 cm Tiefe) eine Grund-

WG: 1985 und 1986) beruhte, in Höhe von 1-2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nachgewiesen werden. Dieser Konzentrationswert nahm auf dem Schlag mit Winterweizen ( $\text{I}_3$ ) erst nach erneuter Applikation dieses Wirkstoffes 1987 wieder zu, dann kontinuierlich ab. Auf beiden Schlägen war Ende 1987 die Bestimmungsgrenze erreicht. Die Langlebigkeit des Parathions war allerdings in anderen Versuchsstudien wesentlich höher (STEWART et al. 1971).

Das auf den Schlägen I (1985 und 1986) sowie III (1986) jeweils in  $\text{I}_3$  applizierte Prochloraz war zu Beginn 1987 in allen Tiefenstufen bestimmbar. Dabei lagen die Konzentrationen im Schlag mit Zuckerrüben (I) mit 104 (0-5 cm), 53 (5-10 cm), 7 (10-20 cm) und 4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden (20-30 cm) deutlich über denen des Schlages mit Wintergerste (III) mit 5, 4, 8 und 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden. Im weiteren Jahresverlauf nahmen die Rückstandsgehalte auf Schlag I in den beiden oberen Schichten fortschreitend ab, während auf Schlag III durch eine erneute Applikation eine Zunahme zu verzeichnen war. Auf beiden Parzellen konnten Anfang 1988 noch Rückstände ermittelt werden.

### 3.2 Ergebnisse während des Versuchszeitraumes 1987-1989

Da die Probenahme nach einem starren 4-Wochen-Rhythmus vorgenommen wurde, ergaben sich unterschiedlich große Zeiträume zwischen den Applikations- und Probenahmeterminen. So vergingen in einigen Fällen bis zu vier Wochen, in anderen nur wenige Tage, bis die Möglichkeit des ersten Nachweises eines Wirkstoffes im Boden gegeben war. Es kam auch vor, daß zwischen zwei Probenahmeterminen mehrere Applikationen derselben oder verschiedener Wirkstoffe erfolgten.

In der Regel waren die Insektizide und Fungizide zum Zeitpunkt der ersten Probenahme nach der Anwendung im Boden zu erfassen. Wenn die Pflanzenschutzmittel allerdings nur wenige Tage zuvor in den Bestand gespritzt worden waren, konnten sie meist nicht oder nur in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. In den vier Wochen später gezogenen Proben hatten die Rückstandsgehalte dann deutlich höhere Werte.



Die während der drei Versuchsjahre angewandten Pflanzenschutzmittel werden im folgenden nacheinander einzeln behandelt.

Anilazin konnte infolge rascher Hydrolyse (Halbwertszeit in feuchtem Boden: 12 h) bereits wenige Tage nach der Applikation in den Proben nicht erfaßt werden. Wie Langzeit-Lysimeter-Untersuchungen mit Benzolring- $^{14}\text{C}$ -Anilazin (BRUMHARD et al. 1987, 1988) zeigten, wird die Substanz zu Dihydroxy-Anilazin umgewandelt und als solches in der nicht extrahierbaren Kohlenstoff-Fraktion des Bodens, dem Humin, fixiert. Nach ca. 100 Tagen waren darin nur noch weniger als 0.1 % des Originalwirkstoffes nachweisbar.

Der Wirkstoff Carbendazim war in allen drei Jahren trotz gleicher Aufwandmengen (jeweils 1.2 kg AS/ha in  $\text{I}_3$ ) in sehr unterschiedlichen Konzentrationen festzustellen. 1987 waren die Rückstandsgehalte in den oberen 5 cm im Winterweizen deutlich höher als in der Wintergerste (max. 36 bzw. 6  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden). Am Ende der Vegetationsperiode konnte das Fungizid nur noch im Winterweizen in allen vier Tiefenstufen (0-5 und 5-10 cm: je 1, 10-20 cm: 3 und 20-30 cm: 2  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden) erfaßt werden. 1988 erfolgte die Applikation lediglich im Winterweizen, wo der Wirkstoff nur bis Ende August nachweisbar war. Die Ergebnisse befinden sich in Übereinstimmung mit Befunden auf indischem Akkerboden (SINHA et al. 1980).

Auch 1989 wurde Carbendazim nur im Winterweizen angewendet, allerdings waren die Rückstandsgehalte deutlich höher als im Vorjahr. Sieben Wochen nach der Applikation war in der 0-5 cm-Schicht mit 98  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden das Maximum erreicht und am Ende der Vegetationsperiode waren in den vier Tiefenstufen noch 2, 4, 3 und 6  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden (von oben nach unten) zu erfassen. Während der Vegetationsperiode konnte eine Verlagerung in die 5-10 cm-Schicht nur in geringem Maße beobachtet werden. Erst bodenbearbeitende Maßnahmen, insbesondere Pflugeinsatz, führten - sofern Carbendazim das ganze Jahr über nachzuweisen war - zu einem Konzentrationsanstieg in 5-10 cm Tiefe und auch zu dem

Verteilungsprofil zum Zeitpunkt der letzten Probenahme im Jahr über die vier Tiefenstufen.

Das Bodeninsektizid Carbofuran wurde als Granulat zusammen mit der Rübendrillsaat im Saatbett ausgebracht. Dies führte zu einer im Gegensatz zur Spritzapplikation relativ inhomogenen Wirkstoff-Verteilung im Boden und zu höheren Rückstandsgehalten (bis zu einigen mg AS/kg Boden).

1987 wurde Carbofuran aus technischen Gründen nicht bestimmt. 1988 waren in allen drei Intensitäten des Schlages mit Zuckerrüben jeweils 6.67 kg AS/ha, 1989 jeweils 5.56 kg AS/ha in den Boden eingebracht worden. Dennoch waren die Konzentrationen in den am selben Tag gezogenen Proben sehr unterschiedlich. 1988 lagen die Maximalwerte der 0-5 cm-Schichten in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> unmittelbar nach der Applikation bei 4660 bzw. 5590 µg AS/kg Boden, in I<sub>3</sub> wurden dagegen zum selben Probenahmezeitpunkt nur 761 µg AS/kg Boden gemessen und das Maximum erst weitere acht Wochen später mit 892 µg AS/kg Boden ermittelt. Im weiteren Jahresverlauf nahmen die Rückstandsgehalte kontinuierlich ab und erreichten die Bestimmungsgrenze im Oktober noch vor Ernte und Pflugeinsatz.

1989 wurden in allen Intensitäten in 0-5 cm Tiefe deutlich höhere Konzentrationen beobachtet als in der 5-10 cm-Schicht. Das Maximum wurde erst im Juni - 11 Wochen nach der Applikation - mit 4093 µg AS/kg Boden in I<sub>1</sub>, 5886 µg AS/kg Boden in I<sub>2</sub> und 2867 µg AS/kg Boden in I<sub>3</sub> festgestellt. Das weitere Verhalten von Carbofuran im Jahresverlauf war von abwechselnd hohen und niedrigen Konzentrationswerten bestimmt, eine kontinuierliche Abnahme war nicht zu erkennen. Am Ende der Vegetationsperiode - vor Ernte und Pflügen - war die Bestimmungsgrenze in beiden Tiefenstufen noch nicht erreicht; in I<sub>3</sub> war der Wirkstoff auch noch bis in 30 cm Tiefe zu erfassen (von oben nach unten abnehmend 376, 37, 12 und 9 µg AS/kg Boden).

Die Rückstandsgehalte des Fungizides Fenpropimorph zeigten 1989 eine deutliche Abhängigkeit von der Aufwandmenge. Im Winterweizen wurden in I<sub>2</sub> insgesamt 0.975 kg AS/ha, in I<sub>3</sub> 1.275 kg AS/ha

(Abb. 1a u. 1b) und in der Wintergerste in  $I_3$  0.15 kg AS/ha gespritzt. Die entsprechenden Maxima der Rückstandsgehalte lagen in den oberen 5 cm bei 83, 129 und 17  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden. Während in der Wintergerste die Bestimmungsgrenze bereits im August erreicht war, gingen die Konzentrationen im Winterweizen zunächst rasch auf ein niedrigeres Niveau zurück, nahmen nach der Ernte und der Stoppelbearbeitung nochmals etwas zu, um nach dem Pflügen in den oberen 10 cm die Bestimmungsgrenze zu erreichen. In  $I_3$  wurden am Ende der Vegetationsperiode in 10-20 und 20-30 cm Tiefe noch 10 bzw. 11  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden nachgewiesen.

Eine Verlagerung in die 5-10 cm-Schicht während der Vegetationsperiode war gering und nur im Winterweizen zu beobachten. 1988 und 1987 war der Zusammenhang zwischen Rückstandsgehalten und Aufwandmenge nicht so deutlich ausgeprägt. Außerdem fällt auf, daß 1988 am Ende der Vegetationsperiode nach Pflugeinsatz in  $I_3$  (insgesamt 0.675 kg AS/ha appliziert) in den oberen 10 cm noch 5 bzw. 4  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden, in  $I_2$  (0.975 kg AS/ha) im gesamten Bearbeitungshorizont 1, 4, 2 und 5  $\mu\text{g}$  AS/kg Boden (von oben nach unten) zu ermitteln waren, während 1987 auf allen Parzellen zum letzten Probenahmezeitpunkt die Bestimmungsgrenze erreicht war.

Fenpropimorph metabolisiert relativ rasch (Hauptmetabolit: Fenpropimorph-Säure), so daß die Rückstände in tieferen Schichten ebenfalls rasch abnehmen.

Erste vorläufige Ergebnisse aus dem 1989 durchgeführten Lysimeterversuch (Bohrkern vom Freiland Ahlum) mit radioaktiv markiertem  $^{14}\text{C}$ -Fenpropimorph (0.75 kg AS/ha in Winterweizen) brachten folgende Ergebnisse: Zum Erntezeitpunkt Ende Juli (56 Tage nach Applikation) wurden in 0-5 cm 12, in 5-10 cm 1, in 10-20 cm 0.3 und in 20-30 cm 0.1  $\mu\text{g}$  auf Fenpropimorph umgerechnete Radioaktivitätsrückstände pro kg Boden gefunden. Davon waren in der 0-5 cm-Schicht ein Drittel, in tieferen Schichten zunehmend mehr Radioaktivität nicht extrahierbar. Bis zu 20 % des extrahierbaren Anteils bestand aus unverändertem Wirkstoff, 10 % aus Fenpropimorph-Säure.

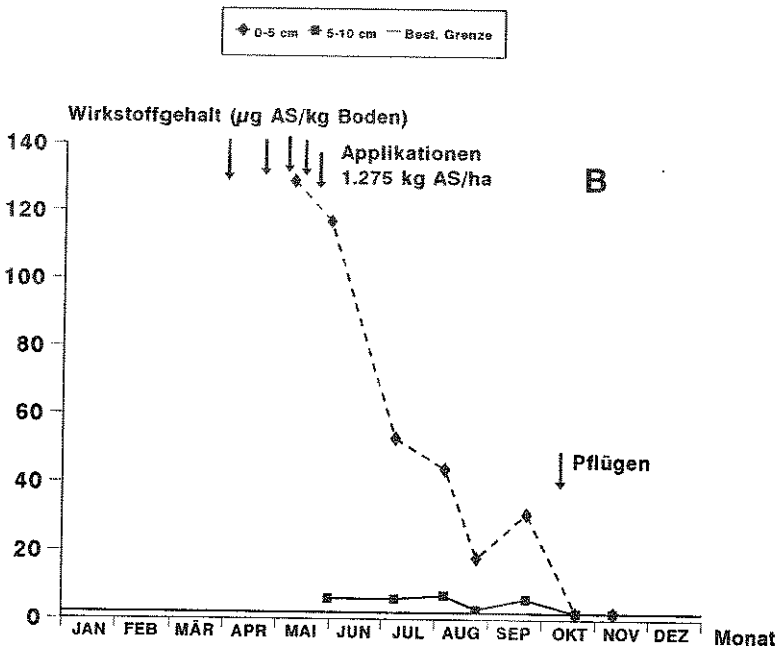
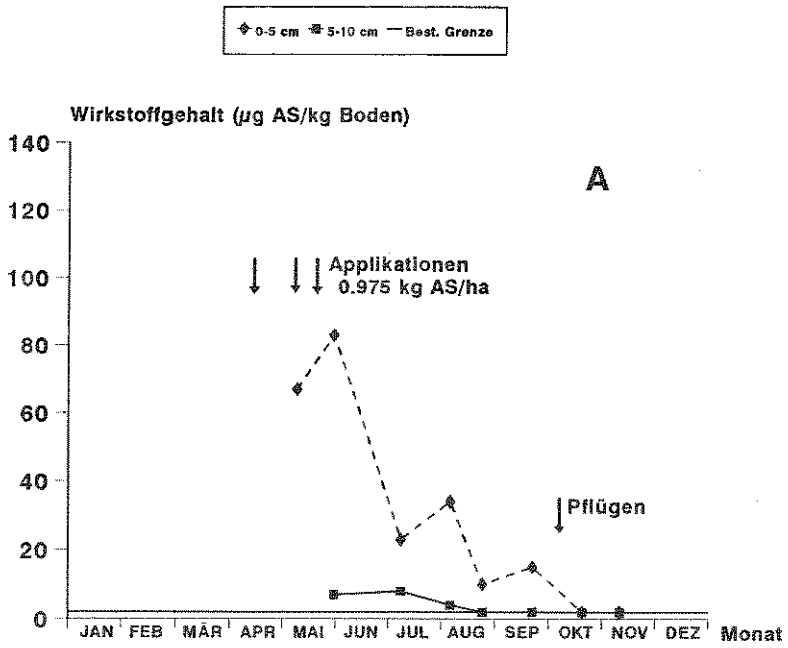


Abb. 1: Konzentrationsverläufe von Fenpropimorph in 0-5 und 5-10 cm Tiefe bei unterschiedlichen Aufwandmengen 1989 in Winterweizen - A: in  $I_2$ , B: in  $I_3$

Fenvalerat, das 1989 im Winterweizen, in I<sub>2</sub> angewendet wurde, war nur über drei Probenahmeterminen hinweg in den oberen 5 cm mit 4, 3 bzw. 4 µg AS/kg Boden zu erfassen.

Das früher und letztmals 1987 im Anbau der Zuckerrüben, jeweils in I<sub>3</sub> applizierte Lindan wurde in allen untersuchten Bodenproben, auch in den Kontrollen, als Altlast nachgewiesen. Die Konzentrationen waren in den unbehandelten Parzellen jedoch niedriger als in denen des konventionellen Ackerbaus. Die Belastung war in den 0-5 cm-Schichten meist größer als in 5-10 cm Tiefe (Abb. 2a u. 2b). Unmittelbar nach der Applikation 1987 in I<sub>3</sub> von Schlag I stiegen die Konzentrationen von 1.8 auf 10.8, vier Wochen später noch auf 14.0 µg AS/kg Boden (0-5 cm) und von 1.5 auf 10.0 µg AS/kg Boden (5-10 cm) an, nahmen dann im weiteren Jahresverlauf wieder ab auf das Niveau der anderen I<sub>3</sub>-Flächen.

Während des Versuchszeitraumes konnte eine geringe Abnahme der Lindan-Konzentrationen beobachtet werden. Allerdings führten bodenbearbeitende Maßnahmen (Pflügen) oftmals zu einem erneuten Anstieg. Daß das Insektizid kaum abgebaut wird, sondern durch Verlagerung in tiefere Bodenschichten aus dem Bearbeitungshorizont verschwindet, zeigte auch die Untersuchung einer Bohrlochprobe von einer unbehandelten Fläche bis 150 cm Tiefe. In der 45-90 cm-Schicht konnten 1.3-1.7 µg AS/kg Boden festgestellt werden, in 90-150 cm Tiefe 0.2 µg AS/kg Boden (Abb. 3).

Das im Winterweizen in I<sub>3</sub> jedes Jahr applizierte Parathion war kurz nach der Applikation in den oberen 5 cm in Konzentrationen von 7-8 µg AS/kg Boden nachweisbar. 1988 trat erst nach weiteren vier Wochen das Maximum auf. Vermutlich lag der Applikationstermin zu kurzfristig vor der darauffolgenden Probenahme und der Wirkstoff gelangte erst danach von der Pflanze in den Boden. Während 1987 und 1989 die Rückstandsgehalte im Verlauf der Vegetationsperiode kontinuierlich abnahmen und nach Pflügeinsatz die Bestimmungsgrenze erreichten, wurde 1988 nach dem Pflügen wieder ein Anstieg in den oberen 5 cm beobachtet, was zu einem Rückstandsgehalt von 2 µg AS/kg Boden zum letzten Pro-

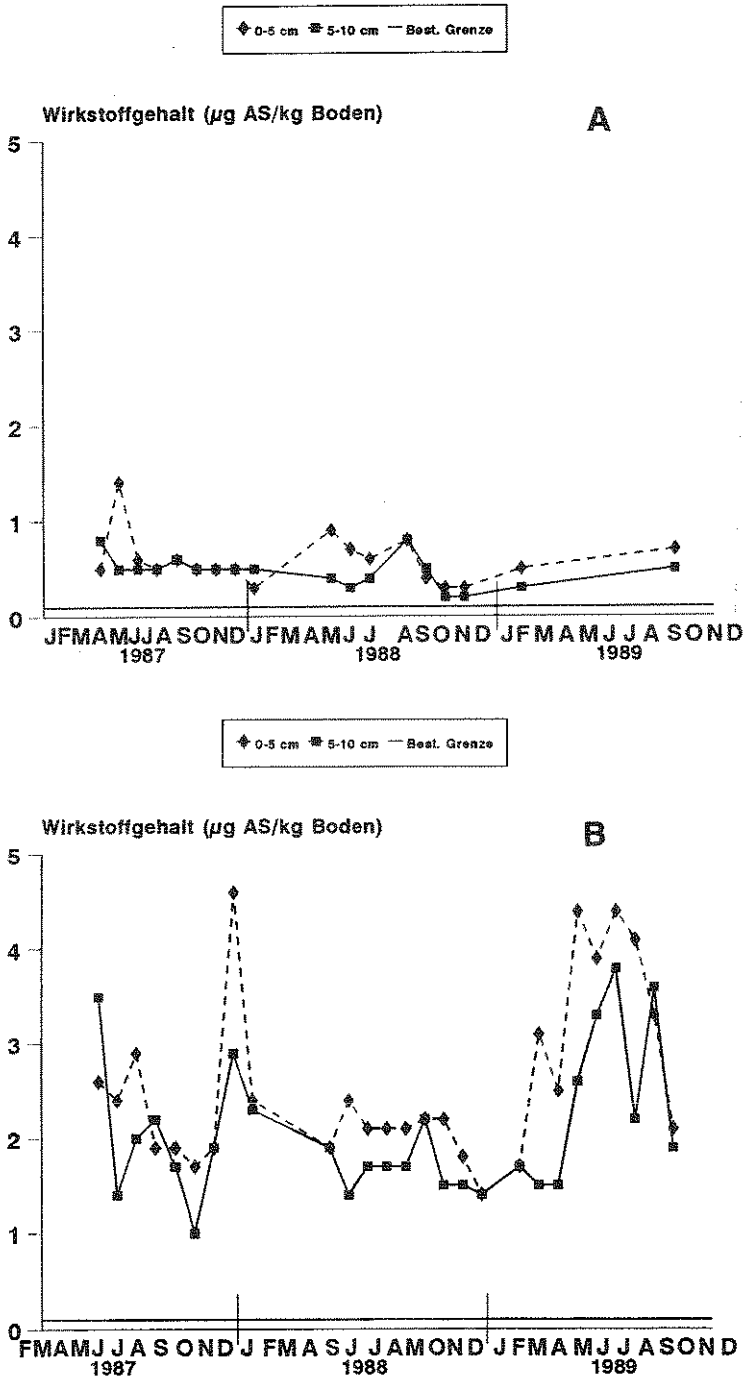


Abb. 2: Konzentrationsverläufe von Lindan in 0-5 und 5-10 cm Tiefe während des Versuchszeitraums 1987-1989 in Parzellen von Schlag II - A: unbehandelte (I<sub>2</sub>), B: behandelte (I<sub>3</sub>) Parzellen

benahmetermin dieses Jahres führte. Im Folgejahr konnte Parathion noch bis Juli in geringeren Konzentrationen ermittelt werden. Eine Verlagerung in die 5-10 cm-Schicht war nur 1987 und 1988 (hier nur an den ersten beiden Terminen nach der Applikation) zu erkennen, 1989 wurde der Wirkstoff in der tieferen Schicht nicht nachgewiesen. Möglicherweise ist dies auf die Trockenheit im letzten Versuchsjahr zurückzuführen, die ein tieferes Eindringen in den Boden verhinderte.

Das 1988 und 1989 in den Zuckerrüben und im Winterweizen applizierte Pirimicarb zeigte nur eine geringe Verlagerungstendenz in die 5-10 cm-Schicht.

Trotz gleicher Aufwandmenge (0.15 kg AS/ha) in I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> im Winterweizen wurden die Maxima der Rückstandsgehalte in 4-wöchigem Abstand erreicht (I<sub>2</sub>: Juli mit 15, I<sub>3</sub>: Juni mit 13 µg AS/kg Boden). Nach dem Pflügen war die Bestimmungsgrenze erreicht.

In den Zuckerrüben ging mit steigender Aufwandmenge auch eine Zunahme der Wirkstoffkonzentrationen in den Proben einher. 1989 wurden die Maximalwerte nach Applikation von 0.25 kg AS/ha (I<sub>1</sub>), 0.45 kg AS/ha (I<sub>2</sub>) und 0.6 kg AS/ha (I<sub>3</sub>) mit 90, 160 bzw. 220 µg AS/kg Boden ermittelt. Während 1988 am Ende der Vegetationsperiode (nach Ernte und Pflügen) das Insektizid nicht mehr zu bestimmen war, hatten die Rückstandsgehalte im November 1989 (vor Ernte und Pflügen) diese Grenze noch nicht erreicht. Vermutlich ist das auf die in diesem Jahr höheren Aufwandmengen zurückzuführen. Auffällig war weiterhin, daß die Maxima erst mehrere Wochen nach der letzten Applikation auftraten. Es ist anzunehmen, daß das Pirimicarb durch die dichte Blattmasse der Rüben und die Trockenheit lange Zeit vom Boden ferngehalten wurde.

Prochloraz ist von den untersuchten Pflanzenschutzmitteln derjenige Wirkstoff, bei dem das Zusammentreffen von restlichen Rückständen mit solchen aktueller Applikationen am auffälligsten in Erscheinung trat. Im gesamten Versuchszeitraum wurde das Pflanzenschutzmittel im Winterweizen und in der Winterger-

ste, jeweils in I<sub>3</sub>, appliziert. Die Rückstände waren über zwei Vegetationsperioden hinweg zu erfassen (Abb. 4). Da das Fungizid spätestens zwei Jahre nach der letzten Anwendung erneut ausgebracht wurde, konnte in diesen Fällen das Erreichen der Bestimmungsgrenze nicht beobachtet werden. Wenn am Ende der Vegetationsperiode - nach Pflugeinsatz - in den oberen 10 cm Prochloraz auch kaum mehr zu bestimmen war, so war die Belastung in 10-30 cm Tiefe deutlich höher. Wie die zu Beginn und am Ende jedes Untersuchungsjahres über den gesamten Bearbeitungshorizont gezogenen Proben zeigten, war Prochloraz in dieser Bodenschicht über einen längeren Zeitraum zu erfassen (Abb. 5). Für eine gleichmäßige Verteilung im Boden schienen die Bodenbearbeitungsmaßnahmen eine größere Rolle zu spielen als die Verlagerungstendenz. Mobilität und Abbaugeschwindigkeit schienen sich die Waage zu halten.

Ein Bezug von Aufwandmenge zu Rückstandsgehalten war nicht zu erkennen, da bei gleicher Applikationshöhe die Maxima in den oberen 5 cm sehr unterschiedlich ausfielen (1988: WW: 0.45 kg AS/ha, max. 62 µg AS/kg Boden zwei Monate nach Applikation; WG: 0.48 kg AS/ha, max. 360 µg AS/kg Boden unmittelbar nach der Applikation). Der Eintrag in die 5-10 cm-Schicht war gering, lediglich Rückstände aus den Vorjahren führten zu etwas höheren Konzentrationen.

Ein Hauptmetabolit, 2,4,6-Trichlorphenol (TCP), wurde zeitweise miterfaßt. Da diese Substanz jedoch auch in den Parzellen, in denen Prochloraz nie appliziert worden war, auftrat, war die quantitative Ermittlung des vom Prochloraz abstammenden Anteils nicht möglich. Es zeigten sich aber in den mit Prochloraz behandelten Flächen deutlich höhere 2,4,6-TCP-Konzentrationen.

Propiconazol wurde 1987-1989 in den Schlägen mit Wintergerste in I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> appliziert. Ein Bezug zwischen Aufwandmenge und Rückstandsgehalten war nicht immer möglich. Die Verlagerung aus den oberen 5 cm in die 5-10 cm-Schicht war nur 1987 zu beobachten (Abb. 6a u. 6b).

Unabhängig von der Aufwandmenge nahmen die Konzentrationen im Laufe der Vegetationsperiode kontinuierlich ab. Auf den Schlä-



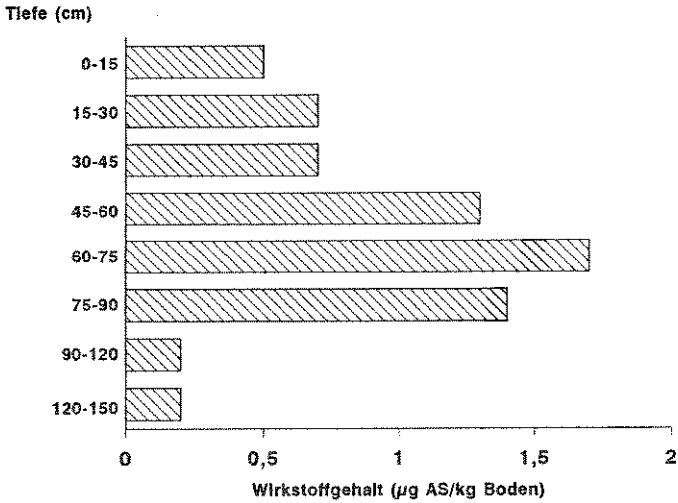


Abb. 3: Lindan-Verteilung in einer 1987 auf Schlag II, I<sub>2</sub> gezogenen Bohrlochprobe bis 150 cm Tiefe

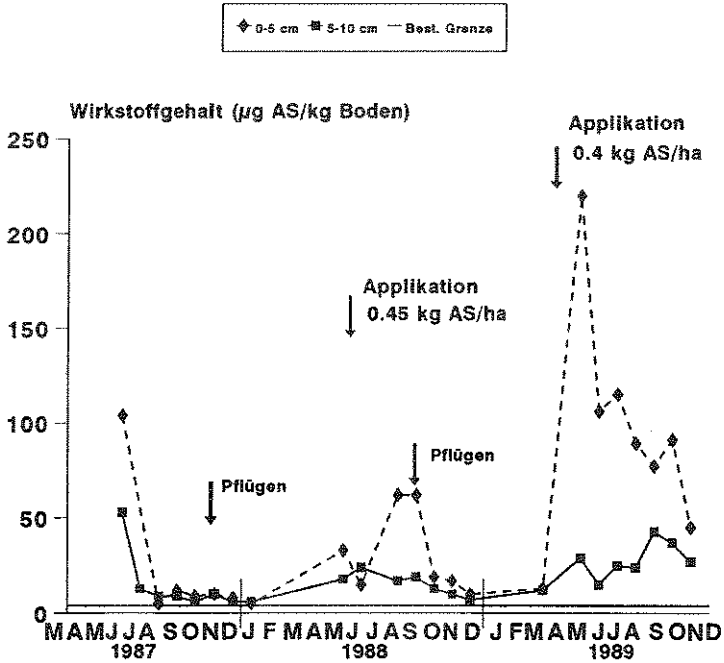


Abb. 4: Konzentrationsverläufe von Prochloraz während des Versuchszeitraums 1987-1989 in den oberen 10 cm von Schlag I, I<sub>3</sub> nach Applikationen 1985, 1986, 1988 und 1989

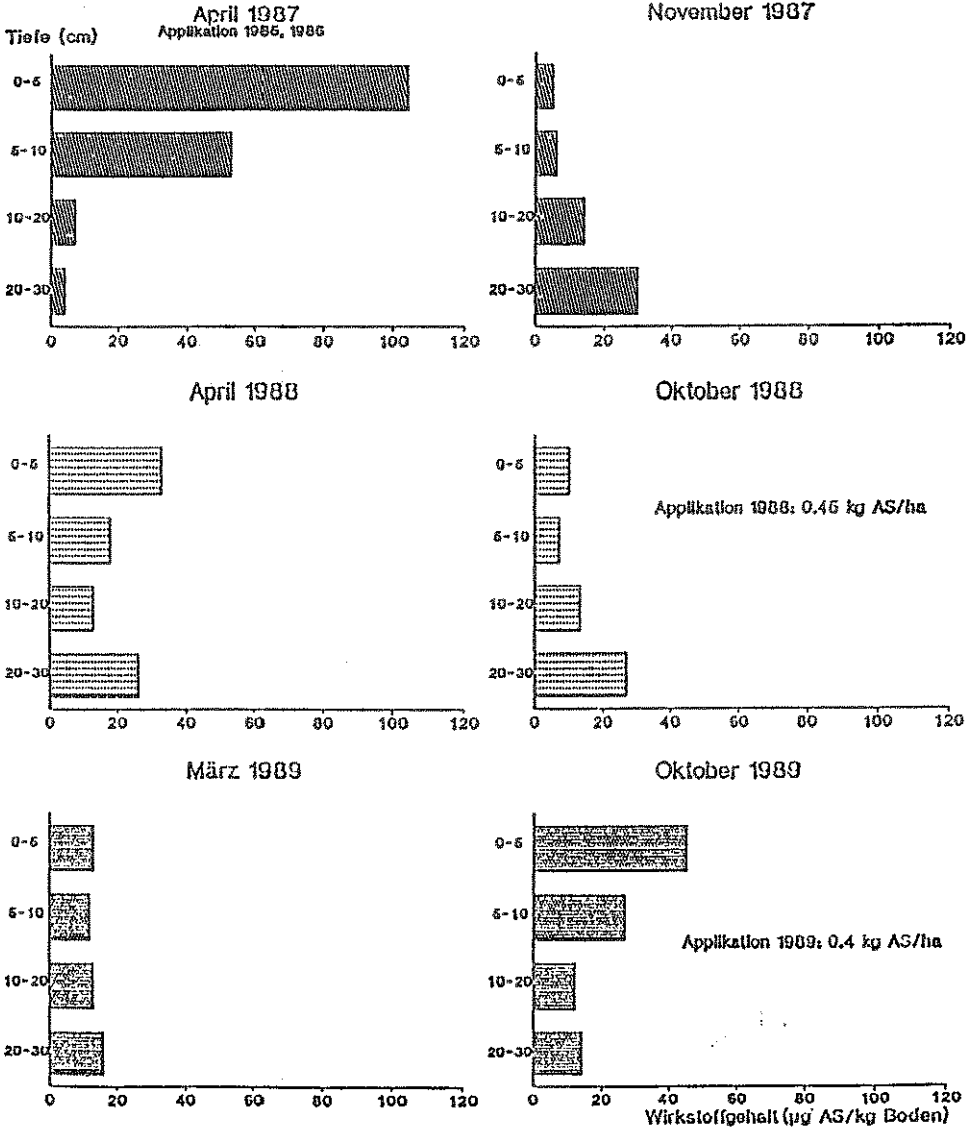


Abb. 5: Verteilung von Prochloraz im Bearbeitungshorizont (0-30 cm Tiefe) von Schlag I, I<sub>3</sub> während des Versuchszeitraums 1987-1989)

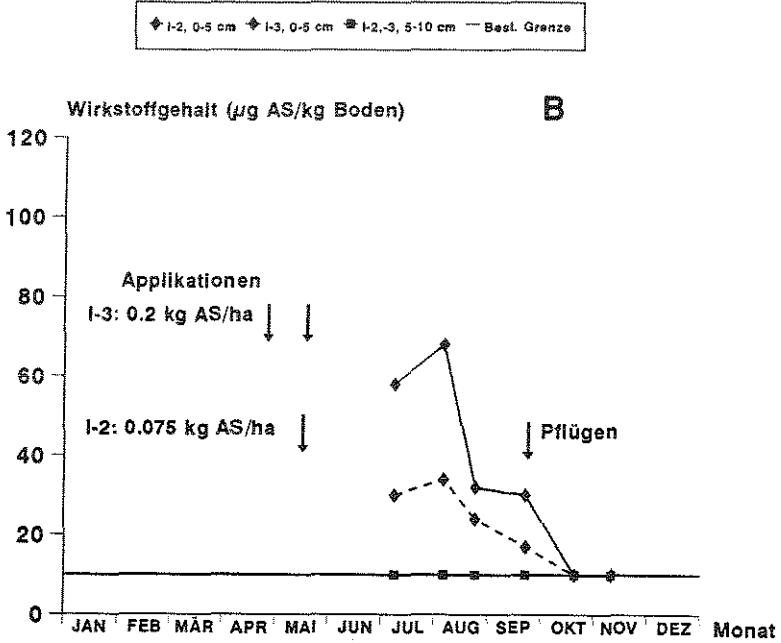
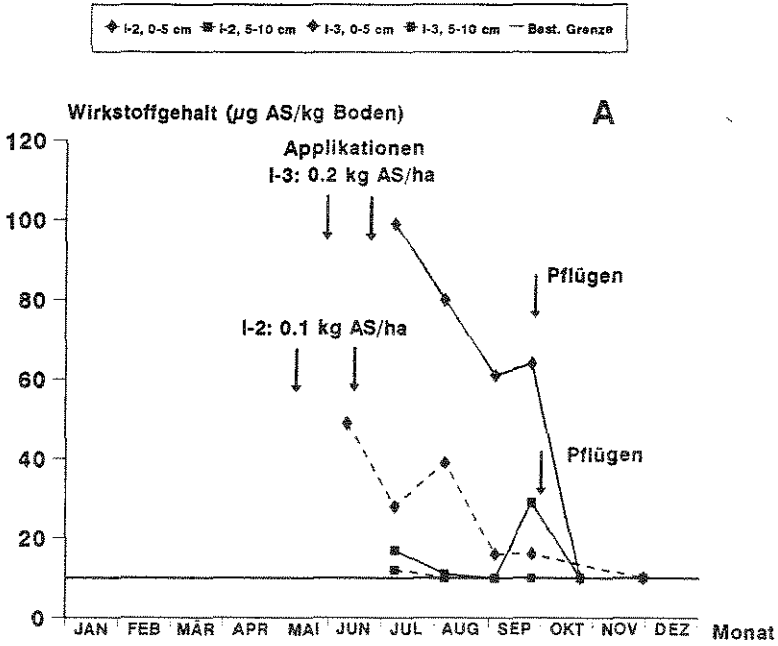


Abb. 6: Konzentrationsverläufe von Propiconazol in Winterweizen in den oberen 10 cm bei unterschiedlichen Aufwandmengen in I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> - A: 1987, B: 1989

gen mit Winterweizen war Propiconazol nach Pflugeinsatz meist nicht mehr bestimmbar. 1989 wurden danach allerdings in I<sub>3</sub> in 10-20 und 20-30 cm Tiefe noch 14 bzw. 17 µg AS/kg Boden ermittelt. Auf den Flächen mit Wintergerste, die vor der Aussaat der Zwischenfrucht nur mit dem Tiefgrubber bearbeitet wurden, konnte die Substanz dagegen meist noch zum letzten Probenahmetermin in den oberen 5 cm erfaßt werden. Im folgenden Jahr war der Wirkstoff nicht mehr nachweisbar.

Das während der Versuchsphase nur 1989 in der Wintergerste in I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> (jeweils 0.29 kg AS/ha) applizierte Pyrazophos wurde unmittelbar nach der Anwendung mit 78 bzw. 72 µg AS/kg Boden in den oberen 5 cm ermittelt. Die Verlagerung in 5-10 cm Tiefe erfolgte kaum. Die Konzentrationen gingen zunächst rasch, später langsamer bis in den Bereich der Bestimmungsgrenze zurück. Daß hier im Gegensatz zur Applikation 1985 nicht mit einer längeren Belastung des Bodens zu rechnen ist, dürfte mit der geringeren Aufwandmenge zusammenhängen (1985: 0.59 kg AS/ha).

Der Wirkstoff mit der größten Verlagerungstendenz in tiefere Schichten ist Triadimenol. Allerdings scheint diese Eigenschaft stark witterungsabhängig zu sein, denn im verhältnismäßig trockenen Jahr 1989 verblieb der Wirkstoff weitgehend in den oberen 5 cm. 1987 und 1988 jedoch war auch kurz nach der Applikation ein rascher Konzentrationsanstieg in der 5-10 cm-Schicht zu verzeichnen (Abb. 7). Durch diese Verlagerung und durch Pflügen wurde eine Verteilung im gesamten Bearbeitungshorizont erreicht. Da Triadimenol außerdem noch relativ persistent ist - es nimmt eine Mittelstellung zwischen den meisten untersuchten Wirkstoffen und Prochloraz ein - , konnte es in Abhängigkeit von der Aufwandmenge noch zu Beginn, während und am Ende der folgenden Vegetationsperioden in allen Tiefenstufen nachgewiesen werden (Abb. 8 u. 9).

1989 war Triadimenol in den behandelten Parzellen am Ende der Vegetationsperiode in 0-10 cm nicht und in den tieferen Bodenschichten kaum zu erfassen, obwohl vergleichbare Applikationsmengen wie in den Jahren davor ausgebracht worden waren. Nur in

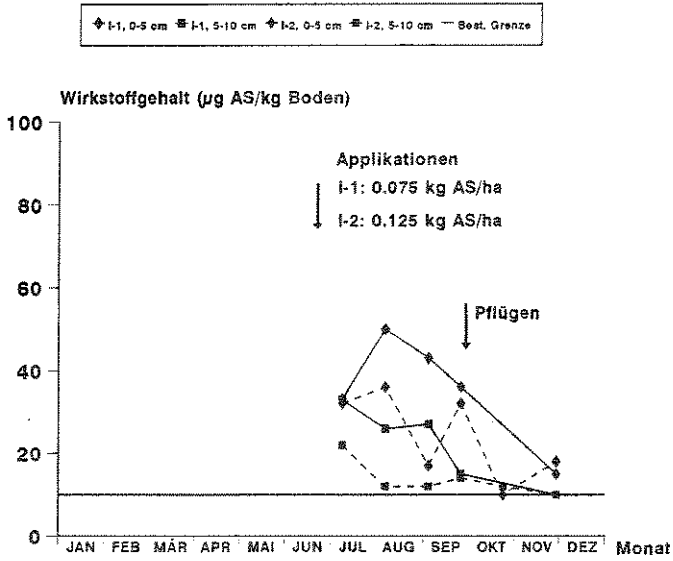


Abb. 7: Konzentrationsverläufe von Triadimenol in 0-5 und 5-10 cm Tiefe bei unterschiedlichen Aufwandmengen 1987 in Wintergerste in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub>

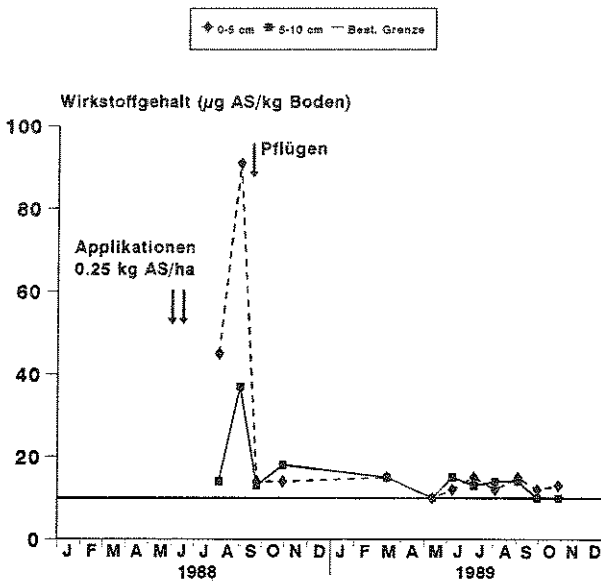


Abb. 8: Rückstandsverhalten von Triadimenol von 1988-1989 in den oberen 10 cm von Schlag I, in I<sub>2</sub> nach Applikation 1988

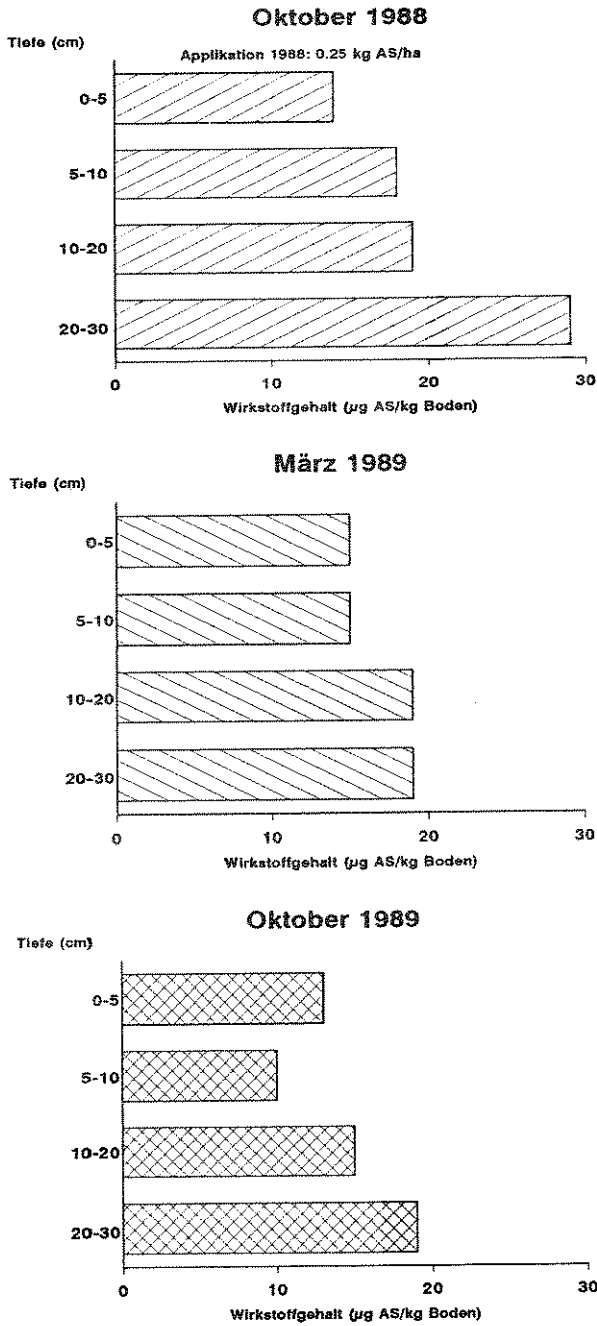


Abb. 9: Verteilung von Triadimenol von 1988-1989 im Bearbeitungshorizont (0-30 cm Tiefe) von Schlag I, in I<sub>2</sub> nach Applikation 1988

I<sub>3</sub> im Winterweizen wurden in 10-30 cm Tiefe noch 18 bzw. 19 µg AS/kg Boden bestimmt.

In allen anderen Jahren konnte in beiden Tiefenstufen der Hauptmetabolit Triadimefon kurzzeitig in sehr geringen Konzentrationen (1-3 µg AS/kg Boden) mitentdeckt werden.

Für die Untersuchung der Metabolite der Pflanzenschutzmittel wurde eine Literaturrecherche durchgeführt.

Das Hauptabbauprodukt von Lindan nach acht Wochen in Mineralböden unter aeroben Bedingungen ist Pentachlorcyclohex-1-en. Als weitere Abbauprodukte in diesem Boden werden nur 1,3- oder 1,4-Dichlorbenzole genannt. Höhere Chlorbenzole entstehen dagegen mehr in organischen bzw. wassergesättigten Böden.

Parathion wird sehr rasch mineralisiert. In geringen Konzentrationen entsteht unter aeroben Bedingungen Praoxon, unter anaeroben Bedingungen Aminoparathion und Aminophenol.

Der mikrobielle Abbau von Prochloraz führt zu zwei Hauptmetaboliten: 2,4,6-Trichlorphenol und N'-formyl-N-propyl-N[2-(2,4,6-trichlorphenoxy)ethyl]harnstoff, die neben dem Originalwirkstoff in den oberen Bodenschichten relativ persistent sind. Anilazin wird im Boden sehr rasch hydrolysiert zu Hydroxy-Anilazin und bildet gebundene Rückstände.

Der persistenterere Wirkstoff Triadimenol wird nur sehr langsam abgebaut. In sehr geringen Konzentrationen entsteht Triadimefon (bis 1 %), daraus weiter 1,2,4-Triazol.

Der Hauptmetabolit von Propiconazol ist neben einigen unbekanntem Abbauprodukten 1-[2-(2',4'-Dichlorphenyl)-4-propanolyl-1,3-dioxolan-2-yl-methyl]-1H-1,2,4-triazol, der in einem schluffigen Lehm nach 70 Tagen mit 22 % ermittelt wurde.

Carbendazim wird hauptsächlich zu 2-Aminobenzimidazol (6-22 % nach 112 Tagen) metabolisiert, das erst nach einiger Zeit weiter abgebaut wird.

Aus Carbofuran entsteht zunächst durch Abspaltung der Carbamatgruppe Carbofuranphenol, welches dann langsamer weiter hydroxyliert und oxidiert wird zum 3-Ketocarbofuran.

Der Abbau von Pirimicarb kann abhängig vom Boden unter hydrolytischer Abspaltung des Carbamatrestes zu 5,6-Dimethyl-2-<sup>d</sup>-

methylamino-4-hydroxypyrimidin, 5,6-Dimethyl-2-methylamino-4-hydroxypyrimidin und weiter zu 2-Amino-5,6-dimethyl-4-hydroxypyrimidin erfolgen oder unter Demethylierung zu 5,6-Dimethyl-2-methylaminopyrimidin-4-yl-dimethylcarbamat (Desmethyl-pirimicarb) und 5,6-Dimethyl-2-methyl-formamidopyrimidin-4-yl-dimethylcarbamat (Desmethylformyl-amido-pirimicarb) und weiter zu 2-Amino-5,6-dimethyl-pyrimidin-4-yl-dimethylcarbamat.

Hauptmetabolit von Fenpropimorph ist das im Boden beständige 4-[3-(4-Phenylisobuttersäure)2-methyl-propyl]-2,6-(cis)-dimethylmorpholin (Fenpropimorph-Säure). Daneben entstehen 1-(N-2-Hydroxy-2-methyl-ethylamino)-2-methyl-3-[4-(1,1-dimethyl-ethyl)phenyl]-propan und 1-(N-2-Hydroxy-ethylamino)-2-methyl-3-[4-(1,1-dimethylethyl)phenyl]-propan.

Von Tridemorph sind zwei Metabolite bekannt: 2,6-Dimethylmorpholin und Tridemorph-N-oxid.

Von den hier aufgeführten Metaboliten waren nur wenige käuflich zu erhalten (diverse Chlorbenzole (Lindan), 2,4,6-Trichlorphenol (Prochloraz), 2-Aminobenzimidazol (Carbendazim) und 2,6-Dimethylmorpholin (Tridemorph)).

Vorversuche ergaben, daß nur einige dieser Verbindungen im Rahmen der angewendeten Analyseverfahren und diese dann oft noch nicht in den Probenlösungen zu erfassen waren.

#### 4 Schlußfolgerungen

Zusammenfassend ist festzustellen, daß im Bearbeitungshorizont des Ackerbodens - mit Ausnahme des Carbofurans - bei den unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten und guter landwirtschaftlicher Praxis nur eine Spurenkontamination im unteren µg-Bereich eintritt. Bei den Fungiziden und Insektiziden nimmt auch diese bald ab. Dazu zählen Anilazin, Carbofuran, Fenpropimorph, Fenvalerat, Pirimicarb und Propiconazol. Bei einigen Wirkstoffen empfiehlt es sich, die Mobilität über mehrere Jahre hinsichtlich Auswaschung in tiefere Bodenhorizonte zu beobachten. Denn die Wirkstoffe Carbendazim, Lindan, Parathion, Prochloraz, Pyrazophos und Triadimenol treten als längerfristige



Rückstände auf und sind auch in Bodenproben aus größeren Entnahmetiefen (bis 30 cm) nachweisbar.

Gelegentlich wurden Konzentrationsbeeinflussungen durch Pflügen festgestellt, kaum jedoch durch Klimaunterschiede. Lediglich die Niederschlagstätigkeit könnte für die Verlagerung in tiefere Schichten mit verantwortlich sein. Eindeutige Zusammenhänge zwischen Rückstandsdaten und Veränderungen in der Populationsdynamik von Bodenmikroflora und -fauna waren nicht erkennbar.

Untersuchungen zum Rückstandsverhalten der im Pflanzenschutzmittel-Großversuch Ahlum angewandten Fungizide und Insektizide

#### Zusammenfassung

Zu Beginn der Untersuchungen konnten auf den drei Schlägen Grundbelastungen mit Lindan (0.2-1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), Parathion (1-2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), Pyrazophos (6-12  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) und Prochloraz (4-104  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden) nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu Lindan waren diese Rückstandskonzentrationen auf allen Schlägen unmittelbar auf Pflanzenschutzmittel-Anwendungen aus den Vorjahren zurückzuführen.

Die im Untersuchungszeitraum 1987 - 1989 analysierte Rückstandssituation zeigte zwischen den einzelnen Intensitätsstufen für die eingesetzten Fungizide und Insektizide keine erheblichen Konzentrationsunterschiede ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  Boden). Nur bei dem im Bandverfahren applizierten Carbofuran lagen die Konzentrationswerte deutlich höher (1-6 mg/kg Boden). Anilazin konnte nach rascher Umwandlung und Festlegung in der Bodenmatrix nicht erfaßt werden.

Carbofuran, Fenpropimorph, Fenvalerat, Pirimicarb und Prochloraz waren zu Beginn der folgenden Vegetationsperioden nur gelegentlich nachzuweisen. Lindan, Parathion, Prochloraz, Pyrazophos und Triadimenol waren als die persistenteren Wirkstoffe länger nachweisbar. Während der Vegetationsperiode wurden nur Triadimenol in die 5-10 cm-Schicht des Ap-Horizontes verlagert. Wirkstoffe wie Carbendazim, Lindan, Prochloraz und Triadimenol

wurden durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen über den gesamten Bearbeitungshorizont verteilt und sollten hinsichtlich vertikaler Mobilität weiter verfolgt werden.

Neben den Auswirkungen der Bodenbearbeitungsmaßnahmen konnte der Einfluß meteorologischer Parameter (Niederschlag, Temperatur) nicht eindeutig nachgewiesen werden.

### Studies on the Residue Behaviour of Fungicides and Insecticides applied during experimental Main-Project of Ahlum

#### Summary

First analytical investigations of the three plots showed soil contaminations with lindane (0.2-1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), parathion (1-2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), pyrazophos (6-12  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) and prochloraz (4-104  $\mu\text{g}/\text{kg}$  soil). Except for lindane, these residues were a result of pesticide applications in previous years.

During the vegetation periods from 1987 to 1989, the determined residues of insecticides and fungicides ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  soil) showed no significant differences between the investigated agricultural management systems. Only carbofuran showed higher concentrations (1-6 mg/kg soil) due to applying the band technique. After the metabolization and the immobilization anilazine could not be found in the soil samples.

At the beginning of each vegetation period, carbofuran, fenpropimorph, fenvalerat, pirimicarb and propiconazol were occasionally traceable. Lindane, parathion, prochloraz, pyrazophos and triadimenol remained longer than one year in the soil. During the vegetation period only triadimenol was also transported into the 5-10 cm surface layer. After soil tillage, carbendazim, lindane, prochloraz and triadimenol were distributed throughout the cultivation horizon. Their vertical mobility should be observed.

Besides the effects of soil tillage, meteorological parameters such as rainfall or temperature showed no significant influence.

5 Literatur

- BRUMHARD, B., FÜHR, F., KLAES, J., KLOSKOWSKI, R., MITTELSTAEDT, W., REUTER, H.-J., PÜTZ, T., SCHNEIDER, M., STEFFENS, W. (1987): IRA Ergebnisbericht, KFA Jülich GmbH.
- BRUMHARD, B., CRAIGMILL, A., FÜHR, F., HEITMANN, B., MITTELSTAEDT, W., REUTER, H.-J., PÜTZ, T., SCHNEIDER, M., STEFFENS, W., STEIN-DÖNECKE, U. (1988): IRA Ergebnisbericht, KFA Jülich GmbH.
- SINHA, A. P., AGNIHOTRI, V. P., SINGH, K. (1980): Persistence of carbendazim in soil and its effect on rhizosphere fungi of sugarbeet seedlings. - Indian Phytopathol., 33: 21-25.
- SPECHT, W., TILLKES, M. (1980): Gaschromatographische Bestimmung von Pflanzenbehandlungsmitteln nach Cleanup über Gel-Chromatographie und Mini-Kieselgel-Säulen-Chromatographie. - Fresenius Z. Anal. Chem., 301: 300-307.
- STEWART, D. K. R., CHISHOLM, D., RAGAB, M. T. H. (1971): Long term persistence of parathion in soil. - Nature, 229: 47.
- VOERMAN, S., BESEMER, A. F. H. (1970): Residues of dieldrin, lindane, DDT and parathion in a light sandy soil after repeated application throughout a period of 15 years. - J. Agric. Food Chem., 18: 717-719.
- VOERMAN, S., BESEMER, A. F. H. (1975): Persistence of dieldrin, lindane and DDT in a light sandy soil and their uptake by grass. - Bull. Envir. Contam. Toxicol., 13: 501-505.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für ökologische Chemie, Königin-Luise-Straße 19,  
D-14195 Berlin.

IV *PROGNOSE DER PERSISTENZ VON HERBIZIDEN UND DEREN AUSWIRKUNGEN AUF NACHBAUKULTUREN NACH LANGJÄHRIGER ANWENDUNG*

Bernhard Gottesbüren, Wilfried Pestemer

1 Einleitung

Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Pflanzenschutzmitteln sind erforderlich, damit auch Auswirkungen erfaßt werden können, die möglicherweise erst nach langjährigem intensivem Einsatz erkennbar sind.

Als bestimmende Faktoren für Nebenwirkungen eines Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auf "Nicht-Ziel"-Organismen sind folgende Einflußgrößen anzusehen, die in ihren Auswirkungen beurteilt werden müssen:

- Persistenz der Pflanzenschutzmittel und ihrer Metabolite (= Verweildauer in einem genau definierten Kompartiment der Umwelt), die die Möglichkeit des räumlichen und zeitlichen Zusammentreffens mit den Organismen und die Expositionsdauer bestimmt
- "Verfügbarkeit" der Pflanzenschutzmittel, als räumliche und zeitliche Zugänglichkeit sowie das Nachlieferungsvermögen für die Organismen
- Toxizitätswerte, als Maß für Reaktionen der Organismen auf die einwirkenden Konzentrationen und die Expositionsdauer
- weitere Randbedingungen wie z. B. Witterung und Bearbeitungsmaßnahmen, die die Dynamik eines Pflanzenschutzmittels sowie Disposition und Reaktion der Organismen beeinflussen

Ziel der Untersuchungen war die Erarbeitung von Grunddaten über die Rückstandssituation von Herbiziden als Interpretationshilfe anderer Teilprojekte des Gesamtvorhabens. Darüber hinaus sollte die Ermittlung und Bewertung des Langzeitverhaltens von Herbiziden und deren mögliche Auswirkungen auf höhere Pflanzen, wie z. B. Nachbalkulturen, erfolgen. Zur Beschreibung und Beurtei-

lung der Herbiziddynamik wurden die Daten anderer Projekte berücksichtigt.

Die Gültigkeit der Bewertungskriterien von Simulations- und Prognosemodellen für die Beschreibung der Persistenz und der Nebenwirkungen von Herbiziden auf Nachbaukulturen (vgl. PESTEMER & AUSPURG 1987) wurde auch bei langjährigem Einsatz von Herbiziden überprüft. Die Validität der Prognosemodelle wurde unter praxisgerechten Bedingungen im Freiland getestet und zur Nutzung der Erkenntnisse und deren Umsetzung in der landwirtschaftlichen Praxis in ein parallel entwickeltes Expertensystem zur computergestützten Herbizidberatung einbezogen (GOTTESBÜREN et al. 1990a, 1990b; PESTEMER et al. 1990; GOTTESBÜREN 1991).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Standort, Probenahme, Probenaufbereitung

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Die Freilanduntersuchungen wurden auf der Versuchsfläche Ahlum, die relativ homogene Bodenverhältnisse (Parabraunerde, lehmi-ger Schluff, pH-Wert 6,5-7,0; org. Kohlenstoffgehalt 0,8-1,2 Gew.-%, maximale Wasserkapazität (=  $WK_{max}$ ) 33,5 ml  $H_2O/100$  g Boden) aufweist, durchgeführt.

Während der Vegetationsperiode wurden die für die Rückstands-analyse der Pflanzenschutzmittel bestimmten Bodenproben monatlich in einem Probenahmeraster aus 0-5 und 5-10 cm Tiefe, zu Beginn und am Ende der Vegetationszeit in einzelnen Bodenschichten im Bearbeitungshorizont (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm) und nach Ernte der jeweiligen Kulturen zum Teil bis 90 cm Tiefe entnommen und bis zur Analyse in Polyäthylenbeuteln bei  $-20$  °C gelagert.

Die Aufbereitung der Bodenproben erfolgte entsprechend der in Abbildung 1 dargestellten Multimethode zur chromatographischen Rückstandsanalyse von Pflanzenschutzmitteln im Boden, die durch

Kombination und nach Modifikation laborinterner und in der Literatur beschriebener Methoden entwickelt wurde. Dabei wurden aliquote Teile (= 50 g Trockenmasse (TM)) der je Termin, Schlag und Intensitätsstufe aus 40 Einstichen zu einer Mischprobe vereinten Bodenprobe mit Doppelbestimmung analysiert.

Von den ausgebrachten Herbiziden wurden nur die Wirkstoffe über mehrere Vegetationsperioden bzw. bei verschiedenen Intensitätsstufen untersucht (s. Tab. 1), die ein unterschiedliches Persistenzverhalten aufweisen.

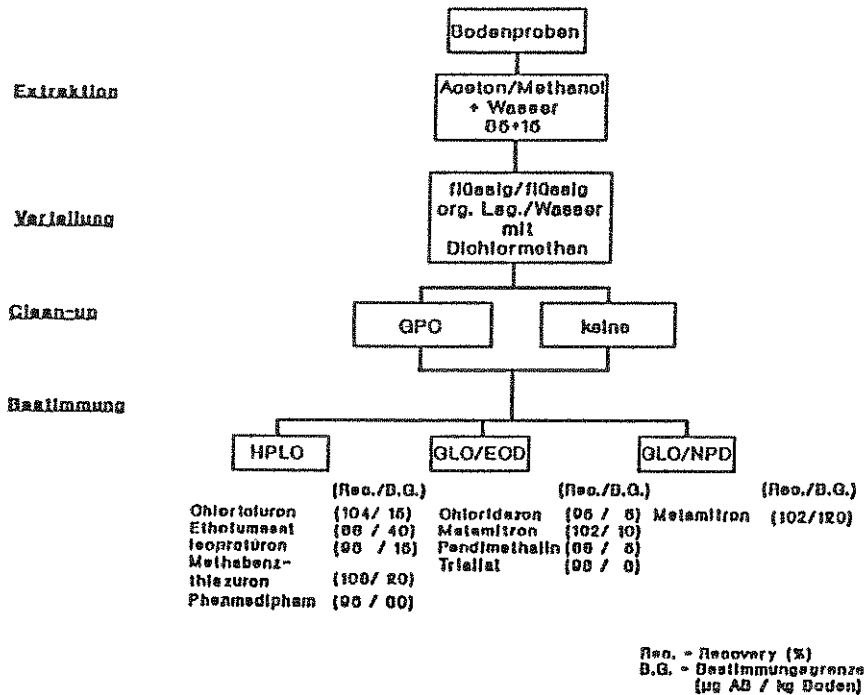


Abb. 1: Arbeitsschema der Multimethode zum Nachweis von Herbizidrückständen im Boden

## 2.2 Extraktionsverfahren

Neben der in Abbildung 1 dargestellten Analysemethode zur Extraktion und zum Nachweis der Gesamtrückstände der herbiziden Wirkstoffe wurden verschiedene Extraktionsverfahren zur Charak-

terisierung unterschiedlich stark sorbierter Rückstände eingesetzt. Zur Erfassung der in der Bodenlösung befindlichen bzw. leicht desorbierbaren Rückstandsgehalte und damit der potentiellen Pflanzenverfügbarkeit diente die "Wasserextraktionsmethode" (Verfahren 1) nach STALDER & PESTEMER (1980).

Dabei wurden nach einstündigem Schütteln des Bodens mit demineralisiertem  $H_2O$  bzw. einer simulierten Bodenlösung ( $0,01\text{ m CaCl}_2$ ) und einem Schüttelverhältnis Boden/Extraktionsmittel von 1:1,33 und nachfolgender Flüssig/Flüssigverteilung mit Dichlormethan bzw. einer Festphasenextraktion mit Octadecyl ( $C_{18}$ )-Extraktionssäulen (Bakerbond SPE, 7020 03) die Wirkstoffgehalte quantitativ ermittelt.

Die Bestimmung von Verteilungskoeffizienten ( $K_D$ -Werte) der Herbizide zwischen den an der Bodenfestsubstanz sorbierten Herbizidmengen ( $C_a$  in  $\mu\text{g AS/g Boden}$ ) und der in der Equilibriumslösung befindlichen Konzentration ( $C_e$  in  $\mu\text{g AS/ml Lösung}$ ), die eine Abschätzung der potentiellen Pflanzenverfügbarkeit ermöglichen, erfolgte wie bei PESTEMER (1983) beschrieben.

Weitere Extraktionsverfahren, die mit dem Wirkstoff Ethofumesat durchgeführt wurden, waren

- (2) Ascorbinsäure ( $0,2\text{ m}$ ) +  $H_2O$  (Verhältnis 14+1) mit einem Schüttelverhältnis Boden/Extraktionsmittel von 1 : 3
- (3)  $CaCl_2$ -Lösung ( $0,01\text{ n}$ ) +  $H_2O$  (1+14; 1 : 3)
- (4) Methanol +  $H_2O$  (5+95 bzw. 10+90; 1 : 2)
- (5) Glycin-Pufferlösung ( $0,1\text{ m}$ ; pH 11) +  $H_2O$  (1+14; 1 : 3)
- (6) Aceton +  $H_2O$  (10+90; 1 : 2).

### 2.3 Laborabbauversuche zur Bestimmung von Abbauparametern

Zur Untersuchung des Einflusses von Bodenfeuchte und Bodentemperatur auf das Abbauverhalten verschiedener persistenter Herbizide und zur Ermittlung von Parametern für das Abbausimulationsmodell von WALKER & BARNES (1981) wurden Laborversuche mit Ethofumesat, Methabenzthiazuron, Pendimethalin und Triallat bei verschiedenen Temperatur- und Feuchtestufen durchgeführt. Für die Abbauversuche wurde Boden verwendet, der im September 1987 aus den obersten 10 cm der Flächen  $I_1$  bzw.  $I_3$  von Schlag III entnommen wurde. Feldfrischem Boden (= 50 g Trockensubstanz in

Tab. 1: Applizierte und untersuchte Herbizidwirkstoffe bei den verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten und Schlägen 1987-1989 (Angabe der Aufwandmengen in kg Wirkstoff/ha)

Jahr	Herbizid	Schlag I			Schlag II			Schlag III		
		I <sub>1</sub> *	I <sub>2</sub> *	I <sub>3</sub> *	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
		Zuckerrüben			Winterweizen			Wintergerste		
1986	Pendimethalin									1.65 a
		Zuckerrüben			Winterweizen			Wintergerste		
1987	Chloridazon	0.645 a	0.645 a	1.72 a						
	Ethofumesat	0.533 a	0.533 a	0.8 a						
	Isoproturon						0.75 a		1.0 a	
	MCPA	0.76	0.76		0.76					
	Mecoprop-P								2.24	2.24
	Pendimethalin						1.65**a			
	Phenmedipham	0.419 a	0.419 a	0.628 a						
	Triallat			1.4 a						
		Winterweizen			Wintergerste			Zuckerrüben		
1988	Chloridazon							0.573 a	1.72 a	1.72 a
	Ethofumesat							0.376 a	0.376 a	0.376 a
	Fluazifop									0.32
	Isoproturon			0.75 a		1.25 a				
	MCPA	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76			
	Mecoprop-P		1.2	1.2						
	Metamitron							2.1 a	2.1 a	2.1 a
	Pendimethalin			1.65**a						
	Phenmedipham							0.388 a	0.388 a	0.388 a
		Wintergerste			Zuckerrübe			Winterweizen		
1989	Chloridazon				1.95	1.3	1.3			
	Dichlorprop								1.2	1.2
	Ethofumesat				0.376 a	0.47 a	0.188 a			
	Fluazifop					0.25				
	Fluroxypyr							0.18		
	Isoproturon		1.25 a					1.0 a	1.0 a	1.0 a
	MCPA	0.76	0.75	0.75				0.75	0.75	0.75
	Mecoprop								1.2	1.2
	Metamitron				2.1	2.1	2.1			
	Phenmedipham				0.388 a	0.485 a	0.194 a			

\* I<sub>1</sub> = extensive Bewirtschaftung, I<sub>2</sub> = integrierte Bewirtschaftung, I<sub>3</sub> = intensive Bewirtschaftung

\*\* Applikation in der Folgekultur  
(Fruchtfolge: Zuckerrüben/Winterweizen/Wintergerste)

a Rückstandsanalysen durchgeführt



250 ml Erlenmeyerkolben) wurde zur Einstellung von Ausgangskonzentrationen, entsprechend praxisüblicher Aufwandmengen (bezogen auf 10 cm Tiefe), Herbizidlösung zugesetzt, mit demineralisiertem Wasser die gewünschte Wasserkapazität (20, 40, 60, 80 % der  $WK_{max.}$ ) eingestellt und der Boden bei 20 °C sowie bei 10 °C und 30 °C (nur 60 % der  $WK_{max.}$ ) inkubiert. Bei regelmäßiger Kontrolle des Wassergehaltes durch Differenzwägung über die gesamte Versuchsdauer erfolgten die Probenahmen nach 1, 7, 14, 28, 56 und 105 Tagen, wobei die Kolben bei -20° C bis zur Analyse eingefroren wurden.

#### 2.4 Ermittlung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Zur Abschätzung der Nachbaugeschädigung von Kulturpflanzen durch pflanzenverfügbare Herbizidrückstände im Boden wurden in Langzeit-Biotesten die Dosis-Wirkungs-Beziehungen in Hydroponik in der bei PESTEMER et al. (1983) beschriebenen Weise ermittelt. Als nicht sorptives Substrat wurden Vermikulit (Körnung 3-6) bzw. grober gewaschener Quarzsand (Körnung S40 T) verwendet. Die Hydroponikversuche wurden in einer Vegetationshalle nach Möglichkeit bis zum jeweils praxisüblichen Erntezeitpunkt durchgeführt. Die Berechnung der Kenndaten der Dosis-Wirkungs-Beziehungen (NOEL = No observable effect level und  $ED_{30}$  bzw.  $ED_{50}$  = Effektive Dosis für 30 % bzw. 50 % Hemmung) erfolgte mit einem bei GÜNTHER et al. (1989) beschriebenen Verfahren zur Anpassung logistischer Kurven an Meßdaten.

#### 2.5 Freilandversuche zur Validierung von Nachbauprognosen

Zur Validierung der verwendeten Modellansätze für die Abbau- und Nachbauprognosen wurden auf dem Versuchsgelände in Ahlum in den Jahren 1988 und 1989 Freilandversuche in vierfacher Wiederholung angelegt. Auf die Versuchsparzellen (10 m<sup>2</sup>) wurden die jeweils praxisüblichen, bzw. aus im Freiland gemessenen Rückstandgehalten abgeleiteten Dosierungen, sowie auch niedrigere Konzentrationen der verschiedenen Herbizide appliziert, um die

decken. Direkt nach den Applikationen, die zu den gebräuchlichen Pflanzterminen der Testpflanzen erfolgten, um Rückstandsgelalte nach vorzeitigem Umbruch bzw. nach Ende der Vegetationsperiode zu simulieren, wurden die in kommerzieller Formulierung ausgebrachten Herbizide auf ca. 8 cm eingefräßt und anschließend die Kulturpflanzen ausgesät. Die sonstigen Kulturmaßnahmen und die Ernte wurden in weitgehend praxisgerechter Weise und zu üblichen Terminen durchgeführt. Der Einfluß der Herbizidbehandlung auf die marktfähigen Anteile (Frisch- und Trockenmasse) der in Frage kommenden Nachbaukulturen (Tab. 6) wurde ermittelt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SAS (SAS-Institute Inc., North Carolina), wobei für die Mittelwertvergleiche der Behandlungen gegen die Kontrolle der DUNNETT-Test ( $P = 5 \%$ ) verwendet wurde.

## 2.6 **Abbauversuche zur Charakterisierung von Sorptionsvorgängen**

Zur Charakterisierung von Sorptionsprozessen und zur Erfassung bioverfügbarer Anteile eines Herbizidrückstandes im Boden wurden weitere Laborabbauversuche mit dem Wirkstoff Ethofumesat durchgeführt, bei denen die mikrobielle Aktivität des Bodens durch Zugabe leicht verwertbarer organischer Substanz (Luzernemehl 0,5 g/100 g Boden, s. MALKOMES (1984)) erhöht wurde. Durch die Beschleunigung des Herbizidabbaus sollte es zu einer relativ schnelleren Ausschöpfung mikrobiell leichter verfügbarer Fraktionen eines Gesamtrückstandes im Boden kommen als bei "normaler" Aktivität der Bodenmikroflora. Mit den verschiedenen Extraktionsverfahren (1 - 7) wurde dabei das Verhalten der unterschiedlich stark sorbierten Rückstandsfraktionen während der Inkubation untersucht, um Hinweise auf die bioverfügbaren Fraktionen für den Abbau und damit möglicherweise auch für Nebenwirkungen auf das Edaphon zu erhalten.

## 2.7 Bioteste zur Bestimmung der Wirkung gealterter Rückstände

Aus Freilandparzellen wurde 3 Monate nach Applikation von Ethofumesat Boden mit gealterten Rückständen entnommen und durch Zugabe unterschiedlicher Mengen unbehandelten Bodens Konzentrationsreihen hergestellt. Im Labor wurde unbehandeltem Boden der gleichen Fläche der Wirkstoff in entsprechender Konzentration frisch zugesetzt und im Gewächshaus mit beiden Konzentrationsreihen Bioteste mit der empfindlichen Testpflanze Rotklee (*Trifolium pratense*) zum Vergleich der Pflanzenverfügbarkeit der frisch zugesetzten und der gealterten Rückstände durchgeführt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Erfassung der Rückstandssituation und Dynamik von Herbiziden

In den Vegetationsperioden 1987-1989 wurde das Rückstandsverhalten von Herbiziden untersucht, die in einer mehrgliedrigen Fruchtfolge (Winterweizen-Wintergerste-Zuckerrüben) bei verschiedenen Intensitätsstufen der Bewirtschaftung) eingesetzt wurden (s. Tab. 1).

Bei der Ermittlung der Vorbelastung der Versuchsflächen konnten zu Beginn der Vegetationsperiode 1987 im Bearbeitungshorizont der untersuchten Flächen keine Rückstände der herbiziden Wirkstoffe Chloridazon, Isoproturon, Metamitron und Phenmedipham nachgewiesen werden. Hingegen waren von Pendimethalin im Boden einer Fläche (Schlag III/I<sub>3</sub>), aufgrund einer im Herbst 1986 durchgeführten Applikation, Wirkstoffgehalte von 1091 bzw. 16 µg AS/kg Boden in den Bodenschichten 0-5 bzw. 5-10 cm zu analysieren (Tab. 2e). Es zeigte sich eine starke Sorption von Pendimethalin im Boden, da trotz hoher Grundwasserneubildungsraten über Winter die Rückstände sich fast ausschließlich in der obersten untersuchten Bodenschicht (0-5 cm) befanden und keine Verlagerung tiefer als 10 cm festzustellen war. Von Triallat waren in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der letzten Anwendung unterschiedliche Vorbelastungen im Spurenbereich aus zu-

rückliegenden Applikationen aus 1984 von n.n.-4, aus 1985 von 6 bis 9 und aus 1986 von 6-39  $\mu\text{g AS/kg}$  Boden im Bearbeitungshorizont (Tab. 2g) nachzuweisen.

Während der Vegetationsperioden gingen die Rückstandsgehalte der meisten Wirkstoffe unter die jeweiligen Bestimmungsgrenzen zurück, wie z. B. bei den gering bzw. mittel persistenten Wirkstoffen Metamitron und Ethofumesat (Abb. 2a u. 2b; Tab. 2b u. 2c) deutlich wird. Bei den persistenteren Herbizidwirkstoffen Triallat (Abb. 9) und Pendimethalin (Abb. 3a bis 3c) war hingegen 1987 bzw. 1987/1988 ein "carry over" von Wirkstoffmengen in einer Größenordnung von 17-29 bzw. 83-112  $\mu\text{g AS/kg}$  Boden in der Schicht 0-5 cm über die Vegetationsperiode hinaus festzustellen. Während des gesamten Folgejahres lagen die Rückstandsgehalte dieser Wirkstoffe auf einem relativ konstanten, sehr niedrigen Niveau von 7-29 bzw. 5-11  $\mu\text{g AS/kg}$  Boden.

Die herbiziden Wirkstoffe, deren relative Verweildauer über den gesamten Versuchszeitraum 1987-1989 gleich blieb, ließen sich hinsichtlich ihrer Persistenz in der oberen Bodenschicht (0-10 cm) wie folgt eingruppiieren:

Isoproturon  $\approx$  Metamitron < Chloridazon  $\leq$  Ethofumesat  $\approx$  Phenmedipham < Pendimethalin  $\approx$  Triallat.

Die Verlustraten der Wirkstoffe wurden durch die Witterung stark beeinflusst. Während 1987/1988 Isoproturon schon ca. 4-8 Wochen nach der Applikation nicht mehr in den obersten Bodenschichten analysiert werden konnte, waren 1989 nach langanhaltender Trockenheit im Frühsommer noch mehr als 12 Wochen nach der Applikation Rückstände im Bereich von 15-80  $\mu\text{g AS/kg}$  Boden nachzuweisen (Abb. 4a bis 4c).

Eine ähnliche Verringerung der Verlustraten in einer Trockenperiode trat auch bei Chloridazon 1988 auf. Erst ausreichende Niederschläge bei entsprechenden Temperaturen Ende Mai bzw. Anfang Juni führten, parallel zu einer Erhöhung der mikrobiellen Aktivität (s. POHL & MALKOMES 1990), zu einer höheren Abbaurate des Wirkstoffes (Abb. 5a).

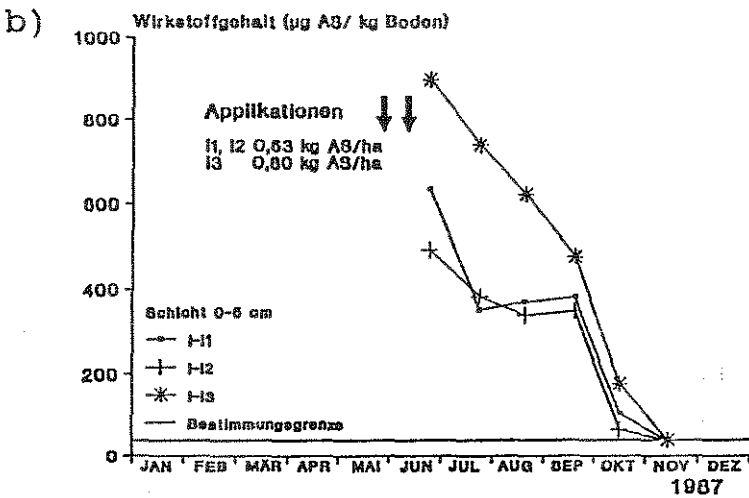
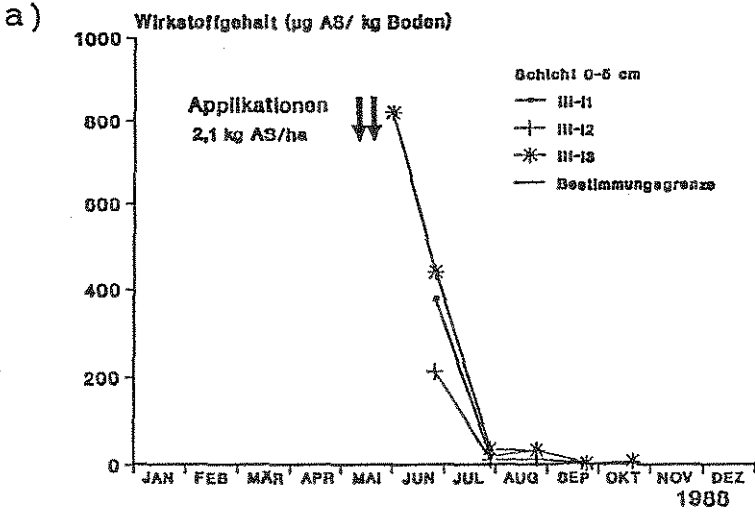


Abb. 2: Rückstandsgehalte von Herbiziden mit unterschiedlicher Persistenz in 0-5 cm Tiefe bei verschiedenen Intensitätsstufen ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) - a: Metamitron 1988, Schlag III; b: Ethofumesat 1987, Schlag I

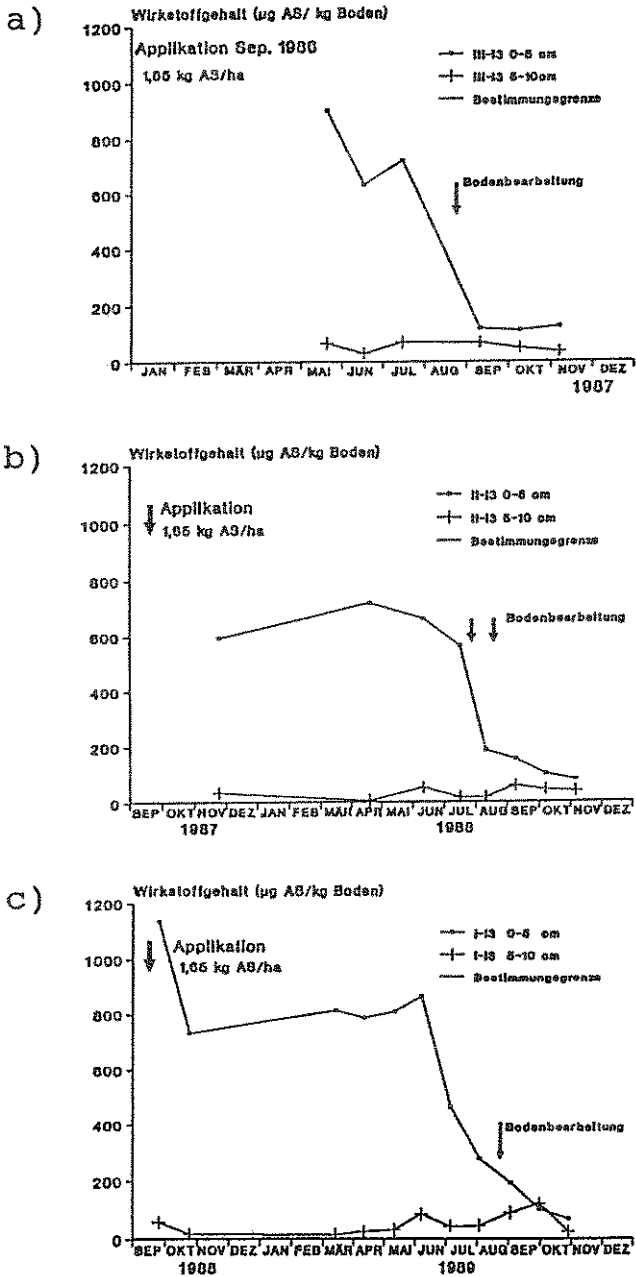


Abb. 3: Rückstandsgehalte von Pendimethalin in 0-5 und 5-10 cm Tiefe - a: 1987, Schlag III; b: 1987-1988, Schlag II; c: 1988-1989, Schlag I

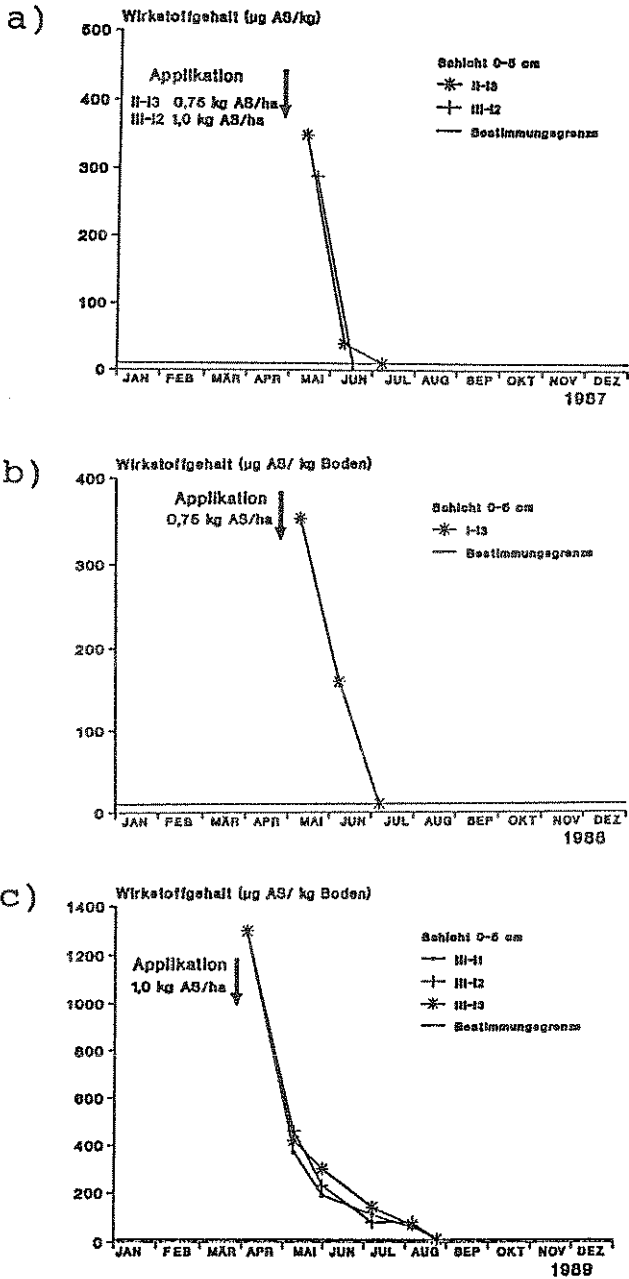


Abb. 4: Rückstandsgehalte von Isoproturon in verschiedenen Vegetationsperioden in der Schicht 0-5 cm - a: 1987; b: 1988; c: 1989

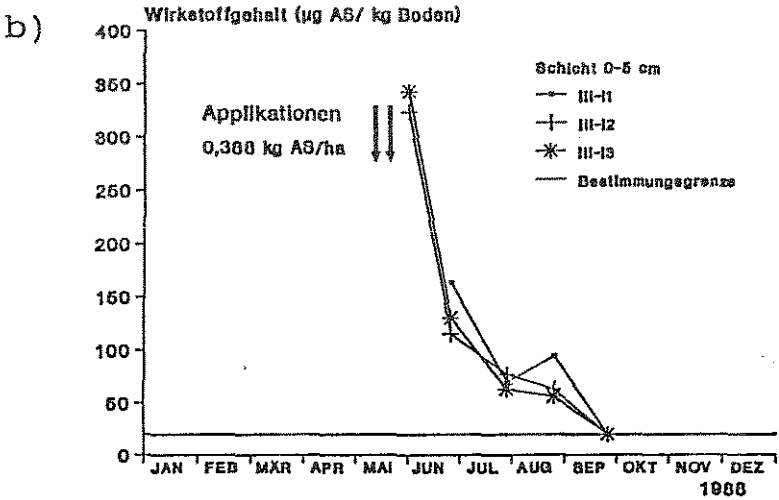
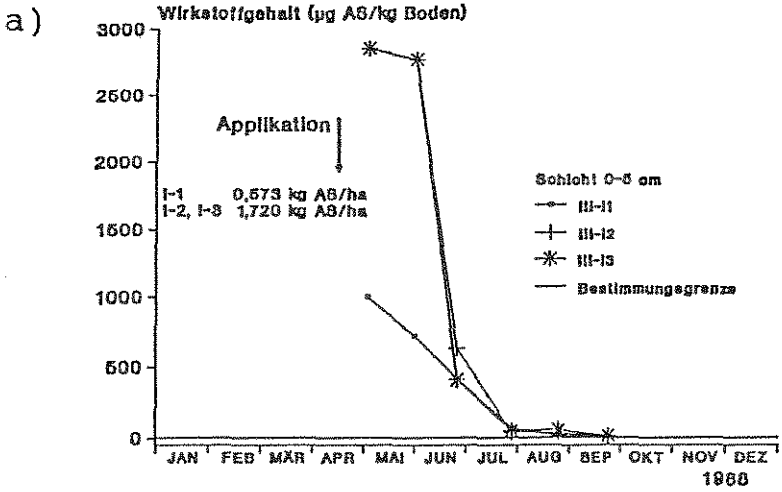


Abb. 5: Rückstandsgehalte von Herbiziden 1988 bei verschiedenen Intensitätsstufen - a: Chloridazon; b: Phenmedipham



Zu einer Verzögerung des Herbizidabbaus bei niedrigen Temperaturen im Winter kam es bei dem im Voraufverfahren im Herbst 1987 und 1988 applizierten Pendimethalin (Abb. 3b u. 3c).

Erst nach Erwärmung des Bodens im Mai/Juni war eine Erhöhung der Verlustraten aus den untersuchten Bodenschichten festzustellen.

Der Vergleich des Abbauverhaltens der Herbizide bei den verschiedenen Intensitätsstufen zeigte bei Chloridazon 1988 (Abb. 5a; Tab. 2a), Ethofumesat 1987/1988/1989 (Abb. 2b; Tab. 2c), Isoproturon 1989 (Abb. 4c; Tab. 2d), Metamitron 1988 (Abb. 2a; Tab. 2b) und Phenmedipham 1988/1989 (Abb. 5b; Tab. 2f) keine Unterschiede in den Verlustraten.

Ein Einfluß der langjährig unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensität der Flächen auf die Persistenz der untersuchten Herbizide unter Freilandbedingungen war in keinem Fall zu erkennen.

Die aufgezeigten Ergebnisse stimmen mit den parallel erfolgten Untersuchungen der mikrobiellen Aktivität von POHL & MALKOMES (1990) überein, bei denen zumeist ein in etwa gleiches Niveau zwischen den Pflanzenschutzmittel-Intensitäten ( $I_1$ - $I_3$ ) festzustellen war. Demgegenüber sind den Einflüssen von Witterung, Boden- und Wirkstoffeigenschaften sowie Höhe und Zeitpunkt der jeweilig letzten Applikation größere Bedeutung beizumessen.

In den untersuchten Böden des Standortes Ahlum waren auch bei langjähriger Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit der höchsten Intensitätsstufe keine Anzeichen einer Akkumulation oder eines beschleunigten Abbaus nach wiederholter Applikation (ROETH 1986) der eingesetzten Herbizide zu erkennen. Allerdings waren bei der höchsten Intensitätsstufe  $I_3$  aufgrund der nur hier eingesetzten relativ persistenten Wirkstoffe Pendimethalin und Triallat über Winter und im Folgejahr nach der Applikation ein im Bereich der Bestimmungsgrenzen liegendes Rückstandsniveau dieser Stoffe zu erfassen.

In Tabelle 2h sind die Ergebnisse der Untersuchungen tieferer Bodenschichten (0-90 cm) nach der Ernte der Hauptkulturen zusammengefaßt. Von Phenmedipham konnten 1987 keine Rückstände nachgewiesen werden, während sich von Pendimethalin und Tri-

allat 1987 Spuren (n.n.-6 bzw. n.n.-3 µg AS/ kg Boden) im Bereich der Bestimmungsgrenzen in der an den Bearbeitungshorizont angrenzenden Bodenschicht (30-45 cm) befanden. 1988 war darüber hinaus in einer Bodenprobe aus 60-75 cm Tiefe Pendimethalin mit 3 µg AS/ kg Boden nachzuweisen, wobei aufgrund der starken Sorptionsneigung dieses Wirkstoffes eine Verlagerung in Makroporen oder in Regenwurmgingen, evtl. in sorbierter Form an Festsubstanz, vermutet werden kann. Andere herbizide Wirkstoffe waren nicht zu analysieren.

Eine wesentlich über den Bearbeitungshorizont hinaus in tiefere Bodenschichten gehende Verlagerung von Herbizidwirkstoffen konnte nicht festgestellt werden.

Die Rückstandsgehalte der untersuchten Wirkstoffe in den verschiedenen Bodenschichten sind in den Tabellen 2a bis 2h zusammengestellt.

Tab. 2: Rückstandsgehalte der untersuchten Herbizidwirkstoffe 1987-1989 (Angaben in µg AS/kg trockenem Boden, n.n. = nicht nachweisbar, n.b. = nicht bestimmbar)

a)

<u>Chloridazon</u>												
Schlag/Intensität	I-I <sub>1</sub>				I-I <sub>2</sub>				I-I <sub>3</sub>			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
Datum												
1. 4.87	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
25. 5.87	630	317			161	8			-	-		
22. 6.87	51	15			54	10			42	n.n.		
21. 7.87	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.n.	n.n.		
17. 8.87	8	n.n.			14	n.n.			8	n.n.		
15. 9.87	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			7	n.n.		
Schlag/Intensität	III-I <sub>1</sub>				III-I <sub>2</sub>				III-I <sub>3</sub>			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
2. 5.88	996	37			-	-			2856	122		
30. 5.88	-	-			2771	65			2770	76		
24. 6.88	415	100			628	228			410	189		
26. 7.88	70	48			39	22			52	23		
22. 8.88	17	7			35	16			58	25		
20. 9.88	n.n.	n.n.			12	9			15	13		
17.10.88	-	-			-	-			14	n.n.		

b)

<u>Metanitron</u>						
Schlag/Intensität	III-I <sub>1</sub>		III-I <sub>2</sub>		III-I <sub>3</sub>	
Bodenschicht (cm)	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10
Datum						
30. 5.88	-	-	-	-	821	28
24. 6.88	378	86	214	60	440	92
26. 7.88	21	11	13	10	37	10
22. 8.88	35	7	14	6	35	8
20. 9.88	6	n.b.	5	5	5	6
17.10.88	-	-	-	-	9	n.n.

c)

<u>Rhofumesat</u>												
Schlag/Intensität	I-I <sub>1</sub>				I-I <sub>2</sub>				I-I <sub>3</sub>			
Bodenschicht (cm)	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
Datum												
22. 6.87	634	345			492	295			898	394		
21. 7.87	351	289			382	271			738	320		
17. 8.87	369	308			338	332			622	487		
15. 9.87	380	414			347	392			476	425		
12.10.87	103	103			65	83			175	206		
9.11.87	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
11. 4.88	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Schlag/Intensität	III-I <sub>1</sub>				III-I <sub>2</sub>				III-I <sub>3</sub>			
30. 5.88	-	-			200	n.n.			248	n.n.		
24. 6.88	125	n.n.			170	n.n.			111	n.b.		
26. 7.88	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.b.	n.n.		
22. 8.88	n.n.	n.n.			n.b.	n.n.			n.n.	n.n.		
Schlag/Intensität	II-I <sub>1</sub>				II-I <sub>2</sub>				II-I <sub>3</sub>			
17. 4.89	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.n.	n.n.		
16. 5.89	220	n.n.			235	n.n.			150	n.n.		
13. 6.89	490	n.n.			260	n.n.			300	n.n.		
11. 7.89	610	n.n.			250	n.n.			370	n.n.		
7. 8.89	370	n.n.			250	n.n.			300	n.n.		
4. 9.89	350	n.n.			130	n.n.			260	n.n.		
3.10.89	250	n.n.			180	n.n.			150	n.n.		
30.10.89	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.				
6.11.89									n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

d)

- 86 -

<u>Isoproturon</u>									
Schlag/Intensität II-I <sub>3</sub>					III-I <sub>2</sub>				
Bodenschicht (cm)	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	
Datum					Datum				
1. 4.87	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1. 4.87	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
11. 5.87	350	n.n.			19. 5.87	288	41		
9. 6.87	40	n.n.			15. 6.87	n.n.	n.n.		
6. 7.87	n.n.	n.n.			13. 7.87	n.n.	n.n.		
Schlag/Intensität I-I <sub>3</sub>					II-I <sub>2</sub>				
9. 5.88	353	n.n.			18. 4.88	435	116	n.n.	n.n.
6. 6.88	159	n.b.			16. 5.88	n.n.	n.n.		
5. 7.88	n.n.	n.n.			14. 7.88	n.n.	n.n.		
Schlag/Intensität		III-I <sub>1</sub>		III-I <sub>2</sub>		II-I <sub>3</sub>		I-I <sub>2</sub>	
Bodenschicht (cm)	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10	
3. 4.89	790	349	1300	60	1301	48	10. 4.89	560	10
8. 5.89	373	n.n.	463	n.n.	420	n.b.	10. 5.89	220	n.n.
29. 5.89	193	n.n.	235	33	301	34	5. 6.89	98	n.b.
5. 7.89	114	n.b.	78	40	138	26	3. 7.89	58	n.b.
3. 8.89	57	22	81	n.b.	72	23	31. 7.89	n.n.	n.n.
22. 8.89	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	30. 8.89	n.n.	n.n.

e)

<u>Pendimethalin</u>														
Schlag/Intensität III-I <sub>3</sub>				II-I <sub>3</sub>				I-I <sub>3</sub>						
Bodenschicht (cm)	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30		
Datum				Datum				Datum						
1. 4.87	1091	16	n.n.	n.n.	24.11.87	595	35	7	10	26. 9.88	1138	59		
19. 5.87	901	68			18. 4.88	719	9	5	5	25.10.88	734	18	9	9
15. 6.87	635	35			13. 6.88	663	53			13. 3.89	815	17	9	9
13. 7.87	721	73			14. 7.88	565	16			10. 4.89	789	27		
7. 9.87	120	71			8. 8.88	187	19			10. 5.89	811	33		
5.10.87	113	51			5. 9.88	154	60			5. 6.89	864	87		
2.11.87	127	37	7	5	3.10.88	101	46			3. 7.89	468	46		
5. 4.88	83	21	6	n.b.	1.11.88	80	41	5	n.b.	31. 7.89	282	48		
2. 5.88	5	8			27. 2.89	112	15	n.b.	n.b.	30. 8.89	197	93		
30. 5.88	18	5			20. 3.89	75	25			25. 9.89	106	124		
24. 6.88	8	n.b.			17. 4.89	n.n.	n.n.			24.10.89	72	27	11	7
26. 7.88	n.b.	n.b.			16. 5.89	n.n.	n.n.							
22. 8.88	5	n.b.			13. 6.89	n.n.	n.n.							
20. 9.88	n.b.	8			11. 7.89	n.n.	n.n.							
17.10.88	n.b.	n.b.			7. 8.89	n.n.	n.n.							
28.11.88	11	8	8	11	4. 9.89	n.n.	n.n.							
					3.10.89	n.n.	n.n.							
					6.11.89	n.b.	n.b.	11	13					

f)

Phenmedipham												
Schlag/Intensität	I-I <sub>1</sub>				I-I <sub>2</sub>				I-I <sub>3</sub>			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
Datum												
1. 4.87	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
22. 6.87	54	n.n.			64	n.n.			54	n.n.		
21. 7.87	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.n.	n.n.		
17. 8.87	65	n.n.			67	n.n.			59	n.n.		
15. 9.87	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.n.	n.n.		
Schlag/Intensität	III-I <sub>1</sub>				III-I <sub>2</sub>				III-I <sub>3</sub>			
30. 5.88	-	-			324	n.n.			343	n.n.		
24. 6.88	163	n.n.			115	n.n.			130	n.n.		
26. 7.88	70	n.n.			77	n.n.			63	n.n.		
22. 8.88	94	n.n.			63	n.n.			56	n.n.		
Schlag/Intensität	II-I <sub>1</sub>				II-I <sub>2</sub>				II-I <sub>3</sub>			
17. 4.89	n.n.	n.n.			n.n.	n.n.			n.n.	n.n.		
16. 5.89	170	60			160	n.n.			150	n.n.		
13. 6.89	450	n.b.			-	-			310	n.b.		
11. 7.89	240	n.b.			170	n.b.			210	n.n.		
7. 8.89	140	n.n.			130	n.n.			150	30		
4. 9.89	90	n.b.			70	n.n.			90	n.b.		
3.10.89	60	n.n.			70	n.n.			40	30		
30.10.89	30	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.	n.n.	n.n.	n.n.				
6.11.89									30	n.b.	n.n.	n.n.

g)

Triallat												
Schlag-Intensität Bodenschicht (cm)	I-I <sub>3</sub>				II-I <sub>3</sub>				III-I <sub>3</sub>			
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
Datum												
1. 4.87	n.n.	n.n.	4	3	6	9	20	39	6	9	9	9
25. 5.87	861	136										
1987 22. 6.87	618	76										
21. 7.87	418	227										
17. 8.87	223	90										
15. 9.87	233	115										
12.10.87	241	97										
9.11.87	372	103	5	n.n.								

Schlag-Intensität Bodenschicht (cm)	I-I <sub>3</sub>				II-I <sub>3</sub>				III-I <sub>3</sub>					
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30		
Datum														
11. 4.88					18. 4.88	17	14	13	11	5. 4.88	5	8	8	6
9. 5.88	23	16			16. 5.88	11	14			2. 5.88	n.b.	7		
6. 6.88	20	29			13. 6.88	12	9			30. 5.88	8	6		
1988 5. 7.88	13	29			14. 7.88	12	14			24. 6.88	3	5		
1. 8.88	n.n.	n.n.			8. 8.88	11	11			26. 7.88	5	5		
31. 8.88	7	19			5. 9.88	9	11			22. 8.88	5	4		
26. 9.88	9	8			3.10.88	9	9			20. 9.88	5	4		
25.10.88	8	19	18	10	1.11.88	7	9	8	9	17.10.88	4	3		

Schlag-Intensität Bodenschicht (cm)	I-I <sub>3</sub>				II-I <sub>3</sub>				
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30	
Datum									
13. 3.89	8	22	23	20	27. 2.89	12	9	7	n.b.
10. 4.89	7	15			20. 3.89	9	9		
10. 5.89	7	17			17. 4.89	n.n.	n.n.		
1989 5. 6.89	6	10							
3. 7.89	4	7							
31. 7.89	10	22							
30. 8.89	6	9							
25. 9.89	6	9							
24.10.89	8	13	13	15					

h)

Datum	Schlag/Intensität	Bodenschicht	Pendimethalin	Triallat	Phenmediphan
1987					
26.08.87	III/I <sub>3</sub>	0-10	58	9	n.n.
		10-20	5	5	n.n.
		20-30	5	5	n.n.
		30-45	6	n.n.	n.n.
		45-60	n.n.	n.n.	n.n.
		60-75	n.n.	n.n.	n.n.
		75-90	n.n.	n.n.	n.n.
28.09.87	II/I <sub>3</sub>	0-30		13	
		30-45		3	
		45-60		n.n.	
		60-75		n.n.	
		75-90		n.n.	
27.11.87	I/I <sub>3</sub>	0-15	18	63	n.n.
		15-30	13	27	n.n.
		30-45	n.n.	n.n.	n.n.
		45-60	n.n.	n.n.	n.n.
		60-75	n.n.	n.n.	n.n.
		75-90	n.n.	n.n.	n.n.
1988					
01.08.88	II/I <sub>3</sub>	0-10	80	12	
		10-30	2	6	
		30-45	3	n.b.	
		45-60	n.n.	n.b.	
		60-75	3	n.b.	
		75-90	n.n.	n.n.	
18.08.88	I/I <sub>3</sub>	0-10		17	
		10-30		19	
		30-45		2	
		45-60		n.n.	
		60-75		n.n.	
		75-90		n.n.	

### 3.2 Prognose der Persistenz von Herbiziden

Um die Persistenz von Herbiziden mittels eines Simulationsmodells (WALKER & BARNES 1981) zu prognostizieren, wurden die Temperatur- und Feuchteabhängigkeit des Abbaus einiger Wirkstoffe durch Abbaustudien mit Ahlum-Boden im Labor bzw. durch ein iteratives Verfahren zur Parameterschätzung aus Rückstandswerten im Freiland sowie Boden- und Witterungsdaten, wie bei GOTTESBÜREN (1991) dargestellt, ermittelt.

In den Laborversuchen zeigten sich die gleichen relativen Unterschiede in der Persistenz der Herbizide Ethofumesat, Pendimethalin und Triallat wie im Freiland (s. Abb. 6a u. 6b). Während bei einer Temperatur von 20 °C und einer Bodenfeuchte von 60 % der  $WK_{max}$  die Halbwertszeit von Ethofumesat z. B. 35 Tage betrug, wiesen die wesentlich persistenteren Wirkstoffe Pendimethalin und Triallat sowie das gleichfalls untersuchte Methabenzthiazuron Halbwertszeiten von 50, 65 bzw. 59 Tagen auf. Die in den Abbildungen 6a und 6b dargestellte Beziehung zwischen den Halbwertszeiten - als Maß für die Abbaugeschwindigkeit und die Einflußfaktoren Bodentemperatur und Bodenfeuchte - zeigen, daß insbesondere bei den persistenten Wirkstoffen Pendimethalin und Methabenzthiazuron niedrige Bodentemperaturen von 10 °C im Vergleich zu 20 °C zu einer wesentlich stärkeren Verzögerung des Abbaus führten als bei Ethofumesat und Triallat.

Bei Pendimethalin und Methabenzthiazuron ist daher nach Herbstapplikation im Freiland erst zu einem späten Zeitpunkt der folgenden Vegetationsperiode, bei Anstieg der Bodentemperaturen, mit höheren Verlusten zu rechnen. So war während der relativ milden Winter 1987/1988 und 1988/1989 kein Abbau von Pendimethalin festzustellen (vgl. Abb. 3a bis 3c; Tab. 2e).

Sowohl zu niedrige Temperaturen als auch zu geringe Bodenfeuchten führten zu einer starken Verlangsamung der Abbauvorgänge. Die Halbwertszeit von Triallat lag bei 20 °C und einer Bodenfeuchte von 17,8 Gew.-% bei 49 Tagen, bei 4 Gew.-% wurde ein Wert von 212 Tagen errechnet. Während bei einer hohen Bodenfeuchtigkeit von 80 % der  $WK_{max}$  die Abbaugeschwindigkeit der



Wirkstoffe Ethofumesat, Pendimethalin, Methabenzthiazuron und Triallat mit Halbwertszeiten von ca. 50 Tagen in der gleichen Größenordnung lagen, wurde bei sehr niedrigen Bodenfeuchten (ca. 20 % der  $WK_{max.}$ ) der Abbau von Pendimethalin geringer verzögert als z. B. der von Triallat (Abb. 6b). Besonders stark war, mit einer errechneten Halbwertszeit von 658 Tagen, der Abbau von Ethofumesat bei den niedrigen Bodenfeuchten verringert.

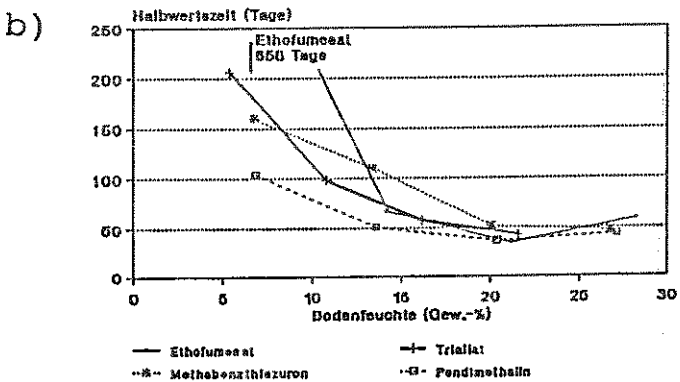
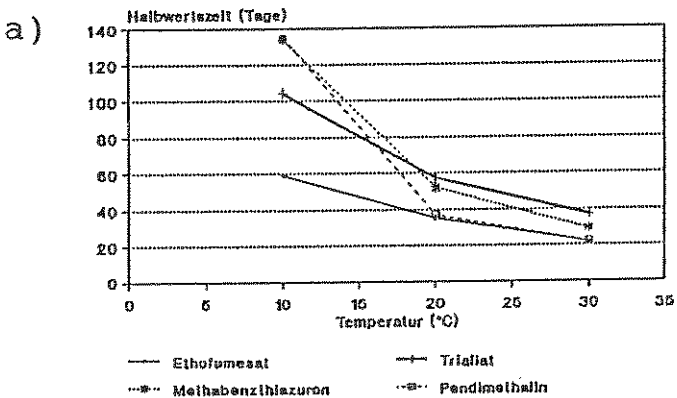


Abb. 6: Einfluß von Bodentemperatur (a) und Bodenfeuchtigkeit (b) auf den Abbau von Ethofumesat, Methabenzthiazuron, Pendimethalin und Triallat im Laborversuch

Aus den in den Laborversuchen ermittelten Abbaugeschwindigkeiten wurden Parameter zur Charakterisierung der Feuchte- und Temperaturabhängigkeit des Herbizidabbaus quantifiziert, um mit dem Simulationsmodell das Abbauverhalten unter variierenden Freilandbedingungen zu prognostizieren. In Tabelle 3 sind für die untersuchten Herbizide die mit Hilfe der Laborabbauversuche bzw. durch Parameterschätzung ermittelten Abbaukonstanten des Simulationsmodells zusammengefaßt.

Tab. 3: Aus Laborversuchen bzw. mittels Parameterschätzung ermittelte Abbauparameter für das Simulationsmodell

Herbizid	Abbaukonstanten					
	Laborversuch			Parameterschätzung		
	Ea [kJ/mol]	A	B	Ea [kJ/mol]	A	B
Ethofumesat	38.30	160152	2.86	17.5	6012	1.62
Methabenzthiazuron	46.87	1100	0.92	--	--	--
Pendimethalin	53.87	856	0.98	167.2	2018	1.05
Triallat	37.63	1280	1.07	--	--	--

Unter Berücksichtigung der Witterungsdaten des Versuchszeitraumes wurden vergleichende Simulationsrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse zu den gemessenen Rückstandsdaten in Beziehung gesetzt (Abb. 7a u. 7b; Abb. 8a u. 8b).

Mit den aus den Laborversuchen ermittelten Abbaukonstanten konnten gute Übereinstimmungen zwischen den simulierten und den in der Vegetationsperiode 1987 gemessenen Rückständen von Pendimethalin festgestellt werden, wobei sich bis zur Bodenbearbeitung zumeist eine geringe Unterschätzung der tatsächlichen Rückstandsgehalte ergab (Abb. 7a).

Bei Simulationen über Winter 1988/1989 wurden die Verlustraten des im Herbst 1988 applizierten Pendimethylins bei Verwendung der im Labor ermittelten Konstanten erheblich überschätzt und die Rückstandsgehalte bis zur letzten Messung im Oktober 1989

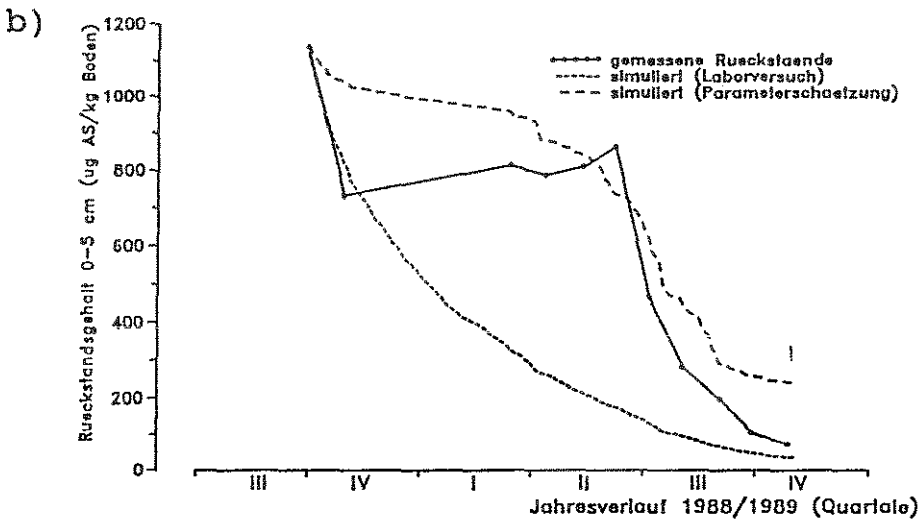
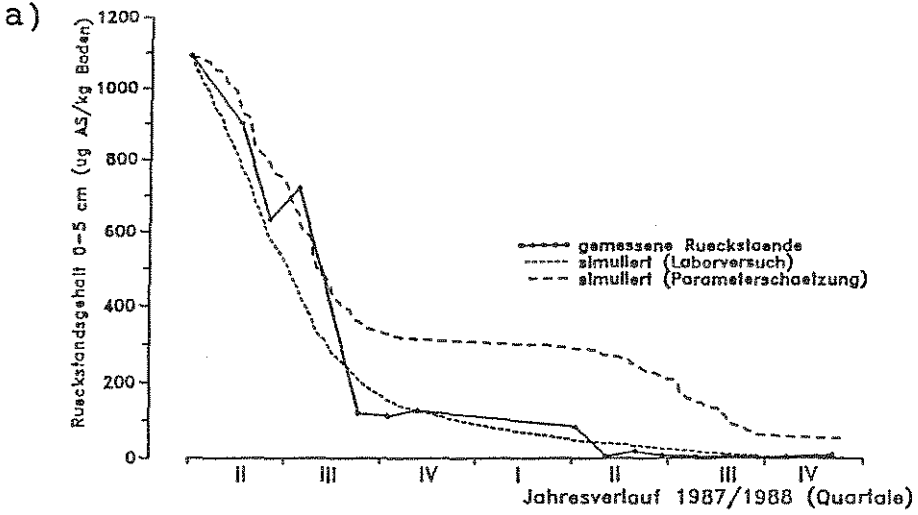


Abb. 7: Vergleich simulierter und gemessener Rückstände von Pendimethalin mit Abbaukonstanten aus Laborversuchen bzw. von Parameterschätzungen aus Freilanddaten - a: 1987; b: 1989

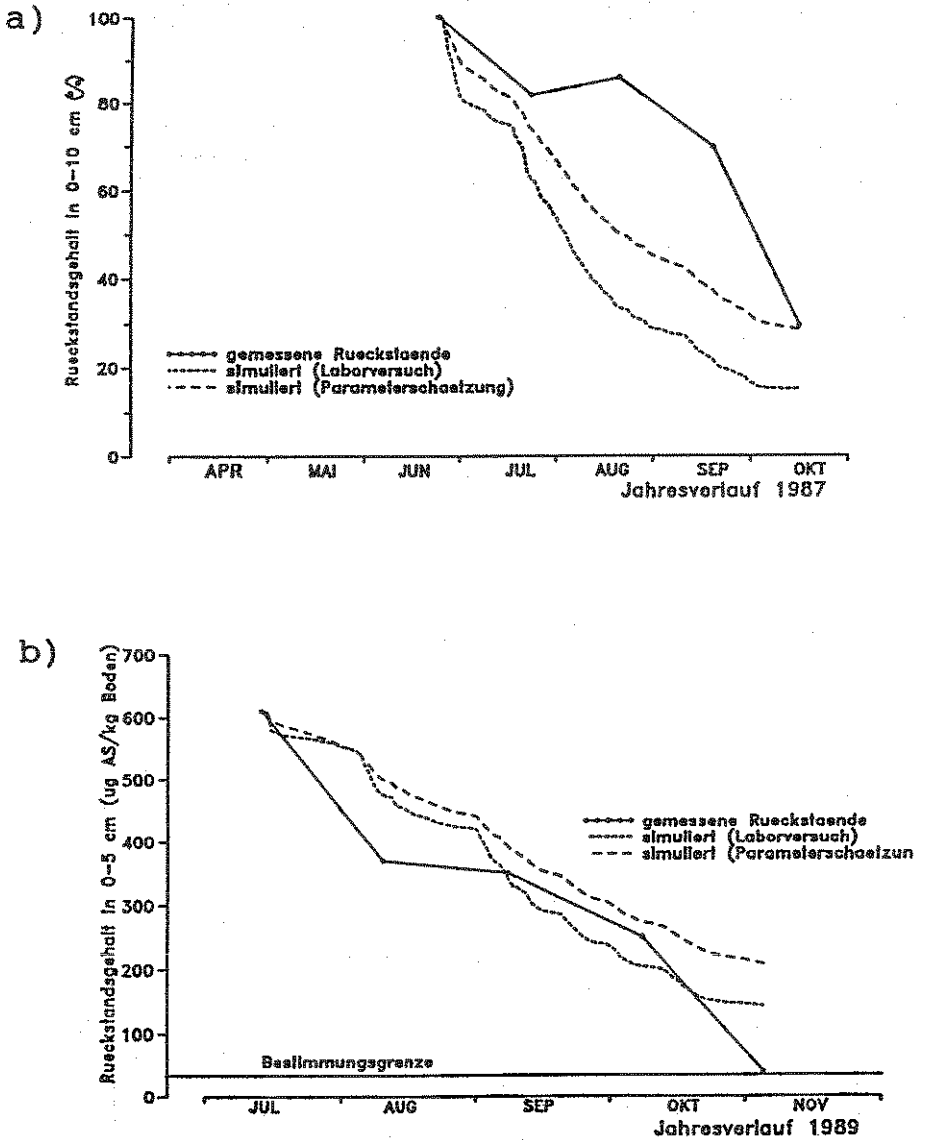


Abb. 8: Vergleich simulierter und gemessener Rückstände von Ethofumesat mit Abbaukonstanten aus Laborversuchen bzw. von Parameterschätzungen aus Freilanddaten - a: 1987; b: 1989

Demgegenüber konnten mit den Modellparametern, die aus den Freilanddaten iterativ ermittelt wurden, die geringen Abbauraten über Winter 1988/1989 wesentlich besser simuliert werden (Abb. 7b). Die Rückstandssituation bis zur Bodenbearbeitung nach Ernte der Wintergerste, die möglicherweise zu einer Verteilung der Rückstände und so zur Überschätzung durch das Abbausimulationsmodell führte, sowie die Verminderung des Abbaus im Winter 1987/88 (Abb. 7a) konnten ebenfalls zutreffend charakterisiert werden.

Bei Ethofumesat führten Abbausimulationen über die Vegetationsperiode 1989 mit den im Labor ermittelten Konstanten bzw. mit den aus Freilanddaten geschätzten Parametern zu gleich guten Übereinstimmungen der berechneten und gemessenen Rückstandsgehalte (Abb. 8a u. 8b). Im Jahr 1987 hingegen konnte jedoch mit den Parametern beider Methoden die Rückstandssituation weniger gut beschrieben werden, wobei die Parameterschätzung zu einer guten Abschätzung des Rückstandsgehalts im November vor Ernte der Zuckerrüben führte (Abb. 8b).

Insgesamt ermöglichte die iterative Schätzung von Abbauparametern eine bessere Prognose der Persistenz der beiden Herbizide als die Konstanten aus den Laborversuchen, die insbesondere bei Simulation über Winter den Abbau erheblich überschätzten.

Die hohe Abbaugeschwindigkeit der Herbizide unter den Laborbedingungen führte offensichtlich zu einer Fehleinschätzung der Parameter für das Simulationsmodell, während z. B. bei den Versuchen von WALKER et al. (1983) und PESTEMER & AUSPURG (1987) eine Ermittlung der Abbaukonstanten aus den Laborabbaustudien in der Regel gute Übereinstimmungen zwischen den simulierten und den gemessenen Rückstandswerten ergab. Eine Erklärung hierfür kann sein, daß in den Laborversuchen eine Minimaltemperatur von 10 °C untersucht wurde, aus der die Aktivierungsenergie  $E_a$  geschätzt wurde. Für eine Abbausimulation bei noch niedrigeren Freilandtemperaturen im Winter muß dann extrapoliert werden.

Als Ursache für die hohen Abbauraten im Labor kann zudem eine hohe mikrobielle Aktivität des Bodens zur Probenahme im Herbst 1987 gesehen werden. Unter dem zu diesem Zeitpunkt als Zwischenfrucht angebauten Wintersenf kam es zu einem starken An-

stieg der Aktivität der Bodenmikroflora. Demgegenüber lagen die mikrobiellen Aktivitäten im Frühjahr zur Zeit der Herbizidapplikationen und des Abbaus wesentlich niedriger (vgl. POHL & MALKOMES 1990). Aufgrund der großen Unterschiede in den mikrobiellen Aktivitäten kann die Fehleinschätzung der Abbauparameter im Laborversuch erklärt werden. Auf die Bedeutung des korrekten Probenahmezeitpunktes für derartige Laborabbauversuche weist WALKER (1987a) hin.

Beim Vergleich der mit Hilfe des Simulationsmodells errechneten mit den tatsächlich gemessenen Werten der Rückstandssituation z. B. von Triallat in der Bodenschicht 0-10 cm über zwei Vegetationsperioden 1987-1988 (Abb. 9) zeigten sich gute Übereinstimmungen insbesondere im Jahr nach der Applikation.

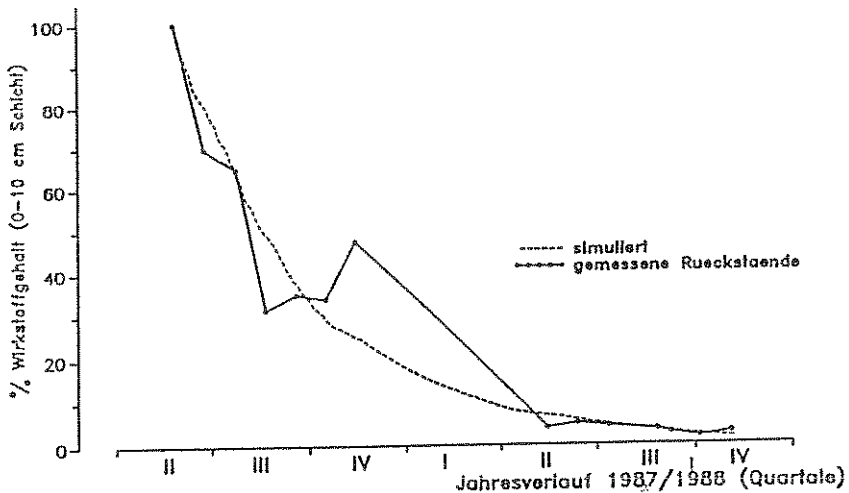


Abb. 9: Vergleich von gemessenem und simuliertem Abbau von Triallat 1987-1988

Modellrechnungen mit den Abbauparametern von Triallat, bei denen eine jährliche Applikation über mehrere Jahre angenommen wurde, zeigen, daß unter den Bedingungen einer langjährig wiederholten Anwendung ein minimales Rückstandsniveau von ca. 5 % der applizierten Menge im Boden vorhanden ist (Abb. 10).

Das maximale Niveau der Rückstände unmittelbar nach der wiederholten Applikation liegt nach den Simulationsrechnungen kurzfristig um ca. 5 % über der applizierten Aufwandmenge. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen mit dem persistentesten der eingesetzten Herbizide entsprechen den von HILL et al. (1955) dargelegten Gesetzmäßigkeiten über die Rückstandsbildung nach wiederholter Applikation, nach denen eine wesentliche Akkumulation über die Aufwandmenge hinaus nur dann zu erwarten ist, wenn zwischen zwei Anwendungen weniger als 50 % der ausgebrachten Menge abgebaut wird bzw. verloren geht. Zudem sind bei einer dreigliedrigen Fruchtfolge jährliche Applikationen mit dem gleichen Wirkstoff in der Regel nicht praxisüblich.

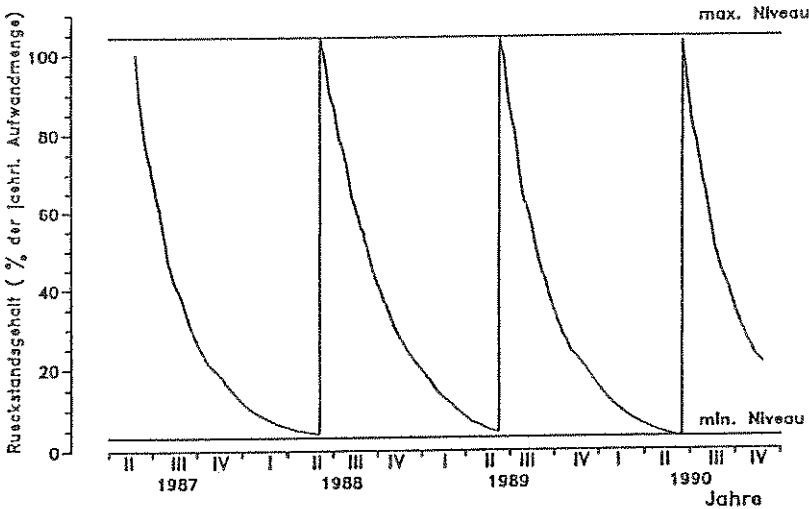


Abb. 10: Simulation der Herbizidrückstände bei langjährig wiederholter Applikation (Beispiel Triallat)

### 3.3 Prognose der Auswirkungen von Rückständen auf Nachbaukulturen

In Hydroponikversuchen wurden die Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen "Alternativkulturen" wie z. B. Faserlein oder Sonnenblumen bzw. Feldgemüsekulturen und praxisüblichen Herbiziden bestimmt, um kulturspezifische Kenndaten zur Charakterisierung

der Empfindlichkeiten zu erhalten und Gefährdungspotentiale durch pflanzenverfügbare Herbizidrückstände im Boden abzuschätzen.

Dabei zeigten sich Selektivitätsunterschiede, die zu unterschiedlichen Empfindlichkeiten der verschiedenen Kulturpflanzen führten (Tab. 4).

Gegenüber dem Wirkstoff Ethofumesat hat z. B. Faserlein (*Linum usitatissimum*) mit einem  $ED_{50}$ -Wert von  $250 \mu\text{g AS/l}$  Nährlösung ( $ED_{50}$  = Effektive Dosis bei der eine 50 %ige Ertragsminderung zu erwarten ist) eine größere Empfindlichkeit als Spinat (*Spinacea oleracea*) ( $ED_{50}$  =  $370 \mu\text{g AS/l}$ ), während dieser mit einem  $ED_{50}$ -Wert von  $37 \mu\text{g AS/l}$  bei Pendimethalin wesentlich empfindlicher reagiert als Faserlein ( $ED_{50}$  =  $342 \mu\text{g AS/l}$ ).

Aus den gemessenen oder mit Hilfe des Simulationsmodells prognostizierten Rückstandsgehalten können die potentiell pflanzenverfügbaren Anteile in der Bodenlösung mittels Sorptionskonstanten abgeleitet und unter Berücksichtigung der Kenndaten der Dosis-Wirkungs-Beziehungen eine Prognose der Auswirkungen von Herbizidrückständen auf nachgebaute Kulturen gegeben werden (PESTEMER & AUSPURG 1987).

Zur Validierung der Nachbauprognosen wurden in Freilandversuchen die Beeinflussung der Erträge einiger ausgewählter Kulturpflanzen durch verschiedene Herbizidkonzentrationen untersucht. Die potentiell pflanzenverfügbaren Anteile der applizierten Herbizidmengen wurden anhand der jeweiligen mit Ahlum-Boden ermittelten Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ -Werten) zwischen adsorbierter und leicht desorbierbarer Herbizidfraktion berechnet (Tab. 5).

Bei den Wirkstoffen Metsulfuron-Methyl, das mittels Biotesten quantitativ nachgewiesen wurde, und bei Pendimethalin erfolgte die Berechnung der potentiellen Verfügbarkeit aus dem Vergleich der Dosis-Wirkungs-Beziehungen in Ahlum-Boden bzw. nicht sorptivem Substrat.



Tab. 4: Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Herbiziden und Nachbarkulturen

Herbizide	Kulturpflanzen	verf. Rückstand µg AS/l		
		ED10	ED30	ED50
Triallat	Vicia faba (Ackerbohne)	>240		
	Pisum sativum (Futter-Erbse)	>240		
	Linum usitatissimum (Faser-Lein)	>240		
	Helianthus annuus (Sonnenblume)	>240		
Ethofumesat	Vicia faba (Ackerbohne)	>400		
	Pisum sativum (Futter-Erbse)	>200		
	Linum usitatissimum (Faser-Lein)	143	205	254
	Helianthus annuus (Sonnenblume)	>600		
Pendimethalin	Spinacea oleracea (Spinat)	206	370	537
	Spinacea oleracea (Spinat)	11	23	36
	Linum usitatissimum (Faser-Lein)	102	214	342
	Brassica napus (Sommer-Raps)	50	83	113
	Vallerianella locusta (Feldsalat)	85	131	171
Methabenzthiazuron	Helianthus annuus (Sonnenblume)	>360		
	Linum usitatissimum (Faser-Lein)	70	79	86
	Brassica napus (Sommer-Raps)	5	14	27
	Vallerianella locusta (Feldsalat)	70	95	114
Metsulfuron-methyl	Linum usitatissimum (Faser-Lein)	0.24	0.39	0.54
	Spinacea oleracea (Spinat)	0.23	0.34	0.44
	Brassica napus (Sommer-Raps)	0.56	1.00	1.44
	Vallerianella locusta (Feldsalat)	0.55	0.73	0.86
	Vicia faba (Ackerbohne)	0.12	0.40	0.65
	Pisum sativum (Futter-Erbse)	0.53	0.86	1.17
Chlortoluron	Helianthus annuus (Sonnenblume)	0.26	0.36	0.44
	Vicia faba (Ackerbohne)	17	40	67
	Pisum sativum (Futter-Erbse)	23	48	76

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse von 57 Freilandversuchen, bei denen die Ertragsminderungen ausgewählter Nachbarkulturen zum Erntezeitpunkt nach Applikation und oberflächlicher Einarbeitung der Herbizide in die Aktivitätskategorien nach PESTEMER et al. (1980) eingestuft wurden.

Der Vergleich der prognostizierten mit den tatsächlich aufgetretenen Nachbanschäden zeigt i. d. R. eine gute Sicherheit der Vorhersagen. In 63 % der untersuchten Fälle lag die Wirkung im Feld im gleichen Aktivitätsbereich wie die aus Hydroponikver-

suchen und Sorptionsdaten abgeleitete Prognose. In 19 %, 7 % bzw. 4 % der Versuche wurde die Nachbauschädigung durch die Vorhersage um 1, 2 bzw. 3 Aktivitätsbereiche überschätzt. Lediglich in 7 % der Fälle wurde die Schädigung z. B. von Feldsalat (*Vallerianella locusta*) bzw. Ackerbohne (*Vicia faba*), bei Aufwandmengen von 2 bzw. 4 g Metsulfuron-Methyl/ha unterbewertet.

Die Sicherheit des verwendeten Nachbauprognosemodells entspricht den Ergebnissen von PESTEMER & AUSPURG (1987). Dabei stellt die Tendenz zur Überschätzung der tatsächlichen Schädigungen durch das Modell einen Sicherheitsfaktor für die Nachbauprognosen dar.

Tab. 5:  $K_d$ -Werte und berechnete potentielle Pflanzenverfügbarkeit der untersuchten Herbizide im Ahlum-Boden

Herbizid	$K_d$ -Wert	max. potentielle Pflanzenverfügbarkeit (%)
Chlortoluron	2.5	ca. 34 <sup>a</sup>
Ethofumesat	1.4	ca. 48 <sup>ab</sup>
Isoproturon	0.7	ca. 64 <sup>a</sup>
Methabenzthiazuron	6.1	ca. 18 <sup>a</sup>
Metsulfuron-Methyl	---	ca. 18 <sup>b</sup>
Pendimethalin	104	ca. 7 <sup>b</sup>
Triallat	27.2	ca. 5 <sup>a</sup>

a = Berechnet aus dem  $K_d$ -Wert, b = berechnet aus Biotest

Die ermittelten Abbau- und Sorptionsdaten sowie die Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Herbiziden und Kulturpflanzen werden in ein computergestütztes Expertensystem (HERBASYS = Herbizid-Beratungssystem) integriert (GOTTESBÜREN et al. 1990a, 1990b; PESTEMER et al. 1990; GOTTESBÜREN 1991), um der landwirtschaftlichen Beratung die Nutzung der aufgezeigten Prognosemodelle zu ermöglichen.

Unter Verwendung der langjährigen mittleren Wetterdaten (30-jährige Mittel) wurden mit HERBASYS für die Bedingungen der Versuchsflächen in Ahlum, einem für Südniedersachsen typischen Lößstandort, die bei praxisüblichen Bewirtschaftungsformen im

Tab. 6: Vergleich zwischen Nachbaukulturen und Ergebnissen der Nachbauversuche im Freiland

Herbizide Rückstandsgehalte zur Ernte µg AS/l Boden (0-10 cm)	Herbizidapplikation (µg AS/l Boden)		Nachbaukulturen	Aktivitätsbereiche			
	Gesamt	potentiell verfügbar		Nachbau- prognose	Ergebnis Freiland		
Triallat 1987 238	0; 200; 12; 47;		Vicia faba	1) +/-	+/-		
			Pisum sativum	+/-	+/-		
			Linum usitatissimum	+/-	+/-		
			Helianthus annuus	+/-	+/-		
Ethofamsat 1987 n.n. - 190 1988 n.n. 1989 n.n.	100	48	Vicia faba	+/-	+/-		
			Pisum sativum	+/-	+/-		
			Linum usitatissimum	+/-	+/-		
			Helianthus annuus	+/-	+/-		
	300	143	Spinacea oleracea	+/-	+/-		
			Vicia faba	+/-	+/-		
			Pisum sativum	+/-	+/-		
			Linum usitatissimum	X	+/-		
	800	300	Helianthus annuus	+/-	+/-		
			Spinacea oleracea	+/-	+/-		
			Vicia faba	+/-	+/-		
			Pisum sativum	X	+/-		
		Linum usitatissimum	XXX	X *			
		Helianthus annuus	+/-	+/-			
		Spinacea oleracea	XX	+/- bis X			
Pendimethalin 1987 96 1988 103 1989 165	200	14	Spinacea oleracea	X	+/-		
			300	21	Linum usitatissimum	+/-	+/-
			600	43	Linum usitatissimum	+/-	+/-
			800	57	Spinacea oleracea	XXX	XXX *
			1200	85	Linum usitatissimum	+/-	+/-
Methabenz- thiazuron	400	70	Linum usitatissimum	+/-	+/-		
			700	123	Valerianella locusta	XXX	XX *
			800	140	Linum usitatissimum	XXX	+/-
			1400	245	Valerianella locusta	XXX	XXX *
			2000	350	Linum usitatissimum	XXX	+/- bis X
Chlorotoluron	100	33	Vicia faba	X	+/-		
			Pisum sativum	X	+/-		
			500	167	Vicia faba	XXX	+/-
			Pisum sativum	XXX	+/-		
			1500	500	Vicia faba	XXX	XX *
Metsulfuron- methyl	2	0,35	Vicia faba	X	X *		
			Pisum sativum	+/-	XXX *		
			Helianthus annuus	XX	+/- bis X		
			Valerianella locusta	+/-	XXX *		
	4	0,7	Vicia faba	XXX	XX *		
			Pisum sativum	X	XXX *		
			Helianthus annuus	XXX	+/- bis X		
			Valerianella locusta	X	XXX *		
	8	1,4	Vicia faba	XXX	XXX *		
			Pisum sativum	XXX	XXX *		
			Helianthus annuus	XXX	XXX *		
			Valerianella locusta	XXX	XXX *		

1) +/- = Nachbau sicher X = leichtes Risiko XX = Nachbau unsicher XXX = kein Nachbau  
\* = Ertragsminderung signifikant nach Dunnett (p = 0,05)

Durchschnitt zu erwartenden Inaktivierungszeiten einiger Herbizide für verschiedene "Alternativkulturen" ermittelt (Tab. 7). Beim Vergleich der berechneten potentiell pflanzenverfügbaren Anteile der nach Ernte der Hauptkulturen analysierten Herbizidrückstände mit den ermittelten Dosis-Wirkungs-Beziehungen zeigt sich nur bei Pendimethalin eine geringe potentielle Gefährdung sehr empfindlich reagierender Nachbarkulturen (*Spinacea oleracea*; *Brassica napus*). Von den anderen Herbiziden

Tab. 7: Im Mittel zu erwartende maximale Inaktivierungszeiten (in Wochen) von Herbiziden für verschiedene Nachbarkulturen im Ahlum-Boden (Witterungsdaten des 30-jährigen Mittels)

Herbizide (Aufwandmengen Präp. Applikationstermine)	Kulturpflanzen	Inaktivierungszeit (Wochen)
Triallat	<i>Vicia faba</i> (Ackerbohne)	0
	<i>Pisum sativum</i> (Futter-Erbse)	0
	<i>Linum usitatissimum</i> (Faser-Lein)	0
	<i>Helianthus annuus</i> (Sonnenblume)	0
Ethofumesat a) 5 kg/ha Tramet am 15.4. b) 3 kg Betanal Tandem am 21.4./8.5./29.5.	<i>Vicia faba</i> (Ackerbohne)	a)1 /b)0
	<i>Pisum sativum</i> (Futter-Erbse)	0 / 0
	<i>Linum usitatissimum</i> (Faser-Lein)	12 / 12
	<i>Helianthus annuus</i> (Sonnenblume)	0 / 0
	<i>Spinacea oleracea</i> (Spinat)	8 / 5
Pendimethalin 5 kg/ha Stomp am 25.9.	<i>Spinacea oleracea</i> (Spinat)	110
	<i>Linum usitatissimum</i> (Faser-Lein)	35
	<i>Brassica napus</i> (Sommer-Raps)	56
	<i>Vallerianella locusta</i> (Feldsalat)	41
	<i>Helianthus annuus</i> (Sonnenblume)	0
Methabenzthiazuron 3 kg/ha Tribunil am 15.10	<i>Linum usitatissimum</i> (Faser-Lein)	84
	<i>Brassica napus</i> (Sommer-Raps)	189
	<i>Vallerianella locusta</i> (Feldsalat)	84

waren keine Rückstände mehr erfaßbar bzw. diese lagen unterhalb möglicher Phytotoxizitätsbereiche für die untersuchten Kulturen.

Da bei diesen Prognosen von "worst case" Bedingungen ausgegangen wird (Auftreffen von 100 % der applizierten Menge auf den Boden, Verbleib der Restrückstände in den obersten 10 cm, keine verdünnende Bodenbearbeitung, maximal pflanzenverfügbare Anteil-

le) enthalten die aufgeführten Inaktivierungszeiten ausreichende Sicherheitsspannen für eine sichere Nachbauempfehlung.

### 3.4 Verfügbarkeit von Herbizidfraktionen im Boden

Zur Charakterisierung der Sorptionsvorgänge von Herbizidrückständen im Boden über die Zeit ("Alterungsverhalten") und einer dabei möglichen Veränderung der potentiellen Pflanzenverfügbarkeit und/oder Bioverfügbarkeit für Mikroorganismen wurden beispielhaft mit dem Herbizidwirkstoff Ethofumesat Versuche mit verschiedenen Extraktionsverfahren durchgeführt. Mit den verschiedenen Verfahren, durch die mit unterschiedlicher Bindungsstärke an der Festsubstanz des Bodens sorbierte Fraktionen eines Herbizidrückstandes bestimmt werden sollten, konnten nach Einstellung eines Kurzzeit-Equilibriums (24 Stunden bei 4 °C) unterschiedlich große Anteile (48-81 %) des mit organischen Lösungsmitteln extrahierbaren Gesamtrückstandes desorbiert werden (Tab. 8).

In Laborabbauversuchen blieb die Extrahierbarkeit in Abhängigkeit von der Zeit nach der Inkubation bei den Verfahren 2-7 weitgehend konstant. Lediglich bei der Wasserextraktionsmethode (Verfahren 1), bei der die Desorption mit einem den natürlichen Bedingungen ähnlichen hohen Boden-Wasser-Verhältnis und einem der Bodenlösung vergleichbaren Desorptionsmittel (0,01 m  $\text{CaCl}_2$ -Lösung) erfolgte, zeigte sich im Versuchsverlauf eine stetige Verringerung der wasserextrahierbaren Anteile des Gesamtrückstandes von 48 % zu Versuchsbeginn auf etwa 30 % nach 40-60 tägiger Inkubation. Dies entspricht einem Anstieg des Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ -Wertes) von Ethofumesat im Ahlum-Boden von 1,45 auf 3,04 (Abb. 11).

Ein Anstieg des  $K_d$ -Wertes im Verlauf der "Herbizidalterung" war ebenfalls in den Feldversuchen festzustellen. Im Freiland erfolgte dabei eine langsamere Abnahme der leicht desorbierbaren Herbizidfraktion als bei den relativ günstigeren Abbaubedingungen im Laborversuch. So wurde 1988 im Feld ein Anstieg des  $K_d$ -Wertes von 1,58 nach der Applikation bis auf 2,67 erst zu Versuchsende gemessen nach 79 Tagen (Abb. 11).

Tab. 8: Extraktionsleistung verschiedener Verfahren zur Bestimmung unterschiedlich stark gebundener Anteile der Gesamtrückstände von Ethofumesat im Boden

Nr. Extraktionsmittel	Verhältnis Boden/Extrakt.mittel	Extrakt. Anteile in % d. Gesamtrückstandes
1 Wasser bzw. 0.01 m CaCl <sub>2</sub>	1 : 1.33	48
2 Ascorbinsäure (0.2 m) + H <sub>2</sub> O 14+1	1 : 3	51
3 CaCl <sub>2</sub> -Lösung (0.01 m) + H <sub>2</sub> O 14+1	1 : 3	58
4 Methanol + H <sub>2</sub> O 5+95	1 : 2	65
5 Glycin-Puffer (0.01 m; pH 11)	1 : 3	73
6 Methanol + H <sub>2</sub> O 10+90	1 : 2	77
7 Aceton + H <sub>2</sub> O 10+90	1 : 2	81

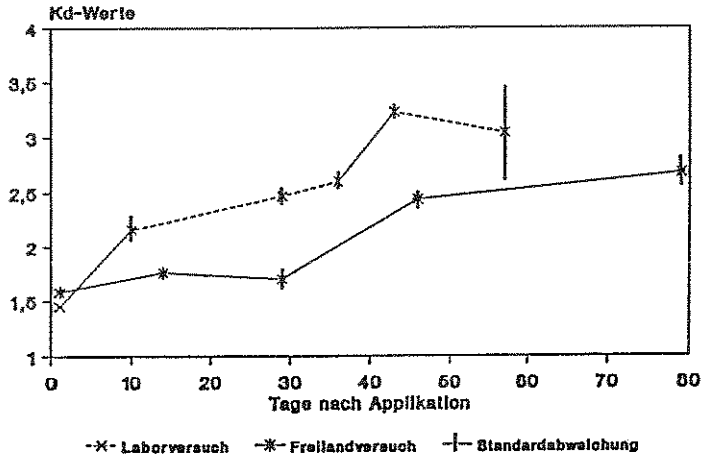


Abb. 11: Anstieg der K<sub>d</sub>-Werte von Ethofumesat im Labor- und im Freilandversuch

In weiteren Untersuchungen zur Charakterisierung der Bioverfügbarkeit von Ethofumesat für den Abbau im Boden wurde die Aktivität der Bodenmikroflora durch Zugabe leicht verwertbarer organischer Substanz (Luzernemehl 0,5 g/100 g Boden) stimuliert (vgl. MALKOMES 1984). Nach Zugabe des Luzernemehls kam es zu einer Beschleunigung der Abbaugeschwindigkeit von Ethofumesat (Abb. 12a). Gleichzeitig führte die Stimulierung der mikrobiellen Aktivität zu einem schnelleren Anstieg und zeitweilig signifikant höherem Niveau der  $K_d$ -Werte und damit zu einer beschleunigten Verminderung der wasserextrahierbaren, leicht desorbierbaren Herbizidfraktion bis auf ca. 30 % des Gesamtrückstandes im Vergleich zur unbehandelten Variante (Abb. 12b). Die Erhöhung der mikrobiellen Aktivität führte zu einer relativ schnelleren Reduzierung der mit 0,01 m  $\text{CaCl}_2$  leicht desorbierbaren Anteile als der mit organischen Lösungsmitteln erfaßbaren Gesamtgehalte (Abb. 12c). Dies läßt bei erhöhter Aktivität der Bodenmikroflora auf eine zunächst schnellere Ausschöpfung der für einen mikrobiellen Abbau leichter verfügbaren Herbizidfraktionen im Boden schließen und erklärt den Einfluß der Abbaubedingungen auf den Anstieg der  $K_d$ -Werte von Ethofumesat (Abb. 11).

Aus diesen Untersuchungen mit dem Herbizid Ethofumesat kann abgeleitet werden, daß mit der Wasserextraktionsmethode möglicherweise die potentielle Bioverfügbarkeit von Herbizidrückständen für den Abbau durch Bodenmikroorganismen in der Bodenlösung charakterisiert werden kann. WELP & BRÜMMER (1988) konnten Nebenwirkungen von Schadstoffen auf die Bodenmikroflora in Bezug zu den potentiell verfügbaren Gehalten in der Bodenlösung setzen. In vergleichbarer Weise wurde von STALDER & PESTEMER (1980) und PESTEMER (1983) die potentielle Pflanzenverfügbarkeit eines Herbizids im Boden mittels Wasserextraktion beschrieben.

Wie bei Ethofumesat konnte auch bei anderen Herbiziden ein Anstieg der  $K_d$ -Werte unter Freilandbedingungen im Ahlum-Boden beobachtet werden, z. B. bei Methabenzthiazuron von 6,5 auf 14,0 und bei Chlortoluron von 2,5 auf 7,7. Ergänzt werden die Untersuchungen durch gleichzeitig auf Versuchsflächen des BBA-Ge-

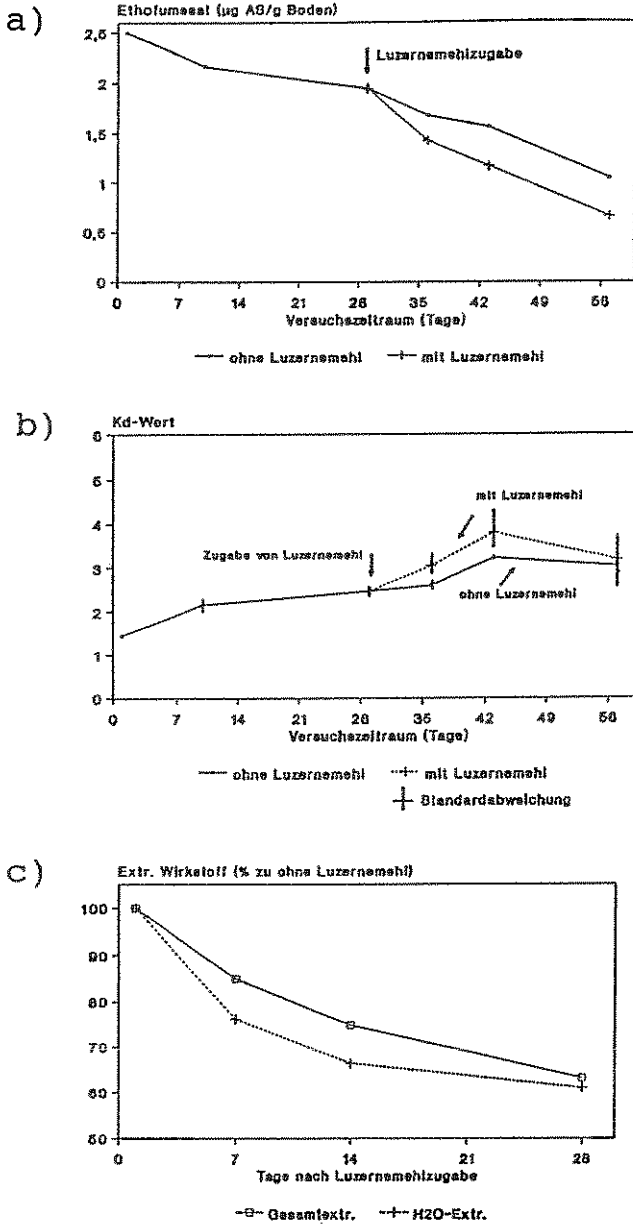


Abb. 12: Entwicklung der Rückstandsgehalte und der Kd-Werte von Ethofumesat nach Zugabe von Luzernemehl - a: Gesamtrückstände mit und ohne Zugabe von Luzernemehl; b: Kd-Werte im Versuchszeitraum; c: Gesamt- und wasserextrahierbare Rückstandsgehalte im Vergleich zur Variante ohne Luzernemehl



ländes (schwach humoser, lehmiger Sandboden) angelegte Versuche mit Chlortoluron, bei denen bei gleichem Ausgangsniveau der  $K_d$ -Werte (Ahlum = 2,5; BBA = 2,7) parallel zu einem schnelleren Abbau des Herbizids in Ahlum auch ein schnellerer Anstieg der  $K_d$ -Werte erfolgte und insgesamt ein höheres Niveau der Sorptionskoeffizienten im Ahlum-Boden im Vergleich zum lehmigen Sand des BBA-Bodens (Ahlum = 7,7; BBA = 4,4) erreicht wurde.

Ein Ansteigen der  $K_d$ -Werte im Verlauf von Alterungsprozessen wurde wiederholt auch für andere Herbizide beschrieben, z. B. von WALKER (1987a, 1987b) für Linuron, Isoxaben und Propyzamid, von PESTEMER et al. (1988) für Propyzamid und Chlortoluron und von BUNTE (1991) für Simazin und Methabenzthiazuron. Bei vielen Herbiziden kann daher nach der Einbringung in den Boden nicht von einem zeitlich konstanten Sorptionsverhältnis zwischen fester und flüssiger Bodenphase ausgegangen werden.

Zur Beschreibung der Sorptionsprozesse von Pflanzenschutzmitteln im Boden wurde von BOESTEN (1987) ein kinetisches "Nicht-Gleichgewichts-Modell" entwickelt, bei dem an Sorptionsstellen mit unterschiedlicher Bindungsstärke jeweils die Ad- und Desorptionsprozesse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erfolgen und es im Verlauf der "Alterung" zu einer Erhöhung der Sorptionskoeffizienten durch überwiegende Belegung stärker bindender Sorptionsplätze kommt.

Untersuchungen von CRAIGMILL et al. (1990) mit Methabenzthiazuron zeigen, daß dabei von einer Einbindung der Wirkstoffe in die organische Substanz des Bodens ausgegangen werden kann, mit Folge einer verringerten Desorbierbarkeit mit einer simulierten Bodenlösung (0,01 m  $\text{CaCl}_2$ -Lösung).

Die Berücksichtigung derartiger Sorptionsveränderungen in Simulationsmodellen zur Beschreibung des Auswaschungsverhaltens führte bei WALKER (1987b), BOESTEN (1987), BOESTEN et al. (1989) und BUNTE (1991) zu einer wesentlich verbesserten Prognose der vertikalen Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln im Bodenprofil. Aufgrund der in Folge der Alterungsvorgänge stärker werdenden Sorption ist danach mit einer geringeren Einwaschung in tiefere Bodenschichten und daher mit einer sich im

Verlauf der Alterung erhöhenden Persistenz in den obersten Bodenschichten zu rechnen.

Ob durch die aufgezeigten Veränderungen der Sorptionskonstanten das Abbauverhalten beeinflusst wird, ist noch unklar. Die über mehrere Jahre nachzuweisenden Rückstandsspuren z. B. von Triallat und Pendimethalin sowie die Ergebnisse von CRAIGMILL et al. (1990) mit Methabenzthiazuron deuten möglicherweise auf eine verringerte Verfügbarkeit und damit auf einen nur sehr langsamen Abbau dieser gealterten Rückstände hin. So konnte von BUNTE (1991) bei Simazin ein verlangsamter Abbau von gealterten gegenüber frisch applizierten Rückständen nachgewiesen werden, während demgegenüber der Abbau gealterten Methabenzthiazurons, möglicherweise aufgrund einer erforderlichen langen Adaptionsphase von Bodenmikroorganismen, schneller als bei frisch zuge-setztem Wirkstoff erfolgte. Kein Einfluß der Alterung auf die Abbaugeschwindigkeit von Linuron wurde trotz verringerter "Wasserextrahierbarkeit" von GÜNTHER et al. (1988) festgestellt.

Die Dynamik der bei der "Alterung" von Herbiziden im Boden auftretenden Sorptionsprozesse scheint somit von Wirkstoff, Bodeneigenschaften, Bodenfeuchte und -temperatur sowie Faktoren, die die mikrobielle Aktivität bestimmen, beeinflusst zu werden.

### 3.5 Bioteste zur Beurteilung der Wirkung gealterter Rückstände

Um den Einfluß der im Verlauf der Alterungsprozesse verringerten Wasserextrahierbarkeit auf die potentielle Pflanzenverfügbarkeit zu ermitteln, wurden zusätzlich Bioteste mit frischen und gealterten Rückständen von Ethofumesat durchgeführt (Abb. 13).

In den Untersuchungen zeigte sich keine Verringerung einer Schädigung der empfindlichen Testpflanze Rotklee (*Trifolium pratense*) bei einem Sorptionskoeffizienten von 3,03 und einer Wasserextrahierbarkeit des gealterten Ethofumesatrückstandes von 30 % gegenüber den frischen Rückständen mit einer Wasserextrahierbarkeit von 48 % und einem  $K_d$ -Wert von 1,41. Da im Biotest bereits bei der niedrigsten untersuchten Konzentration

von Ethofumesat erhebliche Schäden der sehr empfindlich reagierenden Testpflanze von ca. 70 % im Vergleich zur Kontrolle auftraten, sind allerdings mögliche Effekte im Bereich geringerer Schäden nicht erfassbar.

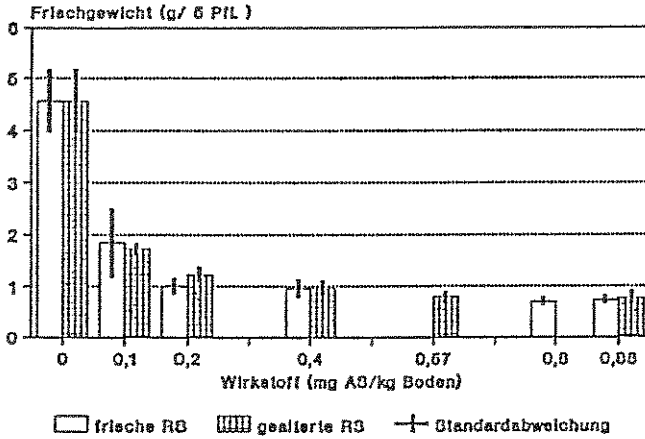


Abb. 13: Vergleich der Wirkung von gealterten und frischen Ethofumesatrückständen auf Rotklee (*Trifolium pratense*) (RS = Rückstände)

Ähnliche Untersuchungen von GÜNTHER et al. (1988) mit gealterten Rückständen von Simazin und Linuron ergaben ebenfalls keine Verminderung der Pflanzenverfügbarkeit bei einer geringeren "Wasserextrahierbarkeit" im Vergleich zu "frischen" Rückständen. Die "Wasserextraktion" scheint somit nicht unbedingt geeignet zu sein, die potentielle Pflanzenverfügbarkeit gealterter Rückstände zu beschreiben. Im Unterschied zu den Verlagerungsmodellen ergibt sich daher aus diesen Untersuchungen keine Veranlassung, die im Verlauf der Herbizidalterung ansteigenden  $K_d$ -Werte bei den Prognosemodellen für die Nachbausicherheit zu berücksichtigen.

Zur Abschätzung der Verfügbarkeit von Herbiziden im Boden für die Beurteilung möglicher Nebenwirkungen ist daher weiterhin der im Labor mit frischen Rückständen bestimmte  $K_d$ -Wert sinn-

voll, da auf diese Weise Sicherheitsfaktoren für Prognosen möglicher Nebenwirkungen erhalten bleiben.

## Prognose der Persistenz von Herbiziden und deren Auswirkungen auf Nachbaukulturen nach langjähriger Anwendung

### Zusammenfassung

Zur Abschätzung der Persistenz und Auswirkungen der Rückstände von Herbiziden auf Nachbaukulturen nach langjähriger Anwendung wurde 1987-1989 am Versuchsstandort "Ahlum" deren Langzeitverhalten bei verschiedenen Intensitätsstufen der Bewirtschaftung untersucht. Die relative Persistenz der untersuchten Wirkstoffe in der obersten Bodenschicht (0-10 cm) war: Isoproturon  $\approx$  Metamitron  $<$  Chloridazon  $\leq$  Ethofumesat  $\approx$  Phenmedipham  $<$  Pendimethalin  $\approx$  Triallat. Die Verlustraten wurden durch die unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten nicht beeinflusst, während die Witterung einen dominierenden Einfluß hatte. Nur von Pendimethalin und Triallat war mehr als eine Vegetationsperiode nach der Anwendung ein niedriges Rückstandsniveau im Boden feststellbar.

Zur Prognose der Persistenz mittels Simulationsmodell wurden Abbauparameter für die Herbizide Ethofumesat, Methabenzthiazuron, Pendimethalin und Triallat in Laborversuchen ermittelt. Dabei waren für die Herbizide im Labor die gleichen relativen Persistenzunterschiede erkennbar wie im Freiland. Bei Triallat und Pendimethalin stimmten bei Simulationsrechnungen über zwei Jahre die berechneten mit den gemessenen Rückstandsgehalten gut überein.

Die mit dem Computermodell simulierten Rückstandsdaten sowie die prognostizierten Auswirkungen auf verschiedene Nachbaukulturen wurden in Freilandparzellen überprüft. Dazu wurden in Hydroponikversuchen entsprechende Dosis-Wirkungs-Beziehungen von pflanzenverfügbaren Wirkstoffanteilen und Kulturpflanzen ermittelt.

Schädigungen empfindlicher Nachbaukulturen durch Herbizidrückstände im Boden konnten mit dem verwendeten Prognosemodell mit großer Sicherheit vorhergesagt werden. Für die Nachbauprognose nach langjähriger Anwendung von Herbiziden können die gleichen Parameter verwendet werden wie nach einmaliger Applikation. Eine Ertragsminderung der untersuchten Nachbaukulturen ist bei sachgerechter Anwendung, der in einer dreigliedrigen Fruchtfolge im Wechsel eingesetzten Herbizide, nicht zu erwarten. Durchschnittliche Inaktivierungszeiten von Herbiziden am untersuchten Standort werden für wichtige Nachbaukulturen angegeben. Sorptionsstudien mit verschiedenen Extraktionsverfahren zeigten, daß das "Alterungsverhalten" (Anstieg der Sorptionskoeffizienten) von Herbiziden, z. B. von Ethofumesat, durch die Abbaubedingungen beeinflusst wird. Dieses konnte mit einer Wasserextraktionsmethode charakterisiert und damit auf die Bioverfügbarkeit der leicht desorbierbaren Rückstandsfraktionen für den Abbau geschlossen werden.

Prognosis on persistence of herbicides and effects of residues on succeeding crops after long-term application

Summary

The behaviour of herbicides was investigated on the experimental station 'Ahlum' in 1987-1989 at different intensities of crop management for the assessment of herbicide persistence and effects of residues on succeeding crops after long-term application. The relative persistence of the different herbicides in the top soil layer (0-10 cm) was isoproturon  $\approx$  metamiltron < chloridazone  $\leq$  ethofumesate  $\approx$  phenmedipham < pendimethalin  $\approx$  tri-allate. The different intensities of crop management did not affect herbicide persistence but the influence of weather conditions was dominant. More than one vegetation period after application low residue levels of pendimethalin and tri-allate persisted in the soil and were well predictable by the simulation model.

In laboratory incubation experiments degradation parameters of a simulation model for the prognosis of herbicide persistence were determined with ethofumesate, methabenzthiazuron, pendimethalin and tri-allate and showed the same differences in herbicide persistence as field investigations.

Simulated residues and prognoses of residual effects on succeeding crops which have been estimated from dose-response-relationships between available amounts of herbicides and different crops in hydroponics, were validated in outdoor experiments. Damage levels of sensitive crops by herbicide residues in soil could be predicted. For the prognoses of safe recropping times after long-term application the same parameters used with single application are applicable. With proper use of the investigated herbicides in a crop rotation, losses of crop yield caused by herbicide residues in soil are unlikely.

Average times of inactivation of herbicides for several succeeding crops are given.

Sorption studies with different extraction methods showed that weathering of herbicides i.e. increase of sorption coefficients e.g. ethofumesate is influenced by the degradation conditions. The weathering processes and the bioavailability of easily desorbable residues for degradation could be characterized by using a water extraction method.

#### 4 Literatur

- BOESTEN, J. J. T. I. (1987): Modelling pesticide transport with a three-site sorption sub-model: a field test. - Neth. J. Agric. Sci., 35: 315-324.
- BOESTEN, J. J. T. I., VAN DER PAS, L. J. T., SMELT, J. H. (1989): Field test of a mathematical model for non-equilibrium transport of pesticides in soil. - Pestic. Sci., 25: 187-203.
- BUNTE, D. (1991): Dynamik unterschiedlich persistenter Herbizide in Abhängigkeit von Boden und Alter der Rückstände. - Dissertation, Hannover.

- CRAIGMILL, A. L., BRUMHARD, B., FÜHR, F. (1990): Lysimeter studies on long-term fate of pesticides: bound residues of methabenzthiazuron in soil. - In: Book of Abstracts of the Seventh International Congress of Pesticide Chemistry, IUPAC, Hamburg, 1990: 83.
- GOTTESBÜREN, B., PESTEMER, W., WANG, K., WISCHNEWSKY, M.-B., ZHAO, J. (1990a): Aufbau und Arbeitsweise des Expertensystems HERBASYS (Herbizid-Beratungssystem). - Agrarinformatik, 18: 163-174.
- GOTTESBÜREN, B., PESTEMER, W., WANG, K., WISCHNEWSKY, M.-B., ZHAO, J. (1990b): Prognose der Persistenz von Herbiziden und deren Auswirkungen auf Nachbaukulturen mit Hilfe des computergestützten Expertensystems HERBASYS. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, 97: 394-415.
- GOTTESBÜREN, B. (1991): Aufbau und Validierung eines Expertensystems für die Herbizidberatung zur sachgerechten Auswahl, Prognose der Persistenz und Auswirkungen auf Nachbaukulturen von Herbiziden. - Dissertation, Hannover.
- GÜNTHER, P., BUNTE, D., PESTEMER, W. (1988): Abbau und Verfügbarkeit gealterter Herbizidrückstände im Boden. - Proc. EWRS Symposium: Factors affecting herbicidal activity and selectivity: 327-328.
- GÜNTHER, P., RAHMAN, A., PESTEMER, W. (1989): Quantitative bioassays for determining residues and availability to plants of sulfonylurea herbicides. - Weed Res., 29: 141-146.
- HILL, G. D., MCGAHEN, J. W., BAKER, H. M., FINNERTY, F. W., BINGEMAN, C. W. (1955): The fate of substituted urea herbicides in agricultural soils. - Agron. J., 47: 93-104.
- MALKOMES, H.-P. (1984): Modifizierung der Wirkung eines Herbizids auf bodenbiologische Aktivitäten durch den Zusatz von Luzernemehl bzw. unbehandeltem Boden. - Zbl. Mikrobiol., 139: 441-452.
- PESTEMER, W. (1983): Methodenvergleich zur Bestimmung der Pflanzenverfügbarkeit von Bodenherbiziden. - Ber. Fachgeb. Herbologie (Hohenheim), 24: 85-96.
- PESTEMER, W., STALDER, L., ECKERT, B. (1980): Availability to plants of herbicide residues in soil. Part 2. Data for use in vegetable crops. - Weed Res., 20: 349-353.
- PESTEMER, W., STALDER, L., POTTER, C. A. (1983): Nachbauprognosen bei Atrazinrückständen im Boden mit Hilfe von Verfügbarkeits- und Langzeit-Biotest-Daten. - Ber. Fachgeb. Herbologie (Hohenheim), 24: 53-61.
- PESTEMER, W., AUSPURG, B. (1987): Prognose-Modell zur Erfassung des Rückstandsverhaltens von Metribuzin und Methabenzthi-

- azuron im Boden und deren Auswirkungen auf Folgekulturen. - Weed Res., 27: 275-286.
- PESTEMER, W., BUNTE, D., GÜNTHER, P. (1988): Persistenz: Der bestimmende Faktor für das Verhalten und die Wirkung von Herbiziden im Boden. - Proc. EWRS Symposium: Factors affecting herbicidal activity and selectivity: 281-288.
- PESTEMER, W., GOTTESBÜREN, B., WANG, K., WISCHNEWSKY, M.-B., ZHAO, J. (1990): Anwendungsmöglichkeiten des Expertensystems HERBASYS (Herbizid-Beratungssystem). - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderheft XII: 179-190.
- POHL, K., MALKOMES, H.-P. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderheft XII, 379-388.
- ROETH, F. W. (1986): Enhanced herbicide degradation in soil with repeat application. - Rev. Weed Sci., 2: 45-65.
- STALDER, L., PESTEMER, W. (1980): Availability to plants of herbicide residues in soil. Part 1. A rapid method for estimating potentially available residues of herbicides. - Weed Res., 20: 341-347.
- WALKER, A., BARNES, A. (1981): Simulation of herbicide persistence in soil: a revised computer model. - Pestic. Sci., 12: 123-132.
- WALKER, A., HANCE, R. J., ALLEN, J. G., BRIGGS, G. G., CHEN, Y.-L., GAYNOR, J. D., HOGUE, E. J., MALQUORI, A., MOODY, K., MOYER, J. R., PESTEMER, W., RAHMAN, A., SMITH, A. E., STREIBIG, J. C., TORSTENSSON, N. T. L., WIDYANTO, L. S., ZANDVOORT, R. (1983): EWRS herbicide-soil working-group: Collaborative experiment on simazine persistence in soil. - Weed Res., 23: 373-383.
- WALKER, A. (1987a): Evaluation of a simulation model for prediction of herbicide movement and persistence in soil. - Weed Res., 27: 143-152.
- WALKER, A. (1987b): Herbicide persistence in soil. - Rev. Weed Sci., 3: 1-18.
- WELP, G., BRÜMMER, G. W. (1988): Ermittlung des Non-Effect-Levels und weiterer Toxizitätskennwerte von Umweltchemikalien für verschiedene Böden mit Hilfe eines Mikroorganismen-tests. - In: VERFONDERN, M., SCHEELE, B. (Hrsg.), Jül-Spez-441: 27-55.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11/12,  
D-38104 Braunschweig.



V *EINFLUSS LANGJÄHRIGER UNTERSCHIEDLICHER PFLANZENSCHUTZ-  
INTENSITÄTEN IM ACKERBAU AUF DIE AKTIVITÄT VON BODEN-  
MIKROORGANISMEN*

Kathrin Pohl, Hans-Peter Malkomes

1 Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen sollte die Frage geklärt werden, welche Einflüsse die unterschiedlich intensive Bewirtschaftungsweise mit Pflanzenschutzmitteln auf die Mikroorganismen als wichtigen Teil der Bodenbiozönose ausübt. Unter Freilandbedingungen sollten die Auswirkungen der Pflanzenschutzmaßnahmen zusammen mit wichtigen landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen erfaßt werden, um eine längerfristige Belastung mit zunehmender Pflanzenschutzintensität zuzuordnen, abzuschätzen und minimieren zu können. Auch der Pflanzen- und insbesondere der Unkrautbesatz sollte hierbei Berücksichtigung finden. Das Hauptinteresse der Untersuchungen lag dabei auf verschiedenen mikrobiellen Aktivitäten, die u. a. auch mit wichtigen Stoffkreisläufen und der stoffwechselaktiven Biomasse in Zusammenhang stehen. Ergebnisse aus mehrjährigen Feldversuchen mit abgestuftem Pflanzenschutzmitteleinsatz in Zuckerrüben (VER-STRAETE & VOETS 1974; MALKOMES 1982; FAN DE FANG et al. 1983; HEINONEN-TANSKI et al. 1989) sowie Wintergetreide (MALKOMES & PESTEMER 1981) deuten darauf hin, daß meistens nur geringfügige Auswirkungen auf die Bodenmikroflora auftreten. Die Bedeutung der Verunkrautung für mikrobielle Aktivitäten im Ackerboden wurde bisher nur in wenigen Arbeiten berücksichtigt (RADANACHA-LESS 1986; POHL & MALKOMES 1990).

2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie

acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

In allen Schlägen und Intensitäten wurden im Untersuchungszeitraum von April 1987 bis November 1989 monatlich Bodenproben aus 0-5 und 5-10 cm Tiefe gezogen und in feldfrischem Zustand auf 2,5 mm gesiebt. In einigen Fällen mußten zu feuchte Proben vor dem Sieben leicht getrocknet werden. Der Wassergehalt der Proben wurde vor und nach dem Sieben bestimmt. Pro Intensität und Termin wurden insgesamt 40 Einstiche gezogen, die sich über acht Wiederholungen erstreckten. Anschließend wurden je 10 Einstiche aus zwei dieser Wiederholungen zu einer Mischprobe vereinigt, so daß insgesamt pro Intensität und Termin vier Wiederholungen existierten. Danach erfolgte eine kurze Zwischenlagerung des Bodens (max. 3 Wochen) in Polyäthylenbeuteln bei 4° C (MALKOMES 1989).

Um den Einfluß der Verunkrautung erfassen zu können, wurde Anfang Juni 1989 eine gesonderte Probenahmefläche innerhalb der Intensität I<sub>0</sub> in der Zuckerrübenkultur angelegt. Diese Fläche wurde unterteilt in eine natürlich verunkrautete und eine durch mechanische Unkrautbekämpfung (Jäten) unkrautfrei gehaltene von jeweils 5x10 m Größe. In der Variante mit natürlicher Verunkrautung war der Unkrautdeckungsgrad bis zum Oktober auf 50 % angestiegen. Proben wurden auf dieser Fläche an vier Terminen parallel zur Probenahme auf den einzelnen Schlägen gezogen. Auf der Sonderfläche wurden pro Variante und Termin nur insgesamt 32 Einzelproben genommen, die sich auf acht Wiederholungen verteilten.

Als Leitparameter für die allgemeine mikrobielle Aktivität wurde die Dehydrogenaseaktivität (DHA, TTC-Reduktion) nach THALMANN (1968), modifiziert von MALKOMES (1991), spektralphotometrisch gemessen. Die Extraktion des nach 24-stündiger Inkubation gebildeten roten Triphenylformazans (TPF) erfolgte mit Aceton. Die Kurzzeitatmung (KZA, CO<sub>2</sub>-Bildung im CO<sub>2</sub>-freien Gasstrom nach Zugabe von 1g Glucose/100g Boden) wurde als Biomasse-Indikator nach MALKOMES (1986, 1987) mittels Ultrarotgasanalysator gemessen. Bei allen Kulturen wurden die Meßwerte bis zu 6 h CO<sub>2</sub>-Bildung und bei den Zuckerrüben zusätzlich

bis zu 12 h CO<sub>2</sub>-Bildung ermittelt. Hierzu wurde 1987 ein anderes Meßgerät (URAS 2 T; Firma Hartmann & Braun, Frankfurt/M.) als 1988 und 1989 (UNOR, Firma Maihak, Hamburg) eingesetzt. Für die Bestimmung der Kurzzeitatmung wurden zu trockene Proben auf die vorgeschriebene Feuchte von 60 % der maximalen Wasserkapazität eingestellt. Als Enzyme, die sich dem Schwefel- und Phosphorkreislauf zuordnen lassen, wurden die Arylsulfatase und die alkalische Phosphatase anhand der Spaltung von Nitrophenolsubstraten kolorimetrisch erfaßt (TABATABAI 1982).

Als Indikator für die allgemeine heterotrophe Aktivität wurde die Fluoresceindiacydathydrolyse anhand einer von MALKOMES (1989) modifizierten Methode nach SCHNÜRER & ROSSWALL (1982) gemessen. Eine enzymatische Fluoresceinabspaltung erfolgt hierbei vor allem durch Esterasen (Proteasen, Lipasen). Bei den Messungen der unterschiedlichen Enzymaktivitäten wurden Doppel-, bei den Messungen der Aktivitäten der Kurzzeitatmung Einfachbestimmungen durchgeführt.

Der Strohabbau, der einen Hinweis auf den Abbau pflanzlichen Materials gibt (MALKOMES 1980), wurde nur in den Intensitäten I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> innerhalb der Anbauperioden 1987/88 und 1988/89 in der Wintergerste erfaßt. Dabei wurden direkt nach der Aussaat der Wintergerste pro Intensität 1987 jeweils 50 und 1988 jeweils 47 mit Stroh gefüllte Gazebeutel 5 cm tief waagrecht in den Boden eingegraben und kurz vor der Ernte wieder entnommen. Als Ausgangsgewicht wurden 2 g Stroh (Trockengewicht) pro Gazebeutel verwendet.

Die statistische Verrechnung der Ergebnisse erfolgte unter Verwendung der multifaktoriellen Varianzanalyse und eines Rangfolgetests nach SCHEFFÉ mit einem Signifikanzniveau von  $\alpha \leq 0.05$ .

### 3 Ergebnisse

Unterschiedliche Betrachtungsweisen der Ergebnisse können zu Aussagen mit verändertem Informationsgehalt führen. Deshalb wurden sowohl die Aktivitätsverläufe der einzelnen Kulturen über einen Zeitraum von drei Jahren (unabhängig vom Schlag) als

auch der Aktivitätsverlauf einer Fruchtfolge über drei Jahre (auf dem gleichen Schlag) dargestellt. Bei den untersuchten mikrobiellen Parametern wurden außerdem Mittelwerte ausgewählter Betrachtungszeiträume gebildet.

### 3.1 Aktivitätsverläufe in den Kulturen von Zuckerrübe, Wintergerste und Winterweizen

Eine Betrachtung der Aktivitätsverläufe über die einzelnen Probenahmeterminale kann direktere Hinweise auf Veränderungen der Bodenmikroflora im Zusammenhang mit Pflanzenbewuchs, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmitteleinsatz und anderen Faktoren liefern als eine Betrachtung der Aktivitätsmittelwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum.

#### 3.1.1 Zuckerrüben

##### Dehydrogenaseaktivität:

In den Jahren 1987 bis 1988 unterschieden sich die beiden untersuchten Bodenschichten in ihrer mikrobiellen Aktivität: In der obersten Bodenschicht (0-5 cm) wurde während der Vegetationsperiode 1987 eine höhere Dehydrogenaseaktivität als in der nächst tieferen Bodenschicht (5-10 cm) festgestellt. 1988 waren in den Zuckerrüben vor der Bodenbearbeitung, der Aussaat und der Ernte die Aktivitäten ebenfalls in den oberen fünf Zentimetern des Bodens deutlich erhöht. Im Gegensatz zu den (zumindest teilweise) feuchteren Jahren 1987 und 1988 zeigten sich 1989 kaum Unterschiede in der Höhe der Dehydrogenaseaktivität zwischen beiden Bodenschichten. In der oberen Schicht folgte der Aussaat mit begleitender Bodenbearbeitung 1988 und 1989 ein Absinken der Aktivität. Im Verlauf der Vegetationsperiode war jedoch in beiden Jahren wieder ein Anstieg zu erkennen. Für das Jahr 1987 liegen keine Angaben zur Auswirkung der Saatbettbereitung vor, da die Probenahme erst nach Aussaat der Zuckerrüben erfolgte.

In Zuckerrüben lag das Aktivitätsniveau der Dehydrogenase in der obersten Bodenschicht während der Vegetationsperiode

1988 teilweise höher und 1989 niedriger als 1987. In der unteren Bodenschicht blieb in allen drei Untersuchungsjahren ein annähernd gleiches Aktivitätsniveau erhalten.

Ebenso wie Bodentiefe und Bodenbearbeitung beeinflusste auch die Höhe der einzelnen Intensitätsstufen die Dehydrogenaseaktivität: In  $I_0$  wurden in allen Jahren meist höhere Aktivitäten als in  $I_1$ - $I_3$  gemessen. Dies zeigte sich besonders in der Vegetationsperiode 1988, in der die Dehydrogenasewerte in  $I_0$  in 0-5 cm Tiefe ab Juni signifikant höher lagen als in den Intensitäten  $I_1$ - $I_3$ . Die höchste Intensität ( $I_3$ ) wies 1988 eine Tendenz zu höheren und 1989 zeitweise zu niedrigeren Werten auf (Abb. 5).

Als wichtiger Einflußfaktor der mikrobiellen Aktivität wurde 1989 zusätzlich der Unkrautbewuchs der Versuchsfläche erfaßt. In der Sonderfläche mit Kontrollvariante und Variante mit mechanischer Unkrautbekämpfung wurden ab dem zweiten Probenahmetermin in 0-5 cm Tiefe signifikant höhere Dehydrogenasewerte als in der unkrautfreien Variante gemessen (Abb. 1). Dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht in der schwächer durchwurzelten unteren Bodenschicht (5-10 cm Tiefe). Vergleicht man die Dehydrogenaseaktivität dieser beiden Zusatzvarianten in  $I_0$  mit den Aktivitäten in  $I_1$ - $I_3$ , so fällt auf, daß die Dehydrogenaseaktivität in der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante von  $I_0$  an allen Probenahmeterminen höher lag als in den Intensitäten  $I_1$ - $I_3$ .

#### Aktivität der Kurzzeitatmung:

Auch das Aktivitätsniveau der Kurzzeitatmung (6 h- und 12 h-Werte) zeigte in der Vegetationsperiode aller Jahre in der obersten Bodenschicht meist geringfügig höhere Werte als in der darauffolgenden. Im Vergleich der Jahre lag die Aktivität (6 h-Werte) 1987 höher als 1988 und 1989.

Im Unterschied der Bewirtschaftungsintensitäten wurden bei den 6 h-Werten geringe und bei den 12 h-Werten nur 1988 größere Differenzen in der Aktivitätshöhe ermittelt: Vom Zeitpunkt der letzten Pflanzenschutzmittelapplikationen im Juni bis zur Ernte

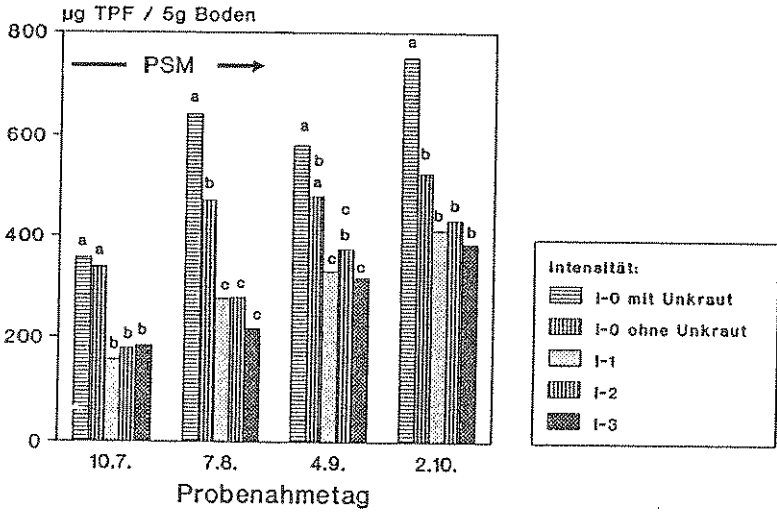


Abb. 1: Einfluß von Verunkrautung, mechanischer Unkrautbekämpfung und Pflanzenschutzmittelintensitäten auf die Dehydrogenaseaktivität - Zuckerrüben, oberste Bodenschicht, Schlag II, 1989 (a, b, c =  $\alpha \leq 0.05$ )

Ende Oktober wurden in der oberen Bodenschicht der Intensität  $I_0$  die höchsten Atmungswerte gefunden (Abb. 2).

In der oberen Bodenschicht der unbehandelten Kontrollparzelle der Sonderfläche (innerhalb  $I_0$ ) wurden - ebenso wie bei der Dehydrogenaseaktivität - auch bei der Kurzzeitatmung (12 h-Werte) signifikant höhere Werte als in der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante gemessen.

Aktivität der Arylsulfatase, alkalischen Phosphatase und Fluoresceindiacetathydrolyse:

In den Jahren 1987 bis 1989 blieb die Aktivität der Arylsulfatase in beiden Bodenschichten meist auf einem annähernd gleichen Niveau. Nach der Aussaat der Zuckerrüben sanken die Werte 1987 und 1989 ab, stiegen aber 1989 ab Oktober wieder deutlich an. Das gleiche Phänomen zeigte sich im selben Jahr auch bei der Dehydrogenaseaktivität und der Kurzzeitatmung.

Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen waren bei der Aktivität der Arylsulfatase kaum zu erkennen. Nur 1988 wurden in  $I_0$  in der obersten Bodenschicht an einigen Probenahmestellen höhere Werte als in  $I_1$ - $I_3$  gemessen.

Auch die Aktivität der alkalischen Phosphatase blieb in der Vegetationsperiode aller untersuchten Jahre und auch in beiden Bodenschichten auf einem annähernd gleichen Niveau. 1987 wurden in  $I_0$  in der obersten Schicht von Juni bis August höhere Werte als in den anderen Intensitäten gefunden. 1989 wurden in  $I_3$  meist niedrigere Werte als in den anderen Intensitäten festgestellt.

Bei der Fluoresceindiacetathydrolyse, die nur 1987 in den Zuckerrüben durchgeführt wurde, war weder ein eindeutig konstanter Einfluß der Intensitätsstufen noch eine Abhängigkeit von den Probenahmezeitpunkten erkennbar.

### 3.1.2 Wintergerste

#### Dehydrogenaseaktivität:

In der Wintergerste wurden 1987 bis 1989 - ebenso wie in den Zuckerrüben - in der oberen Bodenschicht meist geringfügig höhere Dehydrogenasewerte als in der nächst tieferen Schicht ermittelt. Im Jahr 1987 blieb in beiden Bodenschichten von Mai bis zur Ernte im Juli ein annähernd gleiches Niveau der Dehydrogenaseaktivität erhalten. In den Jahren 1987 und 1988, nicht jedoch im trockeneren Jahr 1989, zeigte sich nach Ernte und anschließender Bodenbearbeitung (besonders in der oberen Bodenschicht) eine Absenkung der Aktivität (Abb. 3 u. 5). Die Ein-saat von Ackersenf (1987, 1988) bzw. Ackerbohne (1989) und der Aufwuchs von Ausfallgerste führten im Zusammenhang mit einer Grunddüngung und der Einarbeitung mineralisierbarer Ernterückstände zu einer, besonders 1989 stark ausgeprägten Aktivitätssteigerung (Abb. 3). Bis zur Ernte der Wintergerste wies die Intensitätsstufe  $I_0$  in der oberen Bodenschicht meist die signifikant höchste Dehydrogenaseaktivität auf (Abb. 3). In der unteren Bodenschicht lagen die Werte in  $I_0$  nur teilweise höher als in  $I_1$ - $I_3$ . Im Jahre 1989 wurden ab August unter der Zwi-





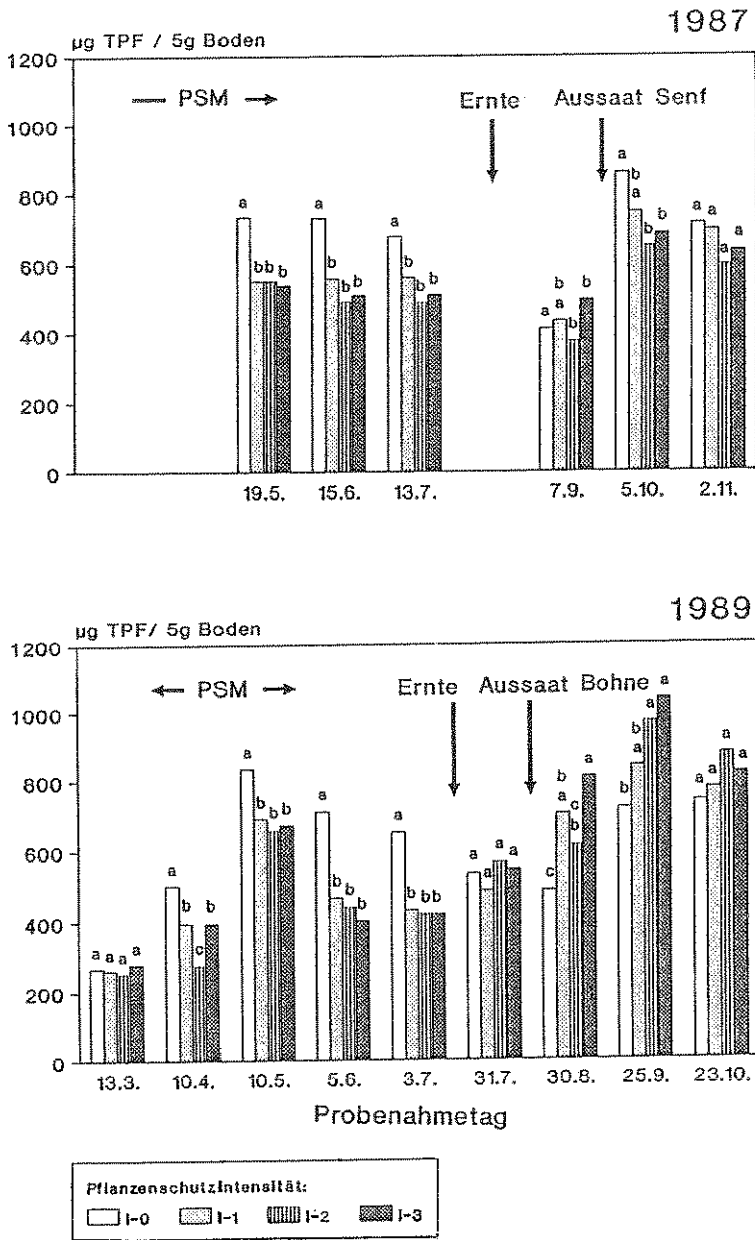


Abb. 3: Einfluß von Pflanzenschutzmittelintensitäten auf die Dehydrogenaseaktivität in Wintergerste (oberste Bodenschicht) - a: Schlag III, 1987; b: Schlag I, 1989

schenfrucht Ackerbohne (im Gegensatz zu Ackersenf in den Jahren 1987 und 1988) in  $I_0$  niedrigere Werte als in den anderen drei Intensitäten gemessen. Dies galt für beide Bodenschichten.

Nach der Aussaat der Wintergerste (September 1987) und Vorauf-  
laufapplikation des Herbizids Stomp (Wirkstoff Pendimethalin)  
in  $I_3$  zeigte sich im Herbst eine Abstufung der Dehydrogenase-  
werte ( $I_0 > I_1 > I_2, I_3$ ) (Abb. 3). Diese Tendenz blieb auch  
während der gesamten nachfolgenden Vegetationsperiode im Jahre  
1988 erhalten (Abb. 5), war jedoch in der Wintergerste, die  
1989 auf einem anderen Schlag angebaut wurde, nicht nachzu-  
weisen.

#### Aktivität der Kurzzeitatmung:

Die Aktivität der Kurzzeitatmung lag in der oberen Bodenschicht  
geringfügig höher als in der unteren. Das Niveau der Kurz-  
zeitatmungsaktivität lag 1987 höher als in den trockeneren  
Jahren 1988 und 1989. Auf den Schlägen mit Wintergerste wurden  
in den Intensitäten keine deutlichen Unterschiede in der  
Aktivität festgestellt.

#### Aktivität der Arylsulfatase, alkalischen Phosphatase, Fluores- ceindiacetathydrolyse und des Strohabbaus:

Die Arylsulfataseaktivität zeigte auf den Schlägen mit Win-  
tergerste keine Unterschiede zwischen den beiden Boden-  
schichten. Das Niveau dieser Aktivität lag 1988 niedriger als  
in den anderen Jahren. Der Ernte der Wintergerste folgte 1987  
und 1988 ein Absinken der Arylsulfataseaktivität. Nach der  
Ernte 1989 stieg sie - ebenso wie die der Dehydrogenase -  
deutlich an. 1988 lagen die Werte der Arylsulfatase von  $I_1$   
immer über denen von  $I_3$ . Im Gegensatz dazu zeigte sich im trok-  
keneren Jahr 1989 in beiden Bodentiefen eine Tendenz zu höheren  
Werten in  $I_3$ .

Auch bei der alkalischen Phosphatase waren in beiden Boden-  
schichten keine Unterschiede der Aktivitätsniveaus zu erkennen.  
Auch zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren traten bei die-  
ser Aktivität keine Unterschiede auf. Ein Vergleich der Akti-  
vitäten der alkalischen Phosphatase in den Intensitäten zeigte,

daß 1987 in  $I_3$  teilweise höhere Aktivitätswerte als in den anderen Intensitäten gefunden wurden. 1988 lagen die Werte in  $I_1$  - ähnlich wie bei der Arylsulfatase - immer höher als in  $I_3$  (mit Ausnahme eines Probenahmetermins). Bezogen auf die Intensitäten  $I_1$ - $I_3$  wurden 1989 in  $I_2$  niedrigere Werte gemessen.

Bei der Fluoresceindiacetathydrolyse konnte 1987 bis zum Oktober ein leichter Aktivitätsanstieg beobachtet werden, während in den trockeneren Jahren 1988 und 1989 das Niveau dieser Aktivität auf den Schlägen mit Wintergerste gleich blieb. Auch innerhalb der Intensitäten wurden keine Unterschiede gefunden.

Die 1987/88 und 1988/89 in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  durchgeführten Untersuchungen zum Strohabbau zeigten in Wintergerste keine signifikanten Unterschiede zwischen den Intensitäten.

### 3.1.3 Winterweizen

#### Dehydrogenaseaktivität:

1987 und 1988 wies die Dehydrogenaseaktivität in der oberen Bodenschicht höhere Werte als in der unteren auf (Abb. 4). Im Vergleich der Jahre war in der unteren Bodenschicht die Aktivität in den trockeneren Jahren 1988 und 1989 etwas niedriger als 1987.

Besonders in der oberen Bodenschicht folgten nach der Ernte mit anschließender Grunddüngung und Aussaat der Folgefrucht Wintergerste in allen Jahren Absenkungen der Dehydrogenaseaktivität.

In der Intensitätsstufe  $I_3$  wurden 1987 niedrigere Werte gefunden (Abb. 5). Dies wiederholte sich in den beiden folgenden Jahren jedoch nicht. In der Intensität  $I_0$  zeigten sich 1988 und 1989 (Abb. 4), besonders in der oberen Bodenschicht, meist signifikant höhere Aktivitäten als in  $I_1$  bis  $I_3$ . Im relativ trockenen Jahr 1989 wurden in  $I_0$  in beiden Tiefen und an allen Probenahmeterminen bis zur Ernte deutlich höhere Werte als in den übrigen Intensitäten gemessen (Abb. 4). Obwohl 1989 der Unkrautbesatz in  $I_0$  sehr gering war, traten im Winterweizen, der Kultur mit dem intensivsten Pflanzenschutz, die

größten, überhaupt gefundenen Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_1$ - $I_3$  auf.

Aktivität der Kurzzeitatmung:

In der oberen Bodenschicht wurden meist leicht erhöhte Werte der Kurzzeitatmung im Gegensatz zur unteren Bodenschicht gefunden. 1987 lag das Aktivitätsniveau höher als 1988 und 1989. Es wurden keine intensitätsabhängigen Einflüsse der Kurzzeitatmung im Winterweizen festgestellt.

Aktivität der Arylsulfatase, alkalischen Phosphatase und Fluoresceindiacetathydrolyse:

Bei der Arylsulfataseaktivität traten zwischen den Bodentiefen und Untersuchungsjahren meist keine Unterschiede auf. Die höchsten Werte der Arylsulfatase wurden 1989 am ersten Probenahmetermin im Februar und nach der Ernte gemessen, während in den anderen Jahren gleichbleibende Werte über den gesamten Probenahmezeitraum hinweg existierten. Zwischen den verschiedenen Intensitätsstufen traten bei der Arylsulfatase keine deutlichen Unterschiede auf.

Die Aktivitäten der alkalischen Phosphatase unterschieden sich weder zwischen den Untersuchungsjahren noch zwischen den Bodentiefen. Ebenso wie die Aktivität der Arylsulfatase stieg auch die Aktivität der alkalischen Phosphatase 1989 nach der Ernte deutlich an, wobei die insgesamt höchsten Werte aller Schläge und Untersuchungsjahre gemessen wurden. 1987 waren die Werte in  $I_3$  erniedrigt und 1988 in  $I_1$ - $I_3$  erhöht.

Bei der Fluoresceindiacetathydrolyse ergaben sich 1987 in beiden Bodentiefen nach der Ernte niedrigere Werte als am letzten Probenahmetermin vor der Ernte. Zwischen den Intensitätsstufen wurden keine Unterschiede gefunden.

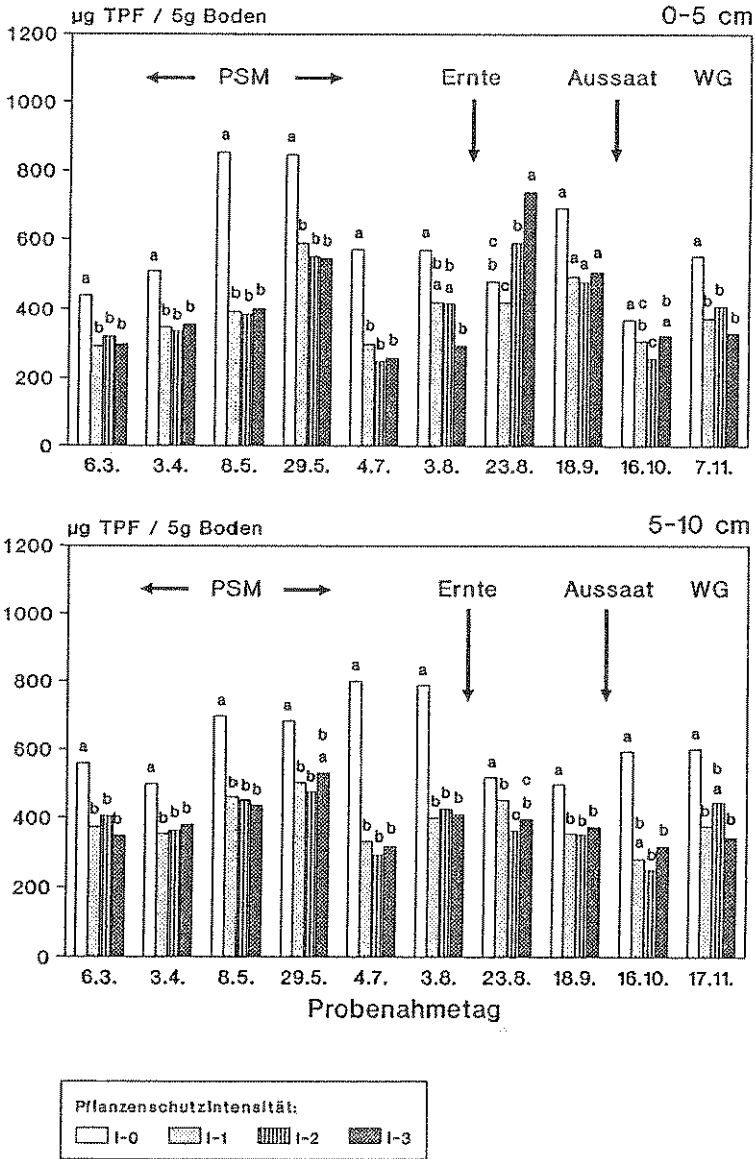


Abb. 4: Einfluß von Pflanzenschutzmittelintensitäten auf die Dehydrogenaseaktivität in Winterweizen (Schlag III, 1989) - a: oberste Bodenschicht; b: zweite Bodenschicht (5-10 cm)

### 3.2 Verlauf der Dehydrogenaseaktivität in einer Fruchtfolge auf Schlag II

Um langfristige Einflüsse früherer Pflanzenschutzmittelbehandlungen auf die mikrobielle Aktivität beurteilen zu können, muß eine kontinuierliche Betrachtung aller Fruchtfolgeglieder auf dem gleichen Schlag über den gesamten Zeitraum von drei Jahren erfolgen.

In Abb. 5 ist die Dehydrogenaseaktivität in der oberen Bodenschicht aller Fruchtfolgeglieder des Schlages II von 1987 bis 1989 dargestellt. Während der Vegetationsperiode des Winterweizens (1987) zeigte sich eine Abstufung der Aktivitätswerte von  $I_0$  nach  $I_3$ , die jedoch nicht immer kontinuierlich war ( $I_2$  teilweise höhere Werte als  $I_1$ ).  $I_0$  wies auch noch nach der Weizenernte signifikant höhere Dehydrogenasewerte als in  $I_1$ - $I_3$  auf. Mit der anschließenden Aussaat der Wintergerste Ende September 1987 war eine Voraufapplikation des Herbizids Stomp (Wirkstoff: Pendimethalin) in  $I_3$  verbunden. Am darauffolgenden Probenahmetermin im Oktober war in  $I_3$  im Gegensatz zu allen anderen Intensitäten eine signifikant niedrigere Dehydrogenaseaktivität festzustellen. Es wurde folgende Aktivitätsabstufung vorgefunden:  $I_0 > I_1 > I_2, I_3$ . Diese Abstufung blieb auch Anfang 1988 erhalten, allerdings auf insgesamt höherem Aktivitätsniveau. Ende 1988, in der Zwischenfrucht Ackersenf, deutete sich diese Aktivitätsabstufung nur noch zeitweilig an. Anfang 1989 zeigte sich unter dem inzwischen abgestorbenen Ackersenf - bei insgesamt niedrigerem Aktivitätsniveau der Dehydrogenase - wieder eine Abstufung der Aktivität.  $I_0$ , die auch am stärksten verunkrautet war, wies dabei signifikant höhere Werte als  $I_3$  auf. Ein Vergleich der Dehydrogenaseaktivitäten der letzten Probenahmetermine des einen Jahres (1987 bzw. 1988) mit den ersten Probenahmeterminen des folgenden Jahres (1988 bzw. 1989) zeigte zwischen den Intensitäten mit den niedrigsten Aktivitäten ( $I_2, I_3$ ) keine Unterschiede. 1989 traten unter Zuckerrüben in  $I_0$  stets die höchsten Dehydrogenaseaktivitäten auf, während in  $I_3$  die Aktivität erst ab Anfang August (keine Pflanzenschutzmittelapplikationen mehr) deutlich absank.

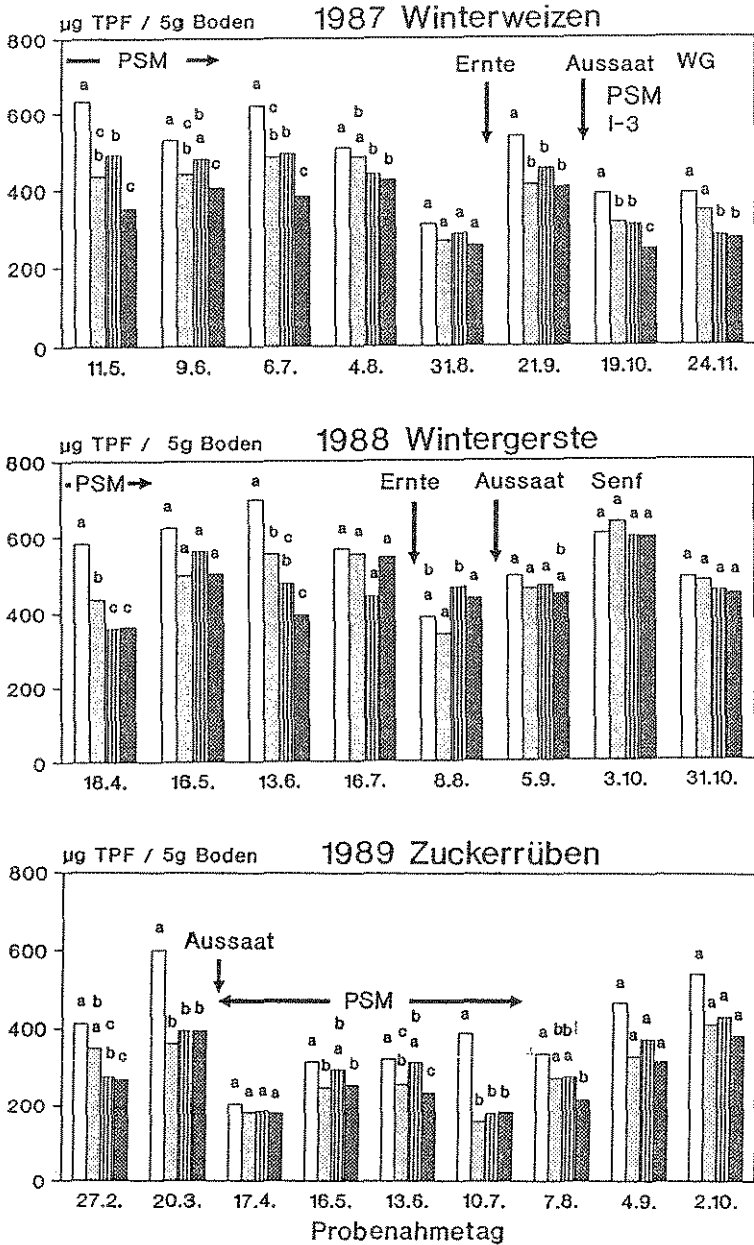


Abb. 5: Einfluß von Pflanzenschutzmittelintensitäten auf die Dehydrogenaseaktivität (Schlag II, oberste Bodenschicht) - a: 1987; b: 1988; c: 1989

### 3.3 Mikrobielle Aktivitäten (Mittelwerte) in den Fruchtfolgegliedern aller drei Schläge

Eine Betrachtung der Aktivitätsmittelwerte der einzelnen mikrobiellen Parameter über den Zeitraum der Applikationen der Pflanzenschutzmittel (April bis Juli) - einschließlich des unmittelbar folgenden Probenahmetermins (August) - in den Hauptfruchtarten sollte einen möglicherweise direkten Einfluß der Pflanzenschutzmittelapplikationen auf die mikrobiellen Aktivitäten aufdecken können.

Da hierbei auch die von der Gesamttendenz abweichenden Werte einzelner Probenahmetermine aufsummiert werden, können Tendenzen, die bei der Betrachtung der Aktivitätsverläufe sichtbar wurden, in dieser Darstellungsform wieder aufgehoben werden. In Tabelle 1 sind die Aktivitätsmittelwerte der verschiedenen mikrobiellen Parameter, getrennt nach Bodentiefen, für die vier Intensitäten von Schlag II dargestellt. Die Mittelwerte wurden in der Regel aus fünf Probenahmeterminen (April bis August) gebildet (Ausnahme: Wintergerste, vier Termine). Der Tabelle 2 sind die Aktivitätsmittelwerte ausgewählter mikrobieller Parameter (Dehydrogenase, Kurzzeitatmung, Arylsulfatase) in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  zu entnehmen, ebenfalls nach Bodentiefen getrennt. Dargestellt sind alle Schläge bzw. Kulturen in allen Untersuchungsjahren. Hier waren die Mittelwerte ebenfalls aus den fünf Probenahmeterminen (April bis August) gebildet worden. Beim Wintergetreide reichte der Zeitraum, aus dem die Mittelwerte gebildet wurden, bis zum Erntetermin. Erntebedingte Einflüsse auf die mikrobiellen Parameter wurden bei der Berechnung der Aktivitätsmittelwerte nicht berücksichtigt. Sie können sich aber durch einen intensitätsbedingt unterschiedlich starken Eintrag mineralisierbarer Pflanzenrückstände bemerkbar machen.

#### 3.3.1 Dehydrogenaseaktivität

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes traten auf allen Schlägen in der oberen Bodenschicht meist deutlich höhere Mittelwerte der Dehydrogenaseaktivität als in der unteren Boden-



Tab. 1: Mittelwerte mikrobieller Aktivitäten in den Intensitätsstufen im Untersuchungszeitraum April bis August - Schlag II, 1987-1989

Aktivität	Tiefe (cm)	Intensität	1987			1988			1989		
			I ZR	II WW	III WG	I WW	II WG	III ZR	I WG	II ZR	III WW
DHA	0-5	I <sub>0</sub>	413	519	714	449	576	526	644	313	670
	0-5	I <sub>3</sub>	339	363	520	314	448	392	571	215	371
	5-10	I <sub>0</sub>	344	417	582	391	481	437	445	250	693
	5-10	I <sub>3</sub>	302	317	466	353	334	363	456	212	415
KZA	0-5	I <sub>0</sub>	14.5	13.3	20.1	6.7	8.7	9.7	9.8	5.9	8.3
	0-5	I <sub>3</sub>	11.7	13.3	20.6	6.5	8.5	7.5	9.4	5.1	9.5
	5-10	I <sub>0</sub>	10.4	10.8	14.5	6.0	6.6	8.2	5.6	4.7	8.6
	5-10	I <sub>3</sub>	9.2	10.4	13.4	5.3	5.1	7.2	6.1	4.1	6.5
SULF	0-5	I <sub>0</sub>	15	17	23	10	9	10	17	10	17
	0-5	I <sub>3</sub>	17	17	23	10	9	10	17	9	16
	5-10	I <sub>0</sub>	16	16	22	10	9	10	15	10	19
	5-10	I <sub>3</sub>	18	16	26	10	9	11	17	11	17

DHA = Dehydrogenaseaktivität; KZA = Kurzzeitatmungsaktivität; SULF = Sulfataseaktivität

Tab. 2: Mittelwerte ausgewählter mikrobieller Aktivitäten in den Intensitätsstufen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> von April bis August - Schläge I-III, 1987-1989

Aktivität	Tiefe (cm)	Anzahl Termine	1987 (Winterweizen)				Anzahl Termine	1988 (Wintergerste)				Anzahl Termine	1989 (Zuckerrüben)			
			I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
DHA	0-5	5	519	421	436	363	4	576	510	459	448	5	313	224	250	215
	5-10	5	417	385	361	317	4	481	396	357	334	5	249	244	258	212
KZA	0-5	5	13.3	16.4	15.8	13.3	4	8.7	9.9	8.6	8.5	5	5.9	5.3	5.5	5.1
	5-10	2	10.8	12.9	12.7	10.4	4	6.6	6.2	5.6	5.1	5	4.7	4.5	4.3	4.1
SULF	0-5	5	17	19	19	17	4	9	10	9	9	5	10	10	10	9
	5-10	5	16	18	18	16	4	9	10	9	9	5	10	11	11	11
PHOS	0-5	5	55	59	60	50	4	50	55	51	47	5	44	48	48	42
	5-10	5	55	63	59	52	4	49	55	50	49	5	47	55	51	49
FDA	0-5	5	39	39	40	40	4	48	43	43	45					
	5-10	5	34	34	34	35	4	43	44	46	48					

DHA = Dehydrogenaseaktivität (µg TPF/5 g Boden); KZA = Kurzzeitatmungsaktivität (ml CO<sub>2</sub>/6 h/100 g Boden); SULF = Sulfataseaktivität (µg Nitrophenol/1 g Boden); PHOS = Phosphataseaktivität (µg Nitrophenol/1 g Boden); FDA = Fluoresceindiacetathydrolyse (µg Fluorescein/1.5 g Boden);

schicht auf. Ausnahmen bildeten die Kulturen Winterweizen und Zuckerrüben im Jahre 1989. Unabhängig von der Kulturart und dem Untersuchungsjahr zeigte der Leitparameter "Dehydrogenaseaktivität" die Einflüsse der Pflanzenschutzmittelapplikationen am deutlichsten.

Ein Vergleich zwischen den Intensitätsstufen zeigte, daß in  $I_0$  (alle Schläge, Kulturen und Bodentiefen) in jedem Fall die höchsten Mittelwerte gefunden wurden. Die Unterschiede der Dehydrogenaseaktivität zwischen  $I_0$  und  $I_1$ - $I_3$  traten besonders deutlich im trockeneren Jahr 1989 hervor.

1987 wurde in Schlag I unter Zuckerrüben von  $I_0$ - $I_2$  eine Abstufung der Aktivitätsmittelwerte mit höchsten Werten in  $I_0$  und niedrigsten in  $I_2$  ermittelt.  $I_3$  wies im gleichen Jahr höhere Mittelwerte als  $I_2$  auf. In den Jahren 1988 und 1989 (Tab. 1) waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Intensitäten gering.

In Wintergerste wurden in allen Untersuchungsjahren, und zwar besonders im Zeitraum von April bis August, die höchsten Dehydrogenasewerte aller drei Kulturen gemessen. In Zuckerrüben fanden sich dagegen die niedrigsten Werte.

Inbesondere bei der Dehydrogenaseaktivität der Wintergerste war von April bis August ein größerer Unterschied zwischen  $I_0$  und  $I_1$ - $I_3$  als in Zuckerrüben und in Winterweizen festzustellen. In Wintergerste konnten 1987 über den gesamten Untersuchungszeitraum Abstufungen der Dehydrogenasemittelwerte mit höchsten Werten in  $I_0$  ermittelt werden. Von April bis August waren die Mittelwerte in  $I_3$  höher als in  $I_2$ . Eine deutliche Abstufung der Aktivität ( $I_0 > I_1 > I_2 > I_3$ ) zeigte sich 1988 in Wintergerste (Tab. 1). 1989 trat von Mai bis August die gleiche Abstufung der Aktivität auf, in  $I_3$  wurden jedoch im Mittel höhere Werte als in  $I_1$  und  $I_2$  erreicht.

Auch in Winterweizen zeigte sich 1987 - wie bei Wintergerste - eine Abstufung der Mittelwerte der Dehydrogenaseaktivität in der gleichen Rangfolge (Tab. 1). In den beiden folgenden Jahren war keine Abstufung mehr zu erkennen. Und auch in den Intensitäten  $I_1$ - $I_3$  waren die Unterschiede sehr gering. 1989

wies  $I_0$ , insbesondere in Winterweizen, deutlich höhere Dehydrogenasewerte als  $I_1$ - $I_3$  auf (Tab. 2).

### 3.3.2 Aktivität der Kurzzeitatmung

Bei der Kurzzeitatmung lagen die Mittelwerte in allen Kulturen in der oberen Bodenschicht geringfügig höher als in der unteren (Tab. 1 u. 2). Außerdem wurden 1987 in allen Kulturen höhere Mittelwerte als in den trockeneren Jahren 1988 und 1989 gefunden. Bezogen auf das Jahr 1987, kamen in Wintergerste höhere Mittelwerte als in den beiden anderen Kulturen vor (Tab. 2).

Zwischen den verschiedenen Intensitäten wurden keine deutlichen Unterschiede festgestellt. In  $I_0$  waren 1987 und 1988 in der oberen Bodenschicht in Zuckerrüben und 1989 in der unteren Bodenschicht in Winterweizen die Aktivitätswerte der Kurzzeitatmung gegenüber den anderen Intensitäten erhöht.

### 3.3.3 Aktivität der Arylsulfatase

Die Aktivität der Arylsulfatase war 1988, unabhängig von den Kulturen, deutlich erniedrigt gegenüber den anderen beiden Untersuchungsjahren. Unterschiede in der Aktivität wurden in diesem Jahr nicht gefunden (Tab. 1 u. 2).

In Wintergetreide lag die Aktivität der Arylsulfatase insgesamt höher als in Zuckerrüben. Dies war besonders ausgeprägt im Jahr 1989 der Fall.

Im Zeitraum April bis August, aus dem die Meßwerte stammen, waren die Aktivitäten im Jahre 1989 bei Zuckerrüben in der oberen Bodenschicht geringer als im gesamten Probenahmezeitraum desselben Jahres. In Wintergerste lagen die Aktivitäten im Zeitraum April bis August des Jahres 1987 höher und 1989 niedriger als im gesamten Probenahmezeitraum. In Winterweizen wurden in keinem Jahr Unterschiede der Aktivitäten zwischen April und August einerseits und dem gesamten Probenahmezeitraum andererseits gefunden.

Nur in der Intensität  $I_3$ , und hier besonders 1987, zeigten sich Unterschiede in der Arylsulfataseaktivität zu den anderen In-

tensitäten (Tab. 1 u. 2). Im gleichen Jahr wurden auch in I<sub>3</sub> der Zuckerrübenkultur die höchsten Aktivitätswerte der Arylsulfatase gemessen. In Wintergerste wurden 1987, ebenfalls in I<sub>3</sub>, in der unteren Bodenschicht und 1989 in der oberen Bodenschicht höhere Werte als in den übrigen Intensitäten festgestellt (Tab. 2). In Winterweizen fanden sich dagegen in I<sub>3</sub> niedrigere Aktivitäten als in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> (1987) (Tab. 1) und als in I<sub>1</sub> (1988).

### 3.3.4 Aktivität der alkalischen Phosphatase

Bei der alkalischen Phosphatase zeigten sich weder zwischen den angebauten Kulturen noch zwischen den einzelnen untersuchten Jahren deutliche Unterschiede in der Höhe der Mittelwerte (Tab. 1).

Zwischen beiden Bodentiefen wurden in Zuckerrüben Unterschiede der Aktivität gefunden: In der unteren Bodenschicht lagen die Mittelwerte höher als in der oberen Bodenschicht.

1987 fanden sich in Zuckerrüben, insbesondere in der oberen Bodenschicht, in I<sub>3</sub> niedrigere Werte als in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub>.

### 3.3.5 Aktivität der Fluoresceindiacetathydrolyse

Nachdem die Analysen der Fluoresceindiacetathydrolyse 1987 auf allen Schlägen und in allen Intensitäten keine deutlichen Unterschiede erbrachten, wurde sie 1988 und 1989 nur noch auf den Schlägen mit Wintergerste gemessen.

Die Aktivität der Fluoresceindiacetathydrolyse ergab in Zuckerrüben (1987) niedrigere Werte als in Wintergerste (1989), und auch in Winterweizen (1987) fanden sich niedrigere Werte als in Wintergerste (1988).

In den Jahren 1988 und 1989 waren die Aktivitäten in Wintergerste annähernd gleich hoch und sie lagen über der Aktivität des Jahres 1987.

Die Mittelwerte des Zeitraumes April bis August waren in den beiden Jahren 1987 und 1988 in der oberen Bodenschicht Win-

tergerste gegenüber dem gesamten Untersuchungszeitraum erniedrigt.

Zwischen den verschiedenen Intensitäten wurden bei der Aktivität der Fluoresceindiacydathydrolyse in keiner Kultur und in keinem Jahr Unterschiede erkannt.

#### 4 Diskussion

Eine Interpretation der Ergebnisse wird erschwert durch die Komplexität und Heterogenität der Mikrobiözönose im Ackerboden. Im Feldversuch wurden direkte Auswirkungen von Standortfaktoren, pflanzenbaulichen Maßnahmen und Pflanzenbewuchs teilweise von indirekten Einflüssen überlagert. Die zeitlich kontinuierliche Probenahme in Intervallen von vier Wochen ermöglichte kein Erfassen der Wirkungen einzelner Pflanzenschutzmittelapplikationen, da hierfür die Probenahme in unmittelbarem Zusammenhang zu den einzelnen Applikationen hätte erfolgen müssen. Ein Vergleich des Einflusses der Kulturarten in den einzelnen Jahren wurde hauptsächlich durch die, sowohl im Untersuchungszeitraum eines Jahres, wie auch zwischen den Jahren variierende Pflanzenbedeckung (Zahl und Sorten der Kulturpflanzen, Unkrautbewuchs), die verschiedenen Klimabedingungen sowie die unterschiedlichen Probenahmetermine erschwert. Außerdem wurde infolge Praxisbezug der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht immer in konsequent abgestufter Weise von  $I_1$ - $I_3$  durchgeführt. Bei Untersuchungen von Bewirtschaftungssystemen im Freiland mit einem Einfluß von vielen verschiedenen Variablen können nicht in gleichem Maße wie im Labor Kausalitäten erforscht und Bewertungen vorgenommen werden.

Als Folge des von extensiv nach intensiv abgestuften Ackerbaus hätten ebenfalls infolge von Nebenwirkungen Abstufungen der mikrobiellen Aktivität möglich sein können. Der Leitparameter "Dehydrogenaseaktivität" zeigte jedoch in erster Linie Unterschiede zwischen der Intensität ohne chemischen Pflanzenschutz ( $I_0$ ) und den Intensitäten mit chemischem Pflanzenschutz ( $I_1$ - $I_3$ ). Zwischen  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  traten meistens keine signifikanten Unterschiede auf, obwohl zeitweilig eine deutliche

Abstufung der Aktivitätswerte im Wintergetreide, insbesondere in Wintergerste, beobachtet werden konnte. In  $I_3$  fanden sich bei der Dehydrogenase, Arylsulfatase und alkalischen Phosphatase teilweise niedrigere, aber auch höhere Aktivitäten als in den Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$ .

Über einen Rückgang mikrobieller Aktivitäten infolge Bodenbearbeitung wurde von verschiedenen Autoren berichtet (LYNCH & PANTING 1980; TROLLENIER 1986). In Ahlum wurden 1988 und 1989 nach Aussaat der Zuckerrüben mit vorangegangener intensiver Bodenbearbeitung in allen Intensitäten deutliche Absenkungen der Aktivität bei der Dehydrogenase und der Kurzzeitatmung beobachtet. 1989 war dies zusätzlich bei der Arylsulfatase und der alkalischen Phosphatase der Fall. Der Effekt der Bodenbearbeitung kann durch Trockenperioden noch verstärkt werden (GRIFFIN & LUARD 1979). Dies könnte für die Bodenbearbeitung im Frühjahr der beiden Jahre 1988 und 1989 zutreffen. Auf den Schlägen mit Wintergetreide fielen nach der Ernte Verminderungen der Aktivität im Zusammenhang mit Maßnahmen der Bodenbearbeitung und anschließenden Vorbereitungen der Aussaat auf.

Die Vegetation ist für die Bodenmikroorganismen ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Die Pflanzenbestände der untersuchten Schläge und Intensitäten unterschieden sich nicht nur hinsichtlich der Kulturpflanzenart und -sorte sowie der Saatkraft, sondern auch im Unkrautbewuchs. Der Pflanzenbesatz übt u. a. über die Wurzeln als Ausscheidungsort von Wurzelexsudaten und nach der Ernte als Bestandesabfall einen zumindest kurzfristigen Einfluß auf Art und Menge der mikrobiell verfügbaren organischen Substanz aus. Auswirkungen der Durchwurzelung des Bodens auf die Mikroflora wurden von ROVIRA (1965) als sogenannte Rhizosphäreneffekte beschrieben. Vegetationsbedingt erhöhte mikrobielle Aktivitäten wurden von RADANACHELESS (1986) und FRANK & MALKOMES (1990) angegeben. In diesem Zusammenhang sind auch die im Laufe der Vegetationsperioden beobachteten Aktivitätsanstiege zu sehen. In der Wintergerste wurden höhere Aktivitätswerte der Dehydrogenase und der Arylsulfatase als in Zuckerrübe erreicht. Auch BECK (1990) weist darauf hin, daß Unterschiede in den Fruchtarten einen Einfluß auf die mikro-

biellen Aktivitäten ausüben können. Er fand nach der Ernte im Getreide höhere Werte als bei Hackfrüchten. Die Auswirkungen der Fruchtarten über den Zeitraum der gesamten Vegetationsperiode hatte er jedoch nicht untersucht. Bemerkenswert ist, daß die Dehydrogenaseaktivität im Spätherbst in der Zwischenfrucht (Ackersenf bzw. Ackerbohne) zusammen mit der aufgelaufenen Ausfallgerste zu einer erheblichen Steigerung der Aktivität führte. Intensitätsbedingte Unterschiede in der Aktivität wurden jedoch auch durch den Leguminosenanbau nicht vollständig nivelliert.

In keinem Schlag konnte in den intensiveren Intensitätsstufen  $I_2$  und  $I_3$  über den gesamten Probenahmezeitraum ein kumulativer Hemmeffekt der mikrobiellen Aktivitäten eindeutig nachgewiesen werden. Die zu Beginn der Jahre 1988 und 1989 teilweise erniedrigten Dehydrogenaseaktivitäten in  $I_2$  und  $I_3$  können nicht als ein Langzeiteffekt von Hemmwirkungen aus dem Vorjahr interpretiert werden. Im Gegensatz dazu könnten die höheren Aktivitätswerte in  $I_0$  und  $I_1$  durch die Abwesenheit von Pflanzenschutzmitteln und die stärkere Verunkrautung verursacht worden sein.

Um klären zu können, inwieweit die höheren Aktivitäten in  $I_0$  auf die deutlich erhöhte Verunkrautung zurückzuführen ist, wurde 1989 ein Zusatzversuch in Zuckerrüben durchgeführt. Dieser Versuch zeigte, daß die relativ hohen Aktivitäten der Dehydrogenase und der Kurzzeitatmung in der Kontrollfläche der Zusatzvariante auf einen aktivitätsfördernden Effekt der Verunkrautung in  $I_0$  und einen hemmenden Effekt der pflanzenbaulichen Maßnahmen in  $I_1$ - $I_3$  zurückzuführen waren. Die Bedingungen in den Zuckerrüben können nicht direkt mit denen im Wintergetreide verglichen werden, da die Unkrautdichte in den Zuckerrüben höher als im Wintergetreide war. Außerdem war im Wintergetreide der Gesamtpflanzenbestand in  $I_0$  niedriger als in den anderen Intensitäten. Die Komplexität der Zusammenhänge im Feld und die praxisnahe Bewirtschaftung der Intensitäten, die als eigenständige Anbausysteme aufzufassen waren, ermöglichten keine Zuordnung der Hemmwirkungen in  $I_1$  bis  $I_3$  zu einzelnen Pflan-

zenschutzmitteln und ihren Metaboliten. Es konnten nur die Auswirkungen der Gesamtbewirtschaftung, einschließlich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, beurteilt und verglichen werden. Im Untersuchungsjahr mit der geringsten mittleren Bodenfeuchte (1989) wurde im Winterweizen in  $I_0$  im Gegensatz zu den anderen drei Intensitäten eine mehrfach erhöhte Dehydrogenaseaktivität gefunden. Möglicherweise hing dies mit einem besseren Pufferungsvermögen der Mikrobiozönose gegen Trockenheitsstreß in  $I_0$  zusammen. Allein anhand von Faktoren, wie dem Unkrautbesatz in  $I_0$  oder standortbedingten Unterschieden in der Bodenfeuchtigkeit sind diese Diskrepanzen nicht interpretierbar. Infolge Trockenheit wurde 1989 im Winterweizen eine Unkrautentwicklung, wie sie in den beiden Jahren davor aufgetreten war, fast vollständig verhindert.

Obwohl es nicht möglich war, die Homogenität der Versuchsfläche anhand einer flächendeckenden Rasteruntersuchung mikrobieller Parameter zu belegen, wurde von relativ einheitlichen Standortverhältnissen ausgegangen.

#### **Einfluß langjähriger unterschiedlicher Pflanzenschutzintensitäten im Ackerbau auf die Aktivität von Bodenmikroorganismen**

##### **Zusammenfassung**

In den vorliegenden Untersuchungen sollte geklärt werden, welche belastenden Einflüsse eine unterschiedlich intensive Bewirtschaftung auf wichtige mikrobielle Parameter im Boden ausübt, und wie diese Belastungen zu bewerten und zu reduzieren sind. In dreijährigen Feldversuchen mit einer dreigliedrigen Fruchtfolge (Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrübe) wurde der Einfluß abgestufter Pflanzenschutzmittelintensitäten (kein Pflanzenschutz bis intensiver Pflanzenschutz) untersucht. 1989 wurden in einer von Pflanzenschutzmitteln freien Fläche in Zuckerrüben zusätzlich die Auswirkungen der Verunkrautung erfaßt. Als mikrobielle Parameter wurden die Dehydrogenaseaktivität (TTC-Reduktion, Indikator allgemeiner mikrobieller Aktivität)



und die biomasseabhängige, glucoseinduzierte Kurzzeitatmung untersucht. Außerdem wurden Enzymaktivitäten, die sich bestimmten Stoffkreisläufen zuordnen lassen (Arylsulfatase, alkalische Phosphatase) und die Fluoresceindiacetathydrolyse (Indikator allgemeiner heterotropher Aktivität) bestimmt. Der Strohabbau als Indikator für den Abbau von pflanzlichem Material wurde ebenfalls ermittelt.

In der Intensität ohne Pflanzenschutzmitteleinsatz ( $I_0$ ) wurden für den Hauptparameter Dehydrogenaseaktivität meist höhere Werte gefunden als in den drei Intensitäten mit chemischem Pflanzenschutz ( $I_1$ - $I_3$ ). In den Zuckerrüben unterschied sich die Dehydrogenaseaktivität innerhalb der Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$  kaum. Im Wintergetreide zeigte sich häufig eine Abstufung der Dehydrogenaseaktivität mit höchsten Werten in der Fläche  $I_0$  und niedrigeren Werten mit steigendem Pflanzenschutzmitteleinsatz. Die in  $I_0$  beobachteten höheren Aktivitäten beruhten - zumindest bei Zuckerrüben mit anfangs geringerem Deckungsgrad - einerseits auf einem positiven Effekt der Verunkrautung und andererseits auf einem hemmenden Effekt der pflanzenbaulichen Maßnahmen in den höheren Intensitäten.

#### **Influence of long-term application of different pesticide treatment systems on soil microbial activity**

##### **Summary**

The aim of the investigation was to analyse the negative effects of agricultural management of varying intensity on important microbial parameters in the soil and to find out how these effects can be evaluated and reduced. The effect of graded pesticide intensities (no pesticides on one hand, maximum pesticides applied on the other hand) in a crop rotation of winter-wheat, winter-barley and sugar beet was studied in a field trial over three years. In addition, the effects of weediness were studied in 1989 within the untreated control plots in sugar beets. The microbial parameters studied were:

dehydrogenase activity (TTC-reduction as an indicator of overall microbial activity), the biomass-related glucose-induced short-term respiration, some enzyme activities, which can be related to certain nutrient cycles (arylsulfatase and alkaline phosphatase), and the hydrolysis of fluorescein diacetate (indicator of general heterotrophic activity). Moreover the decomposition of straw (indicator of the decomposition of plant substances) was determined.

In plots without pesticide applications ( $I_0$ ) the dehydrogenase activity was higher than in those with pesticide applications ( $I_1$ - $I_3$ ). In sugar beets no great differences occurred among the three systems of pesticide treatment. In winter cereals a gradation of dehydrogenase values with highest activity in  $I_0$  and lowest activity in  $I_1$ - $I_3$  was often found. The higher activities in  $I_0$ , at least as far as sugar beets are concerned, were induced by a positive effect of weediness and by an inhibitory effect of the cropping systems in the higher intensities.

## 5 Literatur

- BECK, T. (1990): Der Einfluß langjähriger Bewirtschaftungsweise auf bodenmikrobiologische Eigenschaften. - Kali-Briefe (Büntehof), 20 (1): 17-29.
- FAN DE FANG, PESTEMER, W., MALKOMES, H.-P. (1983): Einfluß von Pflanzenschutzmitteln in einer Zuckerrüben-Spritzfolge auf biologische Aktivitäten und auf den Abbau von Chloridazon im Boden. II. Gefäß- und Laborversuche. - Weed Res., 23: 293-304.
- FRANK, T., MALKOMES, H.-P. (1990): Einfluß von zwei Herbiziden auf mikrobielle Aktivitäten im Boden (Gefäßversuch). - Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XII: 389-398.
- GRIFFIN, D. M., LUARD, E. J. (1979): Water stress and microbial ecology. - In: SHILO, M. (ed.): Strategies of microbial life in extreme environments. - Berlin: Dahlem Konferenzen: 49-63.
- HEINONEN-TANSKI, H., SIMOJOKI, P., RAININKO, K., NUORMALA, N., SILVO, R. (1989): Effect of annual use of pesticides on soil microorganisms and sugar beet yields. - J. Agric. Sci. Finland, 61: 45-53.

- LYNCH, J. M., PANTING, L. M. (1980): Cultivation and the soil biomass. - *Soil Biol. Biochem.*, 12: 29-33.
- MALKOMES, H.-P. (1980): Strohrotteversuche zur Erfassung von Herbizid-Nebenwirkungen auf den Strohumsatz im Boden. - *Pedobiologia*, 20: 417-427.
- MALKOMES, H.-P. (1982): Einfluß von Zuckerrüben-Spritzfolgen auf die Dehydrogenase-Aktivität und den Strohabbau im Boden. - *Z. PflKrankh. Pflschutz*, 89: 705-714.
- MALKOMES, H.-P. (1986): Einfluß der Glucosemenge auf die Reaktion der Kurzzeit-Atmung im Boden gegenüber Pflanzenschutzmitteln, dargestellt am Beispiel eines Herbizids. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig*, 38: 113-120.
- MALKOMES, H.-P. (1987): Einfluß kurzfristiger Lagerung von Bodenproben auf die Anwendbarkeit von Kurzzeit-Atmungsmessungen für die Herbizid-Nebenwirkungsuntersuchungen. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig*, 39: 105-109.
- MALKOMES, H.-P. (1989): Einfluß der Lagerung von Bodenproben auf den Nachweis von Herbizid-Effekten auf mikrobielle Aktivitäten. - *Zentralbl. Mikrobiol.*, 144: 389-398.
- MALKOMES, H.-P. (1991): Vergleich der TTC- und INT-Reduktion zum Nachweis von Pflanzenschutzmittel-Wirkungen auf die Dehydrogenase-Aktivität im Boden. - *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig*, 43: 52-57.
- MALKOMES, H.-P., PESTEMER, W. (1981): Einfluß von Pflanzenschutzmitteln in Wintergetreide auf die Dehydrogenase-Aktivität und den Strohabbau. - *Z. PflKrankh. Pflschutz, Sonderh.* IX: 301-311.
- POHL, K., MALKOMES, H.-P. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. - *Z. PflKrankh. Pflschutz, Sonderh.* XII: 379-388.
- RADANACHALESS, T. (1986): Mikrobielle Aktivität im Boden unter dem Einfluß von Kulturpflanzen und Unkraut. - *Dissertation, Gießen*: 169 S.
- ROVIRA, A. D. (1965): Interactions between plant roots and soil microorganisms. - *Ann. Rev. Microbiol.*, 19: 241-261.
- SCHNÜRER, J., ROSSWALL, T. (1982): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. - *Appl. Environ. Microbiol.*, 43: 1256-1261.

- TABATABAI, M. A. (1982): Soil enzymes. - In: PAGE, A. L., MILLER, R. H., KEENEY, D. R. (eds.): Methods of soil analysis, part 2, 2nd ed. - Americ. Soc. Agron., Madison: 903-947.
- THALMANN, A. (1968): Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). - Landwirtsch. Forsch., 21: 249-258.
- TROLLENIER, G. (1986): Einfluß von Kulturmaßnahmen auf das Bodenleben. - Kali-Briefe (Büntehof), 18 (5): 371-382.
- VERSTRAETE, W., VOETS, J. P. (1974): Impact in sugar beet crops of some important pesticide treatment systems on the microbial and enzymatic constitution of the soil. - Meded. Fac. Landbouwwet. Rijksuniv. Gent, 39: 1263-1277.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11/12,  
D-38104 Braunschweig.

VI *UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS EINER INTENSIVEN  
PFLANZENPRODUKTION AUF DIE ZUSAMMENSETZUNG DER BODEN-  
PILZFLORA*

Walter Sauthoff, Helgard Nirenberg, Berthold Metzler, Ute Gruhn

1 Einleitung

Die Bodenpilzflora ist Teil des Naturhaushaltes und ein wichtiger Faktor der Bodenfruchtbarkeit. Bodenpilze sind am Abbau von Ernterückständen und anderem organischen Material beteiligt und tragen dadurch zum Aufschluß von Pflanzennährstoffen bei. Sie sind außerdem Teil des antiphytopathogenen Potentials, das in vielen Böden nachweisbar ist und bodenbürtige Pflanzenkrankheiten unterdrückt.

Die vorliegenden Untersuchungen sollten klären, ob eine langjährige intensive Bodenbewirtschaftung und der damit verbundene hohe Aufwand an Pflanzenschutz- und Düngemitteln die Zusammensetzung der Bodenpilzflora verändert.

Parallel zu diesen Untersuchungen wurden von POHL & MALKOMES (1990) physiologische Leistungen der Bodenmikroflora untersucht. Die dort eingesetzten Methoden machen es möglich, zuverlässige Daten über Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Mikroorganismen des Bodens mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu gewinnen; in vereinfachter Form werden diese Methoden auch bei der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln im Rahmen des Zulassungsverfahrens verwendet. Es ist allerdings denkbar, daß die wiederholte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenmikroflora bewirkt, die bei der summarischen Erfassung physiologischer Leistungen nicht erkannt werden. Solche Veränderungen der Bodenpilzflora könnten insbesondere für das antiphytopathogene Potential der Böden von Bedeutung sein.

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Es wurden Bodenproben aus Parzellen der Intensitätsstufen  $I_0$  und  $I_3$  untersucht.  $I_0$  ist durch den Verzicht auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und einen sehr geringen Aufwand an Düngemitteln gekennzeichnet,  $I_3$  umfaßt einen intensiven Pflanzenschutz, der auch vorbeugende Maßnahmen einschließt.

Die Bodenproben wurden in achtwöchigen Abständen gezogen, und zwar unabhängig von der Rotation stets in Schlag II; sie wurden der oberen Bodenschicht (0 bis 5 cm) entnommen.

Die ausgestochenen Bodenzylinder (je 5 aus den Wiederholungen 1 bis 8 von  $I_0$  und  $I_3$ ) wurden unverzüglich in Plastikbehälter verpackt und in einer Autokühltruhe bei 4-8 °C von Braunschweig nach Berlin transportiert. Am nächsten Vormittag wurden die Proben im Luftstrom einer sterilen Werkbank soweit getrocknet, daß der Boden ein Sieb mit einer Maschenweite von 2 mm passierte, ohne zu verschmieren. Um eine homogene Durchmischung des Bodens innerhalb der einzelnen Wiederholungen zu erreichen, wurde das eben rieselfähige Siebgut in Glasflaschen über Kopf geschüttelt (1 Stunde). Bis zur Untersuchung innerhalb von sechs Wochen wurden diese Proben bei 4 °C gelagert.

Die bei Präsenzanalysen sonst häufig praktizierte Verdünnungsmethode wurde nicht angewandt; sie hat den Nachteil, daß in den Ergebnissen Pilze überrepräsentiert sind, die überdauerungsfähige Konidien in großer Zahl bilden und dabei doch in vielen Fällen wenig zur Biomasse im Boden beitragen. Deshalb wurde zunächst in Anlehnung an methodische Arbeiten von GAMS & DOMSCH (1967) versucht, den Boden zu waschen, um Pilzsporen zu entfernen und möglichst nur Mycelien nachzuweisen. Das von GAMS & DOMSCH vorgeschlagene Verfahren erwies sich jedoch als nicht anwendbar, weil der überwiegend aus Schluff bestehende Boden

der Ahlumer Versuchsfläche im strömenden Wasser selbst durch sehr feine Siebe nicht zurückgehalten wird. Auch wenn der Boden im Schütteltrichter gewaschen und anschließend ausgefällt wurde, gelang es nicht, Bodenteilchen und Pilzsporen voneinander zu trennen. Auf das Waschen des Bodens mußte deshalb verzichtet werden.

Bei der Untersuchung des Bodenpilzspektrums wurden drei Gruppen von Pilzen unterschieden und getrennt bearbeitet. Die Größe der untersuchten Bodenpartikel war je nach Pilzgruppe verschieden; sie wurde nach der Zahl der an einem Partikel durchschnittlich gefundenen Arten gewählt, und zwar so, daß eine sichere Auswertung bei möglichst hoher Ausbeute erreicht wurde (Tab. 1). Die Daten wurden mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen (SACHS 1984) statistisch geprüft.

## 2.1 Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes

Für diesen Teil der Untersuchungen wurde der vorgetrocknete und sehr gründlich gemischte Boden im Luftstrom einer sterilen Werkbank weiter getrocknet und dann auf 0.5 bis 0.63 mm Durchmesser gesiebt. Das durchschnittliche Trockengewicht der so kalibrierten Bodenpartikel betrug 0.4 mg. Je Intensitätsstufe und Wiederholung (1-6) wurden 10 Partikel einzeln auf einem Agarnährboden in Plastikpetrischalen ausgelegt, zusammen also 120 je Probenahmetermin. Einen Überblick über den Umfang der Versuche und die eingesetzten Bodenmengen gibt Tabelle 1. Für die Versuche wurde ein sehr nährstoffarmer Agar verwendet (SNA nach NIRENBERG, 1976), der Zusätze von Chlortetracyclin (10 mg/l), Dihydrostreptomycinsulfat (50 mg/l) und Penicillin G (100 mg/l) enthielt. Die Petrischalen wurden nach folgendem Programm inkubiert: 5 Tage Dunkelheit, 20 °C; 5 Tage UV-A-Dauerlicht, 17 °C; 30 Tage natürlicher Tag-Nacht-Rhythmus bei Zimmertemperatur. Nach jedem Intervall wurden die auswachsenden Pilze entweder in der Originalschale bestimmt oder isoliert und auf Spezialnährböden weiterkultiviert, um die Identifizierung zu erleichtern.

Pilze, die nicht mit Sicherheit bestimmt werden konnten, sind in den Tabellen mit "cf." (lat. "confer" = vergleiche) gekennzeichnet. Andere noch nicht definitiv bestimmte Arten wurden typisiert oder mit einem Namen in Anführungszeichen versehen. Es wurden mehrere neue Pilzarten gefunden, von denen einige bereits systematisch bearbeitet worden sind (METZLER et al. 1989, NIRENBERG & METZLER 1990).

## 2.2 Zygomycetes

Für die Untersuchung auf Zygomyceten wurde rieselfähiger Boden verwendet. Der Boden wurde auf 0.63 - 1.0 mm gesiebt; das Trockengewicht der einzelnen Partikel betrug durchschnittlich 1.6 mg. Kleinere Partikel, wie sie für die Isolierung der Ascomyceten, Deuteromyceten und Basidiomyceten verwendet wurden, ergaben bei einigen Zygomyceten eine deutlich geringere Ausbeute an Isolaten. Je Intensitätsstufe und Wiederholung (1-8) wurden 30 Bodenpartikel einzeln in Petrischalen ausgelegt, zusammen also 480 je Probenahmetermin (Tab. 1).

Als Nährmedium für die Isolierung und Weiterkultur diente 1% iger Möhrensaftagar (Antibiotika-Zusatz wie in 2.1). Die mit den Bodenpartikeln belegten Petrischalen wurden bei 18 °C im Dunkeln aufgestellt. Schnellwachsende Arten der Gattungen *Mucor* und *Mortierella* konnten nach drei Tagen durch Abimpfen der Hyphenspitzen von den anderen Pilzen der Originalschale getrennt und in Reinkultur bestimmt werden. Langsamer wachsende Arten waren nur in der gemischten Kultur in der Originalschale zu erkennen; sie wurden durch Übertragen von Sporen isoliert. Die Mycoparasiten der Gattungen *Piptocephalis* und *Syncephalis* wurden gemeinsam mit geeigneten Wirtspilzen kultiviert. Die Bestimmung der Pilze erfolgte generell nach 12 Tagen.

Neun Arten konnten nicht bestimmt werden. Sie werden in den Tabellen als nummerierte Species ausgewiesen. In drei Fällen handelt es sich dabei um *Mortierella*-Arten, die nicht sporulieren, und daher mit den herkömmlichen Methoden nicht zu bestimmen sind. Sie konnten aber anhand des Myzels typisiert und so mit



zur Auswertung herangezogen werden. Die sechs anderen Arten waren bisher nicht bekannt. Zwei davon wurden als neue Arten beschrieben (GRUHN & PETZOLD 1990); die übrigen werden noch bearbeitet.

### 2.3 Oomycetes

Es wurden nur Pilze der Gattung *Pythium* isoliert. Voruntersuchungen hatten gezeigt, daß lufttrockener Boden im Gegensatz zu einschlägigen Angaben in der Literatur für die Isolierung von Pythien wenig geeignet ist, wenn es darauf ankommt, die Pilze dieser Gattung möglichst vollständig zu erfassen. Deshalb wurde der vorgetrocknete Boden für die Untersuchung auf Pythien nicht weiter getrocknet. Das gerade eben rieselfähige Siebgut wurde in ca. 5 mm hoher Schicht in eine Petrischale gefüllt und mit Hilfe einer Fixativspritze mehrfach mit sterilem Wasser sehr vorsichtig übersprüht, und zwar so, daß das Wasser immer sofort einzog und die Oberfläche des Bodens kaum verschlämmt wurde. Dann wurde die Spitze einer Amalgamspritze, wie sie in der Zahnmedizin gebraucht wird, durch mehrfaches Einstechen an verschiedenen Stellen der Petrischale mit Boden gefüllt; anschließend wurde ein Bodenstrang im Durchmesser von 1.0 mm aus der Amalgamspritze herausgepreßt und auf einem Objektträger unter dem Stereomikroskop in ca. 0.75 mm dicke Scheiben geschnitten (vergl. van BRUGGEN & ARNESON 1986), deren Trockengewicht ca. 2 mg betrug. Je Intensitätsstufe und Wiederholung (1-8) wurden 30 Scheibchen einzeln auf 5 %igem Möhrensaftagar in Plastikpetrischalen ausgelegt, zusammen also 480 Scheibchen je Probenahmetermin (Tab. 1). Dem Möhrensaftagar wurden 1.5 % Solacol (entsprechend 450 mg/l Validamycin; vergl. GAMS & van LAAR 1982) und Enoxacin (40 mg/l) zugesetzt.

Die Petrischalen mit den Bodenscheibchen wurden im Brutschrank bei 26 °C gehalten und nach 48 Stunden mikroskopisch kontrolliert. Von *Pythium*-Myzelien, die aus dem Boden herauswuchsen, wurden unter dem Stereomikroskop Hyphenspitzen abgenommen und einzeln in Petrischalen mit Möhrenschnitzelagar (KRÖBER 1985) übertragen. Diese Schalen wurden im Laboratorium bei Ta-

geslicht und Zimmertemperatur aufgestellt. Ein großer Teil der Isolate konnte anhand der aus den Hyphenspitzen hervorgehenden Kulturen in einem Zeitraum von wenigen Tagen bis zu sechs Wochen direkt bestimmt werden. In manchen Fällen war es allerdings notwendig, Dünnschichtkulturen anzulegen, um die entscheidenden Bestimmungsmerkmale sicher erkennen zu können. Alle Isolate heterothallischer Arten und Pilze, bei denen Heterothallie zu vermuten war, wurden in Kreuzungsexperimenten geprüft.

Von insgesamt 21 *Pythium*-Arten konnten sieben noch nicht definitiv bestimmt werden; sie werden in den Tabellen mit den Nummern der Isolierungsprotokolle gekennzeichnet. Ein Teil dieser Arten ist neu; ihre systematische Bearbeitung ist noch nicht abgeschlossen.

Tab. 1: Umfang der Untersuchungen, eingesetzte Bodenmengen und durchschnittlich erhaltene Isolate pro Partikel

	Probe- nahme- termine	Wieder- holun- gen	Partikel je Wiederh.	Partikel insgesamt	Partikel Trockengew.	Gesamt- gewicht	Isolate pro Partikel
Ascomycetes							
Basidiomycetes							
Deuteromycetes	13	2 x 6	10	1560	0,4 mg	624 mg	9,1
Zygomycetes	15	2 x 8	30	7200	1,6 mg	11736 mg	2,7
Oomycetes	15	2 x 8	30	7200	2,0 mg	14400 mg	1,0

### 3 Ergebnisse

Von den drei Arbeitsgruppen dieses Projektes wurden insgesamt 38121 Isolate bestimmt oder typisiert. Sie gehören 276 Arten aus 103 Gattungen an.

In den Tabellen 1, 2 und 3 sind die gefundenen Arten mit den jeweiligen Abundanzen aufgeführt.  $\Sigma Ex_i$  ist die Gesamtsumme der

Abundanzen zu allen Probenahmeterminen. Die Zahlen der Tabelle 1 (Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes) basieren auf den Ergebnissen von 13 Probenahmeterminen (5.10.1987 bis 2.10.1989) mit je 2 x 6 Wiederholungen. Den Zahlen der Tabellen 2 und 3 liegen die Ergebnisse von 15 Probenahmeterminen (9.6.1987-2.10.1989) mit je 2 x 8 Wiederholungen zugrunde.

Tabelle 4 beruht auf den Zahlen der Tabellen 1, 2 und 3. Sie zeigt, wie die Isolate auf die Intensitätsstufen verteilt sind. In den Abbildungen 1, 2 und 3 sind die Summen der Isolate zu den einzelnen Probenahmeterminen dargestellt.

Tabelle 5, die ebenfalls auf den Zahlen der Tabellen 1, 2 und 3 basiert, gibt an, wie die Arten auf die Intensitätsstufen verteilt sind. Aus den Abbildungen 4, 5 und 6 lassen sich die Artenzahlen zu den einzelnen Probenahmeterminen ersehen.

In den Tabellen 6, 7 und 8 sind diejenigen Arten genannt, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_3$  aufweisen. Hier sind die Summen der Abundanzen zu den einzelnen Probenahmeterminen angegeben. Die Tabelle 9 basiert auf den Zahlen der Tabellen 6, 7 und 8. Sie zeigt die Verteilung der Isolate auf die Intensitätsstufen.

#### 4 Diskussion

Es stellt sich die Frage, ob die intensive Pflanzenproduktion die Zusammensetzung der Bodenpilzflora verändert. Im Zusammenhang damit ist zunächst zu klären, ob die Bodenpilzflora der Menge nach beeinflußt wird, ob sich also die Besiedlungsdichte ändert.

Ein Maß für die Besiedlungsdichte ist die Zahl der Isolate aus den Stichproben (Abundanz). Die dazu vorliegenden Daten sind aus den Tabellen 1, 2 und 3 und den Abbildungen 1, 2 und 3 zu ersehen. Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Isolate auf die In-

tensitätsstufen. Bei den Oomyceten sowie Deuteromyceten, Ascomyceten und Basidiomyceten konnten keine Unterschiede in der Abundanz festgestellt werden. Nur die Zahl der Zygomyceten-Isolate ist in  $I_0$  statistisch gesichert höher als in  $I_3$  (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen  $\alpha \leq 0.05$ ). Abbildung 2 läßt erkennen, daß sich der Unterschied ganz überwiegend in der relativ kurzen Zeitspanne von Juni 1987 bis Februar 1988 herausbildete; im übrigen Untersuchungszeitraum schwankten die Werte etwa gleich stark wie bei den beiden anderen Pilzgruppen (Abb. 1, 3). Der bei den Zygomyceten festgestellte Unterschied zwischen  $I_0$  und  $I_3$  ist somit Ausdruck einer zeitlich begrenzten Sonderentwicklung; das Gesamtergebnis wird dadurch kaum beeinflußt. Es ist also festzustellen: Die Zahlen der aus  $I_0$ - und der aus  $I_3$ -Parzellen gewonnenen Isolate unterscheiden sich nur unwesentlich; die Menge der nachgewiesenen Bodenpilze (die Besiedlungsdichte) wird durch die in  $I_3$  gegebene hohe Produktionsintensität nicht nennenswert verändert.

Die im Zuge der Untersuchungen bestimmten oder typisierten 38121 Isolate gehören 276 Arten aus 103 Gattungen an. Tabelle 5 zeigt die Verteilung der Arten auf die Intensitätsstufen. In Parzellen der Intensitätsstufe  $I_0$  wurden 225 Arten gefunden (183 + 42); in Parzellen der Intensitätsstufe  $I_3$  wurden 234 Arten nachgewiesen (183 + 51). Die Zahlen sind annähernd gleich hoch. Das gilt im wesentlichen auch für die einzelnen Untersuchungstermine (Abb. 4 bis 6). Daraus ergibt sich: Die Artenvielfalt wird durch die in  $I_3$  praktizierte hohe Produktionsintensität nicht geschmälert.

Aus Tabelle 5 geht hervor, daß 42 der insgesamt 276 nachgewiesenen Arten nur in  $I_0$  und nicht in  $I_3$  gefunden wurden. Sind diese Arten als Folge der hohen Produktionsintensität aus den  $I_3$ -Parzellen verschwunden? Dies wäre, wenn es zuträfe, ein schwerwiegender Befund. Tab. 5 zeigt allerdings auch, daß 51 andere Arten nur in  $I_3$  und nicht in  $I_0$  nachgewiesen wurden!

Den hier diskutierten Arten ist gemeinsam, daß sie sehr selten auftraten. 89 der 93 nur in  $I_0$  oder nur in  $I_3$  festgestellten Arten konnten im gesamten Untersuchungszeitraum nur ein- bis dreimal nachgewiesen werden. Eine Art (*Acremonium crotocinigenum* [Deuteromycetes]) wurde sechsmal in  $I_0$ , eine andere (*Mortierella decipiens* [Zygomycetes]) achtmal in  $I_3$  gefunden. *Coemansia spec. 2* wurde 18 mal nur in  $I_0$ , *Pythium torulosum* 12 mal nur in  $I_3$  festgestellt; bei Anwendung des Wilcoxon-Testes für Paardifferenzen ergibt sich für diese beiden Arten ein signifikanter Unterschied zwischen den Grundgesamtheiten aus  $I_0$  und  $I_3$ . Es ist jedoch auf die Größenordnung der gefundenen Werte hinzuweisen. *Coemansia spec. 2* wurde an 0.25 % der ausgelegten Bodenpartikel, *Pythium torulosum* an 0.17 % der ausgelegten Bodenpartikel gefunden. Die anderen hier diskutierten Pilze wurden, wie oben bereits dargestellt, noch seltener isoliert. Wir halten es für wahrscheinlich, daß alle diese Pilze in Parzellen beider Intensitätsstufen vorkommen, aber wegen ihrer außerordentlich geringen Abundanz zufällig nur in  $I_0$  oder nur in  $I_3$  nachgewiesen wurden. Aus den vorliegenden Daten ist nicht zu schließen, die nur in  $I_0$  und nicht in  $I_3$  gefundenen Pilze seien als Folge der hohen Produktionsintensität aus den  $I_3$ -Parzellen verschwunden.

In den Tab. 6, 7 und 8 sind die Pilze aufgeführt, die in Parzellen beider Intensitätsstufen vorkamen, bei denen aber zwischen der Häufigkeit des Auftretens in  $I_0$  und  $I_3$  signifikante Unterschiede bestehen. Diese offenbar besonders empfindlichen Pilze gehören 42 (von insgesamt 276) Arten an. Ihr Anteil an den Isolaten beträgt bei den Ascomycetes, Basidiomycetes und Deuteromycetes 49 %, bei den Zygomycetes 69 % und bei den Oomycetes 71 %. 23 dieser Arten kamen in  $I_0$ -Parzellen häufiger vor als in  $I_3$ -Parzellen. Diese Arten werden durch die mit der hohen Produktionsintensität verbundenen Bedingungen gehemmt. Ihnen stehen jedoch 19 Arten gegenüber, die in  $I_3$ -Parzellen statistisch gesichert häufiger nachgewiesen wurden als in  $I_0$ -Parzellen. Sie werden durch Faktoren der hohen Produktionsintensität gefördert.

Die hohe Produktionsintensität führt zwar nicht dazu, daß Arten verschwinden; sie hat aber weitreichende quantitative Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenpilzflora zur Folge. Diese sehr erheblichen Veränderungen werden durch die nachgewiesenen geringen Fungizidgehalte des Bodens nicht erklärt. Man wird also annehmen müssen, daß andere Faktoren wie Düngung, Dichte des Pflanzenbestandes und Besatz mit Unkräutern für die nachgewiesenen Veränderungen bestimmend oder zumindest mitbestimmend sind.

Für die Bewertung der gefundenen Unterschiede ist von Bedeutung, daß die hohe Produktionsintensität zwar einige Pilze hemmt, gleichzeitig aber andere fördert. Tabelle 9 läßt erkennen, daß Hemmung und Förderung sich die Waage halten. Wir sehen deshalb keinen Grund zu der Annahme, daß die Fruchtbarkeit des Ahlumer Lößbodens durch die hier festgestellten quantitativen Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenpilzflora beeinträchtigt wird. Ein Zwang zur Rücknahme der Produktionsintensität, für die es andere Gründe geben mag, läßt sich aus den Ergebnissen zur Bodenpilzflora nicht ableiten.

#### **Untersuchungen über den Einfluß einer intensiven Pflanzenproduktion auf die Zusammensetzung der Bodenpilzflora**

##### **Zusammenfassung**

Die Bodenpilzflora ist Teil des Naturhaushaltes und ein wichtiger Faktor der Bodenfruchtbarkeit. Die vorliegenden Untersuchungen sollten klären, ob eine langjährige intensive Bodenbewirtschaftung und der damit verbundene hohe Aufwand an Pflanzenschutz- und Düngemitteln die Zusammensetzung der Bodenpilzflora verändert. Es wurden jeweils Bodenproben aus den Varianten I<sub>0</sub> (ohne Pflanzenschutzmittel, sehr geringer Düngemittelaufwand) und I<sub>3</sub> (höchster praxisüblicher Aufwand an Pflanzenschutz- und Düngemitteln) von Schlag II des Ahlum-Projekts untersucht. Die Proben wurden vom 9.6.87-2.10.89 in achtwöchi-

gen Abständen der oberen Bodenschicht (0-5 cm) entnommen. Im Untersuchungszeitraum standen auf der Versuchsfläche Winterweizen, Wintergerste, Gelbsenf (als Zwischenfrucht) und Zuckerrüben.

Drei Gruppen von Bodenpilzen wurden methodisch getrennt erfaßt: 1) Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes, 2) Zygomycetes, 3) Oomycetes. Insgesamt wurden 38121 Isolate, die 276 Arten angehören, gezählt. Die Gesamtheit der Isolate war über alle Probenahmetermine etwa gleich zwischen  $I_0$  und  $I_3$  verteilt; nur bei den Zygomyceten war sie in  $I_0$  über mehrere Monate signifikant höher. Bei der Gesamtzahl der Arten wurden keine gesicherten Unterschiede gefunden. Es konnte nicht nachgewiesen werden, daß als Folge der hohen Produktionsintensität Pilzarten aus dem Boden verschwinden. Einzelne Arten zeigten aber zwischen den beiden Versuchsvarianten in ihrer Abundanz signifikante Unterschiede: 23 Arten waren häufiger in  $I_0$ , 19 Arten häufiger in  $I_3$ . Die durchschnittliche Veränderung betrug etwa 30 %. Hemmung und Förderung halten sich die Waage.

Die hohe Bewirtschaftungsintensität führte zwar zu quantitativen Veränderungen der Bodenpilzflora; eine Verminderung der Bodenfruchtbarkeit ist aufgrund dieser Veränderungen jedoch nicht zu erwarten.

Does a highly intensive plant production induce changes in the fungal soil flora ?

#### Summary

The fungal soil flora is part of the soil ecosystem and an important factor of soil fertility. The present study should elucidate, whether a long-term intensive crop production with its high input of pesticides will change the species composition of the fungal soil flora. Within a joint project of the Federal Research Center for Agriculture and Forestry two plots of a field near Ahlum/Braunschweig were selected: one of low cropping intensity without application of pesticides ( $I_0$ ), the

other with highest meaningful input of pesticides and fertilizers ( $I_3$ ) for maximum crop yield. From 9.6.87 till 2.10.89 the samples were taken in eight-week intervals from the upper 5 cm of the soil. The crop rotation consisted of winter wheat, winter barley, yellow mustard (catch crop), sugar beet.

Three groups of fungi were treated separately: 1) Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes, 2) Zygomycetes, 3) Oomycetes.

A total of 38,121 isolates from 276 species were counted. Between the two intensity levels the total number of isolates did not differ significantly except for several months in the Zygomycetes; their number was higher in the low intensity plot. No significant differences were found in the number of species. It can not be claimed, that single species vanished in consequence of the high production intensity.

However, the abundance of 42 species differed significantly and consistantly between the two experimental varieties: 23 species occurred more often in  $I_0$ , 19 species in  $I_3$ ; the deviation was about 30 %. Suppression and enhancement were observed to an equal extent.

Though the high cropping intensity tested had a moderate influence on soil fungal species composition, it can not be concluded that this deviation has a considerable impact on soil fertility.

## 5 Literatur

- BRUGGEN, van A. H. C., ARNESON, P. A. (1986): Quantitative recovery of *Rhizoctonia solani* from soil. - *Plant Disease*, 70: 320-323.
- DOMSCH, K. H., GAMS, W., ANDERSON, T. H. (1980): Compendium of soil fungi. - Academic Press, London: 859 S.
- GAMS, W., DOMSCH, K. H. (1967): Beiträge zur Änderung der Bodenwaschtechnik für die Isolierung von Bodenpilzen. - *Archiv f. Mikrobiol.*, 58: 134-144.
- GAMS, W., LAAR, W. van (1982): the use of solacol (validamycin) as a growth retardant in the isolation of soil fungi. - *Neth. J. Pl. Path.*, 88: 39-45.

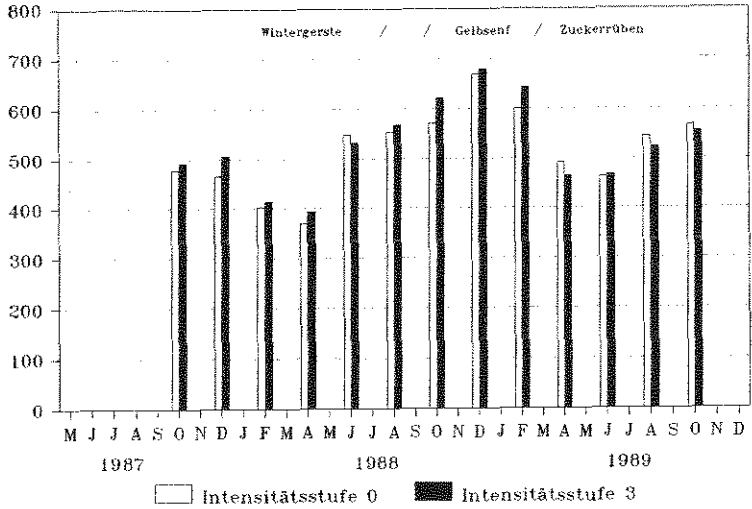


- GRUHN, U., PETZOLD, H. (im Druck): Two new species of *Syncephalis*. - Can. J. Microbiol.
- KRÖBER, H. (1985): Erfahrungen mit *Phytophthora* de Bary und *Pythium* Pringsheim. - Mitt. Biol. Bundesanst., 225, 175 S.
- METZLER, B., OBERWINKLER, F., PETZOLD, H. (1989): *Rhynchogastrema* gen. nov. and Rhynchogastremaceae fam. nov. (Tremellales). - Syst. and Appl. Microbiol., 12: 280-287.
- NIRENBERG, H. I., METZLER, B. (1990): Identification of *Penicillium* species isolated from an agricultural loess soil in Germany. - In: SAMSON, R. A., PITT, J. I.: Modern concepts in *Penicillium* and *Aspergillus* classification. - Plenum Press, New York: 193-198.
- POHL, K., MALKOMES, H.-P. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh., 12: 379-388.
- SACHS, L. (1984): Angewandte Statistik. - Springer Verlag, 6. Aufl., Berlin: 552 S.

**Anschrift der Verfasser:**

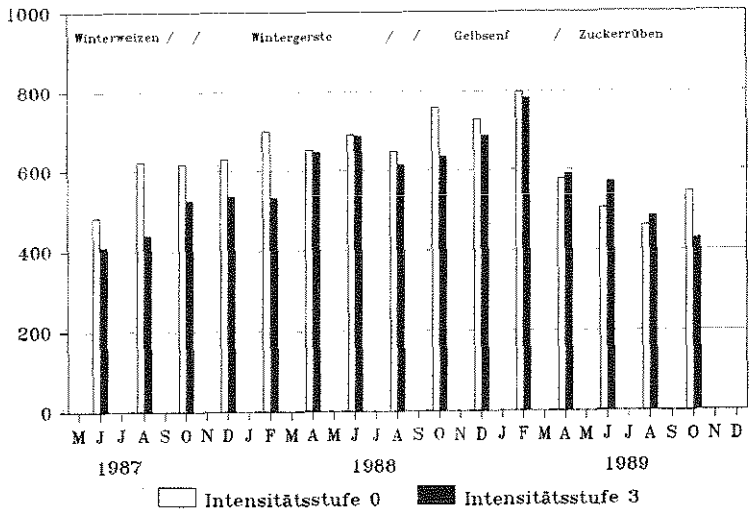
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Mikrobiologie, Königin-Luise-Straße 19,  
D-14195 Berlin.

Abb. 1: Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes: Summen der Isolate zu den einzelnen Probenahmeterminen



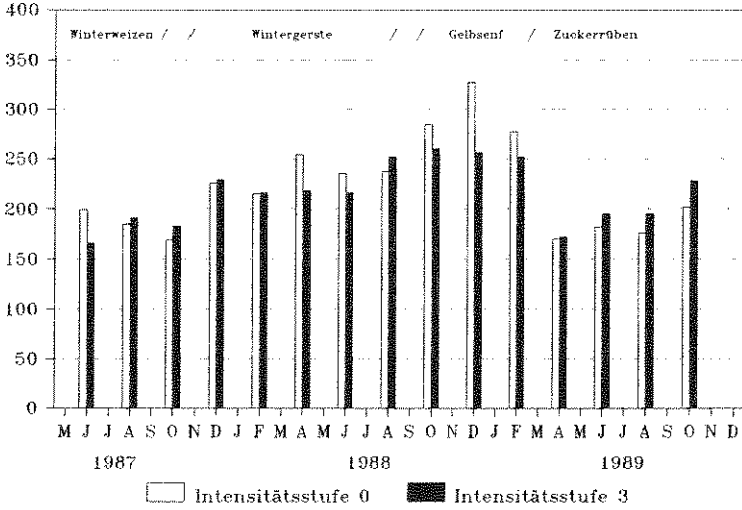
BBA-MB/Nirenberg & Metzler

Abb. 2: Zygomycetes: Summen der Isolate zu den einzelnen Probenahmeterminen



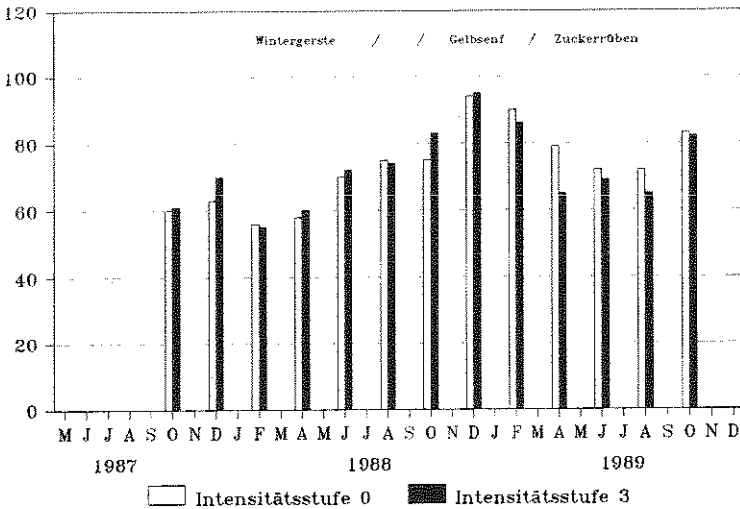
BBA-MB/Gruhn

Abb. 3: Oomycetes (nur Pythium): Summen der Isolate zu den einzelnen Probenahmeterminen



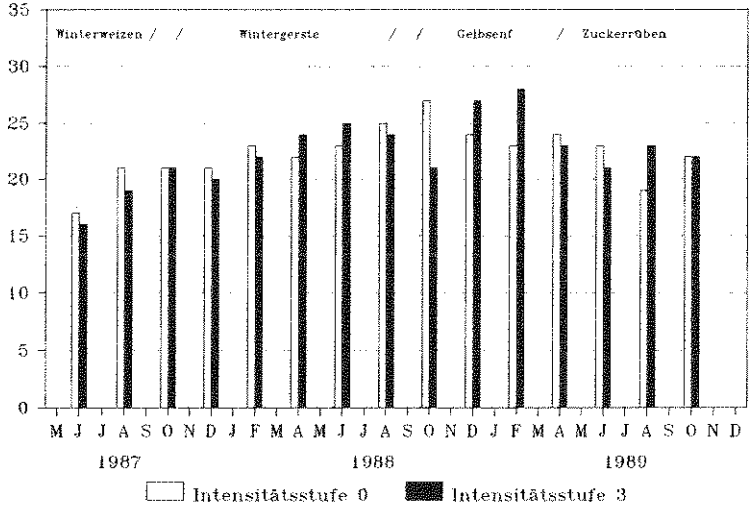
BBA-MB/Sauthoff

Abb. 4: Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes: Zahl der Arten zu den einzelnen Probenahmeterminen



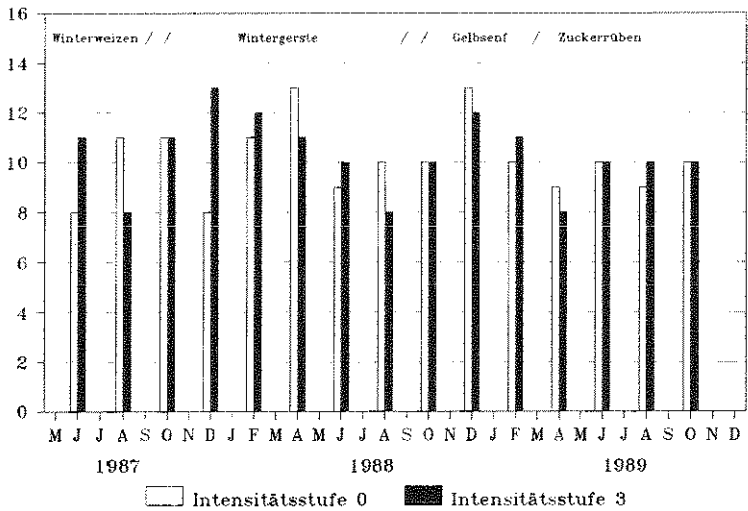
BBA-MB/Nirenberg & Metzler

Abb. 5: Zygomycetes: Zahl der Arten zu den einzelnen Probenahmeterminen



BBA-MB/Gruhn

Abb. 6: Oomycetes (nur Pythium): Zahl der Arten zu den einzelnen Probenahmeterminen



BBA-MB/Sauthoff

Tab. 2: Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes: Alphabetische Liste der gefundenen Arten mit den jeweiligen Summen der Abundanzen. 13 Probenahmeterminen mit je 2 x 6 Wiederholungen

Bewirtschaftungsintensität	l <sub>0</sub>	l <sub>3</sub>
<i>Acremonium biseptum</i>	15	22
<i>butyri</i>	7	3
<i>crocinigenum</i>	6	0
<i>curvulum</i>	16	57
<i>furcatum</i>	42	36
<i>cf. furcatum "rund"</i>	0	2
<i>cf. fusidioides</i>	4	2
<i>persicinum</i>	2	3
<i>cf. persic. "groß"</i>	4	4
<i>rutilum</i>	20	2
<i>strictum</i>	34	42
<i>cf. implicatum</i>	6	20
<i>verruculosum</i>	0	1
<i>spec. "rosa"</i>	0	2
<i>spec. "sporod."</i>	1	0
<i>spec. "submers"</i>	3	3
<i>spec. "verticilloides"</i>	4	7
<i>spec. "klein, groß"</i>	1	0
<i>Alternaria alternata</i>	18	8
<i>infectoria</i>	17	7
<i>cf. Anguillospora</i>	1	1
<i>Arthrotrichum oligospora</i>	2	0
<i>cf. Arthrotrichum "chlymydosp."</i>	0	1
<i>Aspergillus versicolor</i>	0	1
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0	1
<i>Basidiom. "orange Sklerotien"</i>	1	0
<i>cf. Basipetospora spec.</i>	7	13
<i>Botryotrichum piluliferum</i>	35	20
<i>Botrytis cinerea</i>	7	10
<i>cf. Cercospora spec.</i>	1	1
<i>Chaetomium crispatum</i>	4	4
<i>funicola</i>	0	2
<i>cf. piluliferum</i>	0	1
<i>spec.</i>	23	15
<i>cf. Chaetomium spec.</i>	0	2
<i>Chalara cf. hughesii</i>	50	35
<i>Chloridium cf. chlamydospor.</i>	3	1
<i>Chrysosporium merdarium</i>	60	48
<i>Cladorrhinum bulbillosum</i>	0	1
<i>Cladorrhinum "he. Chlam. haufen"</i>	1	1
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	197	136
<i>cf. elegans</i>	1	0
<i>herbarum</i>	215	138
<i>infuscans</i>	1	0
<i>macrocarpum</i>	1	1
<i>Colletotrichum coccodes</i>	0	1
<i>Coniothyrium cerealis</i>	0	1

<i>Cylindrocarpon cf. cylindroid.</i>	0	1
<i>destructans</i>	73	48
<i>didymum</i>	8	5
<i>cf. mali</i>	1	0
<i>obtusisporum</i>	2	4
<i>olidum</i>	18	10
<i>spec. "sporod."</i>	15	14
<i>Dendryphion nanum</i>	2	2
<i>Doratomyces stemonitis</i>	4	3
<i>Drechslera sorokiniana</i>	0	2
<i>Echinobotryum atrum</i>	3	2
<i>Emericellopsis glabra</i>	4	4
<i>minima</i>	2	3
<i>terricola</i>	9	14
<i>Epicoccum purpurascens</i>	6	8
<i>Eupenicillium spec.</i>	1	0
<i>Exophiala jeanselmei v. jeans.</i>	0	1
<i>lec.-cor.</i>	26	16
<i>pisciphila</i>	432	429
<i>Fusarium acuminatum</i>	0	1
<i>arthrosporioides</i>	0	1
<i>avenaceum</i>	17	33
<i>cf. concolor</i>	1	1
<i>culmorum</i>	25	40
<i>dimerum</i>	4	7
<i>equiseti</i>	27	27
<i>flocciferum</i>	8	9
<i>martii f.1</i>	27	32
<i>martii f.2</i>	14	6
<i>merismoides</i>	163	228
<i>mer. var. crassum</i>	0	1
<i>oxysporum</i>	86	83
<i>solani</i>	1	0
<i>tabacinum</i>	206	187
<i>torulosum</i>	1	0
<i>ventricosum</i>	0	1
<i>cf. Fusichalara spec.</i>	1	2
<i>Geomyces pannorum</i>	391	332
<i>Geotrichum cf. candidum</i>	0	1
<i>cf. armillariae</i>	2	0
<i>spec.</i>	0	1
<i>Gliocladium catenulatum</i>	18	19
<i>cf. deliquescens</i>	1	0
<i>roseum</i>	35	12
<i>Gliomastix cerealis</i>	11	19
<i>inflata</i>	1	0
<i>murorum var. felina</i>	62	146
<i>mur. var. murorum</i>	15	29
<i>roseo-griseum</i>	1	0
<i>Gymnoascus reesii</i>	0	1

Harzia acremonioides	2	7
cf. Helicodendron spec.	4	2
Heteroconium spec.	1	1
Hormiactis candida	9	10
Humicola fuscoatra var.fusc.	1	2
grisea var. grisea	12	23
spec. "olivgrün"	2	8
spec. "orange"	0	3
cf. Lecitophora lignicola	1	0
mutabilis	18	26
cf. Malbranchea spec.	5	4
Melanospora zamiae	0	1
Microdochium bolleyi	46	57
"cf. Microsclerotium"	0	2
Microsphaeopsis olivacea	2	0
Minimedusa polyspora	1	2
"Monilia pruinoso"	9	5
Monocillium mucidum	8	5
Monocillium spec. "grün"	0	1
Oidiodendron cereale	1	0
griseum	1	0
tenuissimum	0	1
truncatum	1	3
Paecilomyces carneus	302	325
lilacinus	55	99
marquandii	259	248
Papulaspora immersa	1	3
cf. Papulaspora spec. "schwarz"	13	11
Penicillium cf. aurantiogris.	19	35
brevicompactum	5	6
canescens	155	73
citrinum	0	1
cf. decumbens	1	0
expansum	45	48
cf. expansum	0	2
glabrum	4	2
griseofulvum	22	26
griseof. (braun)	0	3
cf. griseofulvum	3	0
hordei	96	229
janczewskii	403	490
janthinellum	4	5
jensenii	1	0
cf. melinii	328	370
ochraceum	0	1
olivicolor	1	1
cf. raistrickii	0	2
restrictum	11	11
rugulosum	0	1
simplicissimum	6	4
verrucosum	3	1
cf. waksmanii	2	0
spec. monov.	108	72
Phialophora cyclaminis	0	2
malorum	1	0
spec. "grau"	0	1
Phoma eupyrena	464	406
cf. lycopersici	0	1
sorghina	1	3
terricola	99	92
spec. "stachelig"	9	14
cf. Platygloea	1	0

Plectosphaerella cucumerina	0	1
Preussia aemulans	1	0
Pseudocercospora aestiva	5	4
angioides	0	1
herpotrich. var. acu	1	0
Pseudeurotium zonatum	1	0
Pseudogymnoascus roseum	1	5
Ramichloridium schulzeri	10	23
Rhynchogastrema coronata	0	1
Scolecobasidium constrictum	87	74
spec. "hyal."	3	5
tchawwyttschae	48	12
Scopulariopsis brevicaulis	5	11
brumptii	3	1
Scytalidium lignicola	23	20
cf. Sirobasidium spec.	8	4
Sistotrema brinkmannii	0	1
"Sphaerobasidium"	3	1
cf. Sporobolomyces	1	0
Sporothrix schenkii	18	35
Stachybotrys elegans	1	0
Stemphylium botryosum	1	0
cf. Sympodiella spec.	1	4
Talaromyces spec.	1	0
Tetracladium maxilliforme	26	20
Torula herbarum	9	4
Tricellula aurantiaca	1	0
Trichocladium asperum	6	6
opacum	10	12
Trichoderma hamatum	103	114
cf. harzianum	2	3
cf. koningii	71	33
polysporum	90	65
cf. pseudokoningii	20	14
viride	52	30
virens	1	6
Trichosporiella cerebriformis	154	144
Trichosporon beigellii	4	3
pullulans	140	226
spec. "rund"	7	6
Truncatella angustata	0	1
Ulocladium botrytis	41	44
Verticillium cf. albo-a. chla.	1	1
bulbillosum	4	3
dahliae	0	1
fusisporum	3	4
lecanii	2	10
nigrescens	613	665
psalliotae	1	0
suchlasporium	2	0
tenerum	8	8
cf. terrestre	2	1
Volutella ciliata	1	1
Wardomyces columbinus	2	2
Ascom. mit Chlamydosp., Pykn.	2	1
Pyknidienpilz "dunkle Sporen"	4	1
Nicht bestimmte Isolate	35	30
-----		
Zahl der Isolate	6719	6854
Zahl der Arten	173	178
Gesamtzahl der Arten	214	

Tab. 3: Zygomycetes: Liste der gefundenen Arten mit den jeweiligen Summen der Abundanzen. 15 Probenahmeterminen mit je 2 x 8 Wiederholungen

Bewirtschaftungsintensität	$I_0$	$I_3$
-----		
Pythium		
acanthophoron	2	1
heterothallicum	949	746
intermedium	291	317
irregulare	125	210
oligandrum	496	512
paroeandrum	7	4
periplocum	5	2
rostratum	7	4
salpingophorum	1	0
sylvaticum	619	378
torulosum	0	12
ultimum	7	2

vanterpoolii	8	8
vexans	0	2
spec. 1005	558	638
spec. 1009	6	3
spec. 1021	1	0
spec. 1022	0	2
spec. 1025 x 1043	5	9
spec. 1045	105	110
spec. 1066	146	269
-----		
Zahl der Isolate	3338	3229
Zahl der Arten	18	19
Gesamtzahl der Arten		21

Tab. 4: Oomycetes: Liste der gefundenen Pythium-Arten mit den jeweiligen Summen der Abundanzen. 15 Probenahmeterminen mit je 2 x 8 Wiederholungen

Bewirtschaftungsintensität	$I_0$	$I_3$
-----		
Absidia glauca	21	8
Coemansia aciculifera	321	223
pectinata	0	1
spec. 2	18	0
Mortierella alpina	2747	2596
decipiens	0	8
elongata	945	688
epigama	0	1
exigua	101	139
gemmaifera	0	3
globalpina	1	2
gracilis	93	67
humilis	974	898
hyalina	880	817
minutissima	203	33
mundensis	0	1
polycephala	3	1
stylospora	0	2
verticillata	359	68
spec. 12	152	293
spec. 13	231	245
spec. 14	144	86

Mucor fuscus	1	0
hiemalis	1085	1515
hiemalis f. luteus	1	0
mucedo	32	8
piriformis	2	0
racemosus	0	3
Piptocephalis lepidula	2	6
minuta	185	27
spec. 1	376	365
spec. 3	23	39
Rhizopus oryzae	6	12
Syncephalis nodosa	2	9
obconica	35	36
sphaerica	161	113
tenuis	1	0
spec. 2	82	109
spec. 4	184	43
spec. 7	2	8
Zygorrhynchus heterogamus	45	90
-----		
Zahl der Isolate	9418	8563
Zahl der Arten	34	36
Gesamtzahl der Arten		41

Tab. 5: Verteilung der Isolate auf die Intensitätsstufen

	$I_0$	$I_3$	Differenz
Ascomycetes, Basidiomycetes			
Deuteromycetes	6719	6854	+ 135
Zygomycetes	9418	8563	- 855
Oomycetes (nur Pythium)	3338	3229	- 109

Tab. 6: Verteilung der insgesamt 276 Arten auf die Intensitätsstufen

	Zahl der Arten, die in $I_0$ und $I_3$ gefunden wurden	Zahl der Arten, die nur in $I_0$ gefunden wurden	Zahl der Arten, die nur in $I_3$ gefunden wurden
Ascomycetes, Basidiomycetes			
Deuteromycetes	138	35	41
Zygomycetes	29	5	7
Oomycetes (nur Pythium)	16	2	3



Tab. 7: Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes: Liste der Arten, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> aufweisen

Datum	.....Wintergerste...../...../Gelbsenf...../Zuckerrüben.....																										
	5.10.87	1.12.87	1.2.88	18.4.88	13.6.88	8.8.88	3.10.88	28.11.88	20.2.89	17.4.89	13.6.89	7.8.89	2.10.89														
Bewirtschaftungsintensität	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>													
<b>häufiger in I<sub>0</sub>:</b>																											
Acremonium rutilum	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	5	0	3	2	2	0	1	0	W+		
Cladosporium cladosporioides	4	4	2	0	1	1	2	1	18	10	13	22	22	14	23	34	27	19	1	0	15	1	36	16	33	14	W+
Cladosporium herbarum	1	2	2	1	0	0	1	2	37	22	32	30	11	9	17	17	21	12	4	2	26	5	41	15	22	21	W+
Cylindrocarpon destructans	10	3	2	2	3	3	1	0	6	3	8	6	10	8	8	3	7	7	4	4	4	2	5	2	5	5	W+
Geomyces pannorum	32	23	29	34	34	35	36	31	25	25	31	21	34	22	35	28	26	25	34	23	30	23	21	19	24	23	W+
Gliocladium roseum	1	0	0	2	0	0	0	0	7	1	4	0	6	1	5	2	3	2	2	0	1	1	4	2	2	1	W+
Penicillium canescens	3	3	12	13	14	3	9	5	11	10	14	5	6	2	4	4	3	0	15	4	16	9	31	11	17	4	W+
Penicillium spec. monov.	8	2	2	13	8	6	8	5	11	4	5	2	11	4	8	5	11	7	7	7	10	2	11	8	8	7	W+
Phoma eupyrena	34	27	33	38	34	30	25	24	44	35	38	29	36	36	41	38	41	35	22	25	32	20	43	35	41	34	W+
Scolecobasidium tchawytschae	5	0	0	2	8	1	6	0	5	0	3	0	7	2	5	2	0	2	5	0	2	0	1	2	1	1	W+
Trichoderma cf. koningii	7	1	1	3	2	2	3	3	10	4	10	2	9	5	7	2	5	3	8	2	1	2	5	4	3	0	W+
<b>häufiger in I<sub>3</sub>:</b>																											
Acremonium curvulum	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6	5	19	2	10	7	19	0	0	0	0	0	1	0	0	W+
Fusarium avenaceum	1	0	0	1	0	2	0	0	2	2	1	3	3	5	4	8	5	5	0	3	0	2	0	1	1	1	W+
Fusarium merismoides	18	28	4	7	4	3	1	7	15	16	17	24	16	22	16	25	14	27	22	21	9	13	14	16	13	19	W+
Gliomastix murorum var. felina	1	5	31	3	6	22	2	6	2	18	2	10	3	18	1	9	2	15	3	8	3	9	3	13	3	10	W+
Paecilomyces lilacinus	3	6	8	8	5	6	1	2	0	8	8	5	2	4	3	6	5	9	9	11	2	14	3	13	6	7	W+
Penicillium hordei	7	25	3	9	3	5	5	14	14	23	10	22	9	23	24	22	6	32	5	20	1	10	5	14	4	10	W*
Penicillium janczewskii	42	39	42	38	29	34	21	37	39	42	25	27	28	36	19	35	27	26	36	40	28	36	31	47	35	53	W+
Ramichloridium schulzeri	0	1	0	2	0	2	0	1	3	2	1	1	0	2	2	2	2	3	1	4	0	0	0	3	1	0	W+
Sporothrix schenkii	1	3	1	3	0	0	4	5	2	3	0	1	4	3	2	3	1	3	0	2	0	3	0	3	3	3	W+
Trichosporon pullulans	11	16	17	14	15	17	10	17	13	22	11	17	8	21	13	12	8	19	8	15	10	19	7	19	9	18	W+
Verticillium nigrescens	41	45	49	50	52	56	54	58	44	50	51	57	48	51	47	54	40	55	53	44	49	47	38	47	47	51	W+

Statistische Sicherung: W':  $\alpha \leq 0,05$  W+:  $\alpha \leq 0,005$  W\*:  $\alpha \leq 0,001$  (Wilcoxon-Test)

b. 8: Zygomycetes: Liste der Arten, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> aufweisen

Probennahmetermin	Wintergerste.....		...../...../Gelbsenf.....		...../Zuckerrüben.....																										
	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>							
<b>häufiger in I<sub>0</sub>:</b>																															
Absidia glauca	2	3	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	2	0	1	1	0	0	3	1	0	1	5	2	3	0	W'
Coemansia aciculifera	13	12	21	16	26	15	38	10	29	16	28	22	15	19	28	18	26	14	20	13	22	17	16	13	22	14	5	12	12	12	W+
Coemansia spec. 2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	2	0	5	0	2	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	W+
Mortierella alpina	130	125	141	119	182	177	193	196	189	187	175	161	208	190	194	169	210	194	201	209	199	193	186	163	180	174	180	187	179	152	W'
Mortierella elongata	62	49	77	71	72	47	62	58	66	41	47	31	71	48	57	34	60	46	75	54	72	55	68	42	58	39	52	44	46	29	W*
Mortierella minutissima	7	1	6	3	13	5	12	2	27	4	18	2	13	2	19	0	13	3	11	1	14	2	17	2	13	0	14	5	6	1	W*
Mortierella verticillata	12	2	20	3	23	5	2	3	43	2	5	5	26	5	29	5	25	6	37	6	44	8	32	12	23	3	18	2	20	1	W*
Mortierella spec. 14	-	-	-	-	6	4	20	4	1	9	12	7	11	7	10	4	16	4	14	9	16	8	14	9	9	8	10	5	5	8	W'
Piptocephalis minuta	10	2	18	1	14	0	15	0	20	0	14	6	18	4	7	3	12	0	7	0	17	5	12	4	10	0	1	1	10	1	W*
Syncephalis spec. 4	14	3	18	2	20	4	13	2	12	1	23	5	9	6	8	3	10	0	10	5	15	4	13	5	8	0	5	3	6	0	W*
<b>häufiger in I<sub>3</sub>:</b>																															
Mortierella exigua	0	0	4	1	10	14	16	9	11	13	4	12	13	14	7	9	4	9	7	5	7	16	11	20	3	8	2	4	2	5	W'
Mortierella spec. 12	-	-	-	-	8	19	13	32	13	35	27	24	18	20	10	22	10	17	10	27	12	21	7	26	10	25	6	15	8	10	W+
Mucor hiemalis	54	46	77	61	36	42	38	66	51	53	51	74	90	156	86	156	128	163	135	164	127	185	32	69	31	143	68	84	81	53	W+
Zygorrhynchus heterogamrus	4	10	3	9	1	8	6	11	6	13	6	5	1	2	2	3	1	3	5	3	3	6	6	10	0	2	0	4	1	1	W+

Statistische Sicherung: W':  $\alpha \leq 0,05$  W+:  $\alpha \leq 0,005$  W\*:  $\alpha \leq 0,001$  (Wilcoxon-Test)

Tab. 9: Oomycetes: Liste der Pythium-Arten, deren Abundanzen signifikante quantitative Unterschiede zwischen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> aufweisen

Probennahmetermin	.....Wintergerste.....				/...../Gelbsenf.....				/Zuckerrüben.....																						
	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>																			
	9.6.87	3.8.87	5.10.87	1.12.87	2.2.88	19.4.88	13.6.88	8.8.88	3.10.88	28.11.88	20.2.89	17.4.89	13.6.89	7.8.89	2.10.89																
	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>															
<b>häufiger in I<sub>0</sub>:</b>																															
Pythium																															
heterothallicum	49	37	49	43	47	42	62	46	65	45	51	51	54	38	68	62	102	74	77	68	74	69	55	29	49	31	64	47	83	64	W*
sylvaticum	33	14	31	20	34	20	39	35	27	49	37	22	49	26	39	39	45	26	82	28	83	39	28	17	40	19	26	14	26	10	W+
<b>häufiger in I<sub>3</sub>:</b>																															
Pythium																															
irregulare	11	23	12	22	8	9	6	15	3	15	7	12	13	8	9	6	9	14	8	20	8	7	8	15	7	16	7	11	9	17	W+
torulosum	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	W+
spec. 1005	42	41	33	36	25	42	38	50	40	53	63	58	39	36	44	55	47	49	70	36	45	58	24	33	24	42	14	22	10	27	W'
spec. 1066	0	1	7	6	6	4	4	9	6	5	16	32	18	31	14	26	25	45	22	31	7	15	3	13	5	14	5	13	8	24	W*
<i>Statistische Sicherung</i> W': $\alpha \leq 0,05$ W+: $\alpha \leq 0,005$ W*: $\alpha \leq 0,001$ (Wilcoxon-Test)																															

Tab. 10: Pilze, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_3$  aufweisen. Verteilung der Isolate auf die Intensitätsstufen (aus Tab. 9)

	Zahl der Arten	$I_0$	$I_3$	Verän- derung
<i>häufiger in <math>I_0</math>:</i>				
Ascomycetes, Basidiomycetes				
Deuteromycetes	11	1777	1264	29%
Zygomycetes	10	5127	3772	34%
Oomycetes (nur Pythium)	2	1568	1124	28%
<i>häufiger in <math>I_3</math>:</i>				
Ascomycetes, Basidiomycetes				
Deuteromycetes	11	1592	2231	29%
Zygomycetes	4	1383	2037	32%
Oomycetes (nur Pythium)	4	829	1129	27%

VII *UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS EINER INTENSIVEN  
PFLANZENPRODUKTION AUF DIE ZUSAMMENSETZUNG DER BODEN-  
ALGENFLORA*

Walter Sauthoff, Wolfgang Oesterreicher

1 Einleitung

In landwirtschaftlich genutzten Böden kommen Blaualgen und eukaryotische Algen vor. Nur die eukaryotischen Algen sind Algen im Sinne der Pflanzensystematik. Die Blaualgen werden heute als Cyanobakterien bezeichnet oder von den Bakterien getrennt als Cyanophyceae geführt.

Im Gegensatz zu den Bodenpilzen und den meisten Bodenbakterien, deren Bedeutung für den Naturhaushalt im Abbau organischen Materials liegt, können die Algen als photoautotrophe Organismen organische Substanz aufbauen. Viele Blaualgen haben außerdem die Fähigkeit, elementaren Stickstoff zu binden.

Wegen ihrer Lichtabhängigkeit ist die Masse der Bodenalgen auf die Oberfläche und die obere Schicht des Bodens bis zu einer Tiefe von 5 bis 10 cm beschränkt. In ackerbaulich genutzten Böden der gemäßigten Klimazone wird das Algenwachstum vor allem von der Feuchtigkeit bestimmt. Starke Schwankungen der Feuchtigkeit in der oberen Bodenschicht können dazu führen, daß die Algenpopulation mehrfach im Laufe einer Vegetationsperiode zu großen Teilen abstirbt und sich anschließend rasch wieder aufbaut. SHTINA (1974) schätzt die auf diese Weise in einer Vegetationsperiode von Bodenalgen gebildete Biomasse auf 500 kg Frischgewicht/ha. Die im Boden durchschnittlich vorhandene Algenbiomasse beträgt nach DUNGER (1983) 200 kg/ha. CAMPBELL et al. (1979) geben 320 kg/ha an. Unter extremen Bedingungen können anscheinend auch erheblich höhere Werte erreicht werden (z.B. FULLER & ROGERS 1952). Eine Zusammenstellung der dazu in der Literatur vorliegenden Daten findet sich bei OESTERREICHER (1990).

Eine physiologische Besonderheit vieler Blaualgen ist ihre Fähigkeit, elementaren Stickstoff zu binden. Praktische Bedeutung hat die  $N_2$ -Fixierung durch Blaualgen im Reisanbau bei der Nährstoffversorgung überfluteter Reisfelder. Im Reisanbau kann der Stickstoffeintrag durch spontane Populationen freilebender Blaualgen bis zu 90 kg N/ha erreichen (METTING 1988).

Im gemäßigten Klima sind die durch Blaualgen gebundenen Stickstoffmengen geringer (WITTY et al. 1977; WITTY et al. 1979).

Neben der Produktion organischer Masse und der Stickstoffbindung ist die Verbesserung der Bodenstruktur ist eine wichtige Funktion der Bodenalgen, die allerdings nur unter extremen Bedingungen praktische Bedeutung erlangt. Sie wird durch Algenschleimstoffe bewirkt, die durch Verkittung von Bodenaggregaten deren Stabilität verbessern (METTING & RAYBURN 1983).

Die Versuche gingen von zwei Fragen aus. Erstens: Ändert sich die Gesamtzahl der Bodenalgen? Bei diesen Versuchen wurde lediglich zwischen Blaualgen und eukaryotischen Algen unterschieden (Summarische Erfassung der Bodenalgen). Zweitens: Ändert sich die Zusammensetzung der Bodenalgenflora? Bei den Versuchen zu dieser Frage kam es darauf an, möglichst viele der am Versuchsstandort vorkommenden Algentaxa zu erfassen und ihre Häufigkeit festzustellen (Quantitative Erfassung einzelner Algentaxa).

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

In dem hier beschriebenen Projekt wurden Bodenproben aus Parzellen der Intensitätsstufen  $I_0$  und  $I_3$  untersucht.  $I_0$  ist durch den Verzicht auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und einen sehr geringen Aufwand an Düngemitteln gekennzeichnet. Bis Januar 1987 war diese Fläche in der Intensitätsstufe  $I_1$  bewirtschaftet worden.  $I_3$  umfaßt einen intensiven Pflanzenschutz, der

auch vorbeugende Maßnahmen einschließt, bei gleichzeitig hohem Düngemittelaufwand, um hohe Naturalerträge zu erzielen. Die Bodenproben wurden von Mai 1987 bis Dezember 1989 in achtwöchigen Abständen gezogen, und zwar unabhängig von der Rotation stets in Schlag II; sie wurden der oberen Bodenschicht (0 bis 5 cm) entnommen.

Die ausgestochenen Bodenzylinder (je 5 aus den Wiederholungen 1 bis 8 von I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub>) wurden unverzüglich in Plastikbehälter verpackt und in einer Autokühltruhe bei 4 bis 8 °C von Braunschweig nach Berlin transportiert. Am nächsten Vormittag wurden die Proben im Luftstrom einer sterilen Werkbank soweit getrocknet, daß der Boden ein Sieb mit einer Maschenweite von 2 mm passierte, ohne zu verschmieren. Um eine homogene Durchmischung des Bodens innerhalb der einzelnen Wiederholungen zu erreichen, wurde das eben rieselfähige Siebgut in Glasflaschen über Kopf geschüttelt (1 Stunde). Bis zur Weiterverarbeitung innerhalb von einigen Tagen nach der Probenahme wurden diese Proben bei 4 °C gelagert.

Beim Ansetzen der Versuche wurde der gesiebte Boden in ca. 5 mm hoher Schicht in eine Petrischale gefüllt und mit Hilfe einer Fixativspritze mehrfach mit Bold's Basal Medium (NICHOLS 1973) vorsichtig übersprüht; dabei wurde so verfahren, daß die aufgesprühte Nährlösung immer sofort einzog und die Oberfläche des Bodens kaum verlief. Danach wurde die Spitze einer Amalgamspritze, wie sie in der Zahnmedizin gebraucht wird, durch wiederholtes Einstechen an verschiedenen Stellen der Petrischale mit Boden gefüllt. Anschließend wurde der Boden in Form eines sehr regelmäßig geformten Stranges aus der Amalgamspritze herausgepreßt und auf einem Objektträger mit einer Rasierklinge in Abschnitte bestimmter Länge zerschnitten (vergl. VAN BRUGGEN & ARNESON 1986). Die herausgeschnittenen Strangabschnitte hatten Trockengewichte von 54.20 mg (Verdünnungsstufe I) und 3.84 mg (Verdünnungsstufe II). Sie wurden einzeln in 1.5 ml Bold's Basal Medium suspendiert und 5 Minuten lang mit Ultraschall behandelt, um Zellaggregate zu zerteilen (OESTERREICHER 1986). Die homogenisierten Suspensionen wurden auf ein in Petrischalen

gefülltes Agarnährmedium gegossen und gleichmäßig auf der Agaroberfläche verteilt. Das Nährmedium bestand aus Bold's Basal Medium mit einem Zusatz von Erdextrakt (2 %) und Agar (1.8 %).

Die beimpften Petrischalen wurden, um die Agaroberfläche abzutrocknen, für 2 1/2 Stunden offen im Luftstrom einer sterilen Werkbank aufgestellt; anschließend standen die geöffneten und umgedrehten Schalen noch fünf Stunden bei 10 °C in einer Klimakammer auf einem Gitterrost. Das Trocknen der Agaroberfläche war notwendig, um das Auseinanderfließen der heranwachsenden Algenkolonien zu verhindern oder doch zumindest stark einzuschränken.

In den Versuchen zur summarischen Erfassung der Blaualgen wurden je Intensitätsstufe ( $I_0$ ,  $I_3$ ) und Wiederholung (1 bis 8) 4 Petrischalen mit je 54.2 mg Boden beimpft, zusammen also 64 Petrischalen je Probenahmetermin.

In den Versuchen zur summarischen Erfassung der eukaryotischen Algen wurden je Intensitätsstufe ( $I_0$ ,  $I_3$ ) und Wiederholung (1 bis 8) 4 Petrischalen mit je 3.84 mg Boden beimpft. Das ergibt weitere 64 Petrischalen je Probenahmetermin.

Ein Teil der mit 3.84 mg Boden beimpften Petrischalen wurde außerdem in den Versuchen zur Erfassung einzelner Algentaxa verwendet, nämlich je 2 Schalen aus den Wiederholungen 1 bis 6 beider Intensitätsstufen. Das sind 24 Petrischalen je Probenahmetermin.

Die beimpften Petrischalen wurden in einer Klimakammer bei 10 °C inkubiert. Sie wurden mit Leuchtstofflampen der Type Osram L 65 W/30 s täglich 12 Stunden belichtet; die Lichtintensität betrug in den ersten 6 Wochen 3500 lx, danach nur noch ca. 500 lx.

Summarische Erfassung der Bodenalgen: Die auf dem Agarnährmedium entstandenen Kolonien eukaryotischer Algen wurden 3 bis 4



Wochen nach der Beimpfung ausgezählt, die Kolonien der langsamer wachsenden Blaualgen 5 bis 6 Wochen nach der Beimpfung. Zum Auszählen wurden die Petrischalen auf den Objektstisch eines Zeiss-Fluoreszenzmikroskopes gestellt. Gezählt wurde im Auflicht bei blauem oder grünem Erregerlicht. Eukaryotische Algen fluoreszieren bei blauem Erregerlicht rot; Blaualgen fluoreszieren bei grünem Erregerlicht in einem grellen Orange. Dadurch ist eine sichere Unterscheidung möglich (vergl. VINCENT 1983; OESTERREICHER 1988). Die lebhaft fluoreszierenden Algen hoben sich scharf vom dunklen Untergrund des Agarnährmediums ab, so daß auch sehr kleine Kolonien zuverlässig erfaßt werden konnten.

In jeder Petrischale wurden zwei über Kreuz liegende Streifen ausgewertet. Die Zählstreifen, deren Länge durch die Millimeter-Einteilung der Objektstischführung begrenzt wurde, hatten die Breite eines Gesichtsfelddurchmessers des verwendeten Objektivs 6.3 x und insgesamt eine Fläche von 324.4 mm<sup>2</sup>. Dem entsprachen bei den mit 54.20 mg Boden beimpften Petrischalen 11.06 mg Boden (Trockengewicht) je Wiederholung (4 Petrischalen) und 88.48 mg Boden je Probenahmetermin (8 Wiederholungen). Bei den mit 3.84 mg Boden beimpften Petrischalen entfielen auf die von den Zählstreifen bedeckte Fläche 0.78 mg Boden je Wiederholung und 6.24 mg Boden je Probenahmetermin.

Quantitative Erfassung einzelner Algentaxa: Nur wenige Arten können allein nach den in Rohkultur ausgebildeten Merkmalen bestimmt werden. In den meisten Fällen ist eine Bestimmung nur möglich, wenn man den gesamten Entwicklungszyklus kennt. Deshalb waren umfangreiche Voruntersuchungen an den in Ahlum vorkommenden Bodenalggen notwendig. Ausgehend von den in Rohkulturen auftretenden Kolonietypen wurden in großer Zahl Klonkulturen angelegt und im einzelnen studiert. Die Kolonietypen und die für die Bestimmung der jeweiligen Taxa entscheidenden Merkmale wurden in Mikroaufnahmen festgehalten. Mit zunehmender objektspezifischer Erfahrung gelang es dann, die in den Rohkulturen auftretenden Algen aufgrund des Kolonietyps und bestimm-

ter zusätzlicher Merkmale durch relativ einfache lichtmikroskopische Untersuchungen sicher wiederzuerkennen.

Die Bonitierung der Petrischalen erfolgte 2 bis 4 Monate nach der Beimpfung. Durch Aufkleben einer transparenten Schablone auf die Unterseite der Petrischale wurde ein Zählstreifen festgelegt. Ausgewertet wurden 16 Beobachtungsfelder mit einer Fläche von je 4 x 5 mm. Daraus ergibt sich eine untersuchte Bodenmenge von 0.39 mg je Wiederholung (2 Petrischalen) und von 2.34 mg je Probenahmetermin (6 Wiederholungen). Gezählt wurde unter dem Fluoreszenzmikroskop. Schon bei den Voruntersuchungen zeigte sich jedoch, daß einige der in Ahlum gefundenen Taxa auf diese Weise nicht optimal erfaßt wurden. Es handelte sich dabei um Algen, die relativ große, aber in der Regel nur wenige Kolonien ausbildeten. Hier war eine größere Beobachtungsfläche wünschenswert. Deshalb wurden in diesen Fällen je Petrischale 28 Beobachtungsfelder mit einer Fläche von 10 x 10 mm ausgewertet. Die untersuchte Bodenmenge betrug 3.38 mg je Wiederholung und 20.28 mg je Probenahmetermin. Die verhältnismäßig großen Kolonien konnten, nachdem eine hinreichend umfangreiche Stichprobe detailliert untersucht worden war, mit deutlich geringerem Zeitaufwand unter dem Stereomikroskop gezählt werden.

### 3 Ergebnisse

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Ergebnisse der summarischen Erfassung von Blaualgen und eukaryotischen Algen für 17 Probenahmetermine in der Zeit von Mai 1987 bis Dezember 1989. Dargestellt sind die Summen der gezählten Algenkolonien von 8 Wiederholungen, umgerechnet auf 100 mg Boden (Trockengewicht).

In der Tabelle 1 werden Versuchsergebnisse aus einer Arbeit von WITTY et al. (1977) zitiert. Sie zeigen den Einfluß steigender Stickstoffgaben auf die Häufigkeit des Vorkommens von Grün- und Blaualgen. Zusammen mit den Daten der Tabelle 2 bilden sie die Grundlage für die Diskussion der Frage, wie die in Abbildung 1

zum Ausdruck kommende starke Hemmung der Blaualgen zu erklären ist.

Die Tabelle 3 gibt an, welche Algen im Boden der Ahlumer Versuchsfläche gefunden wurden. Viele der als eigenständige Taxa nachgewiesenen Algen konnten im Rahmen dieses im zeitlichen Ablauf streng gebundenen Vorhabens nicht bis zur Art bestimmt werden; sie sind in den Tabellen mit den Nummern der Isolierungsprotokolle gekennzeichnet. Bei den Blaualgen der Gattung *Nostoc* wurde nur zwischen zwei Kolonietypen unterschieden, hinter denen sich jeweils mehrere Arten verbergen. Bei den *Bacillariophyceae*, deren Bestimmung ebenfalls dem Spezialisten überlassen bleiben muß, war eine Zuordnung über die Familie hinaus nicht möglich. Ein großer Teil der aufgeführten Algen wurde gleich zu Beginn der Untersuchungen und dann regelmäßig gefunden; andere wurden erst später entdeckt oder als eigenständige Taxa erkannt. Das erklärt die Unterschiede zwischen den in Tabelle 6 angegebenen Erfassungszeiträumen.

Die Tabellen 4 und 5 umfassen diejenigen Algentaxa, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_3$  aufwiesen. Angegeben sind die Summen der gezählten Algenkolonien zu den einzelnen Probenahmeterminen. Den Werten liegen jeweils 6 Wiederholungen zugrunde. Die Daten der Tabelle 4 beziehen sich auf 2.3 mg Boden (Trockengewicht), die der Tabelle 5 auf 20.3 mg Boden (s.o.). Auf eine Umrechnung der Daten mit dem Ziel der besseren Vergleichbarkeit mußte verzichtet werden, weil sie bei Taxa mit niedriger Abundanz, bei denen der Wert Null vorkommt, zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt hätte.

In Tabelle 6 sind alle Algen aufgeführt, die nur in  $I_0$  oder nur in  $I_3$  gefunden wurden. Sie sind wichtig für die Beantwortung der Frage, ob die hohe Produktionsintensität in  $I_3$  zu qualitativen Veränderungen in der Zusammensetzung der Algenflora führt.

## 4 Diskussion

### 4.1 Summarische Erfassung der Bodenalgen

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen, daß Blaualgen und eukaryotische Algen in  $I_3$  weniger häufig vorkommen als in  $I_0$ ; bei 34 Einzelvergleichen ( $I_0$  :  $I_3$  zu einem bestimmten Probenahmetermin) wurden 29 mal signifikant niedrigere Werte in  $I_3$  gefunden (U-Test nach Mann und Whitney n. SACHS 1984, CLAUSS & EBNER 1985). Die Häufigkeitssummen, die für  $I_0$  und  $I_3$  aus den Daten aller 17 Untersuchungstermine gebildet wurden, waren bei den Blaualgen ebenso wie bei den eukaryotischen Algen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha < 0.001$  statistisch gesichert verschieden (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen n. SACHS 1984). Die Gesamtzahl der Blaualgen war in  $I_3$  um 75.4 % niedriger als in  $I_0$ ; die Gesamtzahl der eukaryotischen Algen war in  $I_3$  um 35.8 % niedriger als in  $I_0$ . Die Blaualgen werden durch die hohe Produktionsintensität stärker beeinträchtigt als die eukaryotischen Algen.

In diesem Zusammenhang ist auf die unterschiedlichen Skalen der Ordinaten in den Abbildungen 1 und 2 hinzuweisen: Die Blaualgen machen nur rund ein Zehntel der in  $I_0$  insgesamt nachgewiesenen Algen aus. Nimmt man die Häufigkeitssummen von Blaualgen und eukaryotischen Algen zusammen, so ergibt sich: Die Zahl der Algen insgesamt war in  $I_3$  um 39.6 % niedriger als in  $I_0$ .

Die stärkere Hemmung der Blaualgen kommt auch in den verhältnismäßig geringen Schwankungen der in  $I_3$  festgestellten Abundanzen zum Ausdruck. Bei den eukaryotischen Algen schwanken die in  $I_0$  und  $I_3$  festgestellten Werte gleichsinnig: Wenn sich die Algenpopulation als Folge ergiebiger Niederschläge nach einer ausgeprägten Trockenperiode in  $I_0$  erholt, tut sie es auch in  $I_3$ . Bei den Blaualgen gibt es ebenfalls heftige Ausschläge in  $I_0$ , denen aber die Abundanzen in  $I_3$  nicht folgen; trotz günstiger Wachstumsbedingungen nimmt die Population in  $I_3$  nach einer Streßsituation nicht oder nur wenig zu. Die Blaualgen werden also nicht nur stärker, sondern auch nachhaltiger ge-

hemmt als die eukaryotischen Algen.

Hängt die Hemmung der Blaualgen in  $I_3$  mit der Anwendung von Herbiziden zusammen? Herbizide wurden massiv im Frühjahr und Frühsommer 1987 sowie im Frühjahr und Sommer 1989 angewandt. Dazwischen lagen je eine Herbizidapplikation Ende September 1987 und Mitte Mai 1988 (Abb. 1 u. 2). Die Herbizidanwendung weist also ausgeprägte zeitliche Schwerpunkte auf. Die Abundanzen der Blaualgen wie auch der eukaryotischen Algen sind aber in  $I_3$  nicht nur zeitweilig, sondern während des ganzen fast dreijährigen Untersuchungszeitraumes niedriger als in  $I_0$  (einzige Ausnahme: Blaualgen im Februar 1988). Drastische Populationseinbrüche in  $I_3$ , die den angewandten Herbiziden zeitlich zugeordnet werden könnten, sind nicht erkennbar (Abb. 1 und 2).

Eine ursächliche Beteiligung der Herbizide an der nachgewiesenen Hemmung der Bodenalggen ist daher nur anzunehmen, wenn man das Vorhandensein eines Rückstandsplateaus unterstellt. Tatsächlich wurden in den  $I_3$ -Parzellen 1988 und 1989 während längerer Zeitabschnitte Rückstände der relativ persistenten Wirkstoffe Pendimethalin, Ethofumesat und Phenmedipham nachgewiesen. Über die Wirkung dieser Herbizide auf Algen waren in der Literatur keine Angaben zu finden. Die Rückstände lagen bei Pendimethalin unter 0.75 mg, bei den beiden anderen Wirkstoffen unter 0.4 mg/kg Boden (Trockengewicht). Nach den für andere Wirkstoffe vorliegenden Daten (BUTLER 1977; WRIGHT 1978; McCANN & CULLIMORE 1979; PADHY 1985) ist eine Hemmwirkung auf Algen (im Boden!) bei so niedrigen Herbizidkonzentrationen im allgemeinen nicht zu erwarten. Ob die in  $I_3$  angewandten Herbizide an der hier diskutierten Hemmung der Bodenalggen maßgeblich beteiligt waren, läßt sich ohne spezielle Untersuchungen nicht sicher entscheiden; es ist nach den jetzt zur Verfügung stehenden Daten aber wenig wahrscheinlich.

Wir nehmen an, daß andere mit der hohen Produktionsintensität verbundene Faktoren wie Düngung, Dichte des Kulturpflanzenbestandes und Besatz mit Unkräutern für die nachgewiesenen Verän-

derungen bestimmend sind.

Im Hinblick auf die  $N_2$ -fixierenden Blaualgen verdient die Stickstoffdüngung besondere Beachtung. In Algenkulturen wird die Bildung von Heterocysten durch Nitrat gehemmt (STEWART et al. 1968). Nach JAGNOW (1981) ist die  $N_2$ -Bindung in tropischen und subtropischen überfluteten Reisfeldern unter anderem vom Ausmaß der Nitrogenaserepression durch N-Düngemittel abhängig.

WITTY et al. (1977) sowie WITTY et al. (1979) stellten in ihren schon einleitend erwähnten Versuchen in Rothamsted die höchsten  $N_2$ -Bindungsraten in Weizenparzellen fest, die mit 48 kg N/ha gedüngt worden waren. Durch eine Stickstoffgabe von 192 kg/ha im Frühjahr wurde die  $N_2$ -Fixierung bis in den August hinein völlig unterdrückt.

Nach der Ernte des Weizens im September wurden von WITTY et al. (1977) die prozentualen Anteile der von Grünalgen und der von Blaualgen bedeckten Flächen an der Gesamtfläche der jeweiligen Versuchsparzelle geschätzt. Die Ergebnisse sind, soweit sie hier interessieren, in Tab. 1 zusammengestellt. Die Erhöhung der Stickstoffgabe von 48 kg/ha auf 192 kg/ha führte zu einem drastischen Rückgang der Blaualgen, während der Anteil der von Grünalgen bedeckten Flächen stark zunahm. Die Autoren gehen auf diese Ergebnisse nicht näher ein; doch deutet die Zunahme der Grünalgen darauf hin, daß die Abnahme der Blaualgen nicht einfach auf Lichtmangel in den stark gedüngten Parzellen oder Unterschiede in der Bodenfeuchte, sondern auf eine spezifische Stickstoffwirkung zurückzuführen ist.

Die in unseren Untersuchungen in  $I_0$  und  $I_3$  gegebenen Stickstoffmengen (Tab. 2) liegen ungefähr in gleicher Höhe wie die N-Steigerungsstufen in Rothamsted. Wir nehmen deshalb an, daß die in Abbildung 1 zum Ausdruck kommende starke und nachhaltige Hemmung der Blaualgen in  $I_3$  mit den sehr hohen Stickstoffgaben zusammenhängt.

#### 4.2 Quantitative Erfassung einzelner Algentaxa

Tabelle 3 gibt an, welche Algentaxa im Boden der Ahlumer Versuchsfläche gefunden wurden. In dieser Zusammenstellung sind die Blaualgen sicherlich unterrepräsentiert, was sich aus den besonderen Schwierigkeiten bei der Differenzierung von Blaualgen-Gattungen und -Arten ergibt. Insgesamt wurden im Boden der Ahlumer Versuchsfläche 102 Algentaxa festgestellt.

In den Tabellen 4 und 5 sind diejenigen Taxa aufgeführt, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_3$  aufwiesen. 24 dieser insgesamt 26 Taxa kamen in  $I_3$ -Parzellen weniger häufig vor als in  $I_0$ -Parzellen. Diese Algen werden durch die mit der hohen Produktionsintensität verbundenen Bedingungen gehemmt. Ihnen stehen nur 2 Taxa gegenüber, die in  $I_3$ -Parzellen statistisch gesichert häufiger nachgewiesen wurden als in  $I_0$ -Parzellen. Diese Befunde stehen im Einklang mit den in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Ergebnissen der summarischen Erfassung von Blaualgen und eukaryotischen Algen. Hier zeigt sich, daß die Algen anders reagieren als die Pilze (Projekt VI). Bei den Pilzen ist die Zahl der Arten, die durch die hohe Produktionsintensität gehemmt oder gefördert wurden, annähernd gleich groß. Bei den Algen überwiegt die Zahl der durch die hohe Produktionsintensität gehemmten Taxa bei weitem.

Führt die hohe Produktionsintensität dazu, daß Taxa verschwinden? Tabelle 6 umfaßt 13 Algentaxa, die nur in  $I_0$  und 8 Taxa, die nur in  $I_3$  gefunden wurden. Allen ist gemeinsam, daß sie sehr selten auftreten. Bei Anwendung des Wilcoxon-Testes für Paardifferenzen ergab sich in keinem Falle ein signifikanter Unterschied. Wir halten es für wahrscheinlich, daß die in Tabelle 6 aufgeführten Algen in Parzellen beider Intensitätsstufen vorkommen, aber wegen ihrer sehr geringen Abundanzen zufällig nur in  $I_0$  oder nur in  $I_3$  gefunden wurden. Aus den vorliegenden Zahlen ist nicht zu schließen, die nur in  $I_0$  und nicht in  $I_3$  gefundenen Algen seien als Folge der hohen Produktionsintensität aus den  $I_3$ -Parzellen verschwunden. Eine Ein-

schränkung der Artenvielfalt ist nicht festzustellen.

#### 4.3 Bewertung

Wie ist die nachgewiesene Verminderung der Algenzahl im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit zu bewerten? Diese Frage wird unter drei Aspekten diskutiert: Produktion organischer Masse, Stickstoffbindung, Verbesserung der Bodenstruktur.

##### 4.3.1 Produktion organischer Masse

SHTINA (1974) schätzt die im Laufe einer Vegetationsperiode von Bodenalggen gebildete Biomasse auf 500 kg Frischgewicht/ha. Wir unterstellen, daß der Wassergehalt der Algen mindestens 95 % beträgt. Dann ergibt sich ein Trockengewicht von ca. 25 kg.

Nach KÖNNECKE (1967) beträgt die von Winterweizen im Boden zurückgelassene Wurzel trockenmasse 2.500 kg/ha, also etwa das Hundertfache (Wintergerste 2.300 kg/ha, Zuckerrüben 800 kg/ha). Hinzu kommen die Stoppeln und in vielen Fällen das gehäckselte Stroh. Der Anteil der Algen an der Zufuhr organischer Masse ist demnach im Vergleich zu den Leistungen der angebauten Kulturpflanzen sehr gering. Im Hinblick auf die Versorgung der Böden mit organischer Masse ist die nachgewiesene Verminderung der Algenzahl um rund 40 % ohne Bedeutung.

##### 4.3.2 Stickstoffbindung

Die durch Blaualgen gebundenen Stickstoffmengen wurden aufgrund zweijähriger Versuche in der britischen Versuchsanstalt Rothamsted auf 10 bis 28 kg N/ha/a geschätzt (WITTY et al. 1977; WITTY et al. 1979). In der mitteleuropäischen Landwirtschaft werden 100 bis 120 kg N/ha als notwendig angesehen, um eine ausreichende Getreideernte zu erzielen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der von den Blaualgen gebundene Stickstoff vom Landwirt bei der Stickstoffdüngung nicht als feste Größe einkalkuliert werden kann, weil er mit steigenden N-Gaben abnimmt.



Der Stickstoffeintrag aus der Luft beträgt in der Bundesrepublik Deutschland 5 bis 50 kg Nitrat-N/ha/a; er kann in der Nähe von Industrieanlagen 100 kg N/ha/a erreichen. Dazu kommt in Gebieten mit intensiver Viehhaltung ein erheblicher Stickstoffeintrag in Form von Ammoniak, der stellenweise 60 kg N/ha/a übersteigt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989).

Diese Vergleichszahlen machen deutlich, daß der Anteil der Blaualgen an der Stickstoffversorgung ackerbaulich genutzter Böden in der Bundesrepublik Deutschland gering ist. Die in unseren Untersuchungen nachgewiesene Hemmung der Blaualgen bei hoher Produktionsintensität mindert die Ertragsfähigkeit der Böden nicht.

#### 4.3.3 Verbesserung der Bodenstruktur

Die Verbesserung der Bodenstruktur wird in Sammelreferaten als eine besonders wichtige Funktion der Bodenalggen herausgestellt (SHTINA 1974; METTING 1981, 1988; OESTERREICHER 1990). Sie beruht auf der Bildung hochmolekularer Polysaccharide, die als Kittsubstanzen wirken und die Stabilität von Bodenaggregaten erhöhen (METTING & RAYBURN 1983). BARCLAY und LEWIN (1985) untersuchten die Produktion von Polysacchariden *in situ*. Dabei zeigte sich, daß 99 % der aktiv wachsenden Algen in den obersten 2 mm des Bodens vorkamen und auch die Polysaccharide praktisch nur in den obersten 2 mm des Bodens nachweisbar waren. Die Autoren schließen daraus, daß die Polysaccharide in Form von Schleimhüllen und -kapseln mit den Algenzellen, von denen sie gebildet werden, verbunden bleiben. Die Vorstellung, von Algen gebildete Polysaccharide würden mit eindringendem Wasser in tiefere Bodenschichten transportiert, trifft nicht zu.

Eine praktisch ins Gewicht fallende Produktion von Polysacchariden kann nur bei kräftigem Algenwachstum an der Bodenoberfläche erwartet werden. Dafür ist ein sehr hoher Wassergehalt des Bodens nahe der Sättigungsgrenze notwendig (BARCLAY & LEWIN l.c.). Diese entscheidende Voraussetzung ist in Mitteleuropa

während der Vegetationsperiode allenfalls kurzzeitig gegeben. Deshalb ist die den Algen zugeschriebene Verbesserung der Bodenstruktur unter mitteleuropäischen Klimabedingungen vermutlich nur von untergeordneter Bedeutung.

#### 4.3.4 Schlußfolgerung

Wir sehen daher keinen Grund zu der Annahme, daß die unter den Bedingungen der hohen Produktionsintensität nachgewiesene Hemmung der Bodenalgen die Fruchtbarkeit des Bodens der Ahlumer Versuchsfläche gefährdet. Die Forderung nach einer Rücknahme der Produktionsintensität, die aus anderen Gründen geboten sein mag, läßt sich mit den Ergebnissen dieses Projektes nicht zwingend begründen.

### Untersuchungen über den Einfluß einer intensiven Pflanzenproduktion auf die Zusammensetzung der Bodenalgen-Flora

#### Zusammenfassung

In landwirtschaftlich genutzten Böden kommen Blaualgen (Cyanobakterien) und eukaryotische Algen vor. Im Gegensatz zu den Bodenpilzen und den meisten Bodenbakterien, deren Bedeutung für den Naturhaushalt im Abbau organischen Materials liegt, können die Algen als photoautotrophe Organismen organische Substanz aufbauen. Viele Blaualgen haben außerdem die Fähigkeit, elementaren Stickstoff zu binden. Die Untersuchungen sollten klären, ob eine langjährige intensive Bodenbewirtschaftung mit einem hohen Aufwand an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln die Algenflora des Bodens beeinflusst. Untersucht wurden Bodenproben aus den Varianten I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> eines Langzeitversuches der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Ahlum bei Braunschweig. I<sub>0</sub> ist u. a. durch den Verzicht auf Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel und einen sehr geringen Aufwand an Düngemitteln gekennzeichnet. I<sub>3</sub> bedeutet u. a. einen intensiven chemischen Pflanzenschutz und einen hohen Einsatz an

Düngemitteln. Die Bodenproben wurden von Mai 1987 bis Dezember 1989 in achtwöchigen Abständen aus der oberen Bodenschicht (0-5 cm) entnommen. Im Untersuchungszeitraum standen auf der Versuchsfläche Winterweizen, Wintergerste, Gelbsenf (als Zwischenfrucht) und Zuckerrüben.

Die Gesamtzahl der Blaualgen, die in  $I_0$  etwa ein Zehntel der insgesamt nachgewiesenen Algen ausmachten, war in  $I_3$  um 75.4 % gegenüber  $I_0$  niedriger. Die Gesamtzahl der eukaryotischen Algen lag in  $I_3$  um 35.8 % niedriger als in  $I_0$ . Die Gesamtzahl der Blaualgen und der eukaryotischen Algen war in  $I_3$  um 39.6 % niedriger als in  $I_0$ .

Im Boden der Ahlumer Versuchsfläche wurden 102 Algentaxa festgestellt. Von 26 Taxa, deren Abundanzen signifikante Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_3$  aufwiesen, kamen 24 in den  $I_3$ -Parzellen weniger häufig vor als in den  $I_0$ -Parzellen. Es konnte nicht nachgewiesen werden, daß Algentaxa als Folge der hohen Produktionsintensität aus dem Boden verschwinden. Ein Zusammenhang zwischen der Anwendung von Herbiziden und der nachgewiesenen Hemmung der Bodenalggen wird nicht ausgeschlossen, aber für wenig wahrscheinlich gehalten. Die starke Hemmung der Blaualgen hing wahrscheinlich mit den sehr hohen Stickstoffgaben in  $I_3$  zusammen.

Die festgestellte Verminderung der Algenzahl wird im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit unter drei Aspekten diskutiert: Produktion organischer Masse, Stickstoffbindung, Verbesserung der Bodenstruktur. Die diesbezüglichen Leistungen der Bodenalggen sind unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen gering. Deshalb wird angenommen, daß die bei hoher Produktionsintensität nachgewiesene Hemmung der Bodenalggen um rund 40 % die Bodenfruchtbarkeit der Ahlumer Versuchsfläche nicht gefährdet.

## Investigations on the influence of an intensive crop protection on the composition of algal soil flora

### Summary

Besides other microorganisms in arable soils blue-green algae (Cyanobacteria) as well as eukaryotic algae can be found. Unlike decomposers such as soil fungi and most of the soil bacteria, algae as photoautotrophic organisms are able to form organic matter. Many blue-green algae can fix atmospheric nitrogen.

The present study should elucidate, whether a long-term intensive crop production with its high usage of pesticides will influence the algal soil flora. From a long-term project of the Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry in Ahlum near Braunschweig two experimental plots were selected: one of low cropping intensity without any application of pesticides and a small amount of fertilizers ( $I_0$ ); the other with the highest meaningful amount of pesticides and fertilizers ( $I_3$ ) for maximum crop yield. From May 1987 till December 1989 soil samples were taken in eight-week intervals from the upper layer (0-5 cm) of the soil. The crop rotation consisted of winter wheat, winter barley, yellow mustard (catch crop), and sugar beet.

The total amount of blue-green algae makes up about one tenth of all algal species being found in  $I_0$  in total. In  $I_3$  the number of bluegreen algae was by 75.4 %, the number of eukaryotic algae by 35.8 %, the total number of both groups together by 39.6 % lower than in  $I_0$ .

In the soil of the experimental area in Ahlum 102 algal taxa were found. 24 taxa were significantly more abundant in  $I_0$ , two in  $I_3$ . There was no evidence that any algal taxon vanished as a consequence of the high production intensity.

It can not be excluded, that the application of herbicides might be responsible for the suppression of soil algae. How-

ever, we do not see much probability for that. The strong suppression of blue-green algae is probably a result of the high level of nitrogen fertilizer in I<sub>3</sub>.

Focusing on soil fertility, three aspects are discussed in connection with the stated suppression of the algal populations: production of organic matter, nitrogen fixation, and improvement of soil structure. In Central European climate, the respective efficacy of soil algae is low. Therefore, we assume that the evaluated 40 %-suppression of soil algae will not deteriorate soil fertility in Ahlum.

## 5 Literatur

- BARCLAY, W. R., LEWIN, R. A. (1985): Microalgal polysaccharide production for the conditioning of agricultural soils.- Plant and Soil, 88: 159-169.
- BRUGGEN, van A. H. C., ARNESON, P. A. (1986): Quantitative recovery of *Rhizoctonia solani* from soil.- Plant Disease, 70 (4): 320-323.
- BUTLER, G. L. (1977): Algae and pesticides. - Residue Reviews, 66: 19-62.
- CAMPBELL, R., BERKELEY, R. C. W., LINTON, A. H., MADELIN, M. F. (1979): Microbiology of soil, air and water. - In: HAWKER, L. E., LINTON, A. H. (Hrsg.): Microorganisms - function, form and environment. - 2. Aufl., Arnold, London,: 243 bis 274.
- CLAUSS, G., EBNER, H. (1985): Grundlagen der Statistik. - 5. Aufl., Verlag H. Deutsch, Thun: 520 S.
- DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden. - Neue Brehm Bücherei, Ziemsen Verlag, Wittenberg: 265 S.
- FULLER, W. H., ROGERS, R. N. (1952): Utilization of the phosphorus of algal cells as measured by Neubauer technique. Soil Sci., 74: 417-430.
- I.R.R.I. (1976): Nonsymbiotic nitrogen fixation newsletter, 4: 13-29. International Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines. Zit. n. JAGNOW (1981).
- JAGNOW, G. (1981): Die ökologische und produktionsbiologische Bedeutung stickstoffbindender Mikroorganismen als Grundlage zur Bewertung ihrer Schädigung durch Umweltchemikalien. - Landbauforschung Völkenrode, 31: 127-138.

- KÖNNECKE, G. (1967): Fruchtfolgen. - Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 2. Aufl.,. Zit. n. GEISLER, G. (1980): Pflanzenbau. - Berlin u. Hamburg, Paul Parey, 1. Aufl.: 474 S.
- MCCANN, A. E., CULLIMORE, D. R. (1979): Influence of pesticides on the soil algal flora. - Residue Reviews, 72: 1-31.
- METTING, B. (1981): The systematics and ecology of soil algae. - The Botanical Review, 47: 195-312.
- METTING, B. (1988): Micro-algae in agriculture. - In: BOROWITZKA, M. A., BOROWITZKA, L. J. (Hrsg.): Micro-algal biotechnology. - Cambridge, Univ. Press: 288-304.
- METTING, B., RAYBURN, W. R. (1983): The influence of a micro-algal conditioner on selected Washington soils: an empirical study. - Soil Science Society of America Journal, 47: 682-685.
- NICHOLS, H. W. (1973): Growth media-freshwater. - In: STEIN, J. R. (Hrsg.): Handbook of phycological methods, culture methods and growth measurements. - Cambridge, Univ. Press: 7-24.
- OESTERREICHER, W. (1986): Quantitative Erfassung der Boden-algen-Flora auf Skipisten oberhalb der Waldgrenze. - Dissertation, Univ. Innsbruck: 138 S.
- OESTERREICHER, W. (1988): Quantitative Erfassung der Boden-algen-Flora mit dem Fluoreszenzmikroskop. - Leitz Mitteilungen für Wissenschaft und Technik, 9: 112-116.
- OESTERREICHER, W. (1990): Ökologische Bedeutung der Algen im Boden. - Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 42: 122 bis 126.
- PADHY, R. N. (1985): Cyanobacteria and pesticides. - Residue Reviews, 95: 1-44.
- ROGER, P. A., KULASOORIYA, S. A. (1980): Blue-green algae and rice. - Los Banos, The Phillipines: International Rice Research Institute. Zit. n. METTING (1988).
- SACHS, L. (1984): Angewandte Statistik. - Springer Verlag, 6. Aufl., Berlin: 552 S.
- SCHAEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. - Enke, 12. Aufl., Stuttgart: 491 S.
- SHTINA, E. A. (1974): The principal directions of experimental investigations in soil algology with emphasis on the U.S.S.R. - Geoderma, 12: 151-156.

- STEWART, W. D. P., FITZGERALD, G. P., BURRIS, R. H. (1968): Acetylene reduction by nitrogen-fixing blue-green algae. - Arch. f. Mikrobiologie, 62: 336-348.
- SUBRAHMANYAN, R., RELWANI, L. L., MANNA, G. B. (1965): Nitrogen enrichment of rice soils by blue-green algae and its effects on the yield of paddy. - Proc. Nat. Acad. Sci., India, 35: 283-386. Zit. n. METTING (1981).
- VINCENT, W. F. (1983): Fluorescence properties of the fresh-water phytoplankton: three algal classes compared. - British Phycological Journal, 18: 5-21.
- WITTY, J. F. (1979): Algal nitrogen fixation on temperate arable fields. Algal inoculation experiments. - Plant and Soil, 52: 165-183.
- WITTY, J. F., DAY, J. M., DART, P. J. (1977): The nitrogen economy of the Broadbalk Experiments. II. Biological Nitrogen Fixation. - Rothamsted Exp. Station, Harpenden, Rep. f. 1976, Part 2: 111-118.
- WITTY, J. F., KEAY, P. J., FROGATT, P. J., DART, P. J. (1979): Algal nitrogen fixation on temperate arable fields. The Broadbalk Experiment. - Plant and Soil, 52: 151-164.
- WRIGHT, S. J. L. (1978): Interactions of pesticides with microalgae. - In: HILL, I. R., WRIGHT, S. J. L. (HRSG.): Pesticide microbiology. - Acad. Press, London, New York, San Francisco: 536-602.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Mikrobiologie, Königin-Luise-Straße 19,  
D-14195 Berlin.

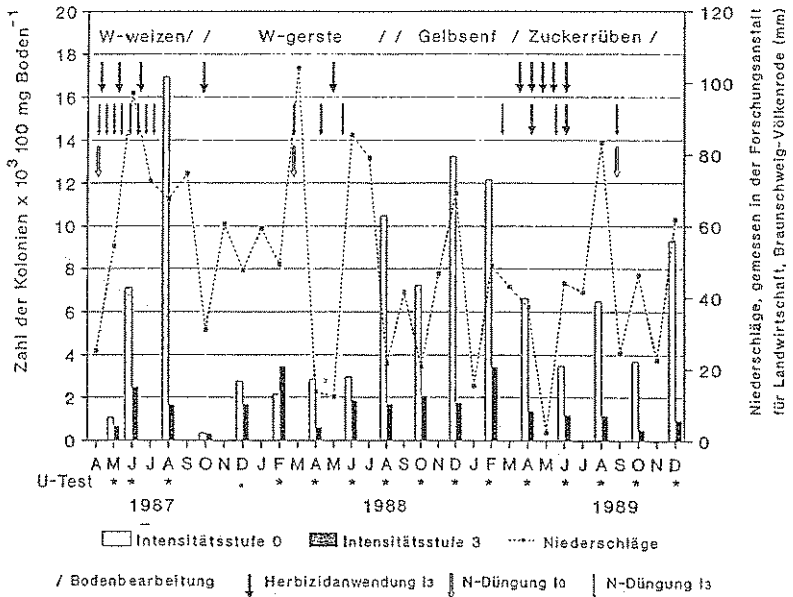


Abb. 1: Blaualgen (Cyanobakterien) insgesamt: Summen der gezählten Kolonien zu den einzelnen Probenahmeterminen

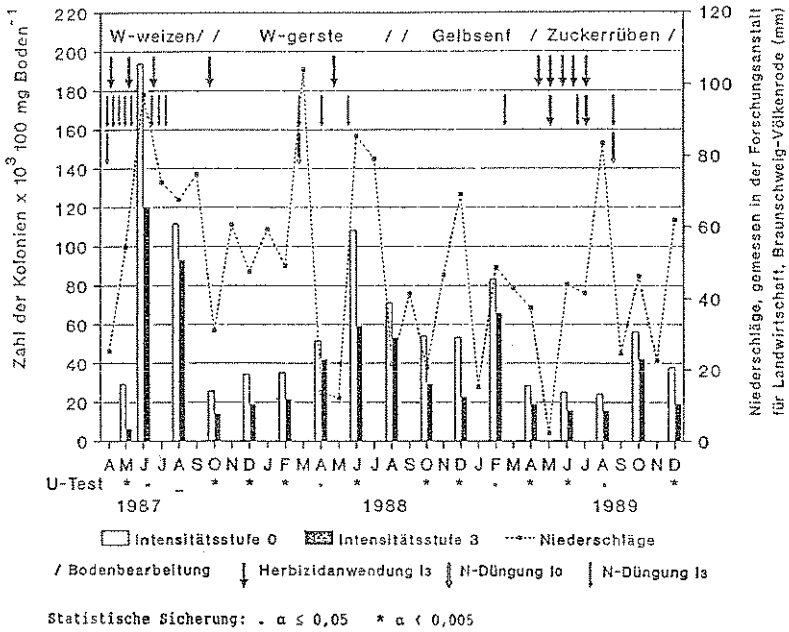


Abb. 2: Eukaryotische Algen insgesamt: Summen der gezählten Kolonien zu den einzelnen Probenahmeterminen



Tab. 1: Einfluß der Stickstoffdüngung auf das Vorkommen von Grün- und Blaualgen auf der Bodenoberfläche in einem Weizenfeld - Nach WITTY, DAY und DART (1977), Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts, U.K.

Düngung	Von Algen bedeckte Bodenoberfläche in %	
	Grünalgen	Blaualgen
ohne N P, K, Na, Mg	0,1	21,4
48 kg N ha <sup>-1</sup> P, K, Na, Mg	0,3	17,5
192 kg N ha <sup>-1</sup> P, K, Na, Mg	9,4	1,5

Tab. 2: Stickstoffdüngung auf dem Versuchsfeld Ahlum, Schlag II (N in kg/ha)

		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>
1987	Winterweizen	40,5 (1 Gabe)	254,5 (8 Gaben)
1988	Wintergerste	40 (1 Gabe)	180 (3 Gaben)
1989	Zuckerrüben	50 (1 Gabe)	202 (3 Gaben)

Tab. 3: Blaualgen (Cyanobakterien) (#) und eukaryotische Algen:  
Liste der gefundenen Taxa

Actinochloris terrestris	# Cylandrospermum spec.
Apodochloris spec.	Deasonia spec. 1
Bacillariophyceae (Diatomeen)	Deasonia spec. 2
Botrydiopsis intercedens	Dictyochloris spec.
Botrydiopsis spec. 1	Dictyococcus spec.
Botrydiopsis spec. 2	Heterococcus spec. 1
Botrydiopsis spec. 4	Heterococcus spec. 2
Botrydiopsis spec. 5	Heterococcus spec. 3
Botrydiopsis spec. 6	Heterococcus spec. 4
Botrydiopsis spec. 7	Heterothrix spec. 1
Botrydiopsis spec. 8	Heterothrix spec. 2
Bracteacoccus spec. 1	Heterotrichella spec.
Bracteacoccus spec. 2	Keratococcus spec. 1
Bracteacoccus spec. 3	Keratococcus spec. 2
Bracteacoccus spec. 4	Keratococcus spec. 3
Bracteacoccus spec. 5	Klebsormidium flaccidum
Bumilleriopsis filiformis	Leptosira spec.
Bumilleriopsis spec. 2	# Lyngbya spec.
Bumilleriopsis spec. 3	Macrochloris spec.
Chlamydomonas spec. 1	Muriella terrestris
Chlamydomonas spec. 2	Muriella spec. 2
Chlamydomonas spec. 3	Muriella spec. 3
Chlamydomonas spec. 4	Muriella spec. 4
Chlamydomonas gallertige spp.	Myrmecia spec.
Chlorella ellipsoidea	Neochloris bilobata
Chlorella spec. 1	# Nodularia spec.
Chlorella spec. 2	# Nostoc Kolonietyp I
Chlorella spec. 3	# Nostoc Kolonietyp II
Chlorella spec. 4	Pleurochloris magna
Chlorella spec. 5	Pleurochloris spec. 2
Chlorella spec. 6	Protosiphon botryoides
Chlorella spec. 7	Scenedesmus spec. 1
Chlorococcum spec. 1	Scenedesmus spec. 2
Chlorococcum spec. 2	Scotiellopsis spec. 1
Chlorococcum spec. 3	Scotiellopsis spec. 2
Chlorococcum spec. 4	Sphaerocystis spec.
Chlorosarcinopsis spec. 1	Spongiochloris spec. 1
Chlorosarcinopsis spec. 2	Spongiochloris spec. 2
Chlorosarcinopsis spec. 3	Stichococcus bacillaris
Chlorosarcinopsis spec. 4	Stichococcus minutus
Chlorosarcinopsis spec. 5	Stichococcus spec. 2
Chlorosarcinopsis spec. 6	Tetracystis spec. 1
Chlorosarcinopsis spec. 7	Tetracystis spec. 2
Chlorosarcinopsis spec. 8	Tetracystis spec. 3
Chlorosarcinopsis spec. 9	Tetracystis spec. 4
Chlorosarcinopsis spec. 10	Tetracystis spec. 5
Chlorosarcinopsis spec. 11	Tetracystis spec. 6
Chlorosarcinopsis spec. 12	Tetracystis spec. 7
Chlorosarcinopsis spec. 13	Tetracystis spec. 8
Coccomyxa spec. 1	Xanthophyceae Nr. 1
Coccomyxa spec. 2	Xanthophyceae Nr. 2

Tab. 4: Eukaryotische Algen: Liste der Taxa, deren Abundanzen gesicherte Unterschiede zwischen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> aufweisen. Zahl der Algenkolonien in 2.3 mg Boden (Trockengewicht)

	..... Wintergerste.....				/...../ Gelbsenf.....				/Zuckerrüben.....																		
Datum	1.12.1987		1.2.1988		19.4.1988		13.6.1988		8.8.1988		3.10.1988		28.11.1988		20.2.1989		17.4.1989		13.6.1989		7.8.1989		2.10.1989				
Bewirtschaftungsintensität	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U		I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U
<u>häufiger in I<sub>0</sub>:</u>																											
Apodochloris spec.	3	0	2	0	8	0.	9	0	8	0	9	0.	6	0	5	1	3	0	1	0	2	1	3	0	W*		
Bracteacoccus spec. 1	2	1	5	2	18	1:	14	0:	4	0	17	0*	27	2.	11	7	1	0	4	0	1	2	18	2	W:		
Chlorella spec. 1	13	1*	25	6.	38	34	48	42	24	17	94	42*	71	20*	100	108	6	5	2	0	2	2	3	5	W.		
Chlorella spec. 2	55	3*	40	3*	55	8*	30	23	16	9	56	9*	57	6*	37	30	14	0*	18	1*	22	6	368	1*	W*		
Chlorella spec. 3	-	-	-	-	42	2*	39	19	8	0*	13	0*	24	0*	115	16*	4	0	0	0	4	0	10	0	W:		
Chlorella ellipsoidea	-	-	-	-	-	-	6	2	56	8:	50	15*	56	12:	48	18.	2	0	3	0	6	0	22	0.	W:		
Chlorosarcinopsis spec. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	2	0	5	2	1	1	2	0	1	0	5	1	W.		
Chlorosarcinopsis spec. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	3	0	5	1	2	1	3	1	1	2	3	1	W.		
Chlorosarcinopsis spec. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	3	0	4	0	1	0	4	2	2	2	4	2	2	0	W.		
Coccomyxa spec. 1	123	98	134	189	95	73	1094	82*	497	168*	351	208	310	120.	274	147	170	191	137	136	99	108	110	69	W.		
Coccomyxa spec. 2	44	6*	37	9*	40	1*	76	5*	45	4:	50	4*	53	7*	50	30	29	6*	20	3:	29	6.	70	6*	W*		
Heterococcus spec. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	9	8	7	6	8	6	4	1	9	3	4	0	2	3	W.		
Muriella spec. 2	154	124	178	116	193	97.	301	209	910	1149	395	222:	322	269	248	196	215	147	214	139:	217	141:	209	115.	W.		
Muriella spec. 4	-	-	-	-	-	-	23	0*	5	3	18	1.	8	0	8	0	1	0	1	0	0	0	1	0	W:		
Pleurochloris magna	13	11	14	10	7	4	9	5	14	6	21	18	22	8.	15	12	40	15	14	9	25	22	21	3:	W*		
Scenedesmus spec. 1	18	7.	38	7:	25	0*	16	19	22	5	71	11*	39	6*	39	26	41	12*	37	13:	37	8.	50	7*	W*		
Scotiellopsis spec. 1	-	-	-	-	14	8	8	1	15	4	15	3.	8	6	21	2	4	3	6	1.	7	5	3	5	W:		
Scotiellopsis spec. 2	-	-	-	-	8	4	20	11	33	11:	61	21.	56	18:	56	10*	61	22*	56	13*	58	34	28	12	W:		
Tetracystis spec. 1	13	9	8	4	2	2	8	2	7	5	19	12	19	8	9	4	1	0	1	0	2	0	11	2.	W*		
Xanthophyceae Nr. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	2	1	4	1	2	1	6	0	3	1	W.		
Xanthophyceae Nr. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0	0	2	1	1	0	23	5*	8	0.	9	3	8	1	W.		

häufiger in I<sub>3</sub>: keine

Statistische Sicherung:

U = U-Test nach Mann und Whitney .  $\alpha < 0,05$  :  $\alpha < 0,01$  \*  $\alpha < 0,005$  (Symbole rechts neben den senkrechten Spalten)

W = Wilcoxon-Test .  $\alpha \leq 0,05$  :  $\alpha \leq 0,01$  \*  $\alpha \leq 0,001$  (Symbole am rechten Rand der Zeilen)

$\alpha$  = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tab. 5: Blaualgen und eukaryotische Algen: Liste der Taxa, deren Abundanzen gesicherte Unterschiede zwischen I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> aufweisen. Zahl der Algenkolonien in 20.3 mg Boden (Trockengewicht)

Datum	.....Wintergerste...../...../Gelbsenf...../Zuckerrüben.....																								
Bewirtschaftungsintensität	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	U				
<u>häufiger in I<sub>0</sub>:</u>																									
Chlamydomonas spp.	28	21	44	25	61	21.	30	18	32	20	20	14	25	23	25	13	51	38	41	27	64	30*	69	26*	W*
# Nostoc Kolonietyp I	83	56	91	163	104	21	184	87*	776	109*	998	144*	1833	177*	1425	155*	849	307*	479	224:	723	413	895	88*	W:
# Nostoc Kolonietyp II	236	187	53	119	102	14*	155	94	305	49*	515	172*	512	147.	640	120*	200	76.	212	61*	80	55	157	17:	W:
<u>häufiger in I<sub>3</sub>:</u>																									
Heterothrix spec. 1	13	6	11	47*	114	1174*	75	1257*	14	239*	262	757*	214	279	649	1471.	4	8	6	15	11	9	96	18	W.
Klebsormidium flaccidum	2	0	1	25*	61	416*	87	743*	71	147	38	204:	27	208*	50	92	0	4	0	2	1	2	5	2	W:
Statistische Sicherung:																									
U = U-Test nach Mann und Whitney	. $\alpha < 0,05$ : $\alpha < 0,01$ * $\alpha < 0,005$ (Symbole rechts neben den senkrechten Spalten)																								
W = Wilcoxon-Test	. $\alpha \leq 0,05$ : $\alpha \leq 0,01$ * $\alpha \leq 0,001$ (Symbole am rechten Rand der Zeilen)																								
$\alpha$ = Irrtumswahrscheinlichkeit																									
# Blaualgen																									

Tab. 6: Algentaxa, die nur in I<sub>0</sub>-Parzellen oder nur in I<sub>3</sub>-Parzellen nachgewiesen wurden. Gesamtsummen der Abundanzen zu den einzelnen Probenahmeterminen ( $\sum x_i$ )

	$\sum x_i$		Erfasst seit	Zahl der Probenahmeterminale
	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>		
<u>nur in I<sub>0</sub> Parzellen nachgewiesen:</u>				
Bracteacoccus spec. 4	3	0	28.11.88	6
Chlamydomonas spec. 4	2	0	20.02.89	5
Chlorella spec. 5	23	0	08.08.88	8
Chlorococcum spec. 2	1	0	20.02.89	5
Chlorococcum spec. 4	1	0	28.11.88	6
Chlorosarcinopsis spec. 7	3	0	08.08.88	8
Dictyococcus spec.	1	0	13.06.89	3
Leptosira spec.	3	0	08.08.88	8
Macrochloris spec.	2	0	08.08.88	8
Myrmecia spec.	31	0	08.08.88	8
Scenedesmus spec. 2	2	0	03.10.88	7
Tetracystis spec. 4	1	0	08.08.88	8
Tetracystis spec. 8	2	0	08.08.88	8
<u>nur in I<sub>3</sub> Parzellen nachgewiesen:</u>				
Botrydiopsis spec. 7	0	1	08.08.88	8
Bracteacoccus spec. 5	0	1	20.02.89	5
Buwalleriopsis filiformis	0	1	01.12.87	12
Chlorosarcinopsis spec. 9	0	3	08.08.88	8
Dictyochloris spec.	0	1	28.11.88	6
Heterothrix spec. 2	0	1	20.02.89	5
Keratococcus spec. 3	0	1	20.02.89	5
Tetracystis spec. 7	0	1	03.10.88	7

VIII *EINFLUSS UNTERSCHIEDLICH HOHER INTENSITÄTEN ACKER- UND PFLANZENBAULICHER MASSNAHMEN AUF DIE POPULATIONSDICHTE DER REGENWÜRMER*

Ernst Knüsting, Gerhard Bartels

1 Einleitung

Den Lumbriciden kommt im Kompartiment Boden von Agrarökosystemen eine wichtige Aufgabe zu, denn sie können durch ihre grabende und mischende Tätigkeit den Abbau der organischen Substanz fördern und stabile Ton-Humus-Komplexe aufbauen sowie durch die Anlage von vertikalen und horizontalen Röhrensystemen die Wasserführung im Boden verbessern (GRAFF 1983a).

In § 6 des Pflanzenschutzgesetzes ist der Schutz des Naturhaushaltes (Boden, Wasser, Luft, Tier- und Pflanzenarten) festgelegt. Danach dürfen Pflanzenschutzmittel nicht angewendet werden, wenn mit erheblichen schädlichen Auswirkungen auf den Naturhaushalt zu rechnen ist. Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln hat nach guter fachlicher Praxis und unter Berücksichtigung der Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes zu erfolgen. Dabei soll auch eine Schädigung der Bodenfauna ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Diskussion über die mögliche Belastung landwirtschaftlicher Böden durch einen überhöhten Einsatz von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln und einer damit verbundenen etwaigen Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, erschien es notwendig, mögliche negative Einflüsse unterschiedlich intensiver Bewirtschaftung auf Lumbricidenpopulationen unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis zu untersuchen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, im einzelnen die Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftung auf

- das Artenspektrum,
- die Aktivitätsdominanz,
- die Aktivitätsdichte und
- die Aktivitätsdynamik von Regenwurmartens festzustellen.

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Die Auswahl der Versuchsflächen für die Regenwurmuntersuchungen erfolgte unter dem Gesichtspunkt, einen möglichst hohen Grad an Vergleichbarkeit hinsichtlich der Bodenart zu erreichen. Deshalb erfolgte die Probenahme vorwiegend auf Arealen, die Parabraunerden mittlerer Mächtigkeit und mittleren Tongehalts aufwiesen. Ausgangsgestein war in der Regel LÖB über Kalkgestein. Der mittlere Humusgehalt im Oberboden betrug 1.35 bis 1.95 %.

1986 und 1987 wurde ein Methodenvergleich mit dem Ziel durchgeführt, die effizienteste Fangmethode von Lumbriciden für die vorliegende Untersuchung herauszufinden (BALOGH 1958; BAUCH-HENSS & HERR 1986; KÜHLE 1986; LEE 1985; THIELEMANN 1986; ZISCI 1957). Unterschiedliche abundanz- und aktivitätsbezogene Methoden wurden im einzelnen getestet.

Von diesen kamen die beiden aktivitätsbezogenen Methoden zur Austreibung mit Formalin und elektrischem Strom (Oktett-Methode) in die engere Wahl.

Nach vergleichendem Einsatz wurde die Elektrofang-Methode nach THIELEMANN (1986) aus folgenden Gründen gewählt:

- Die Bodenstruktur bleibt erhalten und es treten keine zusätzlichen Intoxikationen des Bodens durch ausgebrachtes Formaldehyd ein.
- Der Arbeitsaufwand für die notwendige Probenzahl von Wiederholungen hält sich in einem vertretbaren Rahmen.

Dabei war der erste Grund vor allem für die übrigen Projekte wichtig. So konnten für die anderen Projekte auf dem flächenmäßig begrenzten Probenahmeareal weiterhin Proben genommen werden, die nicht durch Formaldehyd beeinflusst waren. Voraussetzungen, die für ein Verbundprojekt von großer Bedeutung sind. Die Oktett-Methode sowie der Aufbau und die Funktionsweise des Steuergerätes sind bei THIELEMANN (1986) ausführlich dargestellt. Die in Ahlum verwendete Apparatur war technisch verfeinert (Abb. 1).

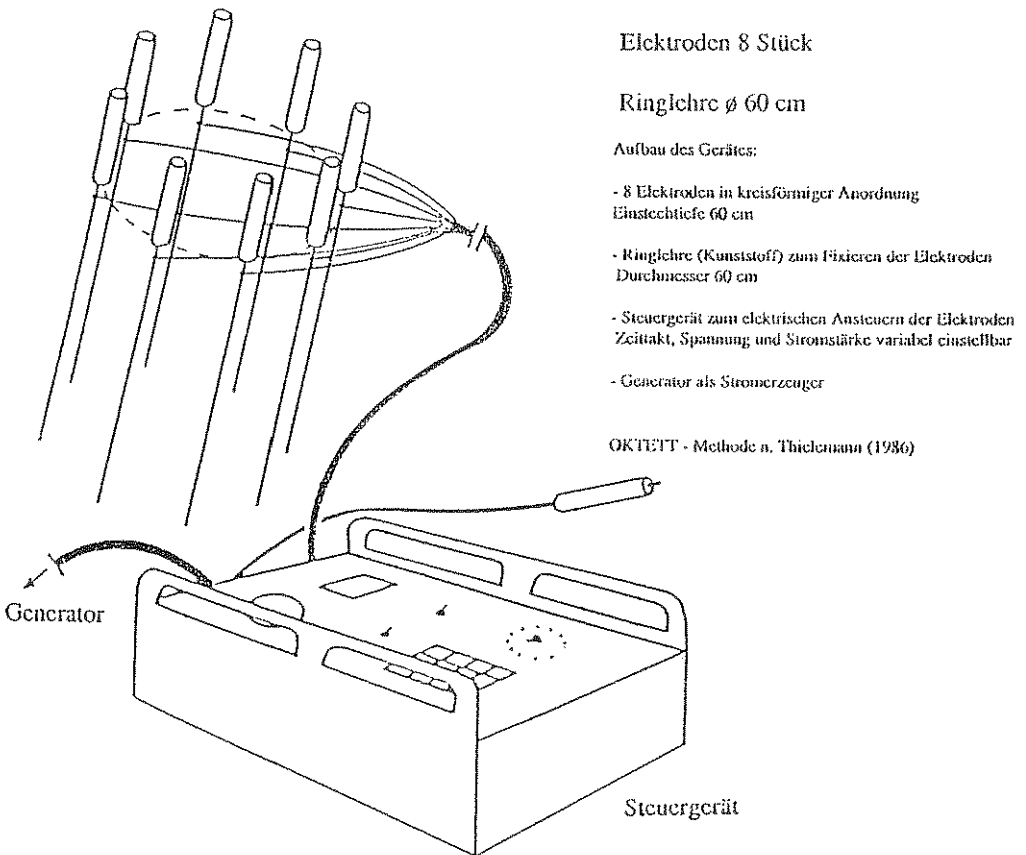


Abb. 1: Aufbau der Austreibeapparatur (Zeichnung n. LARINK, verändert und ergänzt)



Voruntersuchungen erbrachten den Nachweis, daß beide Methoden hinsichtlich Individuenzahl der gefangenen Lumbriciden vergleichbar sind (KALBERLAH & KNÜSTING 1989). Mit einer Effizienz von ca. 80 % (Kontrolle durch Handsortierung = 100 %) ergaben sich kaum Unterschiede zur Formalin-Austreibung (Abb. 2).

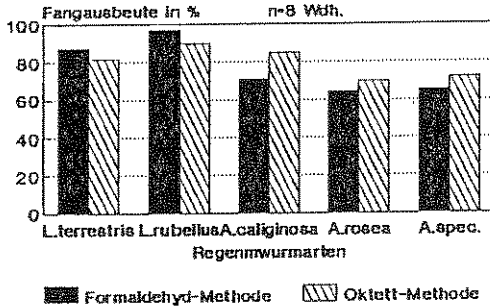


Abb. 2: Methodenvergleich von Formalin- und Oktett-Methode, (Kontrolle durch Handsortierung = 100%)

Die Voruntersuchungen zeigten, daß eine Effizienzprüfung der Apparatur vor einem routinemäßigen Einsatz notwendig ist:

- Ansteuerung der Elektroden auf unterschiedliche Weise.
- Festlegung des zeitlichen Intervalls und der Oszillationen des Stromflusses zwischen den Elektroden.
- Ermittlung der Dauer der Austreibung (bis keine Regenwürmer mehr an die Bodenoberfläche kommen).
- Überprüfung der Effizienz durch Nachgraben und anschließende Handsortierung.
- Wiederholung des gesamten Vorgangs mit unterschiedlichen Geräteeinstellungen bis ein optimales Verhältnis zwischen Dauer der Austreibung und der Effizienz der Methode erreicht ist.

Voraussetzung für die Anwendung der Methode ist, daß die Lumbriciden sich nicht in Diapause oder Quieszenz befinden.

In beiden Fällen, der Formalin-Austreibung wie der elektrischen Fangmethode, ist die ermittelte Individuenzahl von der Aktivität der Lumbriciden abhängig, d. h. daß nur eine Aktivitäts-

dichte ermittelt wird, die nicht mit der tatsächlich vorkommenden Individuendichte der Lumbriciden übereinstimmen muß. Da die Aktivität der Regenwürmer ihrerseits u.a. von Bodentemperatur und -feuchte abhängt, müssen für eine effektive Probenahme folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Austreibung nur bei Aktivität der Regenwürmer,
- ausreichende Bodenfeuchte ( $> 16 \%$ ) und Bodentemperatur ( $> 7 \text{ }^\circ\text{C}$ ),
- Ausschluß von Flächen mit Bodenverdichtungen wie Fahrgassen und Vorgewende.

Für den Fang der Lumbriciden auf der Versuchsfläche in Ahlum wurden die jeweils gegenüberliegenden Elektrodenpaare für 1 sec angesteuert. Die Austreibung erfolgte mit einer Spannung von 60 V und dauerte pro Wiederholung 30 min. Die Elektroden wurden bis in eine Tiefe von 50 cm in den Boden eingestochen. Auf alle bis zu dieser Tiefe vorkommenden Lumbriciden wirkte sich die Spannung aus. War ein Einstechen der Elektroden bis zu dieser Tiefe nicht möglich, wurde an der entsprechenden Stelle keine Austreibung vorgenommen.

Je Kultur, Intensität und Probenahmetermin wurden entlang eines Transektes im Abstand von mindestens 5 m 1987 sechs und 1988 und 1989 acht Wiederholungen durchgeführt. Die Transekte verliefen parallel zur Fahrgasse. Vor der Probenahme wurde, sofern vorhanden, die Pflanzendecke entfernt. Die Probefläche umfaßte eine Fläche (PVC-Ring) von  $0.25 \text{ m}^2$ . Die Probenahme erfolgte in der Regel in vierwöchigem Abstand. Wenn sich die Lumbriciden im Ruhestadium befanden, war das zeitliche Intervall zwischen den Probenahmen länger.

1987 konnten in den Sommermonaten einige Kulturen und Intensitäten wegen unzureichender Geräteausstattung nur unvollständig beprobt werden.

Nach dem Absammeln wurden die Regenwürmer 12 Stunden in klarem Wasser gehältert, um sie zu entkoten. Anschließend wurden sie abgetötet und in 80 %igem Alkohol konserviert.

Die Determination erfolgte getrennt nach juvenilen und adulten Stadien. Verwendet wurden Bestimmungsschlüssel von BAUCHHENS &

HERR (1987), GRAFF (1953) und SIMS & GERARD (1985). Die Kokons wurden nach SIMS & GERARD (1985) und die Juvenilen nach JUDAS (1989) determiniert.

Die Angaben zur Aktivitätsdichte beziehen sich auf die Aktivität der Tiere in einer bestimmten Flächeneinheit (in der Regel auf 1 m<sup>2</sup>) (MÜHLENBERG 1989). Die Einteilung der Dominanzklassen folgt den Angaben von ENGELMANN (1978). Die Bezeichnungen "Hauptarten" und "Begleitarten" wurden in diesem Zusammenhang von ENGELMANN (1978) eingeführt. Die "Hauptarten" umfassen die eudominanten bis subdominanten Arten, die "Begleitarten" die rezedenten bis sporadischen Arten.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Artenspektrum und Dominanzverhältnisse

Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden neun Lumbricidenarten gefunden (Tab. 1). Im Mittel aller drei Schläge und der untersuchten Jahre 1987 bis 1989 kamen *Allolobophora caliginosa* mit 49 % eudominant, *Allolobophora rosea* mit 25 % und *Allolobophora longa* mit 14 % dominant vor. Während *Lumbricus terrestris* in Subdominanz (8 %) gefangen wurde, waren alle übrigen Lumbricidenarten rezedent, subrezedent oder sporadisch vertreten (Klassifikation nach ENGELMANN 1978).

Tab. 1: Dominanzverhältnisse und mittlere Aktivitätsdichte der Lumbriciden auf der Versuchsfläche in Ahlum

Regenwurmarten	Dominanz (%)	Aktivitätsd. (Ind./m <sup>2</sup> )
<i>Allolobophora caliginosa</i>	49,0	4,4
<i>Allolobophora rosea</i>	24,9	2,3
<i>Allolobophora longa</i>	14,4	1,3
<i>Lumbricus terrestris</i>	7,7	0,7
<i>Octolasion cyaneum</i>	2,3	0,2
<i>Octolasion lacteum</i>	1,1	0,1
<i>Lumbricus rubellus</i>	0,4	< 3
<i>Allolobophora chlorotica</i>	0,1	< 1
<i>Allolobophora antipai</i>	0,1	< 1

Die Verhältnisse der Aktivitätsdominanz in Ahlum über den gesamten Untersuchungszeitraum und alle Kulturen sind in den Abbildungen 4a bis 4c dargestellt. Der mittlere Anteil von *A. caliginosa* stieg von 47 % im Jahr 1987 auf 57 % im Jahr 1989. Dagegen sank der von *A. rosea* im gleichen Zeitraum von 28 % auf 16 %. Während der Anteil von *L. terrestris* 1987 bei 3 % lag, stieg er 1988 auf 12 % an und verminderte sich 1989 wieder auf 8 %. Vergleichbare Veränderungen der Dominanzverhältnisse waren auch bei *A. longa* zu beobachten. Im gesamten Untersuchungszeitraum wurde *Octolasion lacteum* nachgewiesen, aber nur 1988 trat die Art in Dominanz (11 %) auf.

### 3.2 Einfluß der Kulturen

Insgesamt wurden in der Zuckerrübe sieben, im Winterweizen und in der Wintergerste/Zwischenfrucht acht Arten gefunden.

Die Artenzahl verringerte sich von 1987 bis 1989 in den verschiedenen Kulturen unterschiedlich stark (Abb. 3).

In der Zuckerrübe ging sie von sieben auf fünf Arten und im Winterweizen von acht auf fünf Arten zurück. In der Wintergerste/Zwischenfrucht reduzierte sie sich dagegen nur um eine Art (von sieben auf sechs Arten).

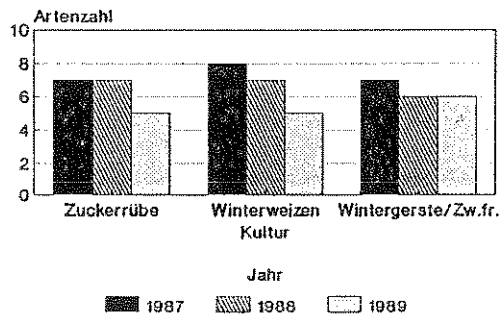


Abb. 3: Artenzahlen in den drei Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht.

Während die mittlere Aktivitätsdichte im Winterweizen (11.8 Ind./m<sup>2</sup>) und in der Wintergerste/Zwischenfrucht (10.7 Ind./m<sup>2</sup>) ähnlich hoch lag, war sie in der Zuckerrübe deutlich erniedrigt (4.8 Ind./m<sup>2</sup>).

Tab. 2: Mittlere Aktivitätsdichte der Lumbriciden in den Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht im Untersuchungszeitraum

Regenwürmarten	Aktivitätsdichten (Ind./m <sup>2</sup> ) in		
	Zuckerrübe	Winterweizen	Wintergerste
<i>A. caliginosa</i>	2.83	5.39	5.16
<i>A. rosea</i>	0.64	3.17	3.00
<i>L. terrestris</i>	0.27	0.46	1.38
<i>A. longa</i>	0.78	2.11	1.05
<i>A. antipai</i>	-	0.01	0.02
<i>A. chlorotica</i>	-	-	0.02
<i>O. cyaneum</i>	0.12	0.46	0.06
<i>O. lacteum</i>	0.11	0.15	0.04
<i>L. rubellus</i>	0.04	0.05	-
Summe	4.79	11.81	10.74
Artenzahl	7	8	8

Diese Verhältnisse wurden auch für *A. caliginosa* gefunden. *A. rosea* wurde im Getreide sogar fünf mal häufiger als in der Zuckerrübe festgestellt und auch alle übrigen Arten waren im Getreide deutlich häufiger als in den Zuckerrüben zu finden (Tab. 2).

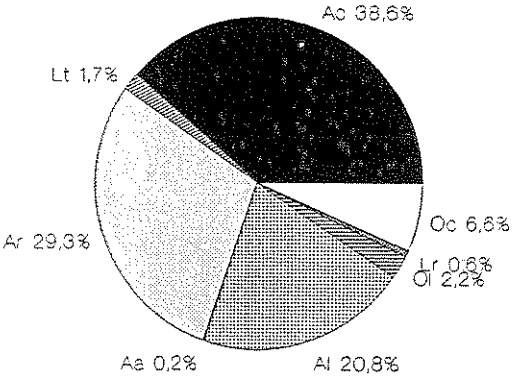
Die Verhältnisse der Aktivitätsdominanz stellten sich in den Kulturen über den Untersuchungszeitraum im Detail wie folgt dar:

- *A. caliginosa* stellte die häufigste Art in allen Kulturen und Jahren. Der prozentuale Anteil wies - je nach Kultur leicht verändert - starke Schwankungen auf.
- *A. rosea* nahm von 29 % auf 19 % (Zuckerrübe), von 14 % auf 8 % (Winterweizen), von 37 % auf 17 % (Wintergerste/Zwischenfrucht) ab.
- *L. terrestris* verzeichnete dagegen eine Zunahme: In der Zuckerrübe erhöhte sich sein Anteil von 1 % auf 6 % (um das Fünffache), im Winterweizen und in der Wintergerste von 3 % auf 20 % bzw. 21 % (um das Siebenfache). Da *L. terrestris* 1989 nicht gefangen wurde, beschränken sich die Angaben auf die beiden Jahre 1987 und 1988.
- *A. longa* wies Schwankungen von 14-21 % (Zuckerrübe), 9-12 % (Winterweizen) und 6-13 % (Wintergerste/Zwischenfrucht) auf. Im Wintergetreide erfolgte eine Verminderung der Aktivitätsdichte erst 1989, in der Zuckerrübe aber schon 1988.
- *O. cyaneum* und *O. lacteum* erreichten sehr unterschiedliche Aktivitätsdichten in den einzelnen Kulturen und Jahren. *O. cyaneum* wies seinen höchsten Prozentsatz (7 %) 1987 in der Zuckerrübe auf und *O. lacteum* wurde im Winterweizen 1988 am häufigsten gefangen (5 %).
- *L. rubellus* fand sich 1987 und 1988 in der Zuckerrübe und im Winterweizen sowie 1989 in der Wintergerste/Zwischenfrucht.
- *A. chlorotica* kam 1989 in der Wintergerste/Zwischenfrucht vor.
- *A. antipai* wurde 1987 und 1988 in Zuckerrübe und Wintergerste/Zwischenfrucht gefangen.

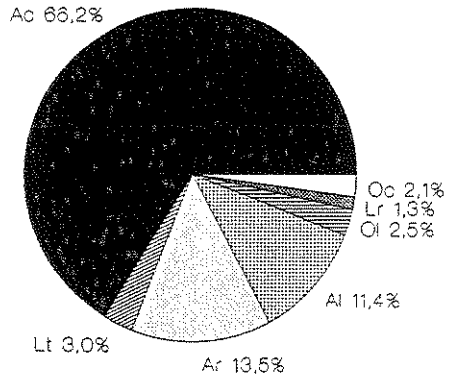
### 3.3 Einfluß der Intensitätsstufen

Ein Vergleich der mittleren Artenzahlen zwischen den vier verschiedenen Intensitätsstufen zeigte keine deutlichen Unterschiede (Abb. 5). In der Zuckerrübe und in der Wintergerste/Zwischenfrucht schwankte die Artenzahl von  $I_0$  bis  $I_3$  zwischen 4 und 5 Arten und im Winterweizen zwischen 5 und 6 Arten.

Zuckerrübe 1987



Winterweizen 1987



Legende der Regenwurmarten

- Ac *Allolobophora caliginosa*
- Ar *Allolobophora rosea*
- Lt *Lumbricus terrestris*
- Al *Allolobophora longa*
- Aa *Allolobophora antipai*
- Acl *Allolobophora chlorotica*
- Oc *Octolasion cyaneum*
- Oi *Octolasion lacteum*
- Lr *Lumbricus rubellus*

Wintergerste/Zwischenfrucht 1987

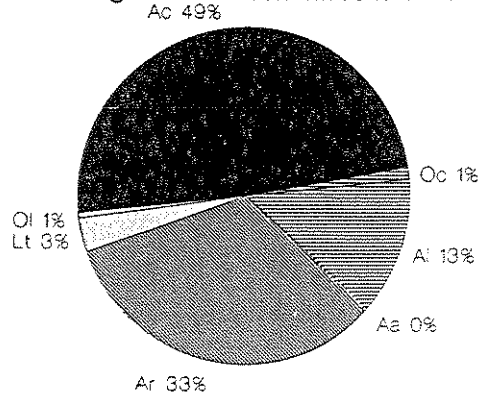
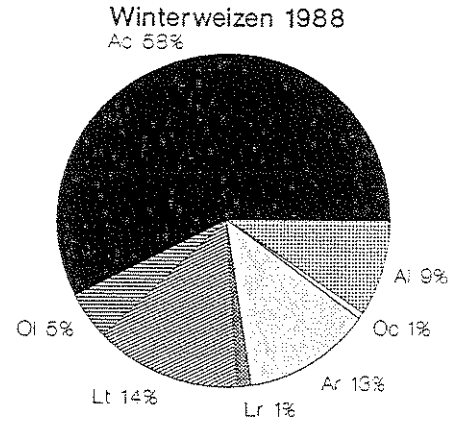
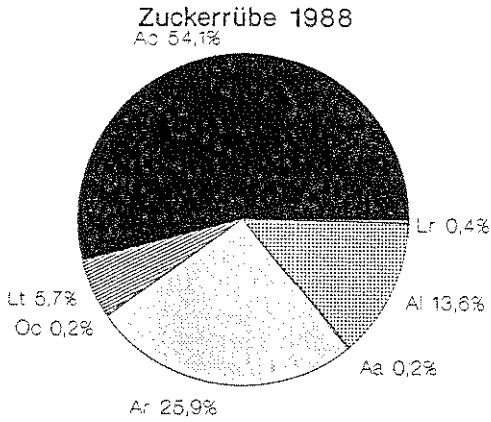


Abb. 4a: Dominanzverhältnisse in den Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht in der Vegetationsperiode 1987



Legende der Regenwurmarten

- Ac *Allolobophora caliginosa*
- Ar *Allolobophora rosea*
- Lt *Lumbricus terrestris*
- Al *Allolobophora longa*
- Aa *Allolobophora antipai*
- Acl *Allolobophora chlorotica*
- Oc *Octolasion cyaneum*
- Ol *Octolasion lacteum*
- Lr *Lumbricus rubellus*

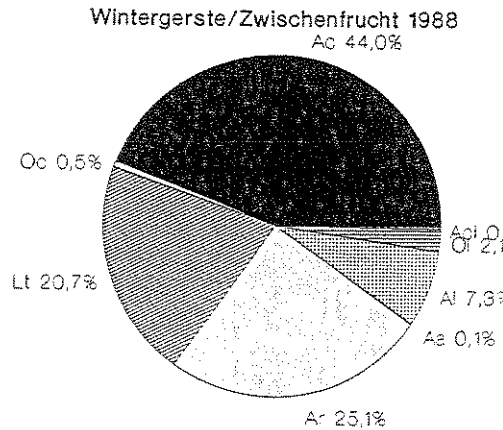
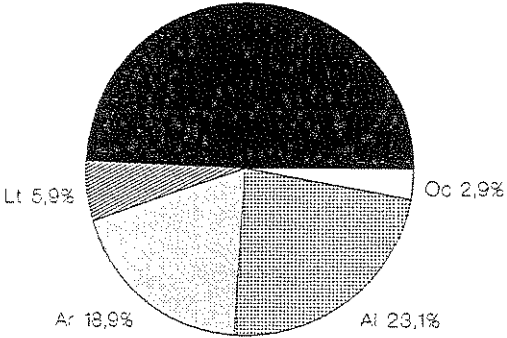


Abb. 4b: Dominanzverhältnisse in den Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht in der Vegetationsperiode 1988



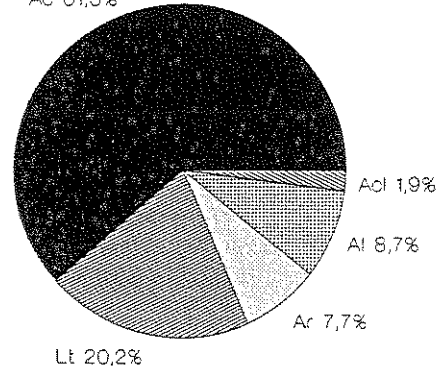
Zuckerrübe 1989

Ac 49,2%



Winterweizen 1989

Ac 61,5%



Legende der Regenwurmarten

- Ac *Allolobophora caliginosa*
- Ar *Allolobophora rosea*
- Lt *Lumbricus terrestris*
- Al *Allolobophora longa*
- Aa *Allolobophora antipai*
- Acl *Allolobophora chlorotica*
- Oc *Octolasion cyaneum*
- Ol *Octolasion lacteum*
- Lr *Lumbricus rubellus*

Wintergerste/Zwischenfrucht 1989

Ac 71,6%

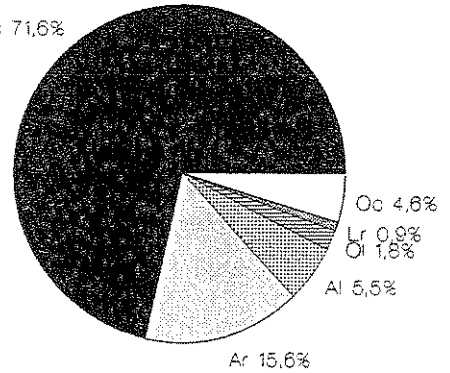


Abb. 4c: Dominanzverhältnisse in den Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht in der Vegetationsperiode 1989

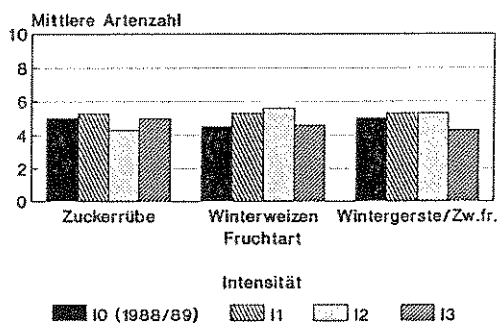


Abb. 5: Mittlere Artenzahlen in den Intensitätsstufen der Kulturen Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste/Zwischenfrucht

Die mittlere Aktivitätsdichte der Lumbriciden in den Intensitäten wurde über den Untersuchungszeitraum für alle Kulturen berechnet. Für das Jahr 1987 beziehen sich die Angaben auf die Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$ , während 1988 und 1989 zusätzlich  $I_0$  beprobt wurde (Abb. 6a-6c).

#### Zuckerrübe:

- Bei *A. caliginosa* schwankte die mittlere Aktivitätsdichte 1987 zwischen 10 und 12 Ind./m<sup>2</sup>. Die Unterschiede zwischen  $I_1$ - $I_3$  waren gering und eine Tendenz war nicht feststellbar. 1988 lag die Aktivitätsdichte in allen drei Intensitäten ( $I_1$ - $I_3$ ) um das Drei- bis Fünffache niedriger als im Jahr davor. 1989 wurde die Art in sehr geringer Dichte (0.1-2.1 Ind./m<sup>2</sup>) gefangen. Aussagen zur Häufigkeitsverteilung in den verschiedenen Intensitäten sind daher 1989 nicht möglich.
- *A. rosea* zeigte 1987 eine kontinuierliche Abnahme der mittleren Aktivitätsdichte von 11 Ind./m<sup>2</sup> in  $I_1$  über 9.6 Ind./m<sup>2</sup> in  $I_2$  bis zu 4 Ind./m<sup>2</sup> in  $I_3$ . Ein Zusammenhang zur Erhöhung der Bewirtschaftungsintensität scheint wahrscheinlich, wenn auch keine Kausalitäten ermittelt werden können. 1988 sind angesichts zu geringer Fangzahlen keine Aussagen bezüglich der Intensitäten möglich. Dies trifft auch für 1989 zu.
- *A. longa* wurde 1987 in  $I_2$  am häufigsten gefangen, und fand sich in  $I_1$  und  $I_3$  in deutlich geringerer Dichte. 1988 war

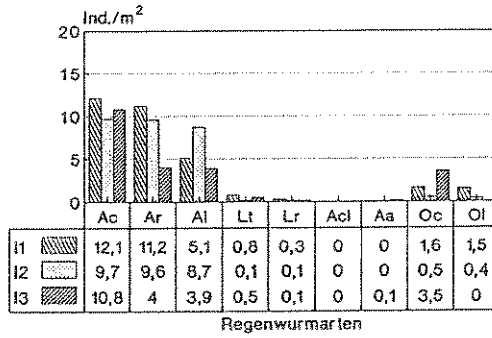
die Art in zu geringer Dichte vertreten, als daß Aussagen gemacht werden konnten. Die einzelnen Individuen, die 1989 gefangen wurden, vermitteln keine Informationen zur Verteilung der Aktivitätsdichte auf die Intensitäten. Zusammenhänge zwischen Aktivitätsdichte und Höhe der Bewirtschaftungsintensität waren bei dieser Art auch ansatzweise nicht festzustellen.

- Alle übrigen Arten (*L. terrestris*, *L. rubellus*, *O. cyaneum*, *O. lacteum*) kamen in so geringer mittlerer Aktivitätsdichte vor, daß mögliche Auswirkungen einer steigenden Bewirtschaftung nicht interpretierbar sind. Lediglich *O. cyaneum* erreichte 1987 in  $I_1$  und  $I_3$  geringfügig höhere Dichten.

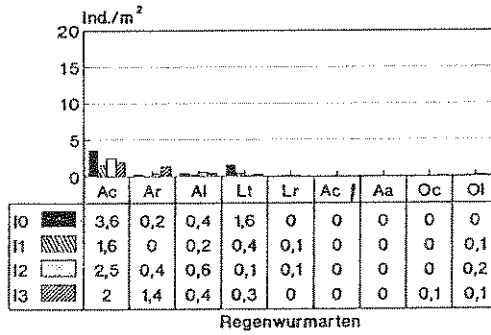
#### Winterweizen:

- *A. caliginosa* wies 1987 in  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  ähnlich hohe Aktivitätsdichten auf. 1988 war die Aktivitätsdichte in  $I_0$  gegenüber den anderen drei Intensitäten ( $I_1$ - $I_3$ ) um das Zweibis fast Vierfache erhöht. Dabei war die Dichte in  $I_0$  ein wenig höher als in  $I_1$ - $I_3$ . Doch sind die mittleren Aktivitätsdichten in allen Intensitäten zu gering und die Unterschiede zwischen  $I_0$  und  $I_1$ - $I_3$  zu gering, um Zusammenhänge zur Höhe der Intensitäten erkennen zu können. 1989 waren die Verhältnisse der Aktivitätsdichten in den Intensitäten ähnlich denen von 1988, nur war der Unterschied zwischen  $I_0$  und  $I_1$ - $I_3$  ausgeprägter.
- *A. rosea* wurde 1987 in  $I_1$ - $I_3$  nur in geringen Zahlen gefangen. Unterschiede zwischen den drei Intensitäten wurden nicht sichtbar. 1988 waren die Differenzen in der Aktivitätsdichte zwischen den vier verschiedenen Intensitäten nicht so deutlich. Lediglich in  $I_0$  war die Art deutlich häufiger anzutreffen. 1989 wurden zu geringe Fangzahlen ermittelt, doch wurden in  $I_0$  einige Exemplare mehr als in  $I_1$ - $I_3$  gefangen.
- Alle übrigen Arten (*A. longa*, *L. terrestris*, *L. rubellus*, *O. cyaneum*, *O. lacteum*) wurden in zu wenigen Individuen gefangen, als daß aus dem Auftreten auf Auswirkungen der Intensitäten zu schließen sei.

Zuckerrübe 1987



Zuckerrübe 1988



Zuckerrübe 1989

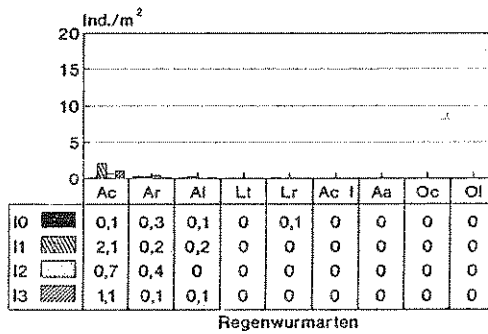
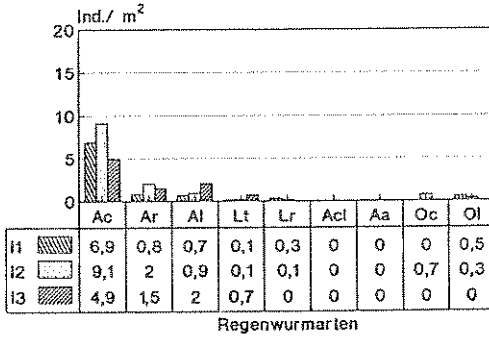
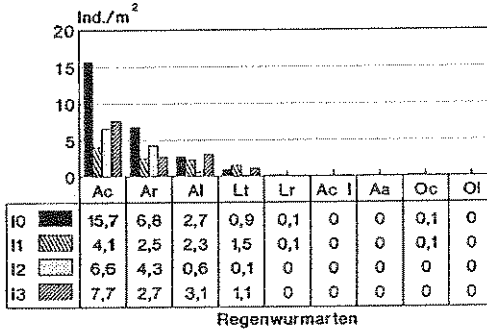


Abb. 6a: Mittlere Aktivitätsdichte aller gefundenen Lumbricidenarten in den Intensitäten der Kultur Zuckerrübe in den Jahren 1987, 1988 und 1989 - Die Abkürzungen für die Arten (Ac - Ol) siehe Abb. 4

Winterweizen 1987



Winterweizen 1988



Winterweizen 1989

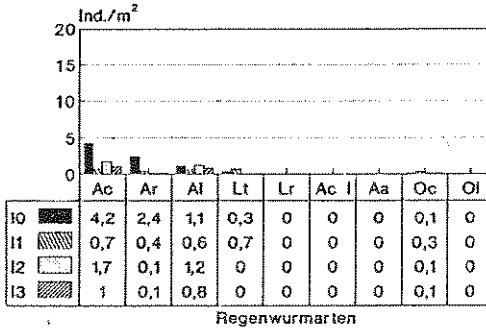
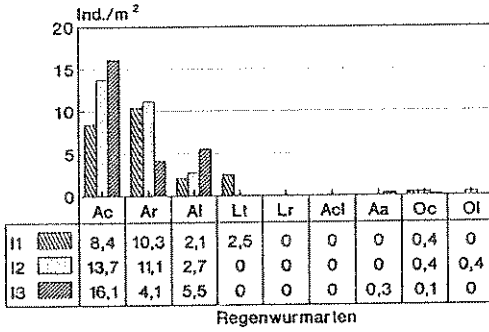


Abb. 6b: Mittlere Aktivitätsdichte aller gefundenen Lumbricidenarten in den Intensitäten der Kultur Winterweizen in den Jahren 1987, 1988 und 1989 - Die Abkürzungen für die Arten (Ac - Ol) siehe Abb. 4

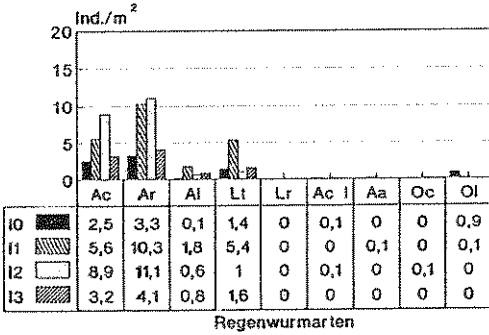
Wintergerste/Zwischenfrucht:

- *A. caliginosa* ließ 1987 eine kontinuierliche Zunahme der mittleren Aktivitätsdichte mit steigender Intensivierung der Bewirtschaftung erkennen: in  $I_1$  wurden 8.4, in  $I_2$  13.7 und in  $I_3$  16.1 Ind./m<sup>2</sup> gefangen. Auch in diesem Fall ist ein Einfluß zunehmender Bewirtschaftung wahrscheinlich. Es kann jedoch nicht entschieden werden, ob diese Einflußnahme direkter (Düngung, Pflanzenschutzmittel) oder indirekter Art (Änderungen der Biotopstruktur durch Herbizide) ist. Dazu wären weitere Untersuchungen notwendig. 1988 war die gleiche kontinuierliche Zunahme der Aktivitätsdichte mit steigender Intensität zu beobachten, nur daß der kontinuierliche Anstieg diesmal auf einem insgesamt niedrigeren Niveau erfolgte und die Intensitäten  $I_0$ - $I_2$  umfaßte. In  $I_3$  fiel die Aktivitätsdichte wieder stark ab. 1989 waren die Fangzahlen zu gering, um Zusammenhänge zu den Intensitäten erkennen zu können. Lediglich in  $I_0$  war die Aktivitätsdichte leicht erhöht.
- Bei *A. rosea* lag 1987 die mittlere Aktivitätsdichte in  $I_1$  und  $I_2$  ähnlich hoch (10.3 bzw. 11.1 Ind./m<sup>2</sup>), zeigte aber eine starke Abnahme in  $I_3$  um mehr als die Hälfte (4.1 Ind./m<sup>2</sup>). 1988 war die Aktivitätsdichte in  $I_0$  und  $I_3$  auffällig niedrig, während sie in  $I_1$  und  $I_2$  um ca. das Dreifache höher lag. 1989 waren wieder die Fangzahlen zu niedrig, um Aussagen treffen zu können.
- *A. longa* wurde 1987 in deutlich geringerer Aktivitätsdichte als *A. caliginosa* und *A. rosea* gefunden. Die Art wurde aber in  $I_3$  in etwa doppelt so vielen Exemplaren wie in  $I_1$  und  $I_2$  gefangen. Von den Jahren 1988 und 1989 können keine Aussagen zu *A. longa* gemacht werden, da die Fangzahlen zu gering waren.
- *L. terrestris* wurde 1987 nur in  $I_1$  in einigen Individuen gefangen und fand sich 1988 in  $I_1$  etwa dreimal häufiger als in  $I_0$ ,  $I_2$  und  $I_3$ . 1989 wurde die Art nur in einzelnen Exemplaren gefangen.
- Alle übrigen Arten waren nur vereinzelt vertreten.

Wintergerste/Zwischenfrucht 1987



Wintergerste/Zwischenfrucht 1988



Wintergerste/Zwischenfrucht 1989

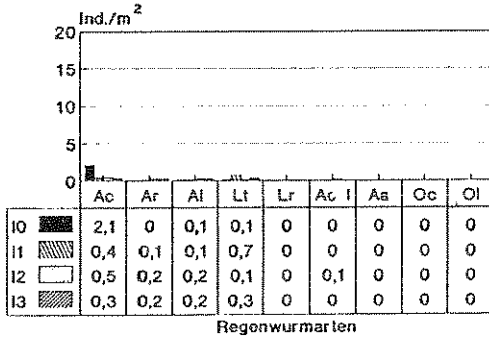


Abb. 6c: Mittlere Aktivitätsdichte aller gefundenen Lumbricidenarten in den Intensitäten der Kultur Wintergerste/Zwischenfrucht in den Jahren 1987, 1988 und 1989 - Die Abkürzungen für die Arten (Ac - Ol) siehe Abb. 4

### 3.4 Aktivitätsdynamik der eudominanten Art *Allolobophora caliginosa*

*A. caliginosa* war die Lumbricidenart, die in Ahlum am häufigsten gefangen wurde. Deshalb wird im folgenden die Abundanzdynamik dieser Art detailliert dargestellt (Abb. 7a-7c).

#### Schlag I:

1987 in der Zuckerrübe wurde *A. caliginosa* in wenigen Monaten im Sommer (Juni, Juli) und Herbst (Oktober, November) gefangen. In den anderen Monaten waren keine Proben genommen worden. Dabei waren die Aktivitätsdichten sehr uneinheitlich über die drei Intensitäten  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  verteilt. Auswirkungen der Intensitäten waren also nicht zu erkennen.

1988 im Winterweizen zeigte sich ein deutliches Aktivitätsmaximum im Sommer (Juni, Juli). An fast allen Monaten wurde in  $I_0$  eine deutlich höhere Aktivitätsdichte als in  $I_1$ - $I_3$  ermittelt. Zwischen den drei Intensitäten  $I_1$ - $I_3$  waren keine größeren Unterschiede in der Aktivitätsdichte zu erkennen. Nur an einigen wenigen Fangterminen lag die Aktivitätsdichte in  $I_3$  deutlich unter der in  $I_1$  und  $I_2$ .

1989 in der Wintergerste/Zwischenfrucht wurden infolge großer Trockenheit (und infolgedessen von Quieszenz) nur im Frühjahr (März, April) und im Herbst (September, Oktober) Individuen von *A. caliginosa* gefangen. Im Herbst wurden in  $I_0$  keine Exemplare dieser Art gefunden und im Frühjahr lag lediglich im April in  $I_0$  die Aktivitätsdichte deutlich höher als in den anderen Intensitäten.

#### Schlag II:

1987 im Winterweizen wurden nur in wenigen Monaten Individuen dieser Art gefangen, nämlich im März, im Juni und im September und Oktober. In den anderen Monaten hatten keine Untersuchungen stattgefunden. Unterschiede zwischen den Intensitäten  $I_1$ - $I_3$  waren nicht festzustellen. Im Juli wurden nur Individuen dieser Art in  $I_3$  gefunden.



1988 in der Wintergerste/Zwischenfrucht zeigte sich ein ganz ähnlicher Verlauf der Aktivitätsdichte mit einem Maximum im Sommer wie im gleichen Jahr in Schlag I. Während jedoch in Schlag I in  $I_0$  die höchste Aktivitätsdichte ermittelt wurde, lag sie in Schlag II in  $I_1$  und  $I_2$  deutlich höher als in  $I_0$  und  $I_3$ . 1989 in der Zuckerrübe konnten Individuen dieser Art wieder nur (wie schon auf Schlag I) in wenigen Monaten im Frühjahr und Herbst gefangen werden. An fast allen Fangterminen wurden dabei in  $I_1$  deutlich mehr Individuen als in den anderen Intensitäten ermittelt.

#### Schlag III:

1987 in der Wintergerste/Zwischenfrucht konnte *A. caliginosa* von Mai bis Oktober fast durchgehend nachgewiesen werden. Im Juli waren keine Untersuchungen vorgenommen worden. Unterschiede in der Aktivitätsdichte zwischen den Intensitäten waren nicht erkennbar.

1988 in der Zuckerrübe war eine Aktivitätsdynamik wie im gleichen Jahr in den Schlägen I und II nicht erkennbar. Von März bis November war ein in etwa horizontaler Verlauf der Aktivitätsdynamik zu verzeichnen. Während im Mai nur in  $I_3$  und im November nur in  $I_0$  und  $I_1$  Individuen nachweisbar waren, konnten im August keine Tiere dieser Art gefangen werden. In allen anderen Monaten wurde *A. caliginosa* zwar in allen Intensitäten nachgewiesen, doch zeigte sich in keiner Intensität eine höhere Aktivitätsdichte als in den jeweils drei anderen Intensitäten.

1989 im Winterweizen konnten Individuen dieser Art nur wieder (wie schon in Schlag I und II) im Frühjahr und Herbst ermittelt werden. Dabei zeigte sich vor allem im Frühjahr in  $I_0$  eine höhere Aktivitätsdichte als in  $I_1$ - $I_3$ .

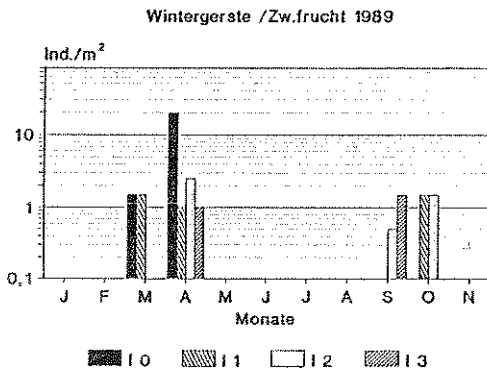
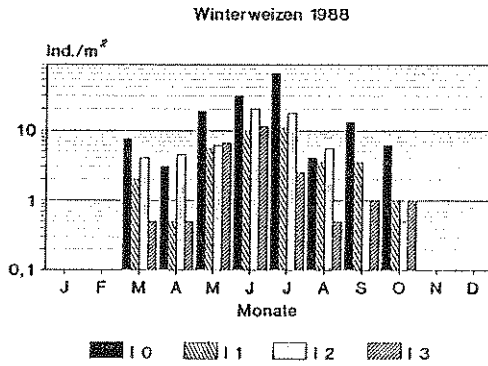
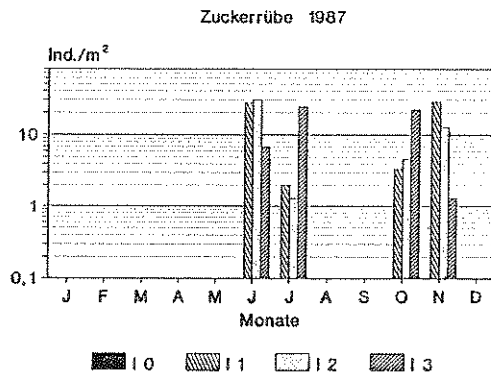


Abb. 7a: Aktivitätsdynamik von *Allolobophora caliginosa* in Schlag I - 1987 - 1989

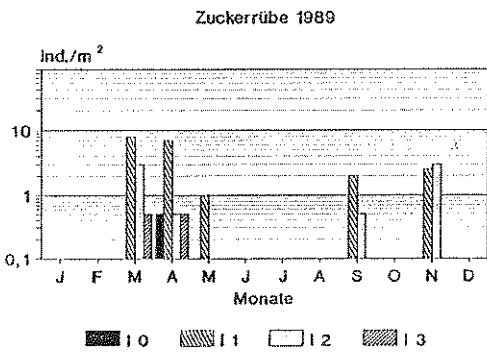
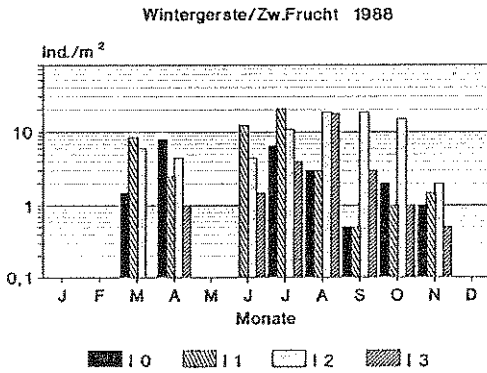
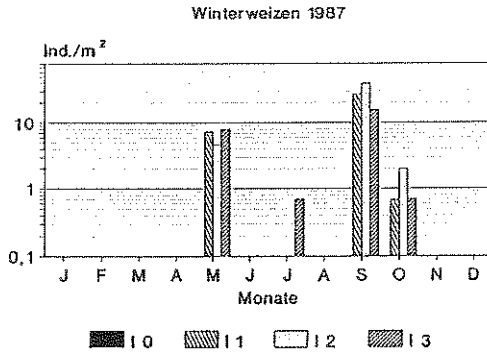


Abb. 7b: Aktivitätsdynamik von *Allobophora caliginosa* in Schlag II - 1987 - 1989

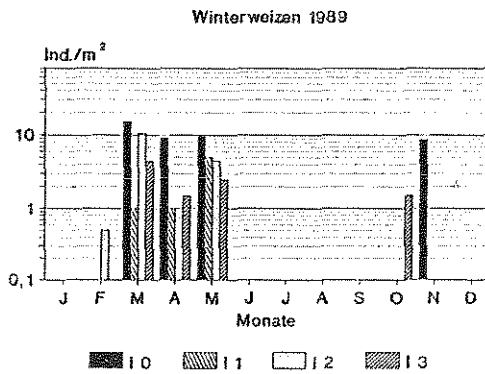
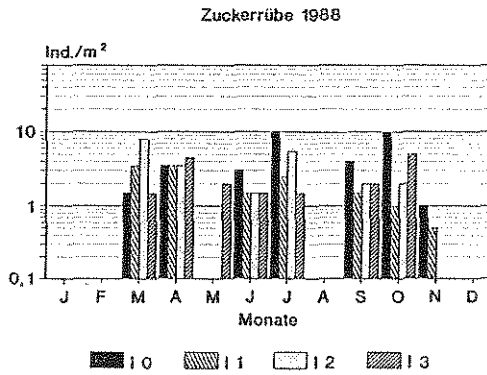
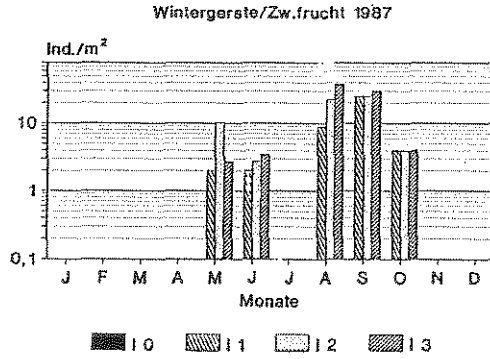


Abb. 7c: Aktivitätsdynamik von *Allolobophora caliginosa* in Schlag III - 1987 - 1989

#### 4 Diskussion

Auf Regenwurmpopulationen in Ackerböden wirken eine Vielzahl acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen ein. Dabei läßt sich zwischen Maßnahmen, die die Entwicklung von Regenwurmpopulationen fördern bzw. hemmen, unterscheiden (EDWARDS 1983):

Fördernde Maßnahmen sind

- Ausbringung von organischem Material,
- geringe oder keine Bodenbearbeitung,
- Anbau von Getreidekulturen.

Hemmende Maßnahmen sind

- N-Dünger, insbesondere Ammoniumsulfat,
- Pflanzenschutzmittel, insbesondere Benzimidazole,
- intensive Bodenbearbeitung,
- Abbrennen oder Entfernen von Stroh.

Bisher wurde vor allem der Einfluß alternativer und konventioneller landwirtschaftlicher Nutzung von Ackerflächen auf Lumbricidenpopulationen untersucht (BAUCHHENS & HERR 1986; BOSCH & MOURA-PEAO 1987; NECKER 1989; KLINGER 1990).

Abgestufte Bewirtschaftungsintensitäten wurden bisher im Hinblick auf Auswirkungen auf Lumbriciden nicht untersucht.

##### 4.1 Effizienz der Oktett-Methode

Mit der Oktett-Methode wurden die Regenwürmer - ebenso wie bei der Formalin-Methode - entsprechend ihrer Aktivität gefangen. Dabei spielen die Faktoren Bodenfeuchte und Bodentemperatur eine bedeutende Rolle, denn die Aktivität der Lumbriciden ist stark von diesen beiden Faktoren abhängig.

Zu berücksichtigen ist, daß einige Arten in den Sommer- und Wintermonaten Ruhestadien (Quieszenz und Diapause) einlegen (SACHEL 1967; NORDSTRÖM 1975; MARTIN 1976). Dies betrifft aber in der Regel nicht die gesamte Lumbricidenzönose.

Außerdem sind methodisch bedingte Unterschiede (Spannungstärke, Intervalldauer der Spannungsgabe, Zeitdauer der Austreibung) hinsichtlich der Effizienz der Oktett-Methode zu

berücksichtigen. Die Fangeffizienz kann deshalb beträchtlich schwanken.

#### 4.2 Artenspektrum

Die meisten in Ahlum gefundenen Lumbricidenarten (*A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. chlorotica*, *A. antipai*, *O. cyaneum* und *O. lacteum*) gehören zu den sogenannten Mineralbodenformen, die sich von Mineralboden und den darin enthaltenen organischen Substanzen ernähren. Nach BOUCHÉ (1977) und DUNGER (1983) wird diese Gruppe auch als der endogäische Lebensformtyp bezeichnet. *A. longa*, *L. terrestris* und *L. rubellus* ernähren sich an der Bodenoberfläche oder in der Humusaufgabe und werden deshalb dem epigäischen Lebensformtyp zugeordnet (BOUCHÉ 1977).

GRAFF (1954) untersuchte die Lumbricidenpopulationen auf Ackerstandorten östlich von Braunschweig und fand *L. terrestris*, *A. longa*, *A. caliginosa* und *A. rosea* in hoher Individuendichte. Auf der Versuchsfläche in Ahlum wurden diese Arten ebenfalls in Dominanz gefunden.

*O. lacteum*, *O. cyaneum*, *A. chlorotica* und *L. rubellus* kamen nach GRAFF (1954) vorwiegend in Ackerrandstreifen oder im Randbereich der Äcker vor. Untersuchungen von KALBERLAH & LARINK (1990) auf intensiv genutzten Ackerstandorten in der Umgebung von Braunschweig zeigten, daß jeder Standort ein charakteristisches Artenspektrum an Lumbriciden aufwies.

Und auch SÖCHTIG & LARINK (1991) konnten *A. caliginosa*, *A. rosea* und *L. terrestris* auf Ackerstandorten in der Umgebung von Braunschweig finden.

Demnach kann die Versuchsfläche in Ahlum hinsichtlich des Spektrums der dominanten Lumbricidenarten als für die Ackerböden in der Braunschweiger Umgebung typisch angesehen werden. Offenbar sind diese dominanten Arten ("Hauptarten") in ihren Lebensbedingungen an eine intensive Bewirtschaftung des Ackerbodens gut angepaßt.

#### 4.3 Dominanzverhältnisse

Weitaus den größten Anteil an der gesamten gefangenen Individuenzahl nahm auf der Ahlumer Versuchsfläche *A. caliginosa* mit 49 % ein. Weiterhin von Bedeutung waren *A. rosea* (25 %) und *A. longa* (14 %). In geringen Anzahlen, aber fast immer präsent, kam *L. terrestris* (8 %) vor.

Als "Begleitarten" mit geringer Dominanz (2.3-0.1 %) traten in Ahlum *O. lacteum*, *O. cyaneum*, *A. chlorotica*, *A. antipai* und *L. rubellus* auf. KALBERLAH & LARINK (1990) fanden *O. cyaneum* dagegen in höherer Dominanz und NECKER (1989) fand auch *A. chlorotica* auf Ackerflächen mit Lößlehm. *O. lacteum* wurde von BAUCHHENSS & HERR (1986) auf alternativ und konventionell genutzten Flächen nachgewiesen.

Die relativ hohe Zahl von "Begleitarten" (fünf), die in Ahlum gefunden wurde, konnte auf anderen Ackerstandorten nicht ermittelt werden. Dies kann verschiedene Ursachen haben:

- Es wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum (drei Jahre) fast alle Produktionsintensitäten (außer  $I_0$  1987) und alle Kulturen beprobt. Durch die Anzahl an Wiederholungen bei der Probenahme (acht) stieg auch die Wahrscheinlichkeit, selten vorkommende Arten zu fangen.
- In der gegenwärtigen Struktur der Lumbricidenzönose wirken sich Einflüsse aus, die bereits vor mehreren Jahren wirksam waren und nicht mehr durch aktuelle Meßdaten zu belegen sind (BAUCHHENSS & HERR 1986). So wurden vor 1982 auf einer Vielzahl von Teilflächen des Untersuchungsareals als Zwischenfrucht Klee-Grasgemenge eingeschoben. Dadurch wurden grünlandähnliche Standortverhältnisse geschaffen, die ein Überleben auch von Arten des Ackerrandbereiches sicherten. Diese Artenzusammensetzung könnte auch nach Änderung von Fruchtfolge und Bewirtschaftung erhalten geblieben sein.

#### 4.4 Einflußfaktoren

##### 4.4.1 Bodenart

Die Untersuchungen auf der Versuchsfläche Ahlum wurden fast ausschließlich auf Parabraunerden durchgeführt. Die vorherrschende Bodenart ist schluffiger Lehm.

Die Bodenart hat Einfluß auf Artenzusammensetzung und Abundanz von Regenwurmpopulationen (GUILD 1948). KALBERLAH & LARINK (1990) verglichen ackerbaulich genutzte Standorte auf Ton, Lehm/Löß und Sand im norddeutschen Tiefland. Auf Sand wurde die niedrigste, auf Lehm/Löß eine mittlere und auf Ton die höchste Artenzahl gefunden. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wurde auf der Versuchsfläche in Ahlum in schluffigem Lehm eine etwa doppelt so hohe Artenzahl gefunden. Allerdings war auch die Vorgeschichte des Standortes in Ahlum eine andere (eher grünlandähnliche Verhältnisse durch Klee grasgemenge als Zwischenfrucht) als bei den Flächen, die KALBERLAH & LARINK (1990) untersucht hatten.

Demnach scheint auf der Versuchsfläche in Ahlum - anders als bei KALBERLAH & LARINK (1990) - weniger die Bodenart als die angebauten Kulturen für die vorgefundene Artenzahl verantwortlich zu sein.

Eine Einschätzung des Einflusses der Bodenart auf Artenspektrum und Abundanz der Lumbriciden ist in der Regel schwierig, da dieser Einfluß häufig durch klimatische sowie acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen überlagert wird.

##### 4.4.2 Bodenfeuchte und Bodentemperatur

Aktivität und Entwicklung der Lumbriciden werden stark von den Faktoren Bodenfeuchte und -temperatur bestimmt. Insbesondere die Grabaktivität ist in hohem Maße von der Bodenfeuchte abhängig. Verschlechtern sich die Lebensbedingungen infolge von Trockenperioden, so gehen viele endogäische Arten der Gattung *Allolobophora* in eine Ruhephase über. Während sich 1987 und 1988 die mittlere Niederschlagssumme etwa im Bereich des



langjährigen Mittels befand, lag sie 1989 deutlich niedriger. Insbesondere im Sommer 1989 wirkte sich die Trockenperiode unterschiedlich auf die flachgrabenden (endogäischen) und die tiefgrabenden (anektischen) Arten aus. Die endogäischen Arten gingen zu einem größeren Teil in die Ruhephase über und waren mit der Oktett-Methode dann nicht mehr nachzuweisen. Die anektischen Arten konnten sich der Trockenheit in den oberen Bodenschichten durch Ausweichen in die tieferen Bodenbereiche entziehen. Doch in diesen Tiefen konnten sie nicht mehr durch die Oktett-Methode erfaßt werden.

Bei der eudominanten Art *A. caliginosa*, die dem endogäischen Lebensformtyp angehört, wirkte sich die Trockenheit im Sommer 1989 so stark aus, daß die Art in allen drei Schlägen zumindest von Juni bis August nicht nachweisbar war (Abb. 7a-7c). KALBERLAH & LARINK (1990) beobachteten im gleichen Zeitraum auf anderen Ackerflächen ebenfalls eine Abnahme der Aktivitätsdichte von *A. caliginosa*. Sie nahmen Aestivation der *Allolobophora*-Arten infolge langanhaltender Trockenheit an. Infolge größerer Toleranz gegen Trockenheit waren die anektischen Arten *A. longa* und *L. terrestris* noch länger aktiv und wurden auch in den oberen Bodenbereichen (bis 50 cm Tiefe) in größeren Individuenzahlen noch zu einer Zeit gefangen, zu der sich *A. caliginosa* offenbar schon in Ruhephase befand.

Da *A. caliginosa* Bodentemperaturen von 10-23 °C bevorzugt, aber auch noch bei +3 °C aktiv ist (GRANT 1955), wirkte sich die Bodentemperatur wahrscheinlich nicht negativ im Untersuchungszeitraum aus.

#### 4.4.3 Kulturen

Obwohl die Unterschiede in den Artenzahlen zwischen den Getreidekulturen und der Zuckerrübe gering waren (8 und 7 Arten) und somit kein aktueller Einfluß der Kulturen auf die Artenzahl erkennbar war, hatte doch offenbar der Anbau von Klee grasmenge vor Beginn des Ahlum-Projektes (1982) dazu geführt, daß

die grünlandähnlichen Verhältnisse das Überleben einer größeren Artenzahl sicherten. KALBERLAH & LARINK (1990) fanden keinen Einfluß der zur Zeit der Untersuchung angebauten Kulturen auf die Artenzahl.

Andere Ergebnisse ergaben sich bei den Aktivitätsdichten. Vor allem in den Getreidekulturen waren die Aktivitätsdichten deutlich erhöht. Dies steht im Gegensatz zu den Befunden von POIER & RICHTER (1991), KALBERLAH & LARINK (1990) und SÖCHTIG & LARINK (1991). Sie hatten nur intensiv bewirtschaftete Flächen untersucht.

In der Zuckerrübe lagen die Aktivitätsdichten deutlich niedriger als in den Getreidekulturen. Nach HOPP (1946) nimmt die Abundanz der Lumbriciden ab, wenn der prozentuale Anteil der Hackfrüchte (z. B. Zuckerrübe) an der gesamten Fruchtfolge zunimmt. Auf der Versuchsfläche in Ahlum wurde die Aktivitätsdichte der Lumbriciden durch die Zuckerrübe negativ beeinflusst. EDWARDS (1983) ermittelte in der Zuckerrübe deutlich niedrigere Dichten (37 Ind./m<sup>2</sup>) als im Winterweizen (180 Ind./m<sup>2</sup>) und auch LOFS-HOLMIN (1983) fand *A. caliginosa* in geringerer Aktivitätsdichte in Zuckerrüben.

#### 4.4.4 Bodenbearbeitung

Auf der Versuchsfläche in Ahlum erfolgte die Bodenbearbeitung zum gleichen Zeitpunkt in allen vier Intensitätsstufen einer Kultur. Die wendende Bodenbearbeitung mit Pflug und nachlaufendem Packer bis in 30 cm Tiefe erfolgte im Frühjahr (vor der Zuckerrübeneinsaat), im Spätherbst (vor der Winterweizeneinsaat) und im Spätsommer (vor der Wintergersteneinsaat). Vor der Einsaat der Zwischenfrucht (nach Wintergerste) wurde nur eine flache Bodenbearbeitung bis in 10 cm Tiefe mit Grubber und Egge vorgenommen. Die Art der Bodenbearbeitung hat nach HENKE (1985), EDWARDS & LOFTY (1982) und BAUCHHENS & HERR (1988) einen entscheidenden Einfluß auf die Lumbricidenpopulationen. Diesen Autoren zufolge führt eine wendende Bodenbearbeitung durch mechanische Verletzung oder Tötung der Tiere, Prädatoren oder Zerstörung der Wohnröhren zu einer starken Reduktion der

Lumbricidendichte. Dabei werden die flachgrabenden Mineralbodenarten weniger stark geschädigt als die tiefgrabenden Arten. Im Winterweizen wurde 1988 zwischen August und September bei der Aktivitätsdynamik von *A. caliginosa* eine geringfügige Reduktion der Aktivitätsdichte (im Mittel aller Intensitäten) beobachtet. Ob allerdings die in dieser Zeit stattfindende Bodenbearbeitung dafür verantwortlich war, ist nicht zu beurteilen.

#### 4.4.5 Intensitätsstufen

Der Einfluß von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmittel ist unter praxisnaher landwirtschaftlicher Bewirtschaftung im Freiland nicht zu trennen. Deshalb werden diese beiden Faktoren zusammen mit anderen (verschiedene Sorten, unterschiedliche Kulturpflanzendichte) als unterschiedlich intensiv bewirtschaftete Teilflächen oder Intensitäten aufgefaßt.

Während die flachgrabenden endogäischen Arten in allen Intensitäten ähnlich hohe mittlere Aktivitätsdichten aufwiesen, wurden die tiefgrabenden anektischen Arten häufiger in den niedrigeren Intensitätsstufen gefunden. Möglicherweise hing das bei *L. terrestris* und *A. longa* mit den geringeren acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen in den niedrigeren Intensitäten zusammen.

Folgende Zusammenhänge traten vielfach auf:

- In  $I_0$  wurden im Vergleich zu  $I_1$ - $I_3$  häufig höhere mittlere Aktivitätsdichten ermittelt.
- Zwischen  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  wurden keine deutlichen Unterschiede in der mittleren Aktivitätsdichte gefunden.

GERARD & HAY (1979) konnten nachweisen, daß eine N-Düngung über 100 kg N/ha zu keiner weiteren Zunahme der Lumbricidendichte führt. Ammoniumsulfat wirkte im Grünland sogar schädlich auf die Lumbriciden (ESCRITT & ARTHUR 1948; RODALE 1948; JEFFERSON 1955).

Da die N-Düngung (zumindest bei  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$ ) in fast allen Kulturen im Zeitraum der Vegetationsperiode den von GERARD & HAY (1979) erwähnten "Grenzwert" von 100 kg N/ha überschritt, ist eine negative Auswirkung (z. B. als Reduktion der Populationsdichte) durchaus denkbar. Um genaue Rückschlüsse ziehen zu können, inwieweit dies unter Umständen der Fall war, müßten weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Bei den Pflanzenschutzmitteln und ihren eingesetzten Kombinationen gilt ebenfalls, daß die in dieser Untersuchung erarbeiteten Daten keinesfalls ausreichen, Rückschlüsse der Auswirkungen auf die Lumbriciden in der Versuchsfläche Ahlum zu ziehen.

Toxizitätstests, wie sie bisher im Labor an *Eisenia foetida* und *L. terrestris* vorgenommen wurden, sind in der Regel nicht auf Freilandbedingungen übertragbar.

PIZL (1985) stellte fest, daß der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln den Befall von Lumbriciden mit Gregarinen fördert. Auf der Versuchsfläche in Ahlum wurde in  $I_3$  auch tatsächlich ein höherer Befall als in  $I_0$  festgestellt (PIZL pers. Mitt.).

#### 4.5 Wichtigste Aspekte und Bewertung

Aus der vorliegenden Untersuchung geht hervor, daß ein Einfluß der Fruchtarten vor allem auf die Aktivitätsdichte der Lumbriciden festzustellen war.

Die Bewirtschaftungsintensitäten hatten einen Einfluß auf den Anteil der tiefgrabenden Arten, die in den höheren Intensitäten nicht so häufig gefangen wurden. Der hohe Einsatz von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln in den höheren Intensitätsstufen führte möglicherweise zu einer Verzögerung in der Entwicklung von *A. caliginosa* (KNÜSTING 1991).

Flachgrabende Mineralbodenarten wie *A. caliginosa* und *A. rosea* konnten am häufigsten nachgewiesen werden. Weniger häufig wurden die tiefgrabenden Arten *L. terrestris* und *A. longa* gefunden. Die Zahl der Wiederholungen der Probenahmen erhöhte die Wahrscheinlichkeit, auch seltenere Arten wie z.B. *A. antipai* zu finden.

Lumbricidenpopulationen von Ackerböden sind hinsichtlich Artenzusammensetzung und Individuendichte somit stark von den (früher und gegenwärtig) angebauten Kulturen und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen abhängig. Die Zuckerrübenkultur wirkte sich hemmend auf die Aktivitätsdichte aus, die Zwischenfrucht fördernd.

Hinsichtlich des Einsatzes unterschiedlich intensiver Bewirtschaftungsmaßnahmen muß abgewogen werden zwischen den Notwendigkeiten ökologisch möglichst intakter Lumbricidenpopulationen, die die Bodenfruchtbarkeit fördern, und ökonomischen Zwängen.

**Einfluß unterschiedlich hoher Intensitäten acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Populationsdichte der Regenwürmer**

#### Zusammenfassung

Im Verbundprojekt "Ahlum" wurden die Lumbricidenpopulationen in je vier verschieden intensiv bewirtschafteten Intensitäten einer Fruchtfolge (Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrübe) untersucht.

Dazu wurde die Elektrofang-Methode nach THIELEMANN (1986) verwendet, deren Effektivität zuvor im Vergleich zur Formalin-Methode getestet worden war. Dabei ergaben sich ähnliche Resultate, so daß die Methode des Elektrofangs als gleichwertig angesehen werden konnte.

Auf einer Fläche von 0.25 m<sup>2</sup> wurden bei einer Fangtiefe von bis zu 50 cm acht Elektroden 30 Minuten lang mit einer Spannung von 60 V betrieben. Dies wurde über den Zeitraum der Vegetationsperiode vierwöchentlich in acht Wiederholungen pro Termin, Kultur und Intensität durchgeführt. Die Wiederholungen des Elektrofangs lagen mindestens 5 m auseinander.

Insgesamt wurden neun Lumbricidenarten ermittelt, die den Gattungen *Allolobophora*, *Lumbricus* und *Octolasion* angehören.

Neben den "Hauptarten" *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. longa* und *L. terrestris* wurden fünf "Begleitarten" mit geringerer Aktivitätsdichte gefunden. Im Vergleich zu anderen Ackerstandorten wurde eine relativ hohe Artenzahl gefangen. Dies hing einerseits mit der erhöhten Zahl der Wiederholungen (höhere Wahrscheinlichkeit, auch seltenere Arten zu finden) und andererseits mit den vor Beginn der Untersuchungen teilweise existierenden grünlandähnlichen Standortbedingungen zusammen.

Die Trockenheit hatte einen großen Einfluß und zeigte insbesondere im Jahr 1989 negative Auswirkungen auf die endogäischen Lumbricidenarten.

Der Einfluß der Kulturart wirkte sich auf die Artenzahl nicht aus, zeigte jedoch deutliche Unterschiede in der Aktivitätsdichte. Während in der Zuckerrübe im Mittel 5 Ind./m<sup>2</sup> gefangen wurden, lag die Aktivitätsdichte in den Getreidekulturen (mit anschließender Zwischenfrucht) mit 10-11 Ind./m<sup>2</sup> doppelt so hoch.

Die Bewirtschaftungsintensitäten beeinflussten die flachgrabenden Lumbricidenarten in der Höhe der Aktivitätsdichte kaum. Die tiefgrabenden Arten wurden in den höheren Intensitäten ( $I_2$ ,  $I_3$ ) deutlich weniger häufig als in den niedrigeren Intensitäten ( $I_0$ ,  $I_1$ ) gefangen.

Bei *Allolobophora caliginosa* konnten in der Kultur Wintergerste/Zwischenfrucht zwischen den Intensitäten Unterschiede in der Dynamik der Aktivitätsdichte festgestellt werden. Je höher die Intensitätsstufe war, desto später wurde das Aktivitätsdichtemaximum erreicht. Möglicherweise wirkten sich zunehmende Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz verzögernd auf den Entwicklungszyklus dieser Art aus.

Im Winterweizen wurden bei dieser Lumbricidenart in den höheren Intensitäten mehr Individuen als in den niedrigeren festgestellt, und in der Zuckerrübe konnten keine Zusammenhänge zwischen Aktivitätsdichte und Höhe der Bewirtschaftungsintensität erkannt werden.

## Effects of different high intensities of plant production on population density of earthworms

### Summary

In the project of "Ahlum" the population of earthworms were investigated in each of four intensities of crop rotation (winter-wheat, winter-barley, sugar beet) when cultivated in different intensive ways.

Therefore the method of electric catching according to THIELEMANN (1986) was used. The efficiency of this method was tested in comparison with the method of formalin before. The results were similar, so that the method of electric catching could be considered as equivalent.

On an area of 0.25 m<sup>2</sup> eight electrodes with a depth of catching of 50 cm were prosecuted for 30 minutes with a voltage of 60 V. This was done in intervalls of four weeks during the vegetation period in eight repetitions of each date, culture and intensity. The repetitions of electric catching had a distance of 5 m in minimum.

Alltogether nine species of earthworms were caught. The genera of *Allolobophora*, *Lumbricus* and *Octolasion* were found.

Except of the "main species" *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. longa* and *L. terrestris* five "accompanying species" with less activity abundance were found. In comparison to other arable areas a relatively high number of species was caught. On one hand it corresponded with the high number of repetitions (higher probability, to find rare species) and on the other hand it was correlated with the particular conditions in the area which were similar to grassland before the investigation.

The dries had a great influence and showed negative effects especially on the species of endogeic earthworms in 1988.

The influence of the crop had no effect on the number of species, but there were significant differences in the activity

abundance. While in the sugar beet 5 individuals/m<sup>2</sup> in average were caught, the activity abundance had twice the level with 10-11 individuals/m<sup>2</sup> in the cereals (with joined catch crop).

The intensities of cultivation influenced the low digging species of earthworms scarcely in the level of activity abundance. The deep digging species were caught significantly less in the higher intensities (I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>) than in the lower ones (I<sub>0</sub>, I<sub>1</sub>).

In *Allolobophora caliginosa* differences in the dynamic of activity abundance could be ascertained between the intensities in winter-barley/catch crop. The higher the intensity was, the later the maximum of the activity abundance was reached. Probably the increasing fertilizer and plant protection products delayed the developing cycle.

In the winter-wheat in *A. caliginosa* more individuals were ascertained in the higher intensities than in the lower ones, and in the sugar beet no correlations between the activity abundance and the level of cultivation intensity could be found.

## 5 Literatur

- BALOGH, J. (1958) : Lebensgemeinschaften der Landtiere. - Akademie Verlag, 2. Aufl., Berlin: 560 S.
- BAUCHHENSS, J., HERR, S. (1986): Vergleichende Untersuchungen der Individuendichte, Biomasse, Artendichte und Diversität von Regenwurmpopulationen auf konventionell und alternativ bewirtschafteten Flächen. - Bayer. Landw. Jb., 8: 1002 bis 1012.
- BAUCHHENSS, J., HERR, S. (1987): Einfacher Bestimmungsschlüssel für Regenwürmer. - SuB, H. 2: III - 15-19.
- BAUCHHENSS, J., HERR, S. (1988): Funktion der Bodentiere auf Flächen mit extensiver Bodenbearbeitung. - SuB, H. 1,2: III - 10-12.



- BOSCH, J. & MOURA-PEAO, C. (1987): Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau: Das Lautenbach-Projekt. IV. Die Auswirkungen von integrierter und konventioneller Bewirtschaftung auf die Abundanz des Großen Regenwurms, *Lumbricus terrestris* L. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, 94: 322-327.
- BOUCHÉ, M. B. (1977) : Strategies lombriciennes. - In: LOHM, U., PERSSON, T. (Eds.): Soil Organisms as Components of Ecosystems. - Ecol. Bull., 25: 122-132.
- DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden. - Ziemsen Verlag, 3. Aufl., Wittenberg: 280 S.
- EDWARDS, C. A. (1983): Earthworm ecology in cultivated soils. - In: SATCHELL, J. E. (Ed.): Earthworm ecology - From Darwin to vermiculture. - Chapman and Hall, London, New York: 123-137.
- EDWARDS, C. A., LOFTY, J. R. (1982): The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. - J. appl. Ecol., 19: 723-724.
- ENGELMANN, H. D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. - Pedobiologia, 18: 378 - 380.
- ESCRITT, J. R., ARTHUR, J. H. (1948): Earthworm control - a resume of methods available. - J. Bd. Greenkeep. Res., 7 (23): 49.
- GERARD, B. M., HAY, R. M. K. (1979): The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. - J. agric. Sci. Camb. 93: 147-155.
- GRAFF, O. (1953): Die Regenwürmer Deutschlands. - Verlag Schaper, Hannover: 81 S.
- GRAFF, O. (1954) :Die Regenwürmer im östlichen Niedersachsen und in Schleswig-Holstein. - Beitr. Naturk. Niedersachsen, 7: 48-56.
- GRAFF, O. (1983a): Unsere Regenwürmer. - Verlag Schaper, Hannover: 112 S.
- GRANT, W.C. (1955): Studies on moisture relationships in earthworms. - Ecol., 36: 400-407.
- GUILD, W.F. (1948): Effect of soil type on populations. - Ann. appl. Biol., 35: 181-192.
- HENKE, W. (1985): Die Regenwurmpopulation, Unkrautflora und physikalisch-chemischen Eigenschaften auf einem Schieferverwitterungsboden bei verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten. - Diplomarbeit, Gießen: 131 S.

- HOPP, H. (1946): Earthworms fight erosion too. - Soil Conserv. U.S. Dept. Agric., 11: 252-254.
- JEFFERSON, P. (1955): Studies on the earthworms of turf. A. The earthworms of experimental turf plots. - J. Sports Turf Res. Inst., 2: 6-27.
- JUDAS, M. (1989): Populationsökologie der Regenwürmer (Lumbricidae) in einem Kalkbuchenwald: Abundanzdynamik und Bedeutung von Nahrungsressourcen. - In: Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A: 53.
- KALBERLAH, O., KNÜSTING, E. (1989): Ein Methodenvergleich: Chemische Austreibung - Elektrischer Regenwurmfang. - Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst.: Sonderband zum Michaelis-Gedächtnis Symposium Sept. '87.
- KALBERLAH, O., LARINK, O. (1990): Bodenbiologie: Regenwürmer. - Abschlußbericht (1986-1989), Sonderforschungsbereich 179, Teilprojekt D2: 27 S.
- KLINGER, K. (1990): Earthworms of conventional and alternative (biodynamic) arable fields in Hessen (FRG). - 4th Intern. Sympos. Earthworm Ecol. (ISEE 4), Avignon (France) 1990: Abstracts.
- KNÜSTING, E. (1992): Regenwürmer auf Ackerflächen mit abgestufter Bewirtschaftungsintensität. - Dissertation, Braunschweig, 154 S.
- KÜHLE, J. (1986): Modelluntersuchungen zur strukturellen und ökotoxikologischen Belastung von Regenwürmern in Weinbergen Mitteleuropas (Oligochaeta : Lumbricidae). - Dissertation, Bonn: 390 S.
- LEE, K. E. (1985): Earthworms. - Academic Press, Sydney: 411 S.
- LOFS-HOLMIN, A. (1983): Earthworm population dynamics in different agricultural rotations. - In: SATCHEL, J. E. (Ed.): Earthworm Ecology - From Darwin to Vermiculture. - Chapman and Hall, London, New York: 151-160.
- MARTIN, N. A. (1976): Effect of four insecticides on the pasture ecosystem. V. Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) and arthropods extracted by wet sieving and salt flotation. - J. agric. Res., 19: 111- 115.
- MÜHLENBERG, M (1989): Freilandökologie. - Quelle & Meyer, 2. Aufl., Heidelberg, Wiesbaden: 430 S.
- NECKER, U. (1989): Untersuchungen zu Mikroflora und Bodenfauna auf alternativ und konventionell bewirtschafteten Flächen. - In: KÖNIG, W., SUNKEL, R., NECKER, U., WOLFF-STRAUB, R., INGRISCH, S., WASMER, U., GLÜCK, E.: Alternativer und konventioneller Landbau. - Schriftenreihe LÖLF, 11: 39-69.

- NORDSTRÖM, S (1975): Seasonal activity of lumbricids in southern Sweden. - *Oikos*, 23: 307-315.
- PIZL, V. (1985): The effect of the herbicide Zeazin 50 on the earthworm infection by monocystid gregarines. - *Pedobiologia*, 28: 399-402.
- POIER, K. R., RICHTER, J. (im Druck): Spatial Distribution of earthworms and Soil Properties in an Arable Loess Soil. - *Soil Biol. Biochem.*
- RODALE, R. (1948): Do chemical fertilizers kill earthworms ? - *Organic Gardening*, 12 (2): 12-17.
- SATCHELL, J. E. (1967): Lumbricidae. - In: BURGESS, A., RAW, F. (Eds.): *Soil Biology*. - Academic Press, London: 259-322.
- SIMS, R. W., GERARD, B. M. (1985): A synopsis of the earthworms. - *Lin. Soc. London*: 171 S.
- SÖCHTIG, W., LARINK, O. (1991): Einfluß von Bodenverdichtung auf Aktivität und Biomasse endogäischer Lumbricidenarten einer Löß-Parabraunerde. - *Verh. Ges. Ökol.*, XIX/II: 296 bis 301.
- THIELEMANN, U. (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. - *Pedobiologia*, 29: 296-302.
- ZISCI, A. (1957): Ein Bodenausstecher zum Einsammeln der Lumbriciden aus Ackerböden. - *Opusc. Zool.*, II: 71-75.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,  
Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig.

IX *AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICH INTENSIVER BEWIRTSCHAFTUNGS-  
INTENSITÄTEN AUF DIE COLLEMBOLENFAUNA DES ACKERBODENS*

Dorothee Heimann-Detlefsen, Sabine Theiss, Udo Heimbach

1 Einleitung

Collembolen gehören aufgrund ihrer kosmopolitischen Verbreitung und ihrer hohen Individuendichte zu den wichtigsten Elementen der Bodenfauna. Sie sind an der direkten Stoffumsetzung beteiligt (BAUCHHENS 1983). Außerdem spielen sie als Katalysatoren der mikrobiellen Zersetzung eine wichtige Rolle beim Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (DUNGER 1983).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluß von verschieden intensiven Bewirtschaftungsintensitäten auf die Collembolenfauna zu erfassen. Die Intensitäten unterschieden sich im Aufwand von Pflanzenschutz- und Düngemitteln und in der mechanischen Unkrautbekämpfung. Nicht der Einfluß einzelner Pflanzenschutzmittel oder Düngungsmaßnahmen, sondern deren Gesamtwirkung auf die Collembolen wurde ermittelt.

Collembolen können durch die oben beschriebenen Maßnahmen direkt und indirekt beeinflußt werden. So wirken Düngung und Herbizide auf Wurzelmasse, Pflanzenarten und Deckungsgrad der Vegetation und verändern dadurch die Habitatstruktur. Insektizide beeinflussen die Collembolen durch ihre direkte, biozide Wirkung oder indirekt beispielsweise durch selektive Schädigung von Prädatoren.

Effekte entstehen auch durch die unterschiedlichen Zeitpunkte von Saat und Ernte der Anbaukulturen.

Zusätzlich können Witterungsbedingungen die Wirkung ackerbau-licher Maßnahmen auf die Collembolenfauna überlagern oder verstärken (DEMON & EJSACKERS 1985).

Die einzelnen Collembolenarten stellen sehr unterschiedliche Ansprüche an ihren Lebensraum. Der Einfluß von Pflanzenschutzmaßnahmen kann sich bei epedaphischen und hemiedaphischen Arten anders auswirken als bei euedaphischen. Dieses wurde bei der Auswertung der vorliegenden Untersuchungen berücksichtigt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Probenahme, Extraktion und Aufbereitung des Tiermaterials

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Die Untersuchungen für dieses Teilprojekt der Agrarbiozönose "Ahlum" erfolgten vom 1. April 1987 bis zum jeweiligen Erntetermin 1988 auf allen drei Schlägen. Aus arbeitstechnischen Gründen mußten die Untersuchungen im Jahr 1989 auf Schlag II eingeschränkt werden. Auf diese Fläche konzentrierten sich auch die Untersuchungen aller anderen Teilprojekte.

Folgende Beobachtungszeiträume sind mit Proben belegt:

Tab. 1: Übersicht über die Probenahme von Collembolen in Ahlum; (ZR = Zuckerrübe, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, GS = Zwischenfrucht = Gelbsenf).

	Sommer 1987	Winter 1987/88	Sommer 1988	Sommer 1989
Schlag 1	ZR	WW*	WW	--
Schlag 2	WW	WG*	WG	ZR
Schlag 3	WG	GS*	ZR*	--

\*Winterhalbjahr 1987/88 und Zuckerrübe 1988 in vorliegender Veröffentlichung nicht ausgewertet

Die Probenahme umfaßte alle Bewirtschaftungsintensitäten, die sich, folgendermaßen charakterisieren lassen:

- $I_0$  = 'Düngerparzelle'
- $I_1$  = Niedrige Bewirtschaftungsintensität
- $I_2$  = Mittlere Bewirtschaftungsintensität
- $I_3$  = Hohe Bewirtschaftungsintensität

Die Bodenproben wurden im vierwöchigen Abstand in 100 m<sup>2</sup> großen Parzellen gezogen (insgesamt 168 Proben pro Termin):

- Pro Intensität wurden sieben Proben zu je zwei Einstichen von 5 cm Durchmesser genommen.
- Bei der Probenahme wurde differenziert zwischen Proben in den Saatreihen (in den Getreidekulturen mit Pflanze) und zwischen den Saatreihen.
- Die Proben wurden bis zu einer Tiefe von 10 cm genommen und in die zwei Tiefenstufen 0-5 und 5-10 cm unterteilt.

Die Bodenproben wurden invers und leicht zerbröckelt in einem modifizierten MACFADYEN-Extraktor (high-gradient extraction) (MACFADYEN 1961; SCHAUERMANN 1982) innerhalb von 12 Tagen extrahiert.

Die Extraktion begann bei 22 °C und endete bei 45 °C. Pro Tag wurde die Extraktionstemperatur um ca. 3 °C erhöht, wobei bei 25 °C und bei 42 °C die Temperatur für jeweils 3 Tage konstant blieb. Bis zu einer Temperatur von 28 °C wurden die Bodenproben durch Abdeckung gegen Austrocknung geschützt. Die relative Luftfeuchte über den Proben fiel innerhalb der Auslesezeit von 66 % auf 15 %, während die Temperatur der Kühlflüssigkeit geringfügig von 10 °C auf 14 °C stieg.

Die Bodentiere wurden in 40 %iger Pikrinsäurelösung, ab Juli 1989 in 5 %igem Natriumbenzoat aufgefangen und in Alkohol überführt, dann die Collembolen aussortiert und bis zur Art bestimmt.

Die Bestimmung wurde hauptsächlich mit Hilfe der Bestimmungsliteratur von GISIN (1960), PALISSA (1964) und FJELLBERG (1980)

durchgeführt. Herr Dr. Fjellberg bestimmte die Art *Isotoma tigrina* NICOLET freundlicherweise nach.

Zur Vorgeschichte der Untersuchungsfläche sei außerdem erwähnt, daß die Collembolenfauna von Ahlum bereits 1985 (RÖSKE 1986) und 1986 (HEIMANN-DETLEFSEN 1991) untersucht wurde.

## 2.2 Abiotische Faktoren

Aufgrund des unterschiedlichen Schädlings- und Krankheitsbetrags war das Pflanzenschutzmanagement, die Düngung und die mechanische Unkrautbekämpfung nicht in allen Jahren gleich. Auch die Witterungsbedingungen unterschieden sich im Untersuchungszeitraum zum Teil erheblich. In keiner Kultur waren diese abiotischen Faktoren über jeweils zwei Untersuchungsjahre hinweg vergleichbar. So waren zwar die Pflanzenschutzmaßnahmen in den Getreidekulturen in den Jahren 1987 und 1988 zwar recht ähnlich, jedoch war die Vegetationsperiode 1987 im Vergleich zum langjährigen Mittel niederschlagsreich und relativ kalt, die von 1988 recht warm und trocken.

Sehr verschieden waren die Pflanzenschutzmaßnahmen dagegen in der Zuckerrübe über den Untersuchungszeitraum. So erfolgte 1987 eine abgestufte Herbizidanwendung je nach Bewirtschaftungsintensität und kein Insektizideinsatz, 1989 hingegen ein fast gleicher Herbizideinsatz in allen Intensitäten und ein abgestufter Insektizideinsatz zur Blattlausbekämpfung. Hinzu kamen noch die unterschiedlichen Witterungsbedingungen, da die Vegetationsperiode 1989 im Mittel ebenfalls sehr viel trockener und wärmer war als 1987.

## 2.3 Auswertung

Die Daten wurden mit Hilfe des Statistik-Analyse-Systems (SAS) ausgewertet, wobei der U-Test nach MANN & WHITNEY bzw. der WILCOXON-Rangsummentest sowie der Mehrstichprobentest von KRUSKAL/WALLIS Verwendung fanden. Als Signifikanzniveau wurde für alle Fragestellungen  $\alpha \leq 0.05$  gewählt.

Alle Daten wurden zum besseren Vergleich mit anderen Publikationen auf eine Flächeneinheit von  $0.01 \text{ m}^2$  bezogen. In der Regel beziehen sich diese Daten auf eine Tiefe von 0 bis 10 cm.

Als Maß für die Übereinstimmung im Dominanzspektrum zweier Tierbestände wurde die Dominanzidentität (nach RENKONEN 1938 in SCHWERDTFEGGER 1975) herangezogen.

Als Parameter der Mannigfaltigkeit (Diversität) wurde der häufig verwendete Index von SHANNON-WIENER verwendet. Dieser Index steigt mit zunehmender Artenzahl und zunehmender Gleichverteilung der Individuen auf die Arten an.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Besiedlungsdichte, Arten- und Dominanzstruktur

Über Collembolen in Agrarbiozöosen liegt, insbesondere aus den letzten 10 bis 15 Jahren, eine Vielzahl von Literatur mit den verschiedensten Schwerpunkten vor. Mit dem Einfluß von Pflanzenschutzmitteln oder von Düngungsmaßnahmen auf Collembolen im Freiland haben sich z. B. TISCHLER (1949, 1965), BAUDISSIN (1951), MÜLLER (1959a, 1959b, 1960), HÖLLER-LAND (1962), GREGOIRE-WIBO (1980, 1983), HERGARTEN (1984) und RÖSKE (1986) beschäftigt.

In Ackerböden richtet sich die Besiedlungsdichte stark nach Düngung und Bodenbedeckung und liegt im allgemeinen zwischen 50 und 200 Individuen/ $0.01 \text{ m}^2$  (TISCHLER 1965).

Auf den Schlägen der Untersuchungsfläche Ahlum lag sie, bezogen auf die oberen 10 cm Bodentiefe, im Mittel des Untersuchungszeitraumes bei  $230 \text{ Ind.}/0.01 \text{ m}^2$ , wobei rund 80 % in den obersten 5 cm gefunden wurden. Minimalwerte waren 6 bis 20 Ind. pro  $0.01 \text{ m}^2$  im Wintergetreide und zwar im Winterhalbjahr. Maximale Besatzdichten traten, ebenfalls im Winterhalbjahr, beim Anbau von Zwischenfrucht (Gelbsenf) mit bis zu  $1800 \text{ Ind.}/0.01 \text{ m}^2$  auf.



Im Wintergetreide lag die Individuendichte im Sommerhalbjahr durchschnittlich zwischen 100 und 200 Ind./0.01 m<sup>2</sup>. Die Abundanzmaxima wurden in der Zeit zwischen Juni und Ende August erreicht, wenn die mittleren wöchentlichen Temperaturen über 15 °C stiegen und das Getreide höher als 20-25 cm war.

Beim Anbau von Zuckerrüben wurden nur im feuchteren Jahr 1987 ähnlich hohe Besiedlungsdichten wie im Getreide erreicht. Die Abundanzmaxima lagen eher im Spätsommer ab etwa September.

In anderen Untersuchungen wurden bis zu 50 Collembolenarten in Ackerböden festgestellt, zeitgleich wurden jedoch meist nur um 20 Arten gefunden. Dies stimmt im wesentlichen mit den in Ahlum vorgefundenen Verhältnissen überein.

In Tabelle 2 sind die während des Untersuchungszeitraumes von April 1987 bis August 1988 sowie von April bis Oktober 1989 nachgewiesenen 40 Collembolenarten aufgeführt, sowie deren Dominanzgrad (Dominanzklassifizierung in Anlehnung an ENGELMANN 1978). Die Frequenz, mit der die Arten in der Untersuchungsperiode auf der Versuchsfläche auftraten, sowie die Zuordnung zu den Lebensformtypen (GISIN 1943; BOCKEMÜHL 1956) werden ebenfalls wiedergegeben.

Die meisten auf der Untersuchungsfläche nachgewiesenen Arten sind entweder europaweit verbreitet oder Kosmopoliten.

Im Dominanzspektrum der Wintergerste (Abb. 2) spiegelten sich bei den hemiedaphisch dominanten Arten *Isotomurus palustris* und *Isotoma notabilis* die Unterschiede der Witterungsbedingungen 1987 und 1988 wieder. In der Vegetationsperiode 1987 mit deutlich höheren Niederschlagssummen als im langjährigen Durchschnitt dominierte die hygrophile *I. palustris* mit einem mittleren Anteil von mehr als 40 % am Dominanzspektrum über *I. notabilis* mit einem 18 %igen Anteil (Ausnahme: I<sub>3</sub>). In der niederschlagsarmen Vegetationsperiode 1988 waren die Verhältnisse umgekehrt. *I. notabilis* hatte im Mittel aller Intensitäten einen Anteil von über 40 % und *I. palustris* weniger als 20 %.

Tab. 2: Artenspektrum, Dominanz- und Frequenzverhältnisse und Lebensformtypen der Collembolen in Ahlum

	Dominanz- grad	Frequenz- grad	Typ
<b>Dominante Arten</b>			
<i>Isotoma notabilis</i> SCHÄFFER, 1896	32.3	81.1	mH
<i>Isotomurus palustris</i> (MÖLLER) 1776	24.3	71.9	hH
<i>Folsomia fimetaria</i> (LINNE) 1758	16.0	79.2	Eu
<b>Subdominante Arten</b>			
<i>Isotoma viridis</i> NICOLET 1941	0.4	58.6	mH
(davon 1987/88: 60% <i>Isotoma viridis</i> NICOLET 1841 40% <i>Isotoma anglicana</i> BOURLET 1839			
<i>Isotoma tigrina</i> NICOLET 1842	5.2	36.2	mH
<b>Rezedente Arten</b>			
<i>Tullbergia krausbaueri</i>	2.6	61.4	Eu
davon 1987/88: 62% <i>Mesaphorura macrochaeta</i> (RUSEK, 1976) 38% <i>Mesaphorura sylvatica</i> -Gruppe (RUSEK)			
<i>Onychiurus jubilaris</i> GISIN, 1957	2.1	44.5	Eu
<i>Hypogastrura succinea</i> GISIN, 1949	1.7	33.8	mH
<i>Onychiurus armatus</i> TULLBERG, 1869	1.4	30.7	Eu
<i>Sminthurinus aureus</i> (LUBBOCK) 1862	1.4	46.5	mH
<i>Sphaeridia pumilis</i> (KRAUSBAUER) 1898	1.3	16.0	mH
<i>Pseudosinella alba</i> (PACKARD) 1873	1.2	34.0	Eu
<b>Subrezedente Arten</b>			
<i>Megalothorax minimus</i> WILLEN, 1900	0.6	20.9	Eu
<i>Sminthurinus elegans</i> (FITCH) 1863	0.5	10.9	mH
<i>Bourletiella hortensis</i> (FITCH) 1863	0.4	24.0	At
<b>Sporadisch auftretende Arten</b>			
<i>Willemia intermedia</i> MILLS, 1934	0.2	10.8	Eu
<i>Proisotoma minuta</i> (TULLBERG) 1871	0.2	3.3	mH
<i>Frisea mirabilis</i> (TULLBERG) 1871	0.1	4.2	mH
<i>Jeannenotia stachi</i> (JEANNENOT) 1955	0.1	4.1	mH
<i>Pseudosinella decipiens</i> DENIS, 1924	0.1	8.2	Eu
<i>Anurida pygmaea</i> BÖRNER 1901	0.1	2.6	mH
<b>Seltene Arten</b>			
<i>Hypogastrura bengtssoni</i> (AGREN) 1904	*	2.8	Eu
<i>Folsomia spinosa</i> KSENNEMAN, 1936	*	2.3	Eu
<i>Xenylla grisea</i> AXELSON, 1900	*	+	xH
<i>Folsomia candida</i> WILLEN, 1902	*	+	Eu
<i>Onychiurus circulans</i> GISIN, 1952	*	+	Eu
<i>Proisotoma minima</i> (ABSOLON) 1901	*	+	mH
<i>Sminthurus viridis</i> (LINNE) 1758	*	+	At
<i>Sminthurides schoetti</i> AXELSON, 1903	*	E	mH
<i>Isotomiella minor</i> (SCHÄFFER) 1896	*	E	Eu
<i>Pseudosinella wahlgreni</i> (BÖRNER) 1907	*	E	Eu
<i>Isotomina spec.</i>	*	E	
<i>Tullbergia quadrispina</i> (BÖRNER) 1901	*	E	Eu
<i>Heteromurus nitidus</i> (TEMPLETON) 1835	*	E	Eu
<i>Entomobrya spec.</i>	*	E	mH
<i>Pseudosinella potterseni</i> BÖRNER 1901	*	E	Eu
<i>Pseudosinella immaculata</i> (LIE-PETERSEN) 1896	*	E	Eu
<i>Sminthurinus niger</i> (LUBBOCK) 1867	*	E	mH

Legende:

Eu = Euedaphon

mH = mesophiles Hemiedaphon

hH = hygrophiles Hemiedaphon

xH = xerophiles Hemiedaphon

At = atmobiont/epedaphisch

\* = kleiner 0.1%

+ = kleiner 2.0%

E = < 10 Individuen

Im Winterweizen wurden ähnliche Verhältnisse beobachtet, doch veränderte sich der Anteil der beiden Arten in den verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten weitaus stärker als in der Wintergerste.

Im Zuckerrübenanbau (Abb. 2) dominierte im Mittel aller Intensitäten in den Jahren 1987 und 1989 *I. notabilis*. In der Vegetationsperiode 1987 waren in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  die prozentualen Anteile von *I. notabilis* am höchsten, in  $I_1$  und  $I_2$  etwa gleich hoch mit denen von *I. palustris*.

Im gleichen Jahr hatte auch die euedaphische Art *Folsomia fimetaria* in  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  einen recht hohen Anteil am Dominanzspektrum.

In der vergleichsweise trockeneren Vegetationsperiode 1989 dominierte *I. notabilis* in allen Varianten mit einem 20 bis 30 %igen Anteil gegenüber *I. palustris*, welche höchstens 14 % aufwies. Außerdem gehörten *Tullbergia krausbaueri* in  $I_0$ ,  $I_1$  und  $I_2$  sowie *Pseudosinella alba* in  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  1989 zu den dominanten Arten. *Folsomia fimetaria* wies nur in  $I_0$  einen mehr als 10 %igen Anteil auf.

Die Arten- und Individuenzahlen sowie die Diversität in Tabelle 3 beziehen sich auf den jeweils gesamten Probenahmezeitraum innerhalb einer Kultur:

Das Artenspektrum war in den vier Bewirtschaftungsintensitäten, über den gesamten Untersuchungszeitraum gesehen, annähernd gleich. Allerdings wurden in den meisten Probenahmezeiträumen in  $I_3$  weniger Arten als in den anderen Intensitäten gefunden. Dies war über den gesamten Untersuchungszeitraum signifikant.

Die Unterschiede in der Artenzahl in den Intensitäten  $I_0$ ,  $I_1$  und  $I_2$  ließen sich nicht statistisch absichern. Im Mittel des Untersuchungszeitraumes wurde in der Intensität  $I_1$  die höchste Artenzahl gefunden.

Die höchste Diversität wies im Mittel die Intensität  $I_0$  auf, am zweithöchsten war sie in  $I_1$ .

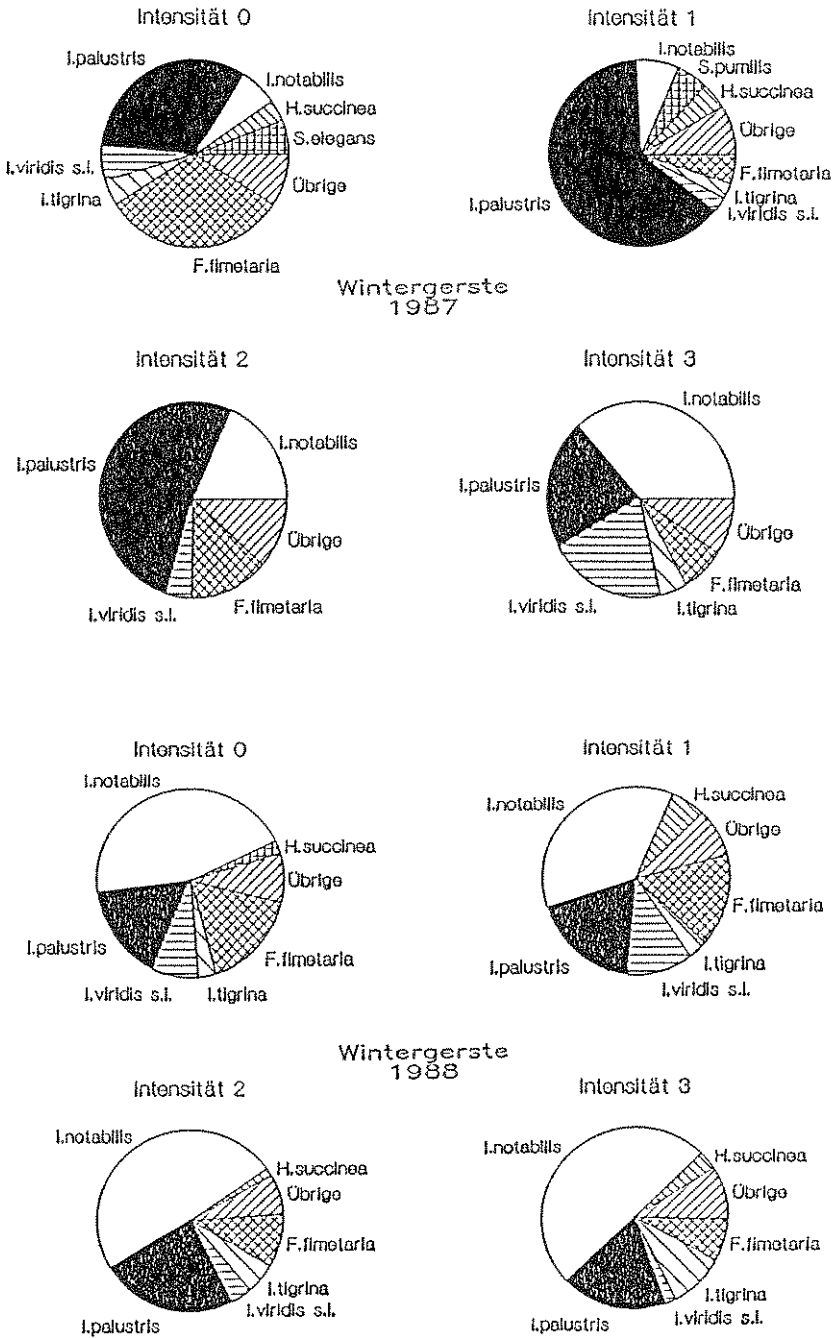


Abb. 1: Dominanzspektren der Collembolen in der Vegetationsperiode der Wintergerste 1987 (Schlag III) und 1988 (Schlag II)

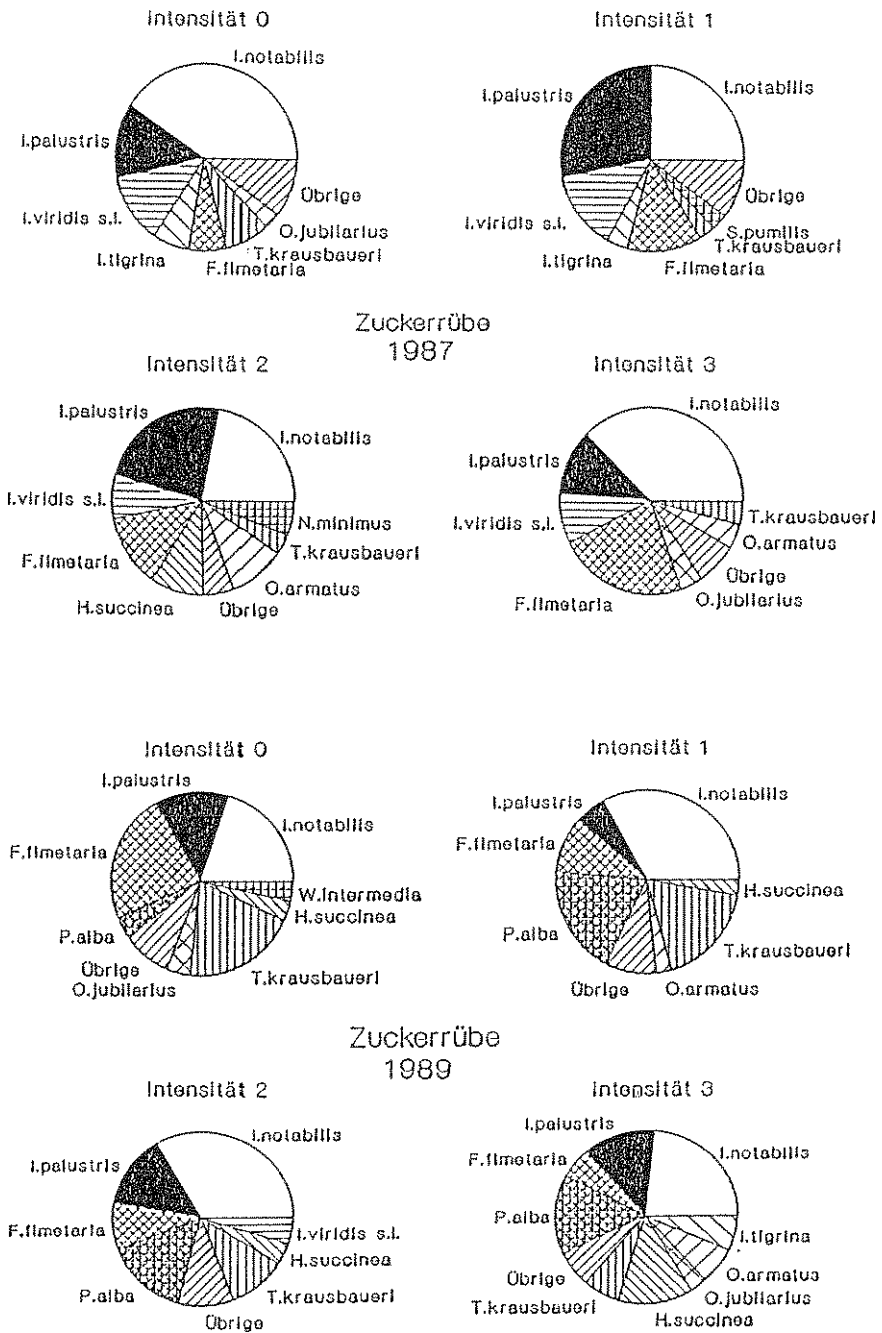


Abb. 2: Dominanzspektren der Collembolen in der Vegetationsperiode der Zuckerrübe 1987 (Schlag I) und 1989 (Schlag II)

1987 konnten die höchsten Dominanzidentitäten in allen Kulturen zwischen den Intensitäten  $I_3$  und  $I_0$ , die niedrigsten zwischen  $I_3$  und  $I_1$  beobachtet werden. Im zweiten Untersuchungsjahr 1988 glichen sich diesbezüglich eher die Intensitäten  $I_2$  und  $I_3$  sowie  $I_0$  und  $I_1$ . 1989 war der Grad der Übereinstimmung im Dominanzspektrum der Arten zwischen  $I_1$  und  $I_2$  am höchsten und - im Gegensatz zur Zuckerrübe 1987 - zwischen  $I_0$  und  $I_3$  am geringsten.

Die Besatzdichten in den Bewirtschaftungsintensitäten waren 1987 und 1988 nur z. T. signifikant verschieden, 1989 war dies in der Zuckerrübe zwischen allen Intensitäten der Fall. Dies hängt wahrscheinlich mit dem intensiven Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im betreffenden Probenahmezeitraum zusammen.

Tab. 3: Gesamtartenzahl, Individuenzahl und Diversität in Ahlum 1987 bis 1989

Kultur/Jahr	Schlag	Anzahl Termine	Gesamtartenzahl				Gesamtindividuenzahl				Diversität				
			$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	
1987:															
Zuckerrübe	I	7	21	22	23	18	3805	2713	3105	3083	1.87	1.71	2.09	1.90	
Winterweizen	II	6	20	29	25	20	4313	2795	4015	4658	1.79	2.07	1.81	1.64	
Wintergerste	III	5	26	22	23	25	2566	4797	2970	5360	1.94	1.52	1.56	1.79	
1987/88:															
Gelbsenf	III	6	20	23	26	25	8208	12421	11674	7405	1.78	1.72	1.59	1.60	
1988:															
Winterweizen	I	9	21	19	17	16	2143	3417	1974	1903	2.19	1.75	1.96	1.87	
Wintergerste	II	10	27	27	24	22	8207	6693	7829	5757	1.79	1.99	1.59	1.75	
1989:															
Zuckerrübe	II	7	21	22	23	18	1417	710	794	499	2.13	2.07	2.09	2.27	
Mittel			22.3	23.4	23.0	20.6	4380	4568	4623	4095	1.93	1.83	1.81	1.83	

### 3.2 Einzelne Arten

Für die Darstellung dieses Kapitels wurde, aufgrund der Unterschiede in klimatischen und räumlichen Gegebenheiten des beobachteten Ausschnittes des Agrarökosystems, eine Unterteilung der Arten in Hemiedaphon (Lebensraum: Erdoberfläche bzw. in der

oberflächennahen Bodenschicht) und Euedaphon (Lebensraum Bodeninneres) gewählt.

Hemiedaphische Arten sind den mikroklimatischen Veränderungen viel eher ausgesetzt (verursacht z. B. durch den Einsatz von Herbiziden) als die in tieferen Bodenschichten lebenden, euedaphischen Arten. Auch können bestimmte Insektizide hemiedaphische Arten direkt beeinträchtigen (KOKTA 1989). Das Euedaphon reagiert nach DUNGER (1982) insgesamt sehr viel langsamer und damit 'konservativer' auf Umweltveränderungen als das Hemiedaphon.

Die Arten werden innerhalb dieser Unterteilung (Hemiedaphon - Euedaphon) im folgenden Kapitel nach ihrem Dominanzgrad abgehandelt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Vergleichbarkeit mit den anderen Teilprojekten werden bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse nur die Abundanzen von Schlag II wiedergegeben.

### 3.2.1 Abundanzverhältnisse hemiedaphischer Arten

*Isotomurus palustris* ist als typische Wiesenart ausgesprochen hygrobiont. So bevorzugt sie feuchte Wiesen und Moore und hält sich gerne in Nähe von Bach- und Teichufern auf (STREBEL 1932). In Ahlum wurden im Mittel mehr als 90 % der Individuen in den Proben der obersten Bodenschicht von 0-5 cm gefunden. Aufgrund ihrer Hygrophilie und ihrer engen Bindung an die Erdoberfläche erreichte die Art dort ihre höchsten Individuendichten, wo sie nicht direkt durch Pflanzenschutzmaßnahmen betroffen war, aber gleichzeitig hohe Feuchtigkeit vorfand.

So war z.B. 1987 und 1988 im Getreide die Unkrautdichte zwischen den Reihen ein wesentlicher Faktor für die Verteilung der Individuen im Raum. In der Intensität I<sub>3</sub>, wo die Unkrautdichte kleiner als 1 % war, konnte sich die Population hauptsächlich in den Getreidereihen entwickeln. In allen anderen Intensitäten sorgte in den Vegetationsperioden insbesondere die Vogelmiere (*Stellaria media*) als häufigstes Beikraut für ein günstiges Mikroklima im Raum zwischen den Getreidereihen. Dadurch wurde

die Gleichverteilung der Individuen in und zwischen den Getreidereihen begünstigt. Die höchsten Individuendichten im Getreide wurden häufig in den Intensitäten  $I_1$  oder  $I_2$  beobachtet. Eine Ausnahme blieb 1987 der Winterweizen auf Schlag II, wo die höchsten Dichten in  $I_0$  und  $I_3$  vorkamen (Abb. 3). Aber auch in diesem Fall zeigte sich die oben beschriebene Verteilung der Individuen im Raum: hohe Dichten in  $I_0$  sowohl zwischen als auch in den Getreidereihen, hohe Dichten in  $I_3$  nur in den Reihen. Im gleichen Jahr waren in  $I_3$  die Pflanzen zusätzlich noch von einem dichten Moos- und Algent Teppich umgeben. Erst kurz vor der Ernte war dann kein Unterschied mehr in der Verteilung der Individuen in und zwischen den Reihen zu erkennen.

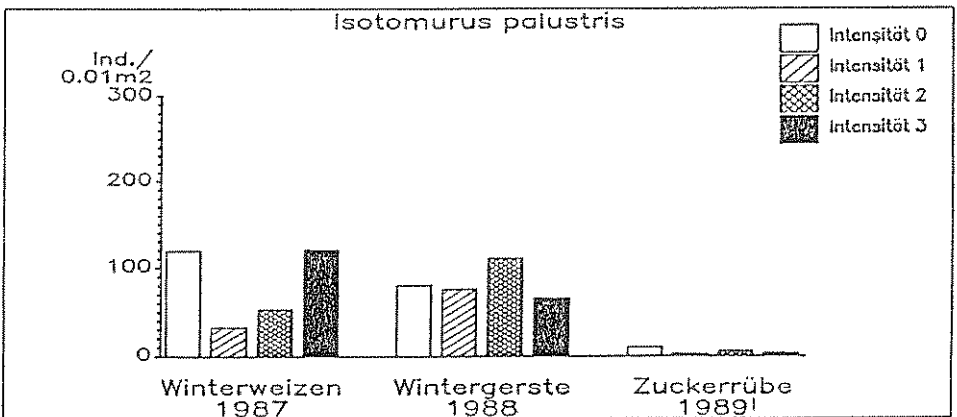


Abb. 3: Mittlere Abundanzen von *I. palustris* auf Schlag II

In der Zuckerrübe war 1987 bei abgestuftem Herbizideinsatz die Individuendichte in  $I_3$  gegenüber den anderen Intensitäten erniedrigt, während 1989 (intensiver Insektizideinsatz) die Individuendichten in  $I_1$  bis  $I_3$  gegenüber  $I_0$  deutlich verringert waren.

Die ubiquitäre Art *Isotoma notabilis* bevorzugt nach HÖLLER-LAND (1962) Humusböden mit hohem organischen Dünger Gehalt. Die Nahrungsansprüche der Art sind denen von *Folsomia fimetaria* recht



ähnlich, da beide Arten übereinstimmend von mehreren Autoren als an rottendem, organischem Material lebende Arten bezeichnet werden (HÖLLER-LAND 1962; RÜBENSAM et al. 1962; BIERINGER 1969).

Im Wintergetreide bildete *I. notabilis* in der Vegetationsperiode 1987 in den Intensitäten höhere Individuendichten, in denen *I. palustris* weniger häufig war (Abb. 4).

In der darauffolgenden Vegetationsperiode 1988 war diese Tendenz nicht mehr zu beobachten: Im Winterweizen erreichten beide Arten in  $I_1$  ihr Maximum, in der Wintergerste wurden in  $I_2$  im Mittel die meisten Individuen gefunden.

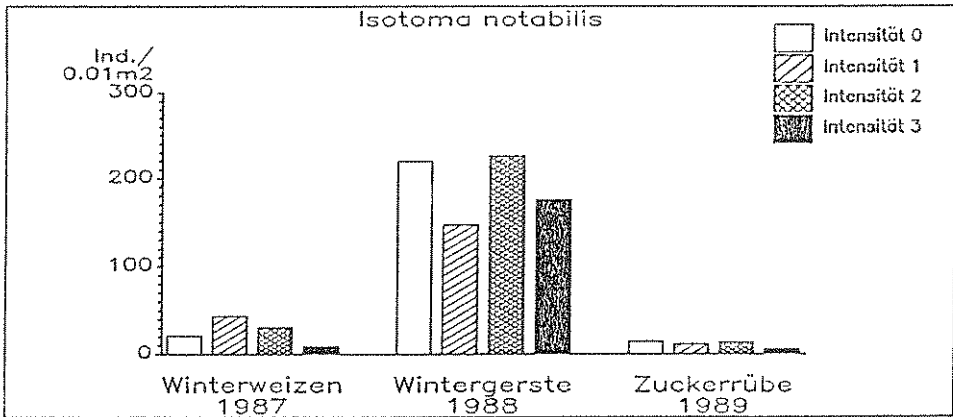


Abb. 4: Mittlere Abundanzen von *I. notabilis* auf Schlag II

In der Zuckerrübe 1987 blieben die Populationen in den Intensitäten  $I_0$ ,  $I_1$  und  $I_2$  in den drei auf Hackmaschineneinsatz folgenden Monaten in ihrer Dichte ständig hinter der nur mit Herbiziden behandelten Intensität  $I_3$  zurück. Erst danach erholten sich die Populationen, wobei in  $I_0$  die höchste Abundanz beobachtet werden konnte.

1989 fielen das Frühjahrs- und das Herbstmaximum der  $I_3$ -Population signifikant niedriger aus als die der anderen Intensitäten. Die Metasystox-Behandlung gegen Blattläuse in  $I_3$  im Juni

wirkte hier, zusätzlich zu den übrigen Pflanzenschutzmaßnahmen, sicherlich stark auf die Populationsdichte ein.

*Isotoma viridis* reagierte, wie dies bereits bei *I. palustris* festgestellt wurde, in Abhängigkeit von der vorherrschenden Witterung unterschiedlich auf die Bewirtschaftungsintensität. In der trockenen Vegetationsperiode 1988 war der Einfluß der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Populationsdichte deutlicher als im niederschlagsreicheren Jahr 1987 (Abb. 5).

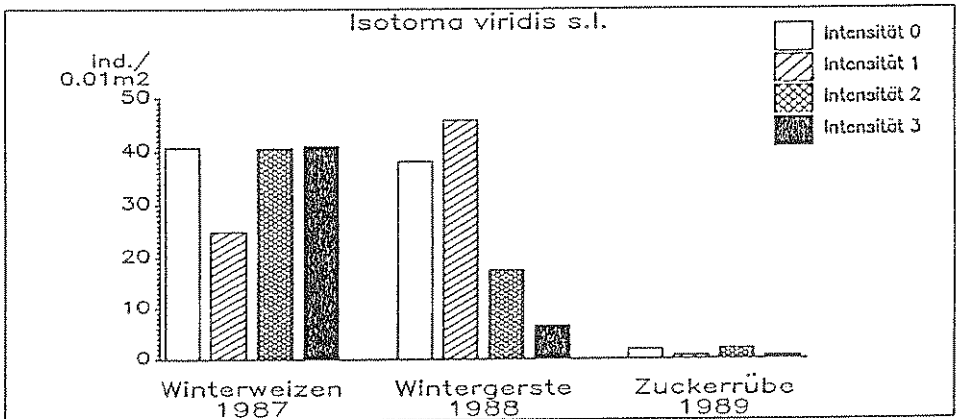


Abb. 5: Mittlere Abundanzen von *I. viridis* s.l. auf Schlag II

Bei einer Aufspaltung der Art *Isotoma viridis* s.l. in die Varietäten var. *riparia* und var. *caerulea* (PALISSA 1964) (nach FJELLBERG 1980 sind dies die eigenständigen Arten *I. viridis* und *I. anglicana*) ergaben sich für 1987 und 1988 folgende Ergebnisse:

Über den gesamten Zeitraum wurden in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  im Mittel aller Schläge etwa gleich viele Individuen der beiden Arten beobachtet. In  $I_2$  bildete *I. viridis* mehr als 70 % (signifikant) und in  $I_3$  mehr als 60 % (ebenfalls signifikant) der Individuendichte von *Isotoma viridis* s.l.. Beim Vergleich innerhalb einzelner Vegetationsperioden ließen die Abundanzen von *I. viridis* und *I. anglicana* zwischen den Intensitäten

jedoch keine einheitlichen Unterschiede erkennen.

*Isotoma olivacea*, hier als *Isotoma tigrina* nach FLELLBERG (1980) bestimmt, charakterisiert nach GISIN (1952) die winterliche Zersetzungsphase im Kompost. Diese Art (Abb. 6) erwies sich in Ahlum als deutlich abhängig von der Anbaukultur, da sie die höchsten Populationsdichten in der Wintergerste und in der Zwischenfrucht erreichte. Da ihre Vorliebe für faulende und sich zersetzende Substanzen bekannt ist (SCHALLER 1949; GISIN 1952), waren die Bedingungen hierfür in diesen Kulturen offensichtlich am günstigsten.

*I. tigrina* wurde in vielen Fällen aggregiert mit einer Ansammlung größerer Dipterenlarven in den Proben gefunden (z.B. in  $I_3$  in der Wintergerste sowohl im Jahr 1987 als auch 1988). Hier liegt möglicherweise Kommensalismus vor, da nach SCHALLER (1949) Koprophagie eindeutig auszuschließen ist.

Unter ungünstigen Temperaturbedingungen entstehen nach CASSAGNAU (1956; zit. in PALISSA 1964) in subadulten Stadien Individuen mit einer Querreihe von dornentragenden Papillen auf dem Abdomen: *I. tigrina* var. *stachi* DENIS 1929. Diese Varietät wurde 1987 von Mai bis Juli und 1988 von März bis Juli vor allem in der Wintergerste mit mehr als 5 % Anteil an der gesamten Individuenzahl von *I. tigrina* beobachtet.

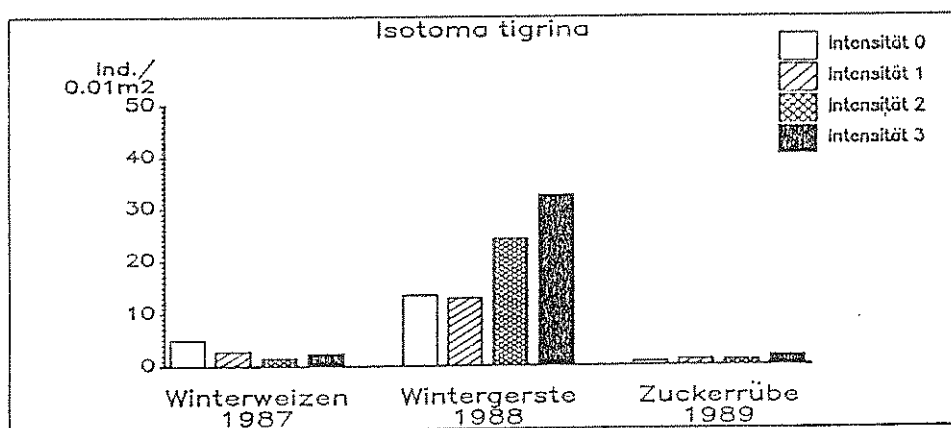


Abb. 6: Mittlere Abundanzen von *I. tigrina* auf Schlag II

*Hypogastrura*-Arten bevorzugen relativ warme Standorte und gelten als typische Besiedler von Kompost (GISIN 1960; ALEJNIKOVA et al. 1975; BECKMANN 1990). AT LAVINYTE (1971) fand *Hypogastrura succinea* bei Versuchen zum Strohabbau in den Gefäßen, in denen der Abbauprozess noch nicht weit fortgeschritten war; ähnliches berichten ALEJNIKOVA et al. (1975).

In Ahlum war *H. succinea* im Untersuchungszeitraum nur rezedent bis subrezedent. Höhere Dichten erreichte sie in der Wintergerste, wobei die Populationsdichte dann in  $I_1$  signifikant höher war als in den übrigen Intensitäten (Abb. 7). In der Zuckerrübe war 1989, trotz des hohen Einsatzes an Insektiziden in der Intensität  $I_3$ , bei insgesamt niedriger Individuendichte, keine Beeinträchtigung erkennbar.

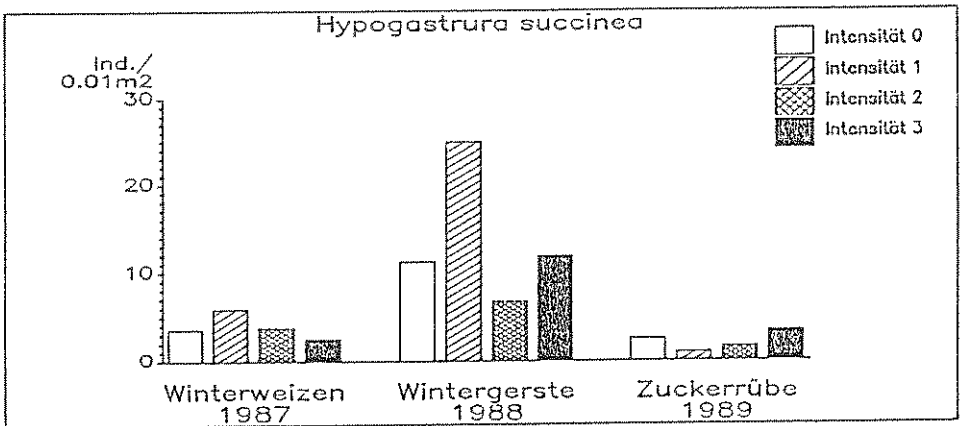


Abb. 7: Mittlere Abundanzen von *H. succinea* auf Schlag II

In Untersuchungen von Agrarbiotopen (HÖLLER-LAND 1962; BAUCHHENS & WEIGAND 1974; BAUCHHENS 1983) wird *Sphaeridia pumilis* (syn. *Sminthurides pumilis*) als epigäische (bzw. atmobionte), rezedent bis sporadisch auftretende Art beschrieben. Sie wurde sowohl in eher feuchteren Biotopen (GISIN 1943; HAMMER 1953), aber auch an relativ trockenen Standorten (AGRELL 1934; SCHALLER 1949) beobachtet.

*S. pumilis* (Abb. 8) erwies sich im Laufe der Untersuchungen als eine gegen hohe Bewirtschaftungsintensität recht empfindliche Art. Stets wurden die höchsten Individuendichten in den Intensitäten  $I_0$  oder  $I_1$  beobachtet. In  $I_3$  wurden Individuen in der Zwischenfrucht oder in der Wintergerste nur dann gefangen, wenn keine Pflanzenschutzmittel angewendet wurden. Die Unterschiede der Populationsdichten in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  zu denen in  $I_3$  waren stets signifikant. Die höchsten Dichten wurden in den Sommermonaten in den Getreidekulturen beobachtet.

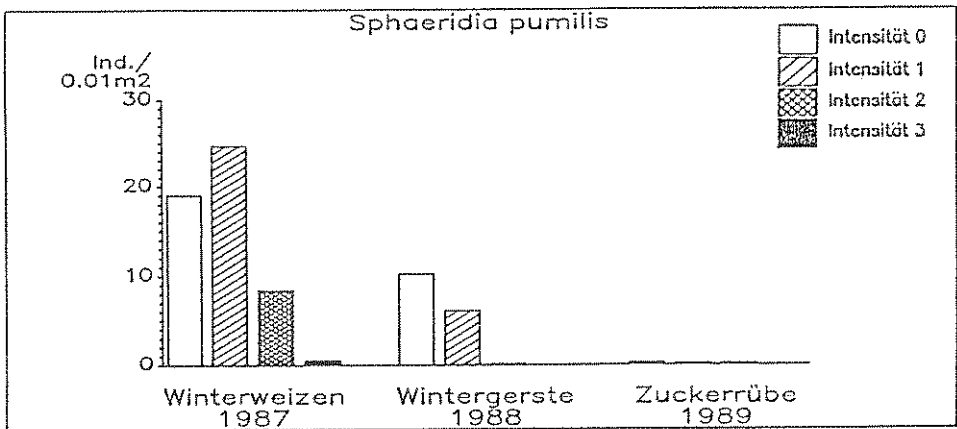


Abb. 8: Mittlere Abundanzen von *S. pumilis* auf Schlag II

Äcker, flache Wiesen und Moose sowie Seeufer sind die Habitate, in denen *Sminthurinus aureus* beobachtet wurde (GISIN 1943, 1960; STREBEL 1957; PETERSEN 1965).

*S. aureus* (Abb. 9) bildete im Winterweizen und in der Zuckerrübe im allgemeinen höhere Populationsdichten bei niedriger Bewirtschaftungsintensität. Gleiches konnte jedoch nicht in der Wintergerste beobachtet werden.

In den Winterhalbjahren wurden im Gelbsenf und in der Wintergerste zeitweise ähnlich hohe Dichten wie in den Vegetationsperioden gefunden. Für die Dauer von zwei bis drei Monaten (Ja-

nuar bis März) wurden dann fast nur juvenile Tiere aus den Proben extrahiert.

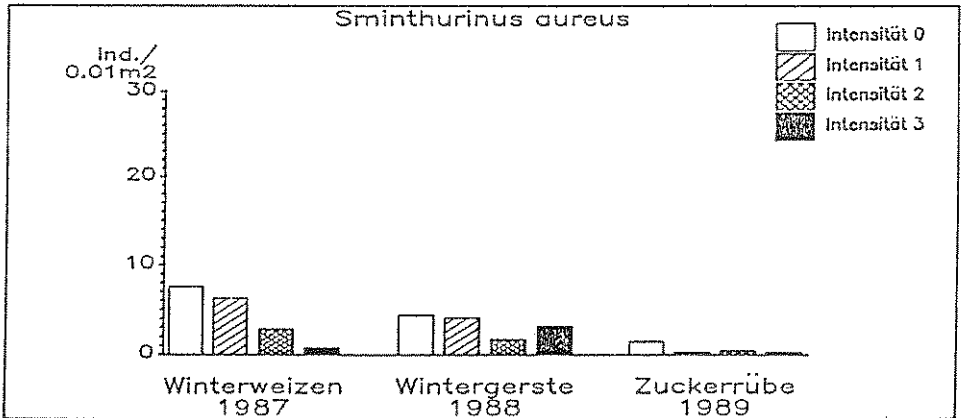


Abb. 9: Mittlere Abundanzen von *S. aureus* auf Schlag II

### 3.1.2 Abundanzverhältnisse euedaphischer Arten

*Folsomia fimetaria* ist in Ackerböden relativ weit verbreitet (HÖLLER-LAND 1962; BIERINGER 1969; SCHLEUTER 1980) und ist offensichtlich im hohen Maße an den Zersetzungsprozessen indirekt oder direkt beteiligt, da sie immer wieder gehäuft in oder an zersetzender Substanz beobachtet wurde (HÖLLER-LAND 1962; RÜBENSAM et al. 1962 u. a.). Sie ernährt sich dort von ansiedelnden Mikroorganismen (ANDREN & SCHNÜRER 1985), insbesondere von Bodenpilzen (MÜLLER & BEYER 1965) und/oder von der sich zersetzenden Pflanzensubstanz selber (RÜBENSAM et al. 1962; DUNGER 1956; MÜLLER 1959c). Auf jeden Fall muß diese erst ein bestimmtes Reifestadium erreicht haben, bevor *F. fimetaria* in die Rotte eingreift (HÖLLER-LAND 1962, ATLAVINYTE 1971, ALEJNIKOVA et al. 1975).

*F. fimetaria* (Abb. 10) wurde im Winterweizen 1987 und 1988 mit z. T. signifikant höheren Individuendichten in  $I_2$  und  $I_3$  beobachtet. In der Wintergerste dagegen wies in beiden Jahren die Intensität  $I_0$  die signifikant höheren Dichten auf.

Die Ergebnisse in den Zuckerrüben fielen 1987 und 1989 unterschiedlich aus. 1987 wurden keine Insektizide eingesetzt. Nur die Intensität  $I_3$  unterschied sich in diesem Jahr von den anderen Intensitäten durch signifikant höhere Individuendichten (vgl. auch *I. notabilis*). Im Gegensatz dazu war 1989 *F. fimetaria* in  $I_0$  ca. fünf mal häufiger als in den mit Pirimor behandelten Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  und sogar mehr als zehn mal häufiger als in der mit Pirimor und Metasystox behandelten Intensität  $I_3$ .

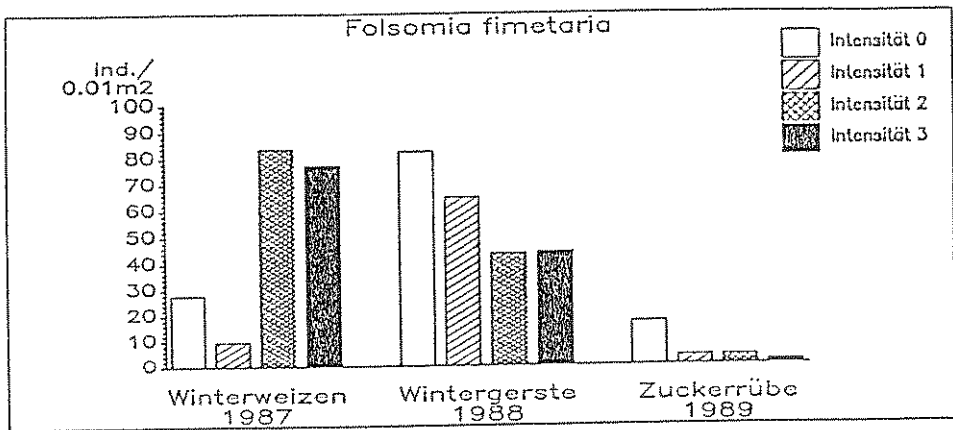


Abb. 10: Mittlere Abundanzen von *F. fimetaria* auf Schlag II

*Onychiurus armatus* ist als Kosmopolit häufig in Ackerböden zu finden (HÖLLER-LAND 1962; PALISSA 1964). Die Schadwirkung von Arten der *O. armatus*-Gruppe an Zuckerrüben wurde erstmals von WINNER (1959) nachgewiesen. In Laborversuchen wurden ausschließlich Individuen der *O. armatus*-Gruppe (und nicht der *O. fimetarius*-Gruppe) an den Keimlingen schädlich (ULBER 1978; pers. Mitt. 1987).

In Ahlum wurde *O. armatus* (Abb. 11) in den ersten beiden Untersuchungsjahren 1987 und 1988 in den Intensitäten  $I_0$ ,  $I_2$  oder  $I_3$  in höheren Abundanzen beobachtet, niemals aber in  $I_1$ . 1989 war in der Zuckerrübe die Individuendichte in allen Intensitäten niedrig, der höchste Wert trat jedoch in  $I_3$  auf. Erst

mals wurden im gleichen Jahr auch in I<sub>1</sub> etwas höhere Individuendichten gefunden.

Funde von *Onychiurus jubilarius* (Abb. 12), einer Art der *O. fimetarius*-Gruppe, häuften sich oft in den Intensitäten, in denen *O. armatus* wenig abundant waren. Am deutlichsten war dies in der Wintergerste zu beobachten (Tab. 4).

Tab. 4: *O. armatus* und *O. jubilarius* in den Intensitäten mit der jeweils höchsten Individuendichte

	<i>O. armatus</i>	<i>O. jubilarius</i>
Wintergerste 1987	I <sub>0</sub> und I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub> und I <sub>2</sub>
Wintergerste 1988	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> u. I <sub>3</sub>
Winterweizen 1987	I <sub>2</sub> und I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>
Winterweizen 1988	I <sub>2</sub> und I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub> und I <sub>1</sub>
Zuckerrübe 1987	I <sub>2</sub> und I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub> und I <sub>3</sub>
Zuckerrübe 1989	I <sub>1</sub> und I <sub>3</sub>	I <sub>0</sub>

In den Zuckerrüben wurde im Mittel der Vegetationsperiode 1987 von beiden Arten in den Intensitäten mit geringerer Herbizid-anwendung und vorherigem Einsatz der Hackmaschine das Gros der Individuen aus Proben zwischen den Rübenreihen extrahiert. In der Intensität I<sub>3</sub>, mit einer Unkrautbekämpfung ausschließlich durch Herbizide, wurden dagegen mehr Individuen innerhalb der Rübenreihen gefunden.

Als Ursache für die Abundanzunterschiede der beiden *Onychiurus*-Arten können Unterschiede im Mikroklima der Intensitäten, Unterschiede im Nahrungsspektrum (fakultative Phytophagie bei *O. armatus*) sowie die morphologischen Unterschiede der beiden Arten (Analdornen, Pseudocellenanzahl, Körpergröße) diskutiert werden. Letztendlich bleibt die Frage zur Verteilung der beiden Arten jedoch offen, da sich die vorliegenden, bezüglich dieser Fragestellung wenig speziellen Untersuchungen nur bedingt für die Beantwortung eignen.



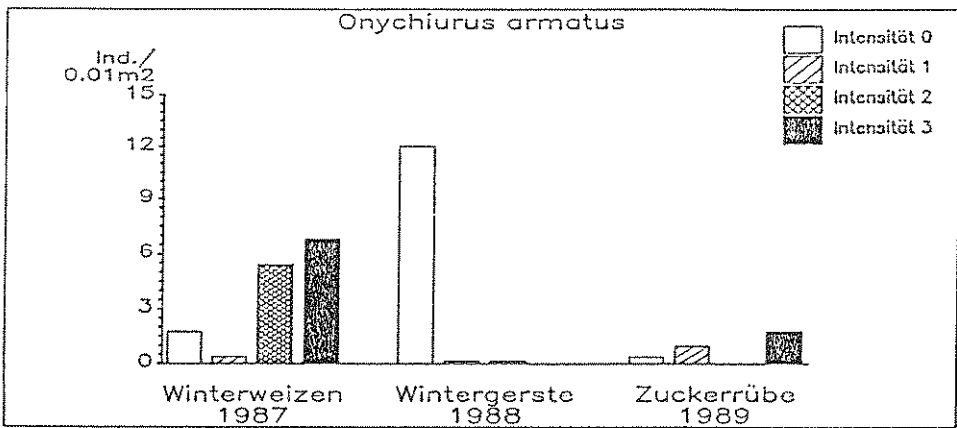


Abb. 11: Mittlere Abundanzen von *O. armatus* auf Schlag II

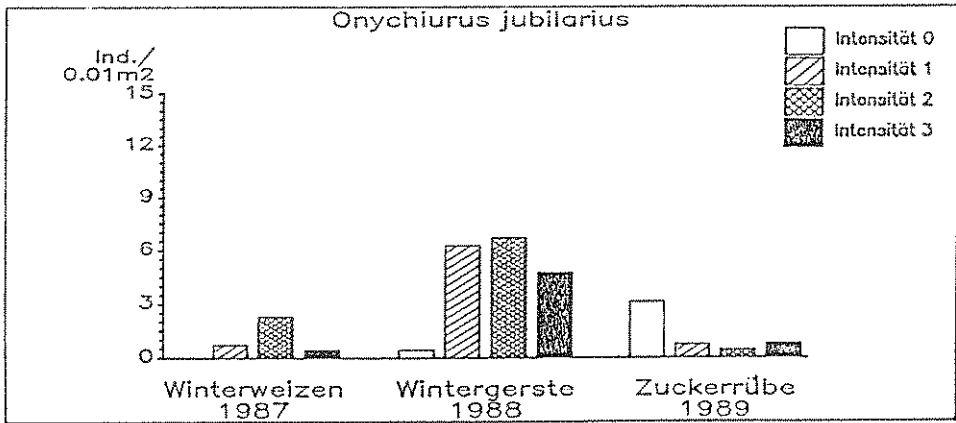


Abb. 12: Mittlere Abundanzen von *O. jubilarius* auf Schlag II

GISIN (1943) fand *Tullbergia krausbaueri* in praktisch allen untersuchten Böden. WEIS-FOGH (1948) konnte diese Art dominant und konstant jeweils in den trockenen Bereichen seiner Proben beobachten.

Nach RUSEK (1971, 1974) handelt es sich bei *Tullbergia kraus-*

*baueri* s.l. um einen ganzen Komplex von Arten, von denen in Ahlum *Mesaphorura macrochaeta* und Arten der *Mesaphorura sylvatica*-Gruppe vorkommen. Die Bestimmung der letztgenannten Artengruppe wurde nur exemplarisch an einigen wenigen Individuen vorgenommen. Es handelte sich sowohl um *M. sylvatica* als auch um *M. hylophila*.

In Abbildung 13 wurden die Abundanzen beider Taxa zusammengefaßt, da 1989 die getrennte Bestimmung nicht mehr durchgeführt wurde. Nur in einigen Untersuchungszeiträumen konnten signifikante Unterschiede zwischen den Intensitäten gefunden werden (z. B. Zuckerrübe 1989).

Den Hauptanteil an *T. krausbaueri* s.l. in Ahlum stellten Individuen der Art *M. macrochaeta*. Im Mittel der drei Schläge waren es über den Probenahmezeitraum 1987 und 1988 etwa 62 %, jedoch variierte der Anteil von Schlag zu Schlag.

Die Individuendichte von *M. macrochaeta* war auf allen Schlägen ungefähr gleich. Die *M. sylvatica*-Gruppe bildete dagegen auf Schlag III deutlich höhere Individuendichten als auf Schlag I und II. Dies hängt wahrscheinlich eng mit den unterschiedlichen Bodeneigenschaften der Schläge zusammen (z. B. höherer pH-Wert, höherer mittlerer Carbonatgehalt auf Schlag III).

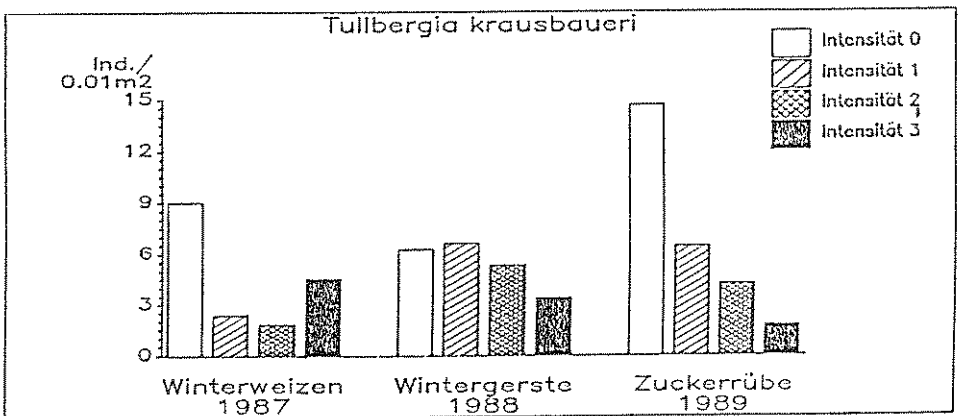


Abb. 13: Mittlere Abundanzen von *T. krausbaueri* s.l. auf Schlag II

Bei Anbau von Zuckerrüben war der Anteil der *Tullbergia*-Arten am gesamten Dominanzspektrum höher als bei Anbau von Wintergetreide oder Zwischenfrucht (vgl. auch Abb. 1 u. 2). Möglicherweise sind die Individuen dieser Art weniger anfällig gegen die Austrocknung als andere euedaphische Arten. Auf jeden Fall aber befähigt sie ihre geringe Körpergröße, in tiefere Bodenschichten sowie in Bodenporen mit geringererem Durchmesser vorzudringen, deren Wasserhaltevermögen am längsten gegen Austrocknung standhalten kann.

*Pseudosinella alba* ist regelmäßig in humusreichen Böden von Agrarbiotopen anzutreffen. Nach HÖLLER-LAND (1962) meidet sie jene Schichten, in die eine Stallmistgabe eingearbeitet wurde, tritt aber in den direkt daran angrenzenden Schichten auf.

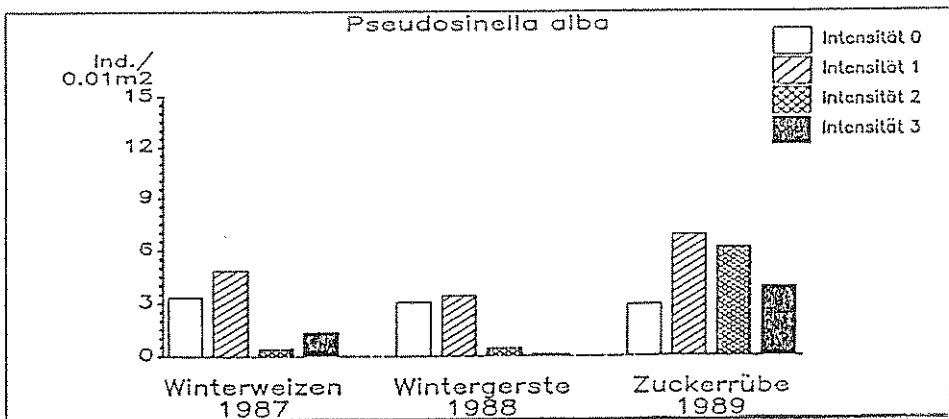


Abb. 14: Mittlere Abundanzen von *P. alba* auf Schlag II

1987 und 1988 wurde *P. alba* (Abb. 14) geringfügig häufiger in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  auf Schlag I und II beobachtet, wobei die Individuendichten in  $I_1$  auf Schlag I nicht immer signifikant unterschiedlich zu  $I_3$  waren. In der Wintergerste 1987 auf Schlag III lagen die Abundanzen aller Intensitäten ähnlich hoch.

In der Zuckerrübe 1989 auf Schlag II war die sonst nur reze-

dente bis subrezedente Art dominant bzw. subdominant. Sie erreichte in den Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  höhere Abundanzen.

Bei den seltener vorkommenden Arten *Anurida pygmaea* und *Willemia intermedia* konnten folgende Auswirkungen beobachtet werden: Funde von *Anurida pygmaea* sind auf dem Acker selten. In der Literatur wird diese Art als säureliebend (pH 3-5) beschrieben (HAGVAR & ABRAHAMSON 1980). Im Untersuchungszeitraum wurde *A. pygmaea* ausschließlich in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  gefunden. Beobachtungen der Art in  $I_2$  und  $I_3$  waren auch in früheren Untersuchungen derselben Versuchsfläche (RÖSKE 1986; HEIMANN-DETLEFSEN 1991) die Ausnahme. Es ist möglich, daß die intensivere Stickstoffdüngung in diesen Intensitäten das Fehlen der Art erklärt.

Die meisten Individuen von *Willemia intermedia* konnten auf Schlag I gefangen werden, wobei sie nur in der Intensität  $I_0$  regelmäßig auftrat. 1989 war die Art in der Zuckerrübe auf Schlag II in  $I_0$  subdominant und erreichte hier ca. 21-fach höhere Dichten als in den übrigen Intensitäten.

#### 4 Diskussion und Bewertung

Das Konzept der verschieden intensiven Bewirtschaftung auf der Versuchsfläche 'Ahlum' der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft war unter der Prämisse angelegt worden, 'integrierte' und 'konventionelle' Produktionsmaßnahmen ökonomisch und ökologisch zu untersuchen und schließlich unter dem ökologischen Aspekt zu bewerten. Die vorliegende Untersuchung erfaßte den faunistischen Teilaspekt der Auswirkungen auf die Collembolenfauna.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die längerfristigen Auswirkungen ackerbaulicher Maßnahmen bei verschieden intensiver Bewirtschaftung zu erfassen. Es sollte nicht der Einfluß einzelner Maßnahmen wie Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutz, sondern deren Gesamtheit untersucht werden.

Die Beprobung aller Anbaukulturen (Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe) gleichzeitig ermöglichte es, die Auswirkungen

unterschiedlicher Bewirtschaftung von denen der Anbaukultur zu trennen. Der Einfluß der Witterungsbedingungen kristallisierte sich durch die Probenahme über drei Vegetationsperioden heraus.

Auch die Bodenart (MÜLLER 1959c; NAGLITSCH 1962) und die mit ihr verbundenen bodenkundlichen Verhältnisse wie die Bodenstruktur (EDWARDS 1929; CHOUDHURI 1961) können einen Einfluß auf die Collembolenfauna haben. Eine bodenkundliche Kartierung durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung in Hannover belegte 1987, daß die Probenahmeflächen sehr viel inhomogener waren als ursprünglich angenommen. So war die Fläche auf Schlag III karbonat- und skelettreicher als die übrigen Schläge. Differenzen in der Individuendichte bestimmter Collembolenarten zwischen den Schlägen sollen auf diese Unterschiede zurückgeführt werden.

Als mögliche Einflußfaktoren auf die Zusammensetzung der Collembolenzönose können in den vorliegenden Untersuchungen somit genannt werden:

- die Witterungsbedingungen,
- die bodenkundlichen Verhältnisse,
- die Anbaukultur und die mit ihr verbundenen typischen ackerbaulichen Maßnahmen und Verhältnisse,
- die Bewirtschaftungsintensität.

Natürlich überlagerten sich diese Einflußfaktoren in allen möglichen Kombinationen. Zusammen wirkten sie auf die räumliche und zeitliche Biotopstruktur, auf das Nahrungsangebot und das Mikroklima ein und hielten auch den Druck der Prädatoren (z. B. Carabiden und Gamasiden) auf die Collembolen variabel (KOKTA 1989).

Die Einteilung in 'hemiedaphische' und 'euedaphische' Lebensformtypen bzw. Collembolenarten erschien im Hinblick auf die zu erwartenden direkten und indirekten Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität sinnvoll. Im Laufe der Auswertung der vorliegenden Ergebnisse zu den einzelnen Arten trat immer mehr der Aspekt der Nahrungsansprüche der Arten und der damit verbunde-

nen Lebensweise in den Vordergrund. Er verdeutlicht die Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität besser als die Einteilung nach eu- bzw. hemiedaphischen Lebensformtypen:

Die in Ahlum gefundenen Collembolen lassen sich in mindestens drei funktionelle Gruppen aufteilen, deren Arten untereinander weitgehend ähnliche Ansprüche an den Agarbiotop stellen. Es sind dies

- die vorwiegend phytophagen Arten *Isotoma viridis* s.l., *Isotomurus palustris*, *Sphaeridia pumilis* und *Sminthurinus aureus*;
- die direkt an der Zersetzung organischen Materials beteiligten oder zumindest direkt von der Zersetzung abhängigen Collembolenarten ('Rottearten') *Isotoma notabilis*, *Folsomia fimetaria*, *Isotoma tigrina* und die *Hypogastrura*-Arten;
- die Humusformen (DUNGER 1983) bzw. 'Humusarten', die nicht direkt in die Rotte eingreifen, sondern offensichtlich eher das Bodenpilzspektrum bevorzugen, welches entweder ständig im Boden oder erst nach erfolgter Verrottung vorhanden ist. Hierzu gehören die *Onychiurus*-, die *Tullbergia krausbaueri*- und die *Pseudosinella*-Arten.

Seltenere Arten wurden nicht in dieses Schema einbezogen.

Die Unterteilung der Collembolen in die Gruppen erfolgte unter dem Aspekt, daß die Arten durchaus auch auf andere Nahrungsquellen ausweichen können. So gibt es z. B. Beschreibungen von *O. armatus*, die fakultativ phytophag an Zuckerrübenkeimlingen (ULBER 1978) sein kann oder von *I. palustris* und *I. viridis*, welche räuberisch an Nematoden beobachtet wurden (GILMORE 1970).

Im folgenden soll versucht werden, die verschiedenen Einflußfaktoren, die auf die oben genannten Gruppen eingewirkt haben können, zu verdeutlichen und ursächliche Zusammenhänge darzustellen.

#### 4.1 Einfluß der Witterungsbedingungen

Die Witterungsbedingungen stellten bedeutende Einflußgrößen in den vorliegenden Untersuchungen dar. So traten z. B. seltene Arten hauptsächlich in der niederschlagsreichen Vegetationsperiode 1987 in den Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  auf. Es ist daher anzunehmen, daß im Agrarbiotop die relative Feuchtigkeit einen entscheidenden Minimumfaktor in der Verbreitung und im Auftreten vieler Collembolenarten darstellt.

Die Witterungsbedingungen waren außerdem entscheidend für das Verhältnis der beiden dominanten Arten *Isotoma notabilis* und *Isotomurus palustris* zueinander. Die bekanntermaßen hygrophile Art *I. palustris* hatte in der Vegetationsperiode 1987 die bei weitem höheren Individuendichten und einen höheren Anteil am gesamten Dominanzspektrum als 1988 und 1989.

Der Individuenanteil vorwiegend phytophager Arten am gesamten Dominanzspektrum war in allen drei Kulturen ebenfalls 1987 höher als in den jeweils gleichen Kulturen in einer anderen Vegetationsperiode, wobei die oben genannten dominanten Arten einen großen Einfluß auf dieses Verhältnis hatten.

#### 4.2 Einfluß der Bodenart

Die Fläche des Schlages III war in sich sehr viel inhomogener als die anderen beiden Flächen. Der höhere Anteil an Grobboden (Kies, Steine) führt zu einem geringeren Wasserhaltevermögen, der Boden neigt so eher zur Austrocknung. Der höhere Carbonatgehalt hatte zur Folge, daß der Schlag auch den höchsten mittleren pH-Wert aufwies.

Ein Einfluß der Bodenart konnte am ehesten bei den Individuen der *Mesaphorura sylvatica*-Artengruppe vermutet werden. *M. sylvatica* erreichte zwar ihr Optimum auf Schlag III, doch in deren Intensität  $I_2$ , wo der Kalksteinersatz bis dicht unter die

Erdoberfläche reichte, blieb die Individuendichte geringer als in den übrigen Intensitäten.

#### 4.3 Auswirkungen der Anbaukultur

Veränderungen in der Individuendichte der Collembolen bei Anbau verschiedener Feldfrüchte sind allein schon durch die unterschiedliche Vegetationsdecke und die damit verbundenen mikroklimatischen Verhältnisse zu erwarten.

Ein Vergleich der Getreidekulturen zeigt, daß der später gedrillte Winterweizen den Collembolen im Winter weniger Schutz bot und auch im Sommer in seiner Bestandesdichte immer hinter der Dichte der Wintergerste um etwa einen Monat zurückblieb. Dementsprechend war die Individuendichte einiger Collembolenarten im Winterweizen geringer als in der Wintergerste. Die Maxima der Individuendichte waren um etwa einen Monat zum Herbst hin verschoben.

Besonders ausgeprägt war dies bei den vorwiegend phytophagen Arten in der trockenen Vegetationsperiode 1988 der Fall. In der Periode 1987 mit hohen Niederschlägen waren die Abundanzen zwischen Wintergerste und Winterweizen vergleichbar.

Für die an der Zersetzung beteiligten Collembolen ('Rottearten') war die Art der eingearbeiteten Ernterückstände (Stroh oder Rübenblatt) nicht ohne Einfluß auf die Individuendichte, da die Zersetzung von Stroh aufgrund des weiteren C/N-Verhältnisses sehr viel langsamer vor sich geht als die Zersetzung der eingearbeiteten Rübenblätter.

Für die Populationen der 'Rottearten' bedeutet dies im Winterweizenjahr, daß von den Ernterückständen der Zuckerrübe vom Vorjahr höchstens noch Teile der Rüben selber, nicht aber die leicht zersetzbaren Blätter als Nahrungsgrundlage für diese Collembolen übrig geblieben waren.

In der Wintergerste wird dagegen noch ein hoher Anteil von sich zersetzendem Weizenstroh vorhanden gewesen sein, welches als Nahrungsgrundlage dienen konnte. Dies führte zu den hohen



Abundanzmaxima dieser Arten in der Wintergerste.

Nach den verschiedenen Angaben aus der Literatur werden immer wieder *F. fimetaria* und *I. notabilis* als typische Zersetzer bezeichnet (HÖLLER-LAND 1962; ATLAVINYTE 1971; ALEJNIKOVA et al. 1975), wobei *I. notabilis* nicht ganz so eng an eine bestimmte Zersetzungsphase gebunden zu sein scheint wie *F. fimetaria*. Die in Ahlum immer wieder festgestellten höheren Abundanzmaxima von *I. tigrina*, *H. succinea* sowie *H. bengtssoni* bei Anbau von Wintergerste legen nahe, daß auch diese Arten von der Zersetzung des eingearbeiteten Winterweizenstrohs vom Vorjahr profitieren.

Die euedaphischen 'Humusarten' (*Onychiurus*-, *Tullbergia*-, *Pseudosinella*-Arten) waren weniger eng an die Zersetzung gebunden als z. B. *F. fimetaria*. Sie zeigten nicht die starke Vermehrung beim Anbau der Wintergerste wie die 'Rottearten'. Offensichtlich haben die 'Humusarten' völlig andere Nahrungsansprüche. Sie sind vermutlich eher von der Mikroorganismen-Gesellschaft abhängig, die sich ständig oder nach erfolgter Zersetzung im Boden befindet. Daher bildeten sie eher ähnlich hohe Individuendichten in den beiden Getreidekulturen oder sogar leicht höhere Dichten im Winterweizen. Hier war wahrscheinlich sowohl die Zersetzung der Wintergerste als auch der Vorfrucht Zuckerrübe bereits vollzogen.

Die an der Zersetzung beteiligten Collembolen ('Rottearten') sowie die 'Humusarten' werden wahrscheinlich durch die Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes der Bodenluft an die Nahrungsquelle angelockt (KLINGLER 1959, MOURSI 1962). Dies geschieht durch die Produktion von CO<sub>2</sub> bei der mikrobiellen Aktivität bzw. bei der Wurzelatmung. Das Verhältnis O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> verschiebt sich hierbei zu Ungunsten des Sauerstoffes (SCHEFFER/SCHACHT-SCHABEL 1982).

Der Anbau von Zuckerrüben stellt die Collembolen vor eine völlig andere räumliche und zeitliche Biotopstruktur als der Anbau von Getreide. Pflugfurche und Saatbettbereitung fanden im Früh-

jahr statt. Bis Juni etwa wurde der Boden durch Einsatz von Herbiziden oder Hackmaschine weitgehend offen gehalten. Besonders die hemiedaphischen Arten waren direkt von diesem Umstand betroffen. Die Populationen dieser Arten erholten sich erst im Spätsommer von diesen Eingriffen. Die Individuendichten lagen bei den meisten Arten immer niedriger als im Getreide.

Die vorwiegend phytophagen Arten fanden bei Anbau von Zuckerrüben ein anderes Nahrungsspektrum vor, da die Ackerunkrautgesellschaften von Hack- und Halmfrüchten sich nur in einigen Unkrautarten überschneiden (HOFMEISTER & GARVE 1986). Auch die mikroklimatischen Bedingungen, insbesondere eine stärkere Austrocknungsmöglichkeit, wirkten durch die weniger dichte Pflanzendecke weitgehend ungünstiger auf diese Arten ein als im Getreideanbau.

Die 'Rottearten' fanden wenig organisches Material in geeignetem Zersetzungsgrad vor, da die Ernterückstände der Wintergerste bereits in der vorangegangenen Zwischenfrucht diesen günstigen Zustand erreicht hatten.

Um so idealer waren die Bedingungen offensichtlich für die 'Humusarten'. Diese zeigten praktisch keine Einbußen in ihrer Individuendichte beim Anbau von Zuckerrüben. Teilweise wurden sie sogar deutlich gefördert. So hatten die Arten des *Tullbergia krausbaueri*-Komplexes immer in den Zuckerrüben einen höheren Anteil am Dominanzspektrum.

#### 4.4 Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftung

Die Abstufung der Bewirtschaftungsintensitäten war völlig von ökonomischen Gesichtspunkten geleitet. Als 'Bezugsbasis' für die drei unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten diente daher eine Intensität, auf der zwar keine Pflanzenschutzmittel angewendet wurden, aber eine Minimaldüngung und normale (konventionelle) Bodenbearbeitung durchgeführt wurde ( $I_0$ ). Dies führte im Getreide zu einer Biotopstruktur, die der der Inten-

sität  $I_1$  sehr ähnelte. Die Bestandesdichte der Kultur war etwas geringer, die Artenvielfalt unter den Pflanzenarten sehr viel höher (EGGERS 1989, pers. Mitt.).

In der Zuckerrübe führte die geringe Unkrautbeseitigung in der Intensität  $I_0$  zu einer nicht erntbaren, völlig verunkrauteten Parzelle, die ab Juli/August keinerlei strukturelle Ähnlichkeit mehr mit den behandelten Intensitäten aufwies.

Die unterschiedliche Bewirtschaftung der Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$  hatte eine abgestufte Unkraut- und Kulturbestandesdichte zur Folge. Allgemein war die Unkrautdichte in  $I_1$  am höchsten, in  $I_3$  am niedrigsten. Die Bestandesdichte der Kulturpflanzen stieg dagegen mit der Intensität der Bewirtschaftung.

Nicht dichtemäßig erfaßt, sondern nur visuell registriert wurde der Moosbesatz in den Intensitäten. Er war besonders 1987 im Winterweizen in  $I_3$  sehr hoch und erwies sich für die Individuendichte von *Isotomurus palustris* als eine bedeutende Einflußgröße, da die Art trotz eines geringen Unkrautbesatzes hier offensichtlich optimale Lebensbedingungen vorfand.

Die Folgen unterschiedlicher Bewirtschaftung äußerten sich bei den Collembolen in den Untersuchungsjahren 1987 und 1988 weniger in der Besatzdichte als in der absoluten Artenzahl bzw. in der Arten/Individuen-Relation. Erst 1989, bei sehr trockener Witterung und höherem Einsatz von Insektiziden, waren deutliche Auswirkungen auch auf die Dichte der Collembolen erkennbar.

Die Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  zeigten im Durchschnitt eine höhere Diversität als  $I_3$ . Diese Resultate sind jedoch mit sehr großer Vorsicht zu betrachten und sollten nicht überbewertet werden, da der Diversitätsindex sehr von der Individuenzahl der wenigen dominanten Arten abhing. So waren die Unterschiede auf ein und derselben Fläche innerhalb der drei Untersuchungsjahre (beispielsweise  $I_0$  auf Schlag I) höher als etwa die gemittelten Werte der verschiedenen Intensitäten in ein und demselben Untersuchungsjahr.

Viel deutlicher und signifikant waren die Unterschiede in der mittleren Anzahl der Arten zwischen der Intensität  $I_3$  und den

übrigen Intensitäten. Auch die Artenzahl in  $I_0$  war im Mittel (nicht signifikant) geringer als in  $I_1$  und  $I_2$ .

Es ist eines der biozönotischen Grundprinzipien, daß vielseitige Lebensbedingungen zu Artenreichtum führen, während einseitige Bedingungen Artenarmut bewirken (THIENEMANN 1939 in TISCHLER 1984). Dies Prinzip läßt sich mit Vorsicht auf die vorliegenden Verhältnisse in Ahlum anwenden:

Eine intensive Unkrautbekämpfung führte zu einer geringeren räumlichen Strukturierung. In diesen Intensitäten fielen die Unkräuter weitgehend als Nahrungsgrundlage insbesondere für vorwiegend phytophage Arten aus. In den weniger intensiv behandelten Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  war der Individuenanteil dieser Arten am Dominanzspektrum der Collembolen immer höher, in der Intensität  $I_3$  war die Nahrungsgrundlage für diese Arten immer schlechter.

Als gegenteiliger Effekt zur Unkrautbekämpfung wirkte die verstärkte Nährstoffzufuhr (insbesondere durch den Stickstoff) in den höheren Intensitäten. Die Düngung führte zu einem höheren Deckungsgrad durch die Anbaukultur und die begleitende Unkrautflora, soweit diese nicht bekämpft wurde. Die dichte Vegetationsdecke in den Reihen bewirkte über den Milderungseffekt von Temperaturschwankungen und eine höhere relative Feuchtigkeit, die offensichtlich günstigere Lebensbedingungen für die selten auftretenden Collembolenarten wie *Onychiurus circulans*, *Sminthurides schötti*, *Folsomia spinosa*, *Pseudosinella immaculata* und *P. petterseni* hervorrief. Diese Arten traten überwiegend in den Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  in der Wintergerste 1987 auf. Die Nährstoffzufuhr führte außerdem im Vergleich zu  $I_0$  zu einem leichten Anstieg der Artenzahl in diesen Intensitäten.

In der  $I_0$  führte das frühe Abreifen des Getreides und des Unkrautes zu weniger günstigen Umweltbedingungen für die eher feuchteliebenden, eu- und hemiedaphischen Arten. Nur bei den symphypleonen Collembolenarten (*Sphaeridia pumilis*, z. T. *Sminthurinus aureus*) und bei *Anurida pygmaea* konnten durch fehlenden Pflanzenschutz bzw. durch die relative Stickstoffarmut

dieser Intensität signifikant höhere Individuendichten im Vergleich zu anderen Intensitäten (insbesondere  $I_3$ ) beobachtet werden.

Für die gegenüber Austrocknung weniger empfindlichen, epedaphischen Arten (JOOSSE & GROEN 1970) war die Erfassungsmethode nur bedingt geeignet, so daß mögliche Artenverschiebungen auf dieser Ebene nicht miterfaßt werden konnten.

In der Intensität  $I_3$  überwog offenbar der nachteilige Effekt der Herbizidanwendungen, da seltenere Arten nicht auftraten.

Die Ergebnisse beruhen somit auf zwei gegenläufigen Tendenzen, den Auswirkungen der Anwendungshäufigkeit von Herbiziden und den Effekten der Nährstoffzufuhr. Die Insektizide hatten 1989 noch einen verstärkenden Effekt auf diese Auswirkungen.

Im folgenden soll die Indikatorfunktion einzelner Arten diskutiert werden, da sich insbesondere *Sphaeridia pumilis* und *Anurida pygmaea* unabhängig von den Witterungsbedingungen und trotz der Variabilität der Flächen und Anbaukulturen auch in ihrer absoluten Anzahl als empfindlich gegenüber höherer Bewirtschaftungsintensität gezeigt haben.

Auswirkungen auf *S. pumilis* wurden vorwiegend in den höheren Intensitäten deutlich. Die Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von FRAMPTON (1988), der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen in Labor- und Freilandversuchen verglich. Auch er hebt die Eignung von symphypleonen Arten für derartige Untersuchungen hervor, bei ihnen fand er im Gegensatz zu arthropleonen Arten deutliche Effekte.

Weniger deutlich waren bei den Symphypleona die Auswirkungen auf *Sminthurinus aureus* (FRAMPTON 1988). Auch dies stimmt mit den vorliegenden Ergebnissen überein, da *S. aureus* auf Schlag III andere Tendenzen bezüglich der Bewirtschaftungsintensität zeigte als auf den Schlägen I und II.

Insgesamt scheinen hemi- bis epedaphische symphypleone Arten geeignete Monitor- und Testorganismen zu sein, um die Auswir-

kungen von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen erfassen und bewerten zu können.

Die Eignung von *Anurida pygmaea* als Bioindikator bezieht sich wahrscheinlich weniger auf die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln als auf ihre Empfindlichkeit gegenüber stickstoffgedüngten Flächen (HAGVAR & ABRAHAMSON 1984). Die Stickstoffdüngung auf der von *A. pygmaea* bevorzugten Intensität  $I_0$  blieb immer unter 100 kg/ha und Jahr. In der extensiven Intensität  $I_1$  lag die durchschnittliche Stickstoffgabe ca. doppelt so hoch. *A. pygmaea* kann somit als Zeigerart für den Stickstoffgehalt einer Fläche herangezogen werden, soweit diese Art überhaupt im Agrarbiotop zu finden ist.

#### 4.5 Bewertung

Die meisten Collembolenarten im Agrarbiotop sind eurytop sowie euryök und können sich daher an die Besonderheiten dieses Biotopes gut anpassen. Häufige und starke Fluktuationen in der Individuendichte, besonders der dominanten Arten, zeugen von einer hohen Elastizität gegenüber verschiedenen Umwelteinflüssen. Die Fähigkeit zur parthenogenetischen Vermehrung bei einzelnen Arten unterstützt diese Elastizität. Nach einer Beeinflussung der Individuendichte durch landwirtschaftliche Maßnahmen (Ernte, Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutzmitteleinsatz) erholten sich in den vorliegenden Untersuchungen die Populationsdichten vieler Collembolenarten noch innerhalb der gleichen oder der sich anschließenden Vegetationsperiode.

Die 'Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes', die das Niedersächsische Naturschutzgesetz unter Schutz stellt (§ 1, Abs. 1), wird durch eine intensive Bewirtschaftung deshalb nicht gefährdet, da die an der Umsetzung, Zersetzung und am Abbau beteiligten Collembolenarten von dem höheren Anteil an organischer Substanz sogar profitieren können, der durch die Herbizidanwendungen und die Stickstoffdüngung anfällt.

Sollte eine Art dieser 'Rotte-' oder 'Humusarten' durch die intensive Bewirtschaftung eine Beeinträchtigung ihrer Abundanz erfahren (z. B. *Isotoma notabilis* im Winterweizen), so kann sie durch andere Arten dieser Gruppe (hier: *Folsomia fimetaria*) ersetzt werden, da deren ökologische Nischen sich offensichtlich überlappen. Der funktionale Gesamteffekt der Zersetzungsleistung von Collembolen wird, nach der Individuendichte aller 'Rotte-' und 'Humusarten' in der vorliegenden Untersuchung zu urteilen, bei intensiver Bewirtschaftung nicht beeinträchtigt.

Gefährdet durch hohe Bewirtschaftungsintensität im Niveau der Intensität  $I_3$  ist jedoch die ebenfalls unter Schutz gestellte 'Vielfalt ... von Natur und Landschaft' (§ 1, Abs. 1 des Nieders. Naturschutzgesetzes), da die selteneren, wahrscheinlich stenotopen und spezialisierten Arten hauptsächlich in den struktureicheren Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  oder in  $I_0$  auftraten.

Auch das Pflanzenschutzgesetz stellt die Artenvielfalt indirekt über den Naturhaushalt unter Schutz, da der im Gesetz erwähnte Naturhaushalt durch 'seine Bestandteile Boden, Wasser, Luft, Tier- und Pflanzenarten sowie das Wirkungsgefüge zwischen ihnen' definiert wird. Die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels darf nur dann erfolgen, wenn es 'keine sonstigen Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt, hat, die nach dem Stande der wissenschaftlichen Erkenntnisse vertretbar sind (§ 15, Abs. 1 des Pflanzenschutzgesetzes).

Wegen der Komplexität des Wirkungsgefüges eines Ökosystems dienen die einzelnen Bestandteile des Naturhaushaltes als Meßparameter von Auswirkungen. Dies kann zum Beispiel auch das Fehlen von bestimmten Arten sein.

Die negativen Auswirkungen auf die phytophagen hemiedaphischen Arten sollten daher keinesfalls unterschätzt werden, da über Nahrungsnetze die Verkettung zu anderen trophischen Ebenen gegeben ist. Genannt sei hier nur die Verkettung über die Carabiden und Spinnen zu Vögeln und Kleinsäugetern.

Die absolute Anzahl aller Collembolenindividuen wies zwar keine Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise auf, jedoch stehen

die tiefer im Boden lebenden, meist mycophagen und saprophagen Collembolen den vorwiegend epedaphischen Prädatoren nicht als Nahrungsgrundlage zur Verfügung.

Die Bewirtschaftungsweise der Intensitäten  $I_0$ ,  $I_1$  und  $I_2$  ist daher ökologisch höher zu bewerten als die der Intensität  $I_3$ , welche zu einer strukturellen Verarmung des Biotopes 'Acker' führte.

### Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftungsintensitäten auf die Collembolenfauna des Ackerbodens

#### Zusammenfassung

Auf der Versuchsfläche 'Ahlum' der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft wurden von 1987 bis 1989 die Auswirkungen einer abgestuften Bewirtschaftung auf die Collembolenfauna des Ackerbodens erfaßt. Die Untersuchungen fanden innerhalb der Fruchtfolge Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe statt. Die vier Bewirtschaftungsintensitäten unterschieden sich hauptsächlich hinsichtlich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie der Stickstoffdüngung und somit auch in der Vegetationsdichte von Kulturpflanzen und Beikraut.

Im Untersuchungszeitraum konnten insgesamt 40 Collembolenarten nachgewiesen werden. Dominant zu fast jedem Zeitpunkt waren *Isotoma notabilis*, *Isotomurus palustris* und *Folsomia fimetaria*. Die Besiedlungsdichte der Collembolen lag im Mittel bei 230 Individuen/0.01 m<sup>2</sup>.

Die Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität äußerten sich hauptsächlich durch zwei gegenläufige Tendenzen, den Auswirkungen der Anwendungshäufigkeit von Herbiziden und den Effekten der Nährstoffzufuhr.

In den extensiveren Varianten mit hohem Anteil von Beikraut und geringer Kulturpflanzendichte wurden bei *Anurida pygmaea* sowie *Sphaeridia pumilis* in jedem Probenahmezeitraum signifikant hö-



here Individuendichten als in den Varianten mit intensiver Bewirtschaftung beobachtet. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang die Bioindikatorfunktion der beiden Arten. In den weniger intensiv mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Varianten war außerdem der Individuenanteil der vorwiegend phytophagen Arten am gesamten Artenspektrum aller Collembolen höher, da die Beikräuter als Nahrungsgrundlage dienen konnten.

Die erhöhte Nährstoffzufuhr in den mittleren Varianten führte durch die dichtere Vegetationsdecke von Kulturpflanzen und Beikraut, insbesondere bei feuchten Witterungsbedingungen, zu einem Anstieg in der Artenzahl der Collembolen.

In der intensivsten Bewirtschaftungsvariante überwog der nachteilige Effekt der Herbizidanwendungen, die Artenzahl war signifikant gegenüber den anderen Varianten reduziert, und der Anteil phytophager hemiedaphischer Individuen war in den Vegetationsperioden immer am geringsten. Diese Variante ist deshalb gegenüber den weniger intensiv bewirtschafteten Varianten ökologisch negativ zu bewerten.

Neben der Bewirtschaftungsintensität hatten die Witterungsbedingungen, die Bodenart und die Kultur einen wesentlichen Einfluß auf die Individuendichte und die Artenzusammensetzung der Collembolen.

#### Effects of different intensities of cultivation on the Collembola of agricultural soil

##### Summary

The effects of a graded intensity of agricultural cultivation on Collembola were recorded from 1987 to 1989 on the experimental fields "Ahlum" of the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. The crop rotation followed the order winter-wheat, winter-barley, sugar beets. The four intensities of cultivation differed mainly in the application of pe-

sticides and N-fertiliser, and therefore also in the density of vegetation of cultured crops and accompanying weeds.

Within the period of research, a total of 40 species of Collembola were recorded. *Isotoma notabilis*, *Isotomurus palustris* and *Folsomia fimetaria* were almost always the dominant species. The mean density of individuals of the collembola was 230 ind. per 0.01 m<sup>2</sup>.

The effects of the different intensities of cultivation showed up mainly in two opposed trends: the effects of the frequency of application of herbicides and the influence of the supply of nutrients.

In the more extensive variant, with a large proportion of weeds and low density of cultivated crops, *Anurida pygmaea* and *Sphaeridia pumilis* had significantly higher densities of individuals in every investigation period than in the two variants with high intensities of cultivation. The function of these two species as bioindicators was discussed in this context. In addition, in the variants treated less intensively with pesticides, the proportion of the mainly phytophagous species of the total number of collembola was greater, as weeds were available as resource of food.

The increased supply of nutrients in the middle variants led to a better coverage of plants of both cultivated crops and weeds, and thus, especially under moister conditions of weather, to an increase in the number of species of collembola.

In the variant with the most intensive cultivation, the adverse effect of applications of herbicides dominated; the number of species was reduced significantly compared to the other variants, and the proportion of phytophagous hemiedaphic individuals within the periods of vegetation was always lowest. Therefore, from an ecological point of view, this variant is to be considered unfavorable compared to the less intensive variants.

Apart from intensity of cultivation, also weather conditions, nature of the soil and the kind of crop had an important influence on the density of population and the composition of species of the collembola.

## 5 Literatur

- AGRELL, I. (1934): Studien über die Verteilung der Collembolen auf Treibsandböden. - Ent. Tidskr., 55: 181-248.
- ALEJNIKOVA, M. M., ARTEM JIVA, T. I., BORISOVIC, T. M., GATILOVA, F. G., SAMOSOVA, S. M., UTROBINA, U. M., SITOVA, L.J. (1975): Successions of microorganisms and invertebrates and their connections with biological processes during the decomposition of manure in soil. - Pedobiologia, 15: 81-97.
- ANDREN, O., SCHNÜRER, J. (1985): Barly straw decomposition with varied levels of microbial grazing by *Folsomia fimetaria* (L.) (Collembola, Isotomidae): Oecologia, 68: 343-357.
- ATLAVINYTE, O. P. (1971): The activity of Lumbricidae, Acarina and Collembola in the straw humification process. - Pedobiologia, 11: 104-115.
- BAUCHHENSS, J. (1983): Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die Auswirkung landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Bodenfauna. - Kali-Briefe, 16: 529-548.
- BAUCHHENSS, J., WEIGAND, G. (1974): Untersuchung zur Collembolenfauna auf zwei Zuckerrübenschlägen in Bayern. - Nachrichtenbl. deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig, 26: 150 bis 153.
- BAUDISSION, F. v. (1951): Die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen und Milben in verschiedenen Böden. - Dissertation, Kiel.
- BECKMANN, M. (1990): Die Sukzession der Bodenfauna und ihre Beziehung zu physikalischen und chemischen Parametern während der Rotte bei verschiedenen Kompostierungsverfahren. - Dissertation, Bremen.
- BIERINGER, H. (1969): Untersuchungen über den Einfluß langjähriger Herbizidanwendung auf Boden-Collembolen. - Dissertation, Hohenheim (L.H.).
- BOCKEMÜHL, J. (1956): Die Apterygoten des Spitzberges bei Tübingen, eine faunistisch-ökologische Untersuchung. - Zool. Jahrb., Abt. Syst. Ökol. Geograph. Tiere, 84: 113 bis 194.

- CHOUDHURI, D.K. (1961): Effect of soil structure on Collembola. - *Sci. Cult. Calcutta*, 27: 494-495.
- DEMON, A., EIJSACKERS, H. (1985): Zur Wirkung von Lindan und Azinophosmethyl bei extremen oder schwankenden Temperaturen und Feuchtigkeitsverhältnissen auf die Überlebenschance von Bodentieren. - *Z. Angew. Entomol.*, 100: 504-510.
- DUNGER, W. (1956): Untersuchungen über Laubstreuzersetzung durch Collembolen. - *Zool. Jahrb., Abt. System. Ökol. Geograph. Tiere*, 84: 75-98.
- DUNGER, W. (1982): Die Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. - *Decheniana (Beih.)*, 26: 151-157.
- DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden. - Die Neue Brehm-Bücherei, 327, A.Ziemsen, Wittenberg Lutherstadt: 280 S.
- EDWARDS, E. (1929): A survey of the insect and other invertebrate fauna of permanent pasture and arable land of certain soil types at Aberystwyth. - *Ann. appl. Biol.*, 16: 299-323.
- ENGELMANN, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. - *Pedobiologia*, 18: 378-380.
- FJELLBERG, A. (1980): Identification key to Norwegian collembola. - *Norsk Entomologisk Forening*: 152 S.
- FRAMPTON, G. K. (1988): The effects of some commonly-used foliar fungicides on Collembola in winter barley: laboratory and field studies. - *Ann. appl. Biol.*, 113: 1-14.
- GISIN, G. (1952): Ökologische Studien über die Collembolen des Blattkompostes. - *Rev. suisse Zool.*, 59: 543-578.
- GISIN, H. (1943): Ökologie und Lebensgemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. - *Rev. suisse Zool.*, 59: 131-224.
- GISIN, H. (1960): Collembolenfauna Europas. - *Museum d'Histoire Naturelle, Genf*: 312 S.
- GREGOIRE-WIBO, C. (1980): Étude de l'effet de pesticides betteraviers sur certains ravageurs (atmonaires) et sur la faune endogée et épigée participant à la fertilité du sol et au controle naturel de populations nuisibles (acariens, collemboles, carabides). - *Publ. Trim. Inst. Belg. Amelior. Betterav.*, 48: 133-165.
- GREGOIRE-WIBO, C. (1983): Incidences écologiques des traitements phytosanitaires en culture de betterave sucrière, essais expérimentaux en champ, I. Les Collemboles epiges. - *Pedobiologia*, 25: 37-48.

- HÅGVAR, S., ABRAHAMSON, G. (1980): Colonisation by Enchytraeidae, Collembola and Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. - *Oikos*, 34: 245-258.
- HÅGVAR, S., ABRAHAMSON, G. (1984): Collembola in Norwegian coniferous forest soils III. Relations to soil chemistry. - *Pedobiologia*, 27: 331-339.
- HAMMER, M. (1953): The Microfauna of Northern Canada, II. Collembola. - *Acta Arctica*, 6: 1-108.
- HEIMANN-DETLEFSEN, D. (1991): Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bewirtschaftungsintensitäten auf die Collembolenfauna des Ackerbodens. - Dissertation, Braunschweig
- HERGARTEN, W. (1984): Ökologische Untersuchung der Collembolenfauna von verschieden bewirtschafteten Flächen am Niederrhein. - Dissertation, Bonn.
- HOFMEISTER, H., GARVE, E. (1986): Lebensraum Acker. - Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- HÖLLER-LAND, G. (1962): Die Abhängigkeit der bodenbewohnenden Collembolen von Düngung und anderen Standortfaktoren unter Dikopshofer Verhältnissen. - In: KLAPP, E., WURMBACH, H.: Die Beeinflussung der Bodenfauna durch Düngung. - *Z. angew. Ent. (Beiheft)*, 18: 80-120.
- JOOSSE, E. N. G., GROEN, J. B. (1970): Relationship between saturation deficit and the survival and locomotory activity of surface dwelling Collembola. - *Ent. exp. & appl.*, 13: 229-235.
- KLINGLER, J. (1959): Anziehung von Collembolen und Nematoden durch Kohlendioxyd-Quellen. - *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.*, 32: 311-316.
- KOKTA, C. (1989): Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf epigäische Arthropoden, insbesondere Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae), in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. - Dissertation, Darmstadt.
- MACFADYEN, A. (1961): Improved funnel-type extractors for soil arthropods. - *J. anim. Ecol.*, 30: 171-184.
- MOURSI, A. A. (1962): The attractiveness of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> to soil Arthropods. - *Pedobiologia*, 1: 299-302.
- MÜLLER, G. (1959a): Bodenbiologische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Standortfaktoren bei Rein- und Mischsaaten. - *Zentralbl. Bakt. Parasitenk., Abt. II.*, 112: 44 bis 78.

- MÜLLER, G. (1959b): Bodenbiologische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Standortfaktoren bei Schwarzbrache nach Rein- und Mischsaaten. - Zentralbl. Bakt. Parasitenk., Abt. II., 112: 169-203.
- MÜLLER, G. (1959c): Untersuchungen über das Nahrungswahlvermögen einiger in Ackerböden häufig vorkommender Collembolen und Milben. - Zool. Jahrb., Abt. Syst. Ökol. Geograph. Tiere, 87: 231-256.
- MÜLLER, G. (1960): Bodenbiologische Untersuchungen unter Berücksichtigung der Standortfaktoren bei Schwarzbrache nach Rein- und Mischsaaten. - Zentralbl. Bakt. Parasitenk., Abt. II., 113: 254-269.
- MÜLLER, G., BEYER, R. (1965): Über Wechselbeziehungen zwischen mikroskopischen Bodenpilzen und fungiphagen Bodentieren. - Zentralbl. Bakt. Parasitenk., Abt. II, 119: 134-147.
- NAGLITSCH, F. (1962): Untersuchungen über die Collembolenfauna unter Luzernebeständen auf verschiedenen Böden. - Wiss. Z. Univ. Leipzig, 11: 581-626.
- PALISSA, A. (1964): Apterygota. - In: BROHMER, P., EHRMANN, P., ULMER, G. (Hrg.): Die Tierwelt Mitteleuropas, Bd. IV, Lief. 1a, Insekten 1. Teil, Quelle & Meyer, Leipzig: 407 S.
- PETERSEN, H. (1965): The Collembola of the Hansted Reserve Thy, North Jutland - Taxonomy, Ecology. - Entom. Medd., 30: 313 bis 395.
- RÖSKE, H. (1986): Ökologische Untersuchungen an Collembolen auf Zuckerrübenfeldern. - Diplomarbeit, Braunschweig: 65 S.
- RÜBENSAM, E., STEINBRENNER, K., NAGLITSCH, F. (1962): Die Veränderungen der Bodenmikroflora und -mesofauna im Thyrower Nährstoffmangelversuch. - Albrecht-Thaer-Archiv, 6: 403 bis 412.
- RUSEK, J. (1971): Zur Taxonomie der *Tullbergia* (*Mesaphorura*) *krausbaueri* (BÖRNER) und ihrer Verwandten (Collembola). - Acta ent. Bohemslov, 68: 188-206.
- RUSEK, J. (1974): Zur Taxonomie der Tullberginae (Apterygota: Collembola). - Vestn. Cs. spol. zool., 38: 61-70.
- SCHALLER, F. (1949): Biologische Beobachtungen an humusbildenden Bodentieren, insbesondere an Collembolen. - Zool. Jahrb. Syst., 78: 506-525.
- SCHAUERMANN, J. (1982): Verbesserte Extraktion der terrestrischen Bodenfauna im Vielfachgerät modifiziert nach KEMPSON und MACFADYEN, Kurzm. aus dem SFB 135. - Ökosysteme auf Kalkgestein, 1: 47-50.

- SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. - 11. Aufl., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHLEUTER, M. (1980): Die Collembolenfauna des Dauerdüngungsversuches Dikopshof/Versuchsgut der Universität Bonn. - Diplomarbeit, Bonn: 86 S.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1975): Ökologie der Tiere, Bd.III: Synökologie. - Verlag Parey, Hamburg und Berlin.
- STREBEL, O. (1932): Beiträge zur Ökologie und Physiologie einheimischer Collembolen. - Z. Morphol. Ökol. Tiere, 25: 31 bis 153.
- TISCHLER, W. (1949): Grundzüge der terrestrischen Tierökologie. - Vieweg Verlag, Braunschweig.
- TISCHLER, W. (1965): Agrarökologie. - Fischer Verlag, Jena: 499 S.
- TISCHLER, W. (1984): Einführung in die Ökologie. - Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- ULBER, B. (1978): Zur Frage der Schädlichkeit subterranean Collembolen in Zuckerrübenbeständen. - Journal of Plant Diseases and Protection, 85: 594-606.
- WEIS-FOGH, T. (1948): Ecological investigations on mites and collembolids in the soil. - Natura jutlandica, 1: 139-270.
- WINNER, C. (1959): Schäden an Zuckerrüben durch *Onychiurus cam-patus* GISIN (Collembola). - Nachrichtenbl. deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig, 11: 67-69.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,  
Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig.

X      *VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN VON MILBENPOPULATIONEN  
IN ACKERBÖDEN BEI UNTERSCHIEDLICHER BEWIRTSCHAFTUNGS-  
INTENSITÄT*

Thomas Kampmann, Volkhard Köllner

1      Einleitung

Der Boden ist Lebensraum für eine Fülle pflanzlicher und tierischer Organismen, die an den organischen und anorganischen Stoffumsätzen und -kreisläufen beteiligt sind. Um eine langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und den Schutz des Naturhaushaltes zu gewährleisten und eine Überlastung des Bodens und seiner Organismen durch Stoffeinträge rechtzeitig erkennen und verhindern zu können, wurden im Rahmen dieses dreijährigen Verbundprojektes auch die Auswirkungen auf Populationen freilebender Milben im Ackerboden untersucht.

Effekte verschiedener Bearbeitungs- und Pflanzenschutz-Maßnahmen (einzeln und in Kombination) auf die Milbenfauna von Ackerböden wurden bereits häufig beschrieben (BARING 1956, 1957; BAUDISSIN 1952; EDWARD & STAFFORD 1979; HÖLLER 1962; KARG 1961a, 1965, 1967a, 1967b u.a.).

In der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um unterschiedlich intensive Anbausysteme mit eigenständigen ökonomischen und ökologischen Charakteristika, die sich vor allem in der Höhe und Intensität des Dünger- und Pflanzenschutzmittel-Einsatzes unterscheiden. Somit lassen sich auch nicht die Auswirkungen einzelner Dünge- oder Pflanzenschutzmittel-Maßnahmen auf die Milbenpopulationen des Bodens analysieren, sondern allenfalls Vergleiche zwischen den Milbenpopulationen in den verschiedenen Anbausystemen vornehmen. Hierbei ist selbstverständlich der unterschiedlich hohe Dünge- und Pflanzenschutzmittelaufwand ein entscheidender Faktor.

Ziel dieses Teilprojektes war - neben einer möglichst vollständigen systematischen Erfassung der Milbenzönosen - die Ermittlung von Einflüssen und Dynamiken verschiedener Kulturen



und Produktionsintensitäten bzw. Anbausysteme auf die Populationen freilebender Bodenmilben.

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Für die Bodenmilben (und Collembolen) wurden in allen vier Intensitätsstufen aller drei Kulturen Bodenproben gezogen. Die Probenahme erfolgte in je 100 m<sup>2</sup> großen Parzellen in vierwöchigem Abstand. Aus arbeitstechnischen Gründen mußte die Probenahme 1989 auf den mittleren Schlag (Zuckerrübenkultur) beschränkt werden.

Im Detail wurde bei der Probenahme folgendermaßen verfahren:

- Pro Intensität wurden sieben Proben zu je 2 Einstichen mit einem Durchmesser von 5 cm genommen.
- Bei der Probenahme wurde differenziert nach Proben, die "in den Saatreihen" und "zwischen den Saatreihen" gezogen wurden. Dies erfolgte in den Getreidekulturen mit Pflanzen.
- Die Proben wurden bis in eine Tiefe von 10 cm genommen und in die beiden Tiefenstufen 0-5 cm und 5-10 cm unterteilt.

Die Bodenproben wurden invers und leicht zerbröckelt in einem modifizierten MACFADYEN-Extraktor (MACFADYEN 1961, SCHAUERMANN 1982) über einen Zeitraum von 12 Tagen extrahiert.

Die Bodentiere wurden in 40 %iger Pikrinsäurelösung aufgefangen, in Alkohol überführt und ausgelesen. Anschließend wurden mikroskopische Präparate mit einem modifizierten Berlese-Gemisch angefertigt.

Der beträchtliche Zeitaufwand für die Determination jedes Individuums unter dem Mikroskop führte bei hoher Individuenzahl und problematischer Situation der Bestimmungsliteratur zur Auswertung nur eines Teils der gezogenen Proben.

Insgesamt wurden 47500 Milben bestimmt, die aus einer Untersuchungszeit von sechs Monaten (Schläge I und III) bzw. 18 Monaten (Schlag II) stammen.

Die Determination erfolgte nach BALOGH (1972), EVANS & TILL (1979), FAIN (1976), KARG (1971, 1989), KRANTZ (1978), KRCZAL (1959), MAHUNKA (1964, 1969, 1972), MORITZ (1976), SCHAAR-SCHMIDT (1959), SCHEUCHER (1959), SCHWEIZER & BADER (1963), SELLNICK (1960), TÜRK & TÜRK (1959), WILLMANN (1931, 1947), WOAS (1986).

Dabei mußte aus Zeitgründen eine weitere taxonomische Aufschlüsselung der Uropodina, der Tydeidae und der Rhagidiidae unterbleiben. Die Gesamtzahl der Taxa dürfte sich bei einer Bestimmung dieser Gruppen bis zur Art weiter erhöhen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Einfluß der Kulturen auf die Bodenmilben

Insgesamt wurden 23 Milbenfamilien gefunden, die den vier Unterordnungen der Gamasida, Actinedida, Acaridida und Oribatida zuzuordnen waren (Tab. 1).

Dabei waren die Gamasida mit neun Familien am häufigsten vertreten. Innerhalb der Gamasida kamen die Eugamasidae mit acht Arten vor und bildeten damit insgesamt die artenreichste Familie.

Von insgesamt 49 Taxa fanden sich in der Zuckerrübenkultur 36, im Winterweizen 44 und in der Wintergerste 42 Taxa. Ausschließlich nur in je einer der drei Kulturen kamen wenige Arten bzw. Taxa vor. Dies waren in der Kultur mit Zuckerrübe *Scutacarus subterraneus*, im Winterweizen *Androlaelaps casalis*, *Pergamasus dentipes*, *Pergamasus hortensis*, *Parasitus chortophilus*, *Acotyledon schmitzi* und die Rhagidiidae und in der Wintergerste *Parasitus berlesei*, *Scutacarus quadrangularis*, *Hypochthoniella pallidula* und *Ceratocetes gracilis*. Alle diese Arten bzw. Taxa wurden nur in wenigen Individuen gefunden, so daß ihr Fehlen in den jeweils anderen Kulturen auch rein zufällig von der punktuellen Probenahme abhängen kann und somit keinen eindeutigen

Tab. 1: Systematische Zuordnung der Taxa und Dominanzen zu den drei Kulturen (Dominanz in %; \* < 1 % Anteil)

TAXA	Zuckerrübe	Winterweizen	Wintergerste
<b>G A M A S I D A</b>			
1. <b>EVIPIHIDIDAE</b>			
<i>Eviphis ostrinus</i> (KOCH, 1836)	*	*	*
<i>Alliphis sculus</i> (OUDEMANS, 1905)	10.0	14.7	10.9
2. <b>MACROCHELIDAE</b>			
<i>Geholaspis mandibularis</i> (BERLESE, 1904)	*	*	*
<i>Pachyseius humeralis</i> BERLESE, 1910	*	*	*
<i>Pachylaelaps imitans</i> BERLESE, 1920	*	*	*
3. <b>DERMANYSSIDAE</b>			
<i>Hypoaspis aculeifer</i> (CANESTRINI, 1883)	1.3	*	1.0
<i>Androlaelaps casalis</i> (BERLESE, 1887)	-	*	-
4. <b>ASCIDAE</b>			
<i>Sejus borealis</i> (BERLESE, 1904)	*	*	*
<i>Arctoseius cetratus</i> (SELLNICK, 1940)	6.2	5.4	11.8
<i>Arctoseius venustus</i> (BERLESE, 1917)	*	*	*
5. <b>ZERCONIDAE</b>			
<i>Prozercon</i> sp.	*	*	*
6. <b>RHODACARIDAE</b>			
<i>Rhodacarus calcaratus</i> BERLESE, 1921	*	*	*
<i>Rhodacarellus silesiacus</i> WILLMANN, 1935	1.9	1.2	2.3
<i>Dendrolaelaps foveolatus</i> (LEITNER, 1949)	1.1	2.5	*
7. <b>EUGAMASIDAE</b>			
<i>Pergamasus suecicus</i> (TRÄGARDH, 1936)	*	*	*
<i>Pergamasus quisquiliarum</i> (CAN., 1882)	*	*	*
<i>Pergamasus crassipes</i> (LINNE, 1758)	*	*	*
<i>Pergamasus dentipes</i> (C.L. KOCH, 1835)	-	*	-
<i>Pergamasus hortensis</i>	-	*	-
<i>Parasitus chortophilus</i> (BERLESE, 1904)	-	*	-
<i>Parasitus eta</i> OUDEMANS & VOIGTS, 1904	*	*	*
<i>Parasitus berlessei</i> (WILLMANN, 1935)	-	-	*
<i>Veigala exigua</i> (BERLESE, 1917)	*	*	*
8. <b>POLYASPIDAE</b>			
<i>Eustigmaeus</i> sp.	*	*	1.9
9. <b>UROPODIDAE</b>			
<i>Uropoda</i> sp.	-	*	*
<b>A C T I N E D I D A</b>			
10. <b>TYDEIDAE</b>	20.3	11.2	10.5
11. <b>RHAGIDIDAE</b>	-	*	-
12. <b>PYGMEPHORIDAE</b>			
<i>Siteroptes graminum</i> (REUTER, 1900)	*	1.6	3.0
<i>Bakerdania blumentritti</i> KRCZAL, 1959	7.0	10.5	15.5
<i>Bakerdania sellnicki</i> KRCZAL, 1958	4.7	8.3	6.7
13. <b>SCUTACARIDAE</b>			
<i>Pygmodispus latisternus</i> PAOLI, 1911	*	*	*
<i>Imparipes haarloevi</i> KARAFIAT, 1959	-	*	*
<i>Scutacarus acarorum</i> (GOEZE, 1780)	1.9	*	*
<i>Scutacarus subterraneus</i> OUDEMANS, 1913	*	-	-
<i>Scutacarus eucomus</i> (BERLESE, 1908)	*	*	*
<i>Scutacarus quadrangularis</i> (PAOLI, 1911)	-	-	*
14. <b>TARSONEMIDAE</b>			
<i>Tarsonemus</i> sp.	*	10.9	7.5
15. <b>STIGMAEIDAE</b>			
<i>Eustigmaeus</i> sp.	*	*	*

TAXA	Zuckerrübe	Winterweizen	Wintergerste
A C A R I D I D A			
16. ACARIDAE			
Tyrophagus infestans (BERLESE, 1884)	1.4	8.4	*
Acotyledon schmitzi (OUDEMANS, 1929)	-	*	-
Troupeauia nova (OUDEMANS, 1906)	*	2.4	1.4
17. ANOETIDAE			
Histiostoma strenzkei SCHEUCHER, 1959	6.4	12.9	8.3
O R I B A T I D A			
18. HYPOCHTHONIIDAE			
Hypochothonius luteus OUDEMANS, 1913	*	*	*
Hypochothoniella pallidula (C.L. KOCH, 1836)	-	-	*
19. BRACHYCHTHONIIDAE			
Liochthonius leptaleus MORITZ	-	*	*
20. NOTHRIDAE			
Nothrus sp.	*	*	*
21. TECTOCEPHEIDAE			
Tectocepheus velatus (MICHAEL, 1880)	24.7	3.2	5.9
22. OPPIIDAE			
Oppiella obsoleta (PAOLI, 1908)	2.8	1.1	*
23. CERATOSEPIDAE			
Ceratocetes gracilis (MICH., 1884)	-	-	*

Beweis für die Auswirkungen der Kulturen auf das Spektrum der Taxa bzw. Arten darstellen.

Drei weitere Arten bzw. Taxa (*Imparipes haarloevi*, *Liochthonius leptaleus*, Uropodidae) wurden in den beiden Getreidekulturen gefunden, waren aber in der Zuckerrübenkultur abwesend. Auch sie kamen nur in einzelnen Exemplaren vor. Alle übrigen 34 Taxa wurden in allen drei Kulturen ermittelt.

Die Dominanzverhältnisse zeigten, daß im Mittel aller drei Kulturen *Alliphis siculus*, *Bakerdania blumentritti*, *Tectocepheus velatus* und die Tydeidae eudominant waren (>10 % Faunenanteil) (Tab. 1). Dominant (10-5 % Anteil) waren ebenfalls vier Taxa: *Arctoseius cetratus*, *Bakerdania sellnicki*, *Histiostoma strenzkei* und *Tarsonemus sp.* Alle übrigen 37 Taxa wiesen im Mittel der Kulturen weniger als 5 % Faunenanteil auf und waren somit subdominant, rezedent oder subrezedent.

Während von den häufigsten Taxa *A. siculus* gleichmäßig stark in allen Kulturen vertreten war, fanden sich die Tydeidae etwa doppelt so häufig und *T. velatus* sogar fünfmal häufiger in der Zuckerrübenkultur als in den Getreidekulturen. *B. blumentritti* dagegen trat deutlich stärker in den Getreidekulturen auf. Von den dominanten Taxa war vor allem *Tarsonemus* sp. mit höherem Prozentsatz (10,9 bzw. 7,5 %) in den Getreidekulturen als in der Zuckerrübenkultur (<1 %) festzustellen. Alle übrigen Taxa wiesen keine erkennbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Kulturen auf.

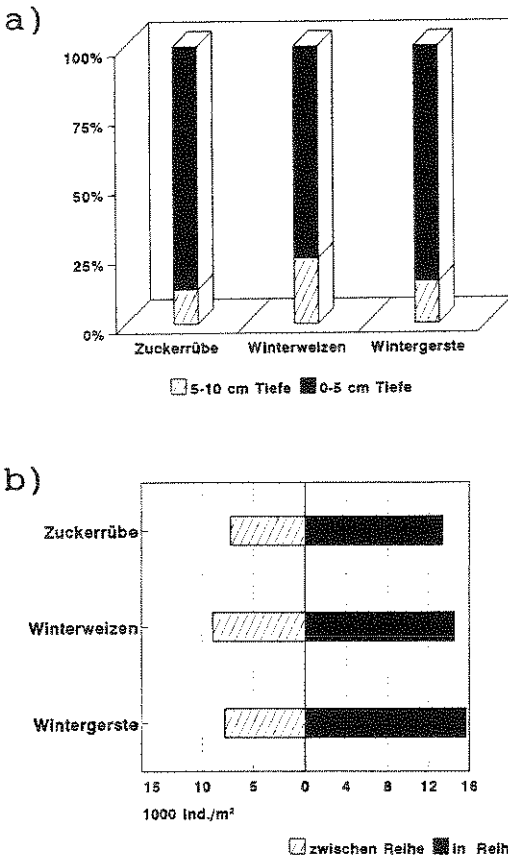


Abb. 1: Räumliche Verteilung der Bodenmilben in Ahlum (April bis September 1987) - a) in der Vertikalen, b) in der Horizontalen

Die Verteilung der Bodenmilben in der Vertikalen (0-10 cm) und in der Horizontalen ("in der Saatreihe" und "zwischen der Saatreihe") ließ für die drei Kulturen untereinander nur geringe Unterschiede erkennen (Abb. 1a u. 1b). Die Tiefenverteilung, aufgegliedert nach den beiden Horizonten 0-5 cm und 5-10 cm, zeigte, daß sich 75-85 % aller Milben in der obersten Bodenschicht aufhielten. Die Verteilung nach der Horizontalen ergab eine doppelt so große Individuendichte in den Saatreihen als dazwischen (in den Getreidekulturen).

Die Abundanzdynamik über den Zeitraum von sechs Monaten ließ keine wesentlichen Unterschiede zwischen den drei Kulturen erkennen (Abb. 2). Während in der Kultur mit Zuckerrübe im April ebenso große Individuendichten wie im August und September erreicht wurden, fanden sich die höchsten Individuenzahlen (25000-30000 Ind./m<sup>2</sup>) im Wintergetreide nur im August und September.

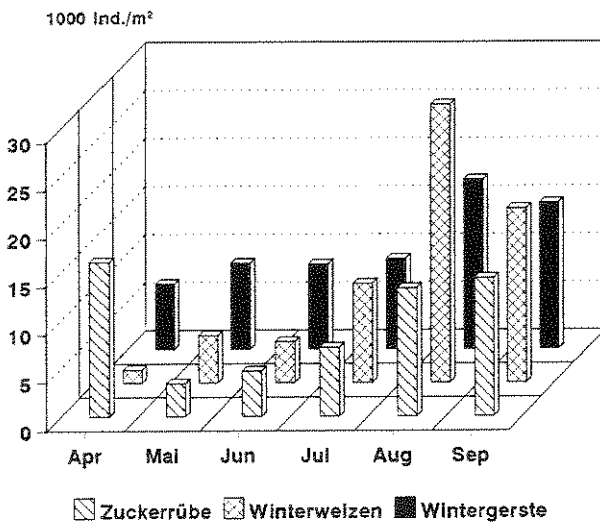


Abb. 2: Abundanzdynamik der Bodenmilben in den drei Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe in Ahlum (April bis September 1987)

### 3.2 Einfluß der Intensitäten auf die Bodenmilben

In den vier Intensitäten des Schlages II mit den Kulturen Winterweizen und Wintergerste mit anschließender Zwischenfrucht wurden 22 Milbenfamilien mit insgesamt 44 Taxa gefunden (Tab. 2). Ähnlich den Verhältnissen beim Vergleich der Kulturen war die Familie der Eugamasidae innerhalb der Gamasida mit acht Arten wieder am häufigsten vertreten.

Die Zahl der Taxa unterschied sich zwischen den vier Bewirtschaftungsintensitäten kaum. So wurden in  $I_0$  34, in  $I_1$  36, in  $I_2$  37 und in  $I_3$  35 Taxa gefunden. Wenige Taxa kamen nur jeweils in einer der vier Intensitäten vor: In  $I_0$  kein Taxon, in  $I_1$  ein Taxon (*Nothrus sp.*), in  $I_2$  drei (*Pergamasus dentipes*, *Parasitus chortophilus*, *Acotyledon schmitzi*) und in  $I_3$  ebenfalls drei Taxa (*Arctoseius casalis*, *Pergamasus hortensis*, *Imparipes haarloevi*).

Die Dominanzverhältnisse (im Mittel aller vier Intensitäten) unterschieden sich nur wenig vom Vergleich der Kulturen:

Fünf Taxa waren eudominant. Unter ihnen auch *Tarsonemus sp.* und *H. strenzkei*, die im Mittel der Kulturen keine Anteile  $>10\%$  erreicht hatten. Dominant waren *A. cetratus*, *B. sellnicki* und außerdem *Tyrophagus infestans*. Bei vielen eudominanten und dominanten Taxa wurden nur geringe oder keine prozentualen Unterschiede zwischen den verschiedenen Intensitäten beobachtet. Das war bei *A. siculus*, *B. sellnicki*, *H. strenzkei* und den Tydeidae der Fall. Tendenzen im Zusammenhang mit den Intensitäten wurden bei *Tarsonemus sp.* mit einer Abnahme von fast  $14\%$  in  $I_0$  auf  $8.6\%$  in  $I_3$  (fast kontinuierlich) beobachtet. Ähnliches war auch bei *T. infestans* zu beobachten.

Alle Oribatida, auch die in größeren Individuenzahlen vertretenen Arten *Tectocepheus velatus* und *Oppiella obsoleta*, kamen in der Intensität  $I_3$  nur in Anteilen  $<1\%$  vor. Ein Vergleich der mittleren Individuendichte/ $m^2$  über alle Probenahmetermine ergab bei den gesamten Milben in den vier Intensitäten kaum Unterschiede (Abb. 3).

Tab. 2: Systematische Zuordnung der Taxa und Dominanzen zu den vier Intensitäten von Schlag II mit den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zwischenfrucht (Dominanz in %; \* < 1 % Anteil)

TAXA	BEWIRTSCHAFTUNGSINTENSITÄTEN			
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
<b>G A M A S I D A</b>				
1. EVIPHIDIDAE				
<i>Eviphis ostrinus</i> (KOCH, 1836)	*	*	-	*
<i>Alliphis sculus</i> (OUDEMANS, 1905)	0.6	18.1	14.5	15.7
2. MACROCHELIDAE				
<i>Geholaspis mandibularis</i> (BERLESE, 1904)	*	*	*	*
<i>Pachyseius humeralis</i> BERLESE, 1910	*	*	*	*
<i>Pachylaelaps imitans</i> BERLESE, 1920	*	*	*	*
3. DERMANYSSIDAE				
<i>Hypoaspis aculeifer</i> (CANESTRINI, 1883)	*	*	*	*
<i>Androlaelaps casalis</i> (BERLESE, 1887)	-	-	-	*
4. ASCIDAE				
<i>Sejus borealis</i> (BERLESE, 1904)	1.3	*	*	*
<i>Arctoseius cetratus</i> (SELLNICK, 1940)	5.7	6.3	4.8	4.6
<i>Arctoseius venustulus</i> (BERLESE, 1917)	*	*	*	*
5. ZERCONIDAE				
<i>Prozercon</i> sp.	*	*	1.1	*
6. RHODACARIDAE				
<i>Rhodacarus calcaratus</i> BERLESE, 1921	*	*	-	-
<i>Rhodacarellus silesiacus</i> WILLMANN, 1935	1.9	1.2	*	1.1
<i>Dendrolaelaps foveolatus</i> (LETTNER, 1949)	*	2.0	3.1	4.9
7. EUGAMASIDAE				
<i>Pergamasus suecicus</i> (TRÅGARDH, 1936)	-	*	*	-
<i>Pergamasus quisquiliarum</i> (CANESTRINI, 1882)	*	*	*	*
<i>Pergamasus crassipes</i> (LINNE, 1758)	*	*	*	*
<i>Pergamasus dentipes</i> (C. L. KOCH, 1835)	-	-	*	-
<i>Pergamasus hortensis</i>	-	-	-	*
<i>Parasitus chortophilus</i> (BERLESE, 1904)	-	-	*	-
<i>Parasitus eta</i> OUDEMANS & VOIGTS, 1904	*	*	*	*
<i>Veigaia exigua</i> (BERLESE, 1917)	*	*	*	*
8. POLYASPIDAE	*	*	*	*
9. UROPODIDAE	*	*	*	-
<b>A C T I N E D I D A</b>				
10. TYDEIDAE	10.5	9.8	12.7	11.9
11. RHAGIDIIDAE	*	*	*	*
12. PYGHEPHORIDAE				
<i>Siteroptes graminum</i> (REUTER, 1900)	2.6	1.7	1.2	*
<i>Bakerdania blumentritti</i> KRČZAL, 1959	9.7	8.1	10.5	13.5
<i>Bakerdania sellnicki</i> KRČZAL, 1958	4.3	8.0	13.5	7.4
13. SCUTACARIDAE				
<i>Pygmodispus latisternus</i> PAOLI, 1911	*	-	*	-
<i>Imparipes haarloevi</i> KARAFIAT, 1959	-	-	-	*
<i>Scutacarus acarorum</i> (GOEZE, 1780)	*	*	*	*
<i>Scutacarus eucomus</i> (BERLESE, 1908)	*	-	*	*
14. TARSONEMIDAE				
<i>Tarsonemus</i> sp.	13.9	10.2	10.8	8.6
15. STIGMARIDAE				
<i>Eustigmaeus</i> sp.	*	*	-	-



TAXA	BEWIRTSCHAFTUNGSINTENSITÄTEN			
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
<b>A C A R I D I D A</b>				
16. ACARIDAE				
Tyrophagus infestans (BERLESE, 1884)	11.7	16.9	*	4.4
Acotyledon schmitzi (OUDEMANS, 1929)	-	-	*	-
Troupeauia nova (OUDEMANS, 1906)	*	*	*	8.6
17. ANOETIDAE				
Histiostoma strenzkei SCHEUCHER, 1959	16.3	6.6	15.7	12.9
<b>O R I B A T I D A</b>				
18. HYPOCHTHONIIDAE				
Hypochthonius luteus OUDEMANS, 1913	-	*	*	*
19. BRACHYCHTHONIIDAE				
Liochthonius leptaleus MORITZ, 1976	-	*	*	*
20. NOTHRIDAE				
Nothrus sp.	-	*	-	-
21. TECTOCEPHEIDAE				
Tectocepheus velatus (MICHAEL, 1880)	5.1	2.8	4.0	*
22. OPPIIDAE				
Oppiella obsoleta (PAOLI, 1908)	*	1.6	1.8	*

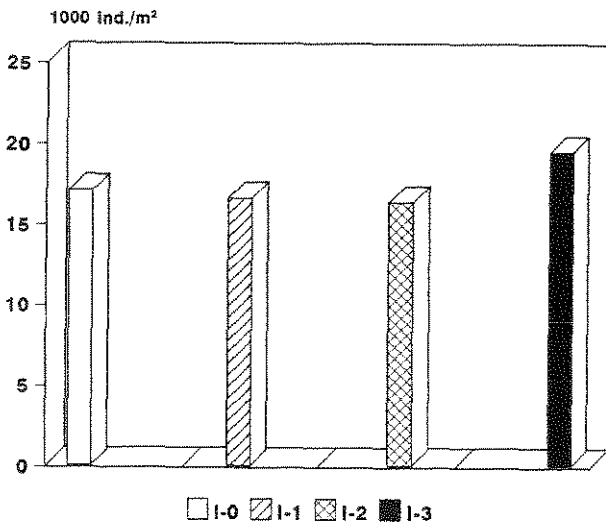


Abb. 3: Mittlere Abundanz der gesamten Milben in den verschiedenen Intensitäten des Schlages II (April 1987 bis September 1988)

Die Abundanzdynamik der Bodenmilben auf Schlag II umfaßt die Kulturen Winterweizen (teilweise), Wintergerste und die anschließende Zwischenfrucht (mit dem ersten Termin) (Abb. 4a u. 4b). Der Verlauf der Abundanzdynamik zeigte ein Maximum im August/September 1987 um den Entetermin herum in den Intensitäten  $I_0$ ,  $I_2$  und  $I_3$ . Im Gegensatz zu den anderen Intensitäten kam es in  $I_0$  zu einer weiteren hohen Individuendichte im Februar in der Wintergerste.

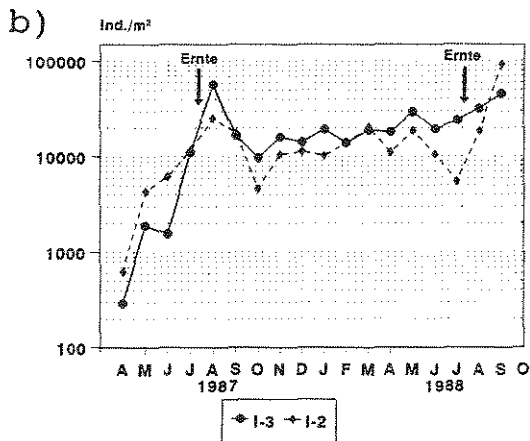
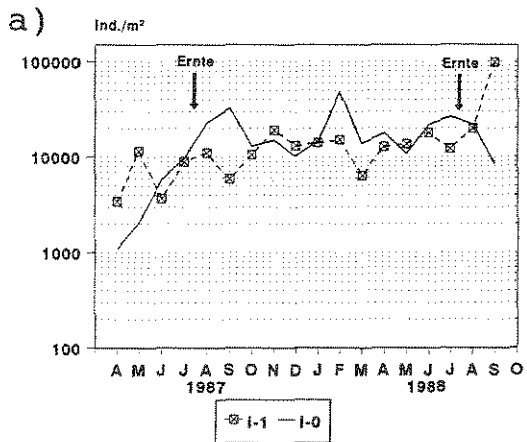


Abb. 4: Abundanzdynamik der gesamten Milben in den Intensitäten des Schlags II (April 1987 bis September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

Übereinstimmungen im Anstieg der Abundanz auf ein Mehrfaches der mittleren Individuenzahl in den drei Intensitäten  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  fanden sich mit Beginn der Zwischenfrucht. Der gegensätzliche Abundanzverlauf in  $I_0$  (Absinken der Individuendichte) mit dem Wechsel zur Zwischenfrucht kann vielleicht mit erheblich anderen Biotopbedingungen (u.a. infolge der starken Verunkrautung) erklärt werden.

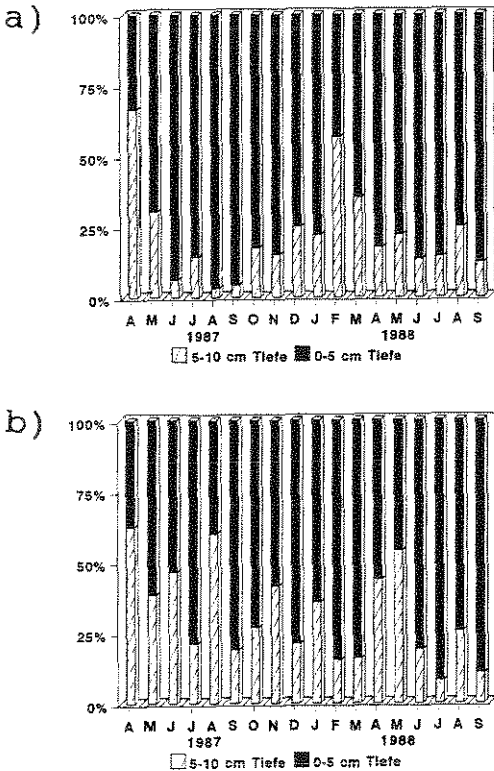


Abb. 5: Vertikalverteilung der gesamten Milben im Jahreslauf in Schlag II (April 1987 bis September 1988) - a)  $I_0$ , b)  $I_3$

Die Verteilung der Milben nach der Tiefe im Zeitverlauf unterschied sich zwischen den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  (Abb. 5a u. 5b). In  $I_0$  war die Dynamik der Tiefenverteilung deutlich von der Jahreszeit abhängig. Ein hoher Prozentsatz an Milben fand sich vor allem im April/Mai 1987 und im Februar/März 1988 in

der zweiten Bodenschicht. In der Intensität  $I_3$  hingegen lag insgesamt der Prozentsatz an Milben, der sich in der tieferen Bodenschicht aufhielt, höher und ergab auch keinen charakteristischen Verlauf. Ob dies mit niedrigeren Feuchtigkeitsbedingungen oder anderen Verhältnissen in  $I_3$  im Vergleich zu  $I_0$  zusammenhing, kann nicht beantwortet werden. Auch ein Zusammenhang zum erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, der die Tiere in  $I_3$  eventuell zum Rückzug in tiefere Bodenschichten veranlaßt haben könnte, muß spekulativ bleiben.

### 3.3 Einzelne Milbentaxa

Bei einer Reihe von Taxa werden die mittleren Abundanzen dargestellt, die in Schlag II mit den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zwischenfrucht über einen Untersuchungszeitraum von 18 Monaten ermittelt wurden. Hierzu wurden Taxa ausgewählt, die eudominant oder dominant waren oder deutliche prozentuale Unterschiede zwischen den Intensitäten von Schlag II erkennen ließen (Tab. 2).

#### 3.3.1 Taxa ohne oder mit nur geringem Einfluß

##### Alliphis siculus:

Die Häufigkeitsverteilung von *A. siculus* in den verschiedenen Intensitäten über den Zeitraum von 12 Monaten wurde bereits bei KAMPMANN & KÖLLNER (1989) diskutiert.

Der Vergleich der mittleren Abundanz über einen Zeitraum von 18 Monaten mit der Reihenfolge oben genannter Kulturen zeigte deutlich die größten Dichten in den Intensitäten  $I_1$  und  $I_3$  (Abb. 6a). Mit 2000 Ind./m<sup>2</sup> lag die mittlere Individuenzahl in  $I_0$  am niedrigsten. Dies hing unter Umständen mit den stark veränderten Biotopstrukturen infolge eines hohen Unkrautbesatzes in dieser Intensität zusammen. Ein Bezug zwischen der mittleren Abundanz von *A. siculus* und der Höhe der Bewirtschaftungsintensität war nicht zu erkennen.

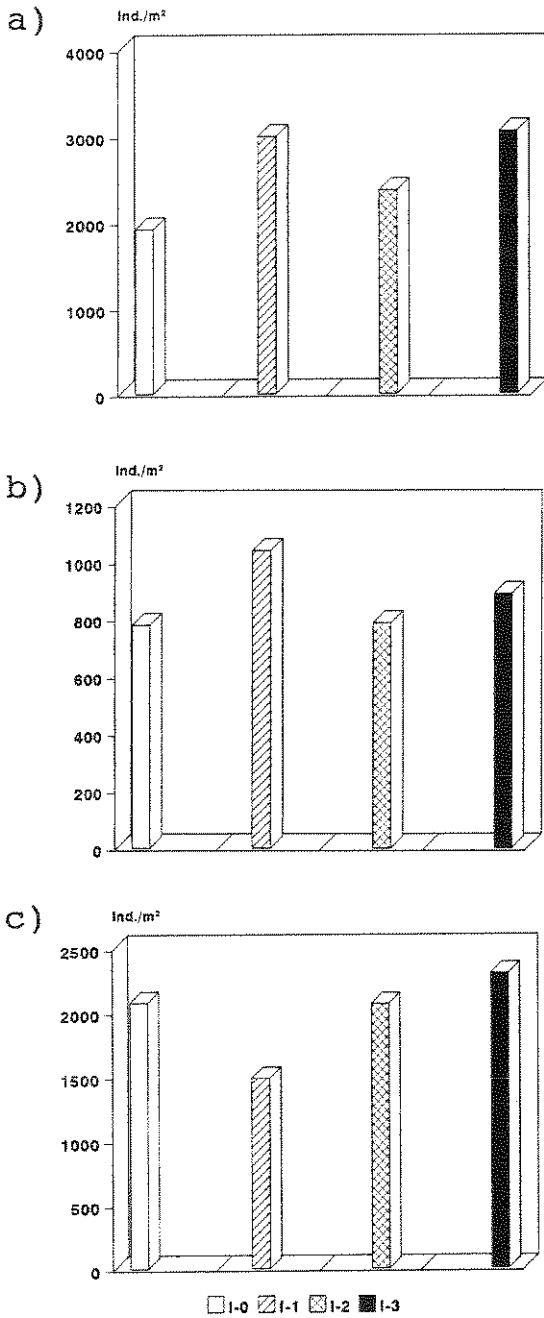


Abb. 6: Mittlere Abundanz einzelner Arten in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a) *Alliphis siculus*, b) *Arctoseius cetratus*, c) *Tydeidae*

Arctoseius cetratus:

Diese Gamasidenart mit einer insgesamt deutlich niedrigeren mittleren Abundanz zeigte ebenfalls keine tendenziellen Unterschiede zwischen den verschiedenen Intensitäten (Abb. 6b). Die geringfügig höhere Abundanz in  $I_1$  (1040 Ind./m<sup>2</sup>) ist ohne Bedeutung und offenbar zufallsbedingt abhängig von der Probenahme.

Tydeidae:

Bei der mittleren Abundanz wurden Unterschiede zwischen den Intensitäten sichtbar, die jedoch infolge ihrer uneinheitlichen Individuendichten ( $I_1$  und  $I_3$ ) auf keinen Zusammenhang zur Bewirtschaftung hindeuten (Abb. 6c). Mit 1500 Ind./m<sup>2</sup> wurde in  $I_1$  die niedrigste und mit 2300 Ind./m<sup>2</sup> in  $I_3$  die höchste mittlere Dichte erreicht. Die Intensitäten  $I_0$  und  $I_2$  lagen mit ihren Dichten dazwischen.

3.3.2 Taxa mit deutlichem Einfluß

Histiostoma strenzkei:

Die mittleren Abundanzen zeigten vor allem Unterschiede zwischen der Intensität  $I_0$  und den anderen drei Intensitäten (Abb. 7a). In  $I_0$  wurde die höchste Dichte erreicht. In  $I_1$  bis  $I_3$  lag sie zwischen 1000 Ind./m<sup>2</sup> ( $I_1$ ) und 2500 Ind./m<sup>2</sup> ( $I_2$  und  $I_3$ ) und somit im Gesamt-Niveau niedriger als in  $I_0$ . Inwieweit dies auf direkte (Dünge- und Pflanzenschutzmittel-Einsatz etc.) oder auf indirekte (Biotopstruktur, Bodenfeuchte etc.) Einwirkungen zurückzuführen ist, muß unbeantwortet bleiben.

Tarsonemus sp.:

Bei *Tarsonemus sp.* war der Unterschied in den mittleren Abundanzen zwischen der Intensität  $I_0$  und den übrigen drei Intensitäten deutlicher als bei *H. strenzkei* (Abb. 7b). In  $I_0$  wurde mit 2700 Ind./m<sup>2</sup> eine wesentlich höhere Dichte als in den anderen Intensitäten erreicht, deren Dichte mit 1700-1800 Ind./m<sup>2</sup> auf einem nahezu gleichen Niveau blieb. Das deutet auf einen Einfluß der Bewirtschaftung hin, der - ebenso wie bei *H. strenzkei* - direkt oder indirekt bedingt sein kann.

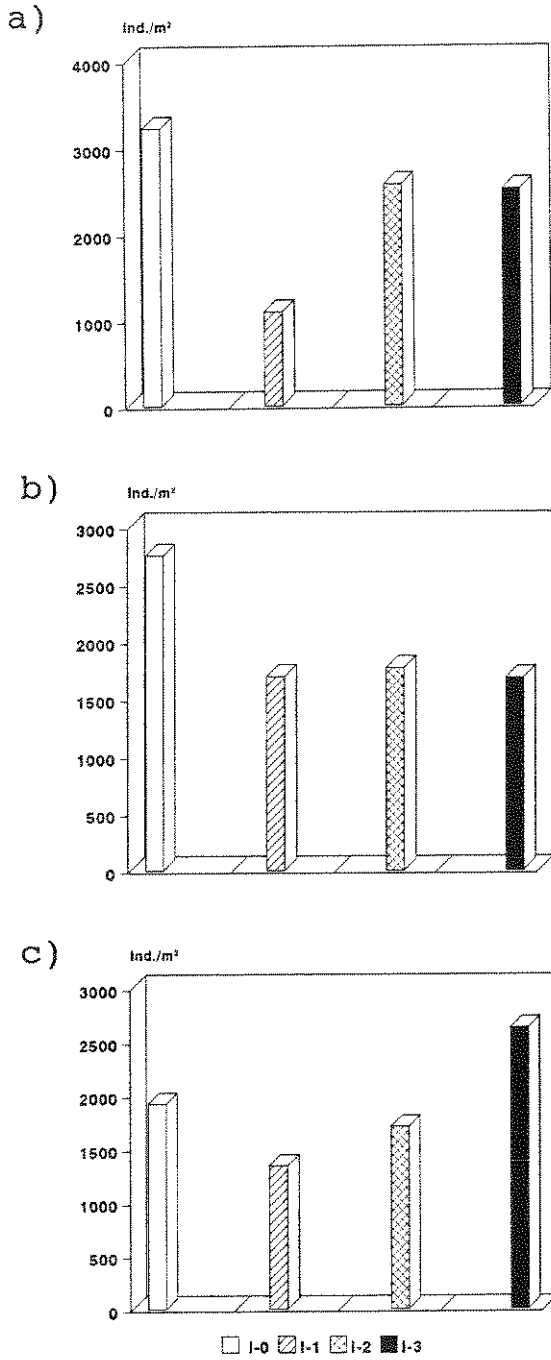


Abb. 7: Mittlere Abundanz einzelner Arten in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a) *Histiostoma strenzkei*, b) *Tarsonemus sp.*, c) *Bakerdania blumentritti*

Eine geringfügig intensivere Bewirtschaftung ( $I_1$ ) wirkte sich offensichtlich nicht anders aus als eine sehr intensive ( $I_3$ ).

*Bakerdania blumentritti*:

Die mittleren Abundanzen zeigten bei *B. blumentritti* eine kontinuierliche Zunahme der Individuendichte von  $I_1$  mit 1300 Ind./m<sup>2</sup> über  $I_2$  mit 1700 bis zu  $I_3$  mit 2600 Ind./m<sup>2</sup> (Abb. 7c). Dies ist eine Zunahme um 100 % von  $I_1$  nach  $I_3$ .  $I_0$  lag im oberen mittleren Niveau und war in diese Tendenz nicht einzuordnen. Die kontinuierliche Zunahme hing offensichtlich mit der unterschiedlich intensiven Bewirtschaftung zusammen. Die Förderung der Individuendichte könnte u.a. eine Folge der Dezimierung von Freßfeinden sein. Dies wäre dann eine indirekte Folge des verstärkten Pflanzenschutzmittel-Einsatzes mit zunehmender Intensität. Die Vermutung ist jedoch ohne weitere Zusatzuntersuchungen nicht zu erhärten. Möglicherweise sind aber auch strukturelle (z. B. Bodenporen) oder mikroklimatische (z. B. Bodenfeuchte) Veränderungen verantwortlich.

### 3.3.3 Taxa mit starkem Einfluß

*Tvrophaeus infestans*:

Zwei deutlich unterschiedliche Niveaus der mittleren Abundanzen sind in Abb. 8a zu erkennen. In den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  wurde eine Individuendichte/m<sup>2</sup> von 2300-2800 ermittelt, während die höheren Intensitäten  $I_2$  und  $I_3$  mit 100-900 Ind./m<sup>2</sup> eine stark reduzierte Dichte aufwiesen. Offenbar wirkten sich die Bewirtschaftungsmaßnahmen erst ab einer bestimmten Stärke auf die Individuendichte aus und dies wurde ab der Intensität  $I_2$  erreicht.

*Tectocephus velatus*:

Eine ähnliche "Abstufung" der mittleren Abundanzen, wie sie bei *T. infestans* beschrieben wurde, war auch bei *T. velatus* zu beobachten (Abb. 8b). Nur sind hier drei unterschiedliche Niveaus der Individuendichte erkennbar:

In der Intensität  $I_0$  wurde mit 900 Ind./m<sup>2</sup> die größte Dichte ermittelt. Eine deutliche Verminderung erfolgte in  $I_1$  und  $I_2$  mit 450 und 600 Ind./m<sup>2</sup>. Und von diesen beiden Intensitäten zu

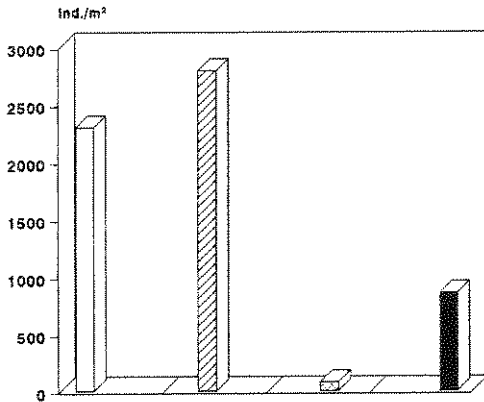


I<sub>3</sub> kam es erneut zu einer starken Verminderung auf nur 180 Ind./m<sup>2</sup>. Somit zeigte die Intensivierung der Bewirtschaftung - ausgehend von I<sub>0</sub> (= 100 %) - eine Reduktion der Individuendichte um 33-50 % in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> und sogar um 80 % in I<sub>3</sub>.

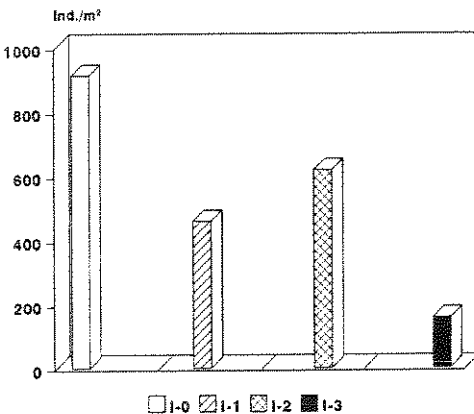
Siteroptes graminum:

Bei *S. graminum* fand sich der deutlichste Zusammenhang zwischen steigender Bewirtschaftung und den mittleren Abundanzen (Abb. 8c). Vier verschiedene Dichte-Niveaus zeigten eine kontinuierliche Abundanzminderung von I<sub>0</sub> (500 Ind./m<sup>2</sup>) nach I<sub>3</sub> (130 Ind./m<sup>2</sup>). Ausgehend von I<sub>0</sub> (= 100 %) ergaben sich folgende Reduktionen der Individuendichte: in I<sub>1</sub> um 40 %, in I<sub>2</sub> um 60 % und in I<sub>3</sub> um 75 %. Der Einfluß der Bewirtschaftung - ob direkt oder indirekt, muß dahingestellt bleiben - war evident.

a)



b)



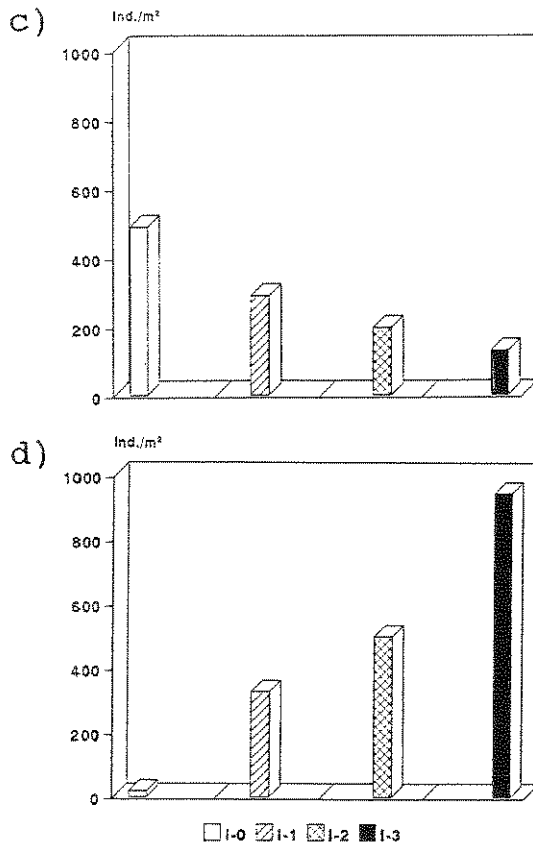


Abb. 8: Mittlere Abundanz einzelner Arten in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a) *Tyrophagus infestans*, b) *Tectocepheus velatus*, c) *Siteroptes graminum*, d) *Dendrolaelaps foveolatus*

*Dendrolaelaps foveolatus*:

Eine ähnliche Situation wie bei *S. graminum* wurde bei *D. foveolatus* gefunden; nur lag hier der entgegengesetzte Fall vor (Abb. 8d). Es fanden sich ebenfalls vier verschiedene Dichteebenen, diese nahmen aber mit steigender Bewirtschaftung von  $I_0$  (20 Ind./m<sup>2</sup>) nach  $I_3$  (950 Ind./m<sup>2</sup>) kontinuierlich zu. Im einzelnen wurde eine Zunahme von  $I_0$  nach  $I_1$  um das 16-fache, nach  $I_2$  um das 25-fache und nach  $I_3$  sogar um das 48-fache ermittelt. Ein Zusammenhang, der wahrscheinlich durch kontinuierlich veränderte Lebensbedingungen (z. B. zunehmendes Nahrungsangebot durch geschädigte Beutetiere) mit steigender Bewirtschaftung hervorgerufen wurde.

### 3.4 Abundanzdynamik einzelner Milbentaxa

Ebenso wie die Abundanzdynamik der gesamten Bodenmilben im logarithmischen Maßstab dargestellt wurde, erfolgt dies auch für die einzelnen Taxa. Denn in vielen Fällen kam es im Verlauf des Untersuchungszeitraumes zu großen Dichteschwankungen (zwischen 50 und 30000 Ind./m<sup>2</sup>), die graphisch auf einer linearen Ordinate kaum darstellbar sind.

#### 3.4.1 Taxa ohne ausgeprägten Jahreslauf der Abundanzdynamik

##### Tydeidae:

Die Abundanzdynamik zeigte über den Untersuchungszeitraum wechselnde Maxima und Minima, die besonders in den Intensitäten I<sub>0</sub> und I<sub>1</sub> ausgeprägt waren, sich aber auch noch in I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> zeigten (Abb. 9a u. 9b). Möglicherweise hing dies mit einer Entwicklung von mehreren Generationen über den Untersuchungszeitraum zusammen, da die Lebensdauer der Tydeidae nur mehrere Wochen bis wenige Monate beträgt.

Ein jahreszeitlich abhängiger Verlauf war nicht zu beobachten. Die Abundanzmaxima fanden sich sowohl im Sommer wie im Winter. Auch die Dynamik in den verschiedenen Intensitäten war recht ähnlich, so daß ein Einfluß der Bewirtschaftung kaum wirksam zu sein scheint. Lediglich in den Intensitäten I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> wurden geringfügig höhere Maxima als in I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> erreicht. Jeweils kurz nach der Ernte kam es in allen Intensitäten zu einem Absinken der Dichte, so daß sich die Ernte oder die unmittelbar anschließende Bodenbearbeitung offenbar nachteilig auswirkte.

Ernte und anschließende Bodenbearbeitung machten sich durch ein Absinken der Individuendichte auch bei der Abundanzdynamik anderer Arten bemerkbar (*Artoseius cetratus*, *Siteroptes graminum*, *Bakerdania blumentritti*, *Tyrophagus infestans*). Für diese Arten wurde auf eine graphische Darstellung verzichtet. Unterschiede zwischen den verschiedenen Intensitäten waren dabei kaum oder gar nicht festzustellen.

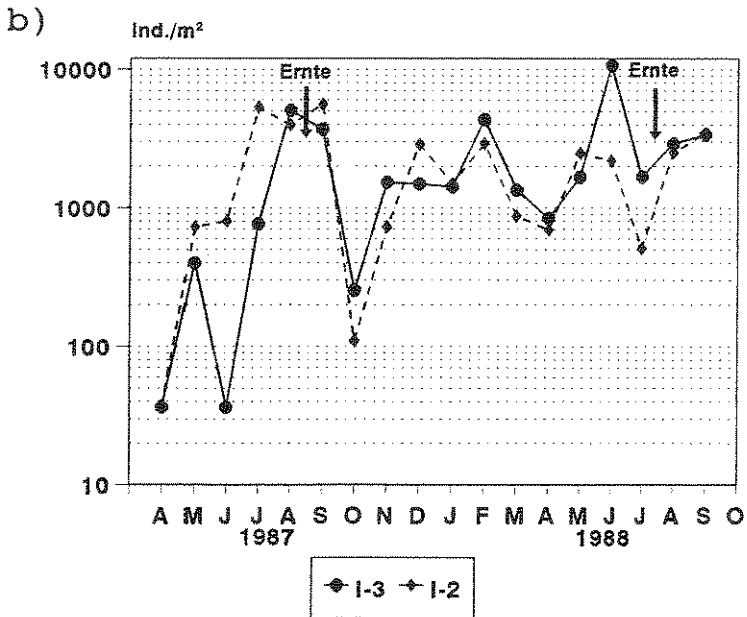
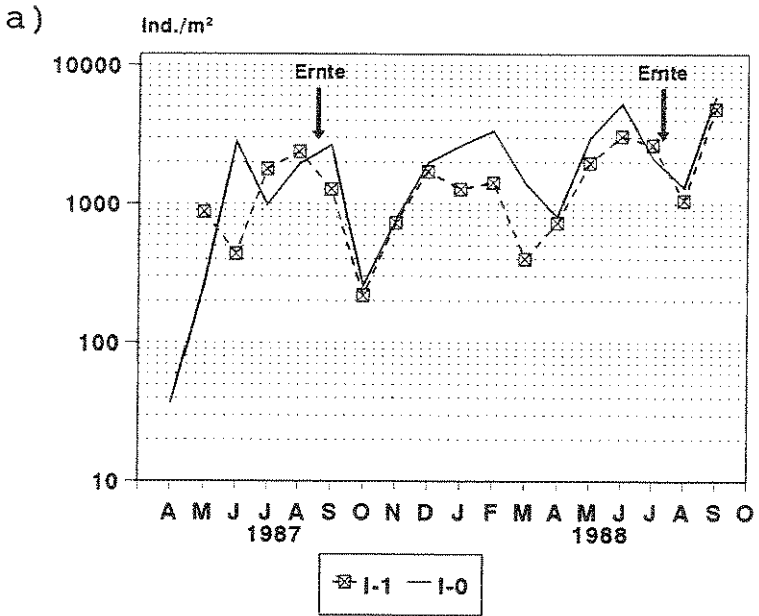


Abb. 9: Jahreslauf der Abundanzdynamik der Tydeidae in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a) I<sub>0</sub> und I<sub>1</sub>, b) I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub>

### 3.4.2 Taxa mit ausgeprägtem Jahreslauf der Abundanzdynamik

Zwei verschiedene Muster von Abundanzdynamiken konnten unterschieden werden:

Überwiegend winteraktive Taxa (*Alliphis siculus*, *Histiostoma strenzkei*), deren Maxima der Individuendichte vorwiegend im Winter auftraten und überwiegend sommeraktive Taxa (*Tarsonemus* sp., *Tectocepheus velatus*, *Dendrolaelaps foveolatus*), bei denen vom Frühsommer bis zum Beginn des Herbstes deutliche Abundanz-Maxima vorhanden waren und im Winter die Individuendichte stark zurückging.

#### Winteraktive Taxa:

##### *Alliphis siculus*:

Die Abundanzdynamik zeigte keine einheitlich deutlichen Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsintensitäten (Abb. 10a u. 10b). Kurz nach dem jeweiligen Erntetermin von Winterweizen und Wintergerste mit anschließender Bodenbearbeitung ging fast in allen Intensitäten die Individuendichte stark zurück. Die Zunahme der Abundanz in den Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$  mit dem Wechsel der Kultur von der Wintergerste zur Zwischenfrucht Gelbsenf (Juli-September 1988) stellte sich infolge des logarithmischen Maßstabes graphisch nicht so deutlich dar. Hingegen deutlich war der Anstieg der Individuendichte - in allen Intensitäten - von September/Oktobre 1987 bis etwa März/April 1988. Über die Biologie dieser Gamasidenart ist zu wenig bekannt, um für diese "Winteraktivität" mögliche Ursachen benennen zu können.

##### *Histiostoma strenzkei*:

Deutliche Unterschiede im Niveau der Abundanzdynamik wurden zwischen den Intensitäten kaum festgestellt (Abb. 11a u. 11b). Nur die Intensität  $I_0$  wies - von zwei Maxima abgesehen - über den gesamten Verlauf des Untersuchungszeitraumes eine geringfügig höhere Individuendichte als  $I_1$  auf. An den beiden Peaks im Februar und Juli 1988 war die Individuenzahl sehr viel höher als in  $I_1$  (um einige tausend Ind./m<sup>2</sup>). *H. strenzkei* erreichte seine höchsten Individuendichten von etwa Oktober/November 1987

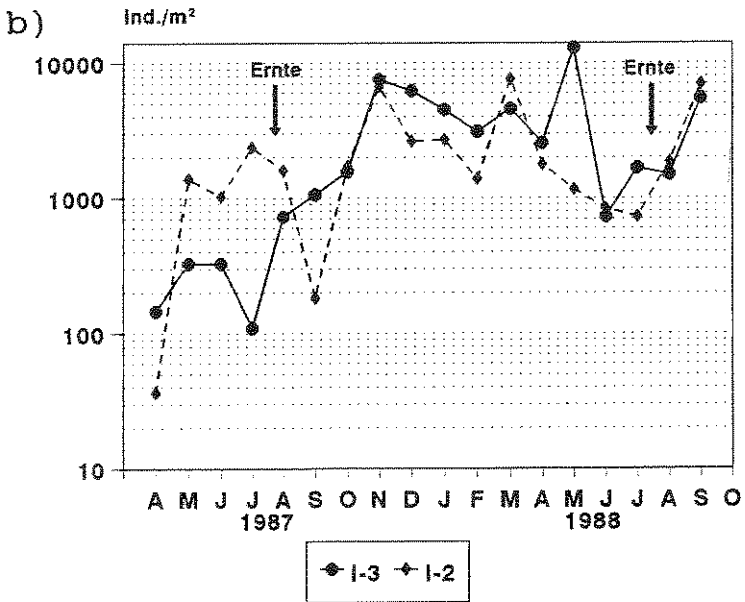
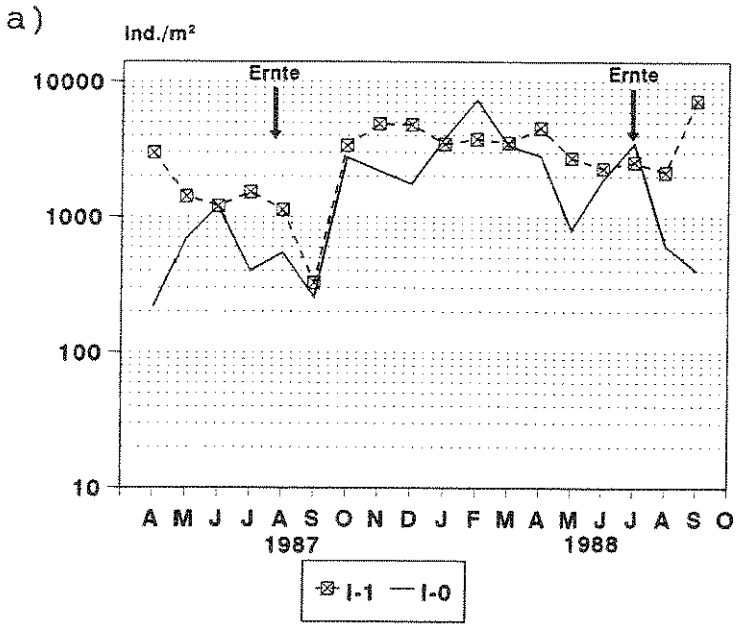


Abb. 10: Jahreslauf der Abundanzdynamik von *Alliphis siculus* in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

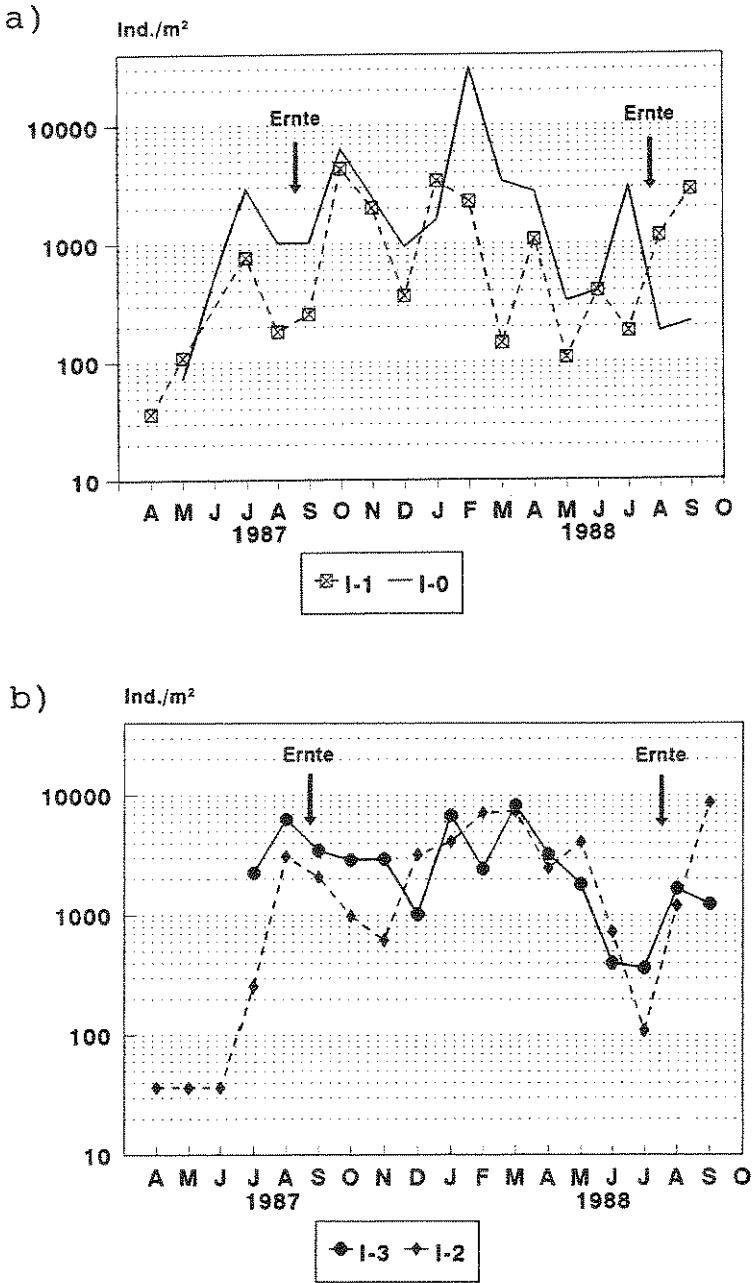


Abb. 11: Jahreslauf der Abundanzdynamik von *Histiostoma strenzkei* in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

bis März/April 1988 und kann deshalb auch als "winteraktive" Art bezeichnet werden. Die Ursachen hierfür sind ebenfalls unbekannt. Mit dem Wechsel der Kultur von Wintergerste zur Zwischenfrucht Gelbsenf von Juli bis September 1988 kam es bei dieser Art zu einem starken Anstieg der Individuendichte (mit Ausnahme von  $I_0$ ).

#### Sommeraktive Taxa:

##### *Tarsonemus sp.:*

Die Abundanzdynamik läßt in allen vier Intensitäten einen ähnlichen Verlauf über den Untersuchungszeitraum erkennen (Abb. 12a u. 12b). Einheitliche Niveau-Unterschiede in der Individuendichte waren zwischen den Intensitäten nicht festzustellen. Im Verlauf der Abundanzdynamik kam es im August/September 1987 um den Erntetermin des Winterweizens zu einem maximalen Anstieg der Individuendichte, der in  $I_0$  wesentlich höher ausfiel als in den anderen drei Intensitäten. Anschließend sank die Abundanz von Oktober 1987 bis März 1988 auf wenige hundert ( $I_2$  und  $I_3$ ) bis einige tausend ( $I_0$  und  $I_1$ ) Ind./m<sup>2</sup>. Zu einem zweiten, weniger ausgeprägten Maximum kam es dann - je nach Intensität - zwischen April und Juni 1988 in der Wintergerste.

Während das starke Absinken der Individuendichte nach der Ernte des Winterweizens unter Umständen mit der Bodenbearbeitung durch wendendes Pflügen bis in 30 cm Tiefe zusammenhing, wirkte sich die Bodenbearbeitung durch Grubbern nach dem Erntetermin der Wintergerste nicht erkennbar aus. Der extrem starke Anstieg der Individuendichte von Juli bis September 1988 hing mit dem Wechsel von der Wintergerste zur Zwischenfrucht zusammen.

##### *Tectocepheus velatus:*

Einen im Prinzip ähnlichen Verlauf der Abundanzdynamik wie *Tarsonemus sp.* hatte auch *T. velatus* (Abb 13a u. 13b). Der schon in Abb. 8b gefundene Niveau-Unterschied der mittleren Abundanzen zwischen den verschiedenen Intensitäten fand sich auch im Verlaufe der Abundanzdynamik und zwar ähnlich deutlich ausgeprägt. Während  $I_0$  über fast den gesamten Untersuchungszeitraum höhere Individuendichten als  $I_1$  aufwies, lagen die Werte



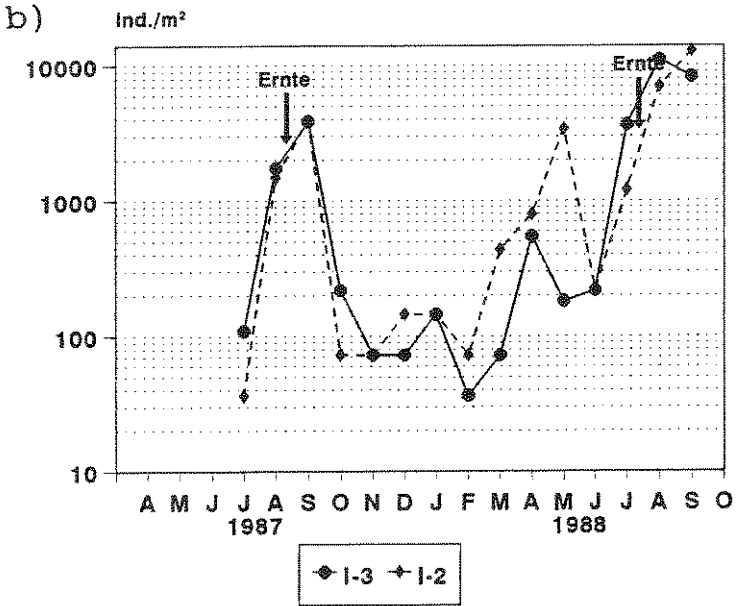
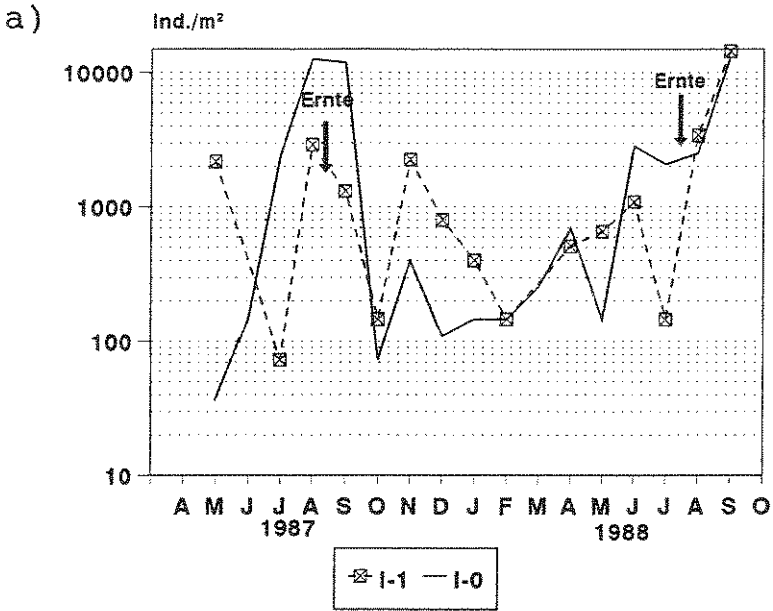
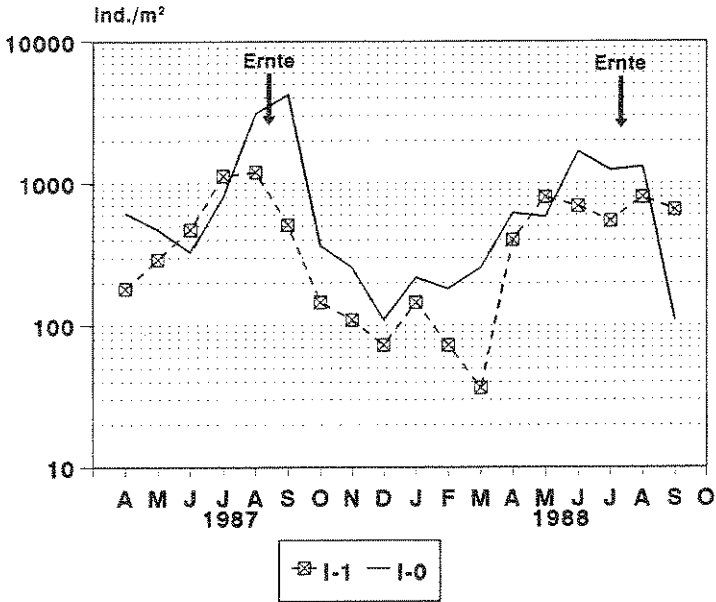


Abb. 12: Jahreslauf der Abundanzdynamik von *Tarsonemus* sp. in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

a)



b)

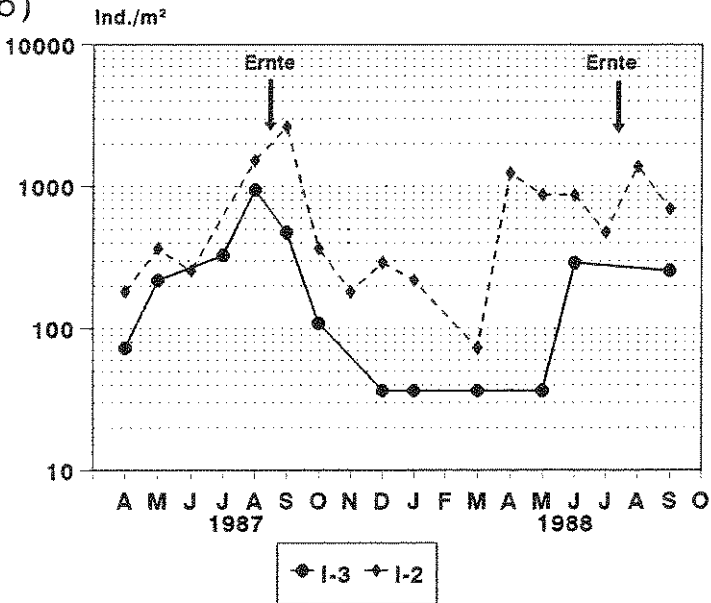


Abb. 13: Jahreslauf der Abundanzdynamik von *Tectocephus velatus* in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

von  $I_2$  und  $I_3$  niedriger. Und in  $I_3$  wurden noch einmal wesentlich geringere Zahlen als in  $I_2$  festgestellt.

Trotzdem traten - zeitgleich in allen Intensitäten - im Winterweizen von Juli bis September und in der Wintergerste von April bis Juni Maxima der Individuendichte auf. Über den Winter (November bis März) war die Abundanz wieder stark vermindert.

Auswirkungen der Bodenbearbeitung (durch ein unmittelbares Absinken der Abundanzen) waren nicht direkt erkennbar und der Kulturwechsel von der Wintergerste zur Zwischenfrucht hatte offenbar keine Auswirkungen auf die Individuendichte.

*Dendrolaelaps foveolatus*:

Die Verläufe der Abundanzdynamik ließen bei *D. foveolatus* deutliche Niveau-Unterschiede zwischen den Intensitäten erkennen (ähnlich wie bereits in Abb. 8d) (Abb. 14a u. 14b). Während  $I_0$  keinen ausgeprägten Kurvenverlauf zeigte, lag der von  $I_1$  in fast allen Werten deutlich niedriger als die Verläufe von  $I_2$  und  $I_3$ . Die Abundanzdynamik in  $I_3$  erreichte jedoch nur teilweise (vor allem 1988) höhere Dichten als in  $I_2$ .

Ausgeprägte Abundanzmaxima, wie sie in  $I_1$  und vor allem in  $I_2$  und  $I_3$  von Juli bis Oktober (Winterweizen) und von April bis Juni (Wintergerste) vorkamen, traten in  $I_0$  offenbar infolge der geringen Individuenzahlen nicht sichtbar auf. Im Winter (November bis März) fand sich wieder eine ausgeprägt geringe Individuendichte.

Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen dem Absinken der Individuendichte zum Spätherbst hin und einer Bodenbearbeitung nach der Ernte schien - ebenso wie bei *T. velatus* - nicht gegeben zu sein. Wahrscheinlicher ist, daß bei *D. foveolatus* und *T. velatus* dieser Abfall eher jahreszeitlich bedingt war, da er sich kontinuierlich über mehrere Monate erstreckte.

Auswirkungen auf die Individuendichte durch den Wechsel von der Wintergerste zur Zwischenfrucht waren nicht erkennbar.

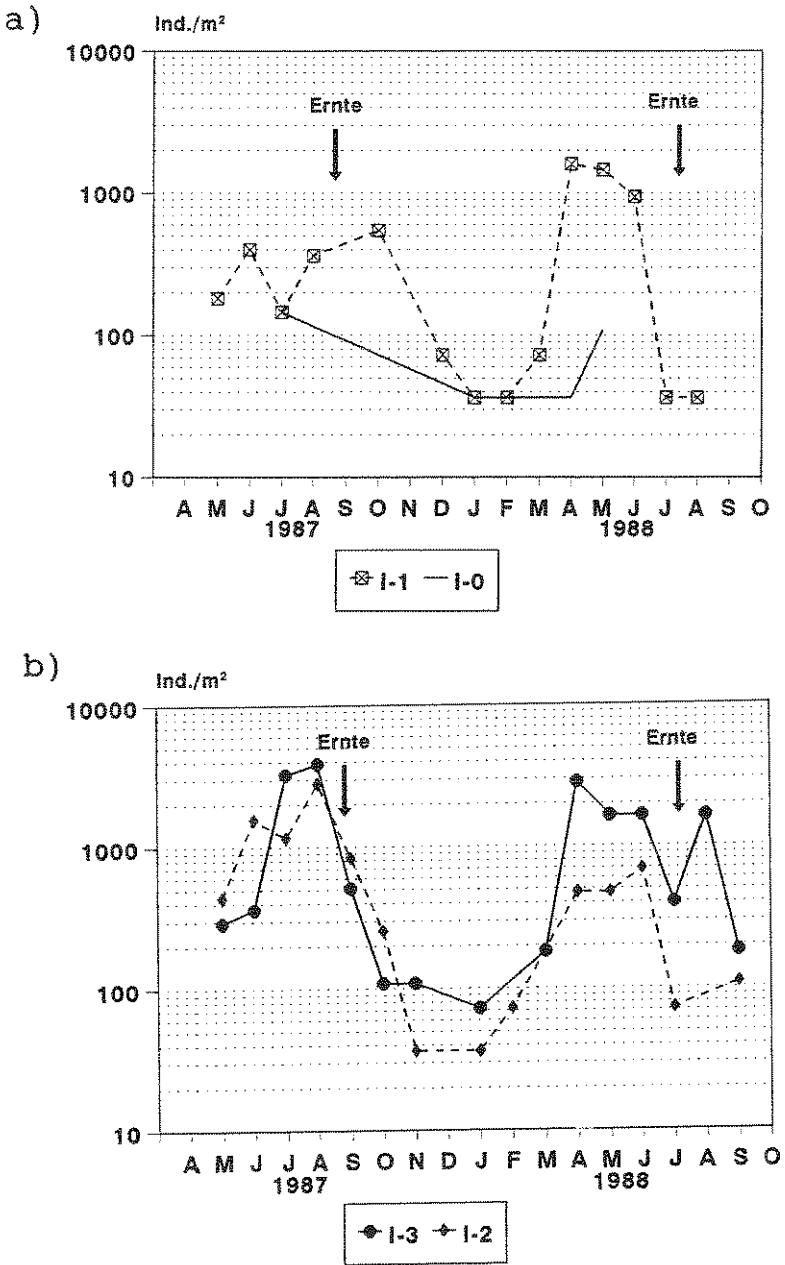


Abb. 14: Jahreslauf der Abundanzdynamik von *Dendrolaelaps foveolatus* in den Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - a)  $I_0$  und  $I_1$ , b)  $I_2$  und  $I_3$

## 4 Diskussion

### 4.1 Einfluß der Kulturen

Die meisten der 49 Taxa, die in den drei Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe während des Untersuchungszeitraumes gefunden wurden, gehören den drei Unterordnungen der Gamasida, Actinedida und Acaridida an. Ebenso wie an anderen Ackerstandorten in Mitteleuropa und in anderen Kulturen waren die Oribatida nur mit wenigen Taxa vertreten (BARING 1956; VOGEL 1979; HÖLLER 1962; PRASSE 1978). BARING (1956) ermittelte vor allem *Oppia*-Arten und *Tectocepheus velatus* und PRASSE (1978) fand *T. velatus* mit 7-16 % Faunenanteil. Am Standort Ahlum wurden 25 % (Zuckerrübenkultur) und 3-6 % (Getreidekulturen) ermittelt (Tab. 1).

Auch für andere Milbentaxa (*Rhodacarellus silesiacus*, *Alliphis siculus*, *Bakerdania*-Arten, Scutacaridae) ergaben sich in Getreidekulturen an vergleichbaren Standorten in Mitteleuropa ähnliche Zusammensetzungen für die Milbenzönosen (HEISLER 1989; PRASSE 1978). Demnach kann die Versuchsfläche "Ahlum" als Ganzes, wie auch die angebauten Kulturen im einzelnen, sowohl im Spektrum der Milbentaxa als auch in der Dominanzstruktur der Milbenzönose als durchschnittlich bezeichnet werden.

Die ungleichmäßige Dispersion der Milben mit zunehmender Tiefe infolge abnehmenden Porenvolumens und nach den Saatzeilen infolge einer ungleichmäßigen Durchwurzelung des Bodens sind typische Verteilungscharakteristika der Bodenmesofauna (Abb. 1). Die stärker durchwurzelte Rhizosphäre bietet den Milben (und auch den Collembolen) zu allen Jahreszeiten einen bevorzugten Lebensraum (MÜLLER 1959). Das erklärt auch die etwa doppelt so hohe Abundanz der Milben in den Saatzeilen, und zwar primär der Mikrophytophagen und in Folge auch der Zoophagen und Detritophagen.

Insgesamt war der Milbenbesatz zwischen den drei Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe nicht wesentlich verschieden (Abb. 2). Unterschiede, wie die schnelle Zunahme der Abundanz im Winterweizen von Juni bis August (auf das sechs-

fache) im Gegensatz zur Zuckerrübe (auf das dreifache) im gleichen Zeitraum hingen vermutlich entscheidend mit der unterschiedlichen Entwicklung im Wurzelbereich zusammen. Während sich das Wintergetreide in dieser Zeit in der letzten Wachstums- und Reifephase befand und einen beinahe geschlossenen Bestand bildete, stellten die Zuckerrüben noch einen lichten Bestand in Bodennähe dar, dessen Wurzelbereich noch relativ gering ausgebildet war. Somit schienen Unterschiede in der Individuendichte der Milben zwischen den verschiedenen Kulturen primär vom Entwicklungsstand der Rhizosphäre abzuhängen.

Sehr deutlich wird dies, wenn man die starke Zunahme der Individuendichte/m<sup>2</sup> von durchschnittlich 10000-20000 auf zum Teil über 100000 Ind./m<sup>2</sup> beim Wechsel von der Kultur Wintergerste zur Zwischenfrucht Gelbsenf betrachtet (Abb. 4 und Abb. 9 bis Abb. 12). Der dichte und gleichmäßige Wurzelbesatz in Verbindung mit gleichmäßigeren mikroklimatischen Bedingungen infolge gleichmäßiger Bodenbedeckung dieser als Gründüngung angebauten Zwischenfrucht führte offenbar zu idealen Lebensbedingungen (z. B. durch eine starke Zunahme des Nahrungsangebotes für mikrophytophage und in Folge für zoophage Milben).

#### 4.2 Verteilung nach der Bodentiefe

Ähnlich wie Collembolen (DUNGER 1974; USHER 1969 u. a.) sind auch die Milben in ihrer Verteilung im Boden als nicht grabende Bodentiere auf das vorhandene Porenvolumen des Bodens angewiesen (DHILLON & GIBSON 1962). Da dieses mit zunehmender Bodentiefe abnimmt, ist der Anteil der Collembolen und Milben in den obersten Zentimetern des Bodens am größten. Dies bestätigte sich auch in der vorliegenden Untersuchung, bei der 75-85 % aller Bodenmilben in den obersten 5 cm des Bodens vorkamen (Abb. 1a).

Offenbar war zusätzlich ein Einfluß der verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten auf die Tiefenverteilung wirksam (Abb. 5). Die Schwankungen der Tiefenverteilung im zeitlichen Verlauf änderten sich im Vergleich zur Intensität I<sub>0</sub> in I<sub>3</sub> von Monat zu Monat so stark, daß kein zeitlich charakteristischer

Verlauf mehr erkennbar war. Worauf diese Unterschiede zwischen den Intensitäten zurückzuführen waren, kann nicht erklärt werden. Weitere Untersuchungen wären notwendig, um aus der Vielzahl der möglichen verursachenden Faktoren die entscheidenden herauszufinden.

#### 4.3 Einfluß der Bewirtschaftungsintensitäten

Untersuchungen zur Auswirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten auf Bestandteile der Bodenfauna wurden Ende der 70er Jahre in Süddeutschland vorgenommen (KÖNIG & PAWLIZKI 1981). Dabei wurden von den Arachnoidea nur die Spinnen und auch diese auch nur summarisch erfaßt. Untersuchungen zum Einfluß verschiedener Wirtschaftsweisen auf die Zönosen der Bodenmilben erfolgten bisher nur bei biologisch-dynamischem und konventionellem Anbau (REGH-MELCHER 1990). Somit existieren bisher keine direkt vergleichbaren Untersuchungen, die einen Vergleich zu den hier vorliegenden Resultaten der Bodenmilben-Zönosen in den verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten erlauben.

Bei den Bewirtschaftungsintensitäten handelt es sich um unterschiedliche Anbausysteme, die sich im Dünge- und Pflanzenschutzmittel-Einsatz, aber auch in Aussaatstärke, Sortenwahl u.a. unterscheiden. Deshalb ist eine Kausalanalyse, die Erklärungen für die Veränderungen in den Milben-Zönosen liefern könnte, nicht möglich. Es müssen die multifaktoriellen Auswirkungen des jeweiligen Anbausystems (Bewirtschaftungsintensität) als Ganzes auf die Milbenzönosen betrachtet werden.

Die Zahl der Taxa wie auch das Spektrum der Taxa (Tab. 2) zeigten keine Unterschiede zwischen den vier verschiedenen Intensitäten.

Die Darstellung der mittleren Abundanzen im Vergleich der vier Intensitäten (Abb. 6 bis 8) ließ verschiedene "Kategorien" des Einflusses der Bewirtschaftung erkennen:

- Taxa, die keinen oder nur einen sehr geringen Einfluß der Bewirtschaftung erkennen ließen. In der einen oder anderen Intensität war die mittlere Abundanz geringfügig erniedrigt,

zeigte aber keinen Zusammenhang zur Intensivierung der Bewirtschaftung. Hierher gehörten *Alliphis siculus*, *Arctoseius cetratus* und die Tydeidae.

- Taxa mit einem deutlichen Einfluß zunehmender Bewirtschaftung. Die mittlere Abundanz zeigte über mehrere Intensitäten Unterschiede: In  $I_0$  eine deutlich höhere Abundanz gegenüber  $I_1$  bis  $I_3$  (*Histiostoma strenzkei* und *Tarsonemus* sp.) oder einen kontinuierlichen Anstieg von  $I_1$  bis  $I_3$  (*Bakerdania blumentritti*).
- Taxa mit einem starken und eindeutigen Einfluß der Bewirtschaftung. Die mittlere Abundanz nahm ab einer bestimmten Intensität plötzlich stark ab (*Tyrophagus infestans*) oder verringerte sich "stufenweise" mit steigender Intensität (*Tectocepheus velatus*) oder nahm über alle vier Intensitäten kontinuierlich ab oder zu (*Siteroptes graminum*, *Dendrolaelaps foveolatus*).

Diese vollkommen verschiedenen "Reaktionsweisen" der mittleren Abundanzen bei verschiedenen Taxa machen deutlich, wie problematisch bzw. ohne Aussage ein Vergleich der gesamten Milben über die vier Intensitäten ist (vgl. Abb. 3). Für eine zutreffende Bewertung des Einflusses der Bewirtschaftung auf Milben ist also stets eine Analyse auf dem niedrigst möglichen taxonomischen Niveau nötig.

Ob die Einflüsse der Bewirtschaftung direkt ausgelöst wurden, also z. B. über unterschiedliche Pflanzenschutzmittel und ihre verschieden intensiven Applikationen, oder ob die Einwirkungen auf die Zönosen indirekt erfolgten, z. B. über eine Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch Herbizide, war nicht zu unterscheiden.

Welche Auswirkungen die Reduktionen der Populationen einzelner Milbentaxa mit steigender Bewirtschaftung auf die gesamte Milbenzönose des Bodens und letztendlich auf die Vernetzung der gesamten organismischen Komponenten landwirtschaftlich genutzter Böden haben, kann heutzutage noch nicht beurteilt werden. Anzunehmen ist, daß diese Reduktionen zu nachhaltigen Veränderungen zumindest in der Zönose der Bodenmilben führen, was aus ökosystemarer Sicht nachteilig zu bewerten ist.



#### 4.4 Abundanzdynamik einzelner Taxa

Bei der Abundanzdynamik über den Untersuchungszeitraum (April 1987-September 1988) konnten verschiedene Verlaufsmuster unterschieden werden (Abb. 9 bis 14):

- Taxa, die keinen charakteristischen Verlauf der Abundanzdynamik in Abhängigkeit von der Jahreszeit zeigten. Dies war z. B. bei den Tydeidae der Fall (Abb. 9).
- Taxa, die einen ausgeprägten Jahreslauf der Abundanzdynamik erkennen ließen. Dies war bei *Alliphis siculus*, *Histiostoma strenzkei*, *Tarsonemus sp.*, *Tectocephus velatus* und *Dendrolaelaps foveolatus* der Fall (Abb. 10 bis 14). Bei diesen Taxa konnte außerdem - je nach ihrer höchsten Individuendichte - zwischen winter- und sommeraktiven Taxa unterschieden werden.

Die Ernte und die anschließende Bodenbearbeitung stellten eine starke Störung des Ökosystems dar, die sich auf viele Bodentiere (u.a. durch ein starkes Absinken der Individuendichte) auswirkt (PALISSA 1964). Dies war bei einer ganzen Reihe von Milbentaxa festzustellen: Tydeidae, *Arctoseius cetratus*, *Sitiroptes graminum*, *Bakerdania blumentritti*, *Tyrophagus infestans*, *Alliphis siculus* und *Tarsonemus sp.*

Unterschiede im Verlauf der Abundanzdynamik zwischen den verschiedenen Intensitäten wurden nur in wenigen Fällen festgestellt. Auch bei den beiden Arten *Tectocephus velatus* und *Dendrolaelaps foveolatus* waren die Verläufe über den Untersuchungszeitraum in den vier Intensitäten ähnlich (Abb. 13 u. 14). Sie unterschieden sich lediglich im Niveau der jeweiligen Individuendichten zu den einzelnen Probenahmeterminen. Im Vergleich der Intensitäten ergaben sich bei der Abundanzdynamik die gleichen Tendenzen, die für beide Arten bereits beim Vergleich der mittleren Abundanzen (Abb. 8b u. 8d) ermittelt wurden.

Diese Übereinstimmung ist ein weiteres Indiz für die Auswirkungen der Bewirtschaftung bzw. des Anbausystems auf die Popu-

lationen und ihre Dynamik, zumindest für diese beiden Milbenarten. Ursachen können auch in diesem Fall nicht angegeben werden. Hierfür hätten die Untersuchungen anders angelegt sein müssen.

#### 4.5 Die Bodenmilben-Zönosen

Berechnungen zu den Arten- und Dominanzidentitäten (SORENSEN 1948) und ihre Darstellung als Dendrogramme (MOUNTFORD 1962) über den gesamten Untersuchungszeitraum (April 1987-September 1988) ermöglichten einen Gesamtüberblick über die Beziehungen der Bodenmilben-Zönosen in den vier Intensitäten (Abb. 15).

Dabei wurde zwischen den Intensitäten ein höherer Grad an Übereinstimmung bei den Spektren der Taxa (87-92 %) als bei den Dominanzverhältnissen (73-80 %) ermittelt.

Ogleich die bisherigen Ergebnisse bei den Spektren der Taxa und bei den Dominanzverhältnissen (Tab. 2) nur in einzelnen Fällen Unterschiede zwischen den Intensitäten erkennen ließen, traten bei der Berechnung der Identitäten und ihrer Darstellung in Form von Dendrogrammen für die Milben-Zönosen doch unterschiedliche Beziehungen zwischen den Intensitäten auf.

Bei der Artenidentität (Abb. 15a) waren Zusammenhänge mit einem höheren Identitätsgrad zwischen  $I_0$  und  $I_1$  als zu  $I_2$  und  $I_3$  festzustellen. Der Identitätsgrad von  $I_2$  und  $I_3$  war auch untereinander geringer.

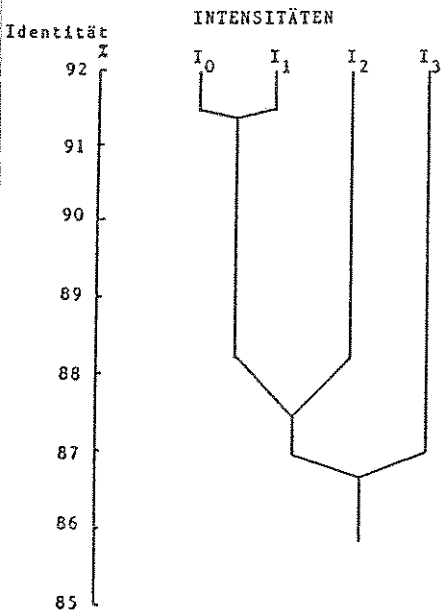
Bei der Dominanzidentität (Abb. 15b) waren die Identitätsgrade von  $I_0$  und  $I_1$  sowie von  $I_2$  und  $I_3$  gleich hoch. Doch wird auch hier die deutliche Trennung zwischen  $I_0$  und  $I_1$  einerseits und  $I_2$  und  $I_3$  andererseits deutlich.

Offenbar wurde mit zunehmender Intensivierung der Bewirtschaftung beim Übergang von  $I_1$  nach  $I_2$  eine kritische Stufe der Veränderung erreicht, bei der es zu stärkeren Unterschieden innerhalb der Bodenmilben-Zönosen und ihrer Populationen kam. Ob es sich um direkte oder indirekte Auswirkungen der Intensivierung handelte, muß dahingestellt bleiben.

Zukünftig erscheint es jedoch notwendig, nach orientierenden Voruntersuchungen eine Analyse über die Auswirkungen einzelner

Faktoren vorzunehmen, um klären zu können, welche dieser Faktoren bei der Intensivierung der Bewirtschaftung für die negativen Auswirkungen auf die Milbenpopulationen überwiegend verantwortlich sind. Erst dann ist eine gezielte Entscheidung möglich, welche Beeinträchtigungen bei den Milben und ihren Populationen im Speziellen und bei der Bodenfauna im Allgemeinen in der landwirtschaftlichen Praxis in Kauf genommen werden sollen oder welche nicht.

a)



b)

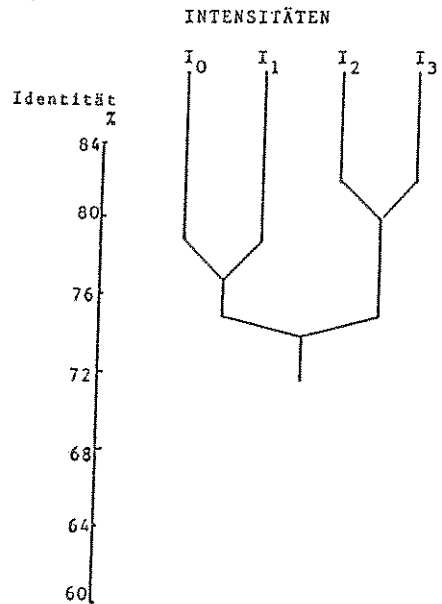


Abb. 15: Beziehungen der Bodenmilben-Zönosen untereinander in den vier Intensitäten (Schlag II, April 1987-September 1988) - Dendrogramme der a) Artenidentitäten und b) Dominanzidentitäten

## Vergleichende Untersuchungen von Milbenpopulationen in Ackerböden bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität

### Zusammenfassung

Die Bodenmilben-Zönose des Ackers und ihre Beeinflussung durch verschiedene Kulturen und Produktionsintensitäten bzw. Anbausysteme wurden untersucht.

Dazu wurden in 100 m<sup>2</sup> großen Parzellen in je vier Intensitäten von drei Kulturen (Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrübe) vierwöchentlich Bodenproben genommen. Pro Intensität wurden sieben Proben zu je zwei Einstichen mit einem Durchmesser von 5 cm genommen. Die Proben waren in der Horizontalen nach "in der Saatreihe" und "zwischen der Saatreihe" getrennt gesammelt worden und wurden in der Vertikalen nach den beiden Horizonten 0-5 und 5-10 cm unterteilt.

Von den insgesamt gefundenen 49 Taxa (Arten bis Familien) aus 23 Milbenfamilien fanden sich in der Zuckerrübenkultur deutlich weniger als in den beiden Getreidekulturen. Die Dominanzverhältnisse zeigten, daß vier Taxa (*Alliphis siculus*, *Bakerdania blumentritti*, *Tectocephus velatus*, Tydeidae) eudominant und ebenfalls vier Taxa (*Arctoseius cetratus*, *Bakerdania sellnicki*, *Histiostoma strenzkei* und *Tarsonemus* sp.) dominant waren. Alle übrigen 37 Taxa waren subdominant, rezedent oder subrezedent.

Die Verteilung nach der Bodentiefe zeigte, daß sich 75-85 % aller Milben in der obersten Bodenschicht aufhielten. Die Verteilung der Individuendichte nach der Horizontalen war in den Saatreihen etwa doppelt so hoch wie zwischen den Saatreihen.

Während die mittlere Individuendichte/m<sup>2</sup> 10000-20000 betrug, stieg sie mit dem Wechsel der Kultur von Wintergerste zur Zwischenfrucht auf durchschnittlich 100000 Ind./m<sup>2</sup> an.

Der Einfluß der Bewirtschaftung war sehr verschieden:

- Auf die Gesamtzahl der in den einzelnen Intensitäten gefundenen Taxa wirkte sie sich nicht aus.
- Auf die meisten eudominanten und dominanten Taxa war kein oder nur ein geringer Einfluß feststellbar.

- Auf einige subdominante oder in noch geringer Häufigkeit auftretende Taxa war eine starke Auswirkung zu beobachten: *Tyrophagus infestans*, *Tectocepheus velatus*, *Siteroptes graminum* und *Dendrolaelaps foveolatus*. Bei diesen Arten waren deutliche Zusammenhänge zwischen den mittleren Abundanz und der Intensivierung der Bewirtschaftung festzustellen. Durch welche Ursachen die Abundanzänderungen im einzelnen verursacht wurden, konnte nicht geklärt werden.

Bei der Abundanzdynamik fanden sich Taxa,

- die keinen ausgeprägten Jahresverlauf aufwiesen (z. B. Tydeidae),
- die einen ausgeprägten Jahresverlauf mit einer hohen Individuendichte im Winterhalbjahr hatten (z. B. *Alliphis siculus*, *Histiostoma strenzkei*),
- die einen ausgeprägten Jahresverlauf mit einer hohen Individuendichte im Sommerhalbjahr hatten (z. B. *Tarsonemus sp.*, *Tectocepheus velatus*, *Dendrolaelaps foveolatus*).

Die Ernte und die anschließende Bodenbearbeitung stellten für eine ganze Reihe von Taxa (*Tydeidae*, *Arctoseius cetratus*, *Siteroptes graminum*, *Bakerdania blumentritti*, *Tyrophagus infestans*, *Alliphis siculus*, *Tarsonemus sp.*) einen starken Eingriff dar, der zu einem deutlichen Absinken der Individuendichte führte.

Der Einfluß der Bewirtschaftungsintensitäten auf den Verlauf der Abundanzdynamik war nur bei *Tectocepheus velatus* und *Dendrolaelaps foveolatus* deutlich. Bei beiden Arten waren die jeweiligen Niveaus der Individuendichten zu den einzelnen Probenahmeterminen in den verschiedenen Intensitäten unterschiedlich hoch.

Die Berechnungen der Arten- und Dominanzidentitäten zeigten einen engeren Zusammenhang jeweils der beiden niedrigeren Intensitäten untereinander und der beiden höheren untereinander. Offenbar wurde mit zunehmender Intensivierung der Bewirtschaftung beim Übergang von  $I_1$  nach  $I_2$  eine kritische Stufe der Veränderung erreicht, bei der es zu stärkeren Unterschieden innerhalb der Bodenmilben-Zönosen und ihrer Populationen kam.

Comparative investigations of soil-mite populations in agricultural soils with different intensities of cultivation

Summary

The coenoses of mites in agricultural soils and their influence by different crops and intensities of cultivation were investigated.

Soil samples were taken in 100 m<sup>2</sup> large areas in each of four intensities in all of the three crops (winter-wheat, winter-barley, sugar beet) in intervalls of four weeks. In each of the intensities seven samples were taken two sample parts. Each sample was in a diameter of 5 cm. The samples were taken in the horizontal line separated into the parts "in the seed-row" and "between the seed-row". And in the vertical line they were divided into two horizons of 0-5 and 5-10 cm.

The 49 taxa (species to families) of 23 families found in the field the ones in the sugar beet were clearly less than in both of the cereals. Four taxa (*Alliphis siculus*, *Bakerdania blumentritti*, *Tectocephus velatus*, Tydeidae) were very dominant and also four taxa (*Arctoseius cetratus*, *Bakerdania sellnicki*, *Histiostoma strenzkei*, *Tarsonemus sp.*) were dominant. All the other 37 taxa were less than dominant.

The distribution into the depth of the soil showed 75-85 % of all mites living in the upper soil layer. Divided into horizontal lines there were found twice the density of individuals in the seed-rows than between the seed-rows. The density of individuals/m<sup>2</sup> was 10000-20000 in average and changing the crops from winter-barley to catch crop they increased to 100000 individuals/m<sup>2</sup> in average.

The influence of cultivation was very different:

- No effect was found on the number of taxa in the different intensities.
- No or only little influence was found in most of the very dominant or dominant taxa.
- To a few of the subdominant or less than subdominant taxa a strong influence was observed: *Tyrophagus infestans*. *Tecto-*

*cepheus velatus*, *Siteroptes graminum* and *Dendrolaelaps foveolatus*. These species showed a significant correlation between abundances and increasing intensities of cultivation. No reason was found for this correlation.

In the dynamic of abundance taxa were found

- who showed no evident course of year (e. g. Tydeidae),
- who showed a significant course of year with high density of individuals in the winter-season (e.g. *Alliphis siculus*, *Histiostoma strenzkei*),
- who showed a significant course of the year with high density of individuals in the sommer-season (e.g. *Tarsonemus sp.*, *Tectocepheus velatus*, *Dendrolaelaps foveolatus*).

Harvest and the following tillage had a significant effect on a number of taxa (*Tydeidae*, *Arctoseius cetratus*, *Siteroptes graminum*, *Bakerdania blumentritti*, *Tyrophagus infestans*, *Alliphis siculus*, *Tarsonemus sp.*). The result was a decrease of the number of individuals.

The effect of the intensities of cultivation to the course of abundance dynamic was only significant at *Tectocepheus velatus* and *Dendrolaelaps foveolatus*.

The calculation of the identities of species and of dominance showed a closer correlation between the lower two intensities and the higher ones. Apparently the increasing intensification of cultivation reached a critical changing from  $I_1$  to  $I_2$ , in which significant variations happened within the coenoses of soil mites and their populations.

## 5 Literatur

- BALOGH, J. (1972): The Oribatid Genera of the World. - Akademiai Kiado, Budapest: 188 S.
- BARING, H. H. (1956): Die Milbenfauna eines Ackerbodens und ihre Beeinflussung durch Pflanzenschutzmittel. Teil I. - Z. angew. Ent., 39: 410-444.
- BARING, H. H. (1958): Die Milbenfauna eines Ackerbodens und ihre Beeinflussung durch Pflanzenschutzmittel. Teil II. - Z. angew. Ent., 41: 17-51.

- BAUDISSION, F., Graf von (1952): Die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen und Milben in verschiedenen Böden. - Zool. Jb (Syst.), 81: 47-90.
- DHILLON, B. S., GIBSON, N. H. E. (1962): A study of the Acarina and Collembola of Agricultural Soils. I. Numbers and distribution in undisturbed grassland. - Pedobiologia, 1: 189-209.
- DUNGER, W. (1974): Tiere im Boden. - Die Neue Brehm-Bücherei, Ziemsen Verlag, Wittenberg: 265 S.
- EDWARD, C. A., STAFFORD, C. J. (1979): Interactions between herbicides and the soil fauna. - Ann. Appl. Biol., 91: 132-137.
- EVANS, G. O., TILL, W. M. (1979): Mesostigmatic mites of Britain and Ireland (Chelicerata: Acari-Parasitiformes). An introduction to their morphology and classification. - Trans. zool. Soc. Lond., 35: 139-270.
- FAIN, A. (1976): Notes on the species of the Genus Schwiebea described by Oudemans (Acarina, Astigmata). - Zool. Mededel., 50: 121-131.
- HEISLER, C. (1989): Erfassung der Collembolen- und Milbenfauna einer Ackerfläche. - Zool. Anz., 223: 239-248.
- HÖLLER, G. (1962): Die Bodenmilben des rheinischen Lößlehms in ihrer Abhängigkeit von Düngung und anderen Standortfaktoren. - In: KLAPP, E., WURMACH, H.: Die Beeinflussung der Bodenfauna durch Düngung. - Z. angew. Ent. (Beiheft), 18: 44-79.
- KAMPMANN, T. (1991): The density of Tarsonemida in cropped arable soil in relation to fertilizer and crop-protection treatments. - In: SCHUSTER, R., MURPHY, P. W.: The Acari - Reproduction, development and life history strategies. - Chapman and Hall, London: 485-489.
- KAMPMANN, T. (im Druck): Einfluß von landwirtschaftlichen Produktionsintensitäten auf die Milbenfauna im Ackerboden. - Verh. Ges. Ökol., Freising, 1990.
- KAMPMANN, T., KÖLLNER, V. (1989): Die Gamasina (Acari) im Boden eines Getreidefeldes mit verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten. - Mitt. Dtsch. Ges. All. Angew. Ent., 7: 96 bis 102.
- KARG, W. (1961a): Über die Wirkung von Hexachlorcyclohexan auf die Bodenbiozönose unter besonderer Berücksichtigung der Acarina. - Nachr. Bl. Dt. Pflanzenschutzd. (Berlin), 15: 23-33.



- KARG, W. (1965): Bisherige Erkenntnisse über die Wirkung von Pflanzen schutzmitteln im Boden. - Nachr. Bl. Dt. Pflanzenschutzd. (Berlin), 19: 97-105.
- KARG, W. (1967a): Synökologische Untersuchungen von Bodenmilben aus forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzten Böden. - Pedobiologia, 7: 198-214.
- KARG, W. (1967b): Beeinflussung der Bodenbiozönose im Forst und auf landwirtschaftlich genutzten Flächen für den Flugzeug einsatz. - Nachr. Bl. Dt. Pflanzenschutzd. (Berlin), 21: 169-175.
- KARG, W. (1971): Die freilebenden Gamasina (Gamasides), Raubmilben. - In der Reihe: DAHL, F., DAHL, M., PEUS, F.: Die Tierwelt Deutschlands. 59. Teil, Fischer Verlag, Jena: 475 S.
- KARG, W. (1989): Uropodina KRAMER, Schildkrötenmilben. - In der Reihe: DAHL, F., SENGLAUB, K., HANNEMANN, H.-J., SCHUMANN, H.: Die Tierwelt Deutschlands. 67. Teil, Fischer Verlag, Jena: 203 S.
- KÖNIG, K., PAWLITZKI, K.-H. (1981): Untersuchungen über Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten auf Bestandteile der Bodenfauna. - Bayer. Ldw. Jb., 8: 285 bis 290.
- KRANTZ, G. W. (1978): A manual of Acarology. - Oregon State University Book Stores, Corvallis, Oregon (2. Aufl.): 509 S.
- KRCZAL, H. (1959): Systematik und Ökologie der Pyemotiden. - In: STAMMER, H.-J.: Beiträge zur Systematik und Ökologie mitteleuropäischer Acarina. - Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, Bd. I: 385-625.
- MACFADYEN, A. (1961): Improved funnel-type extractors for soil arthropods. - J. anim. Ecol., 30: 171-184.
- MAHUNKA, S. (1965): Identification key for the species of the family Scutacaridae (Acari: Tarsonemini). - Acta Zool. Hung., 11: 353-401.
- MAHUNKA, S. (1969): Beiträge zur Tarsonemini-Fauna Ungarns, VI. (Acari, Trombidiformes). - Opusc. Zool. Budapest, IX, 2: 363-372.
- MAHUNKA, S. (1972): Tetüatkak - Tarsonemina. - Fauna Hung., 18 (16): 215 S.
- MORITZ, M. (1976): Revision der europäischen Gattungen und Arten der Familie Brachychthoniidae (Acari, Oribatei). - Mitt. Zool. Mus. Berlin, 52: 27-136.

- MOUNTFORD, M. D. (1962): An index of similarity and its application of classificatory problems. - In: MURPHY, P. W.: Progress in Soil Zoology: 43-50.
- MÜLLER, G. (1959): Untersuchungen über das Nahrungswahlvermögen einiger im Ackerboden häufig vorkommenden Collembolen und Milben. - Zool. Jb. (Syst.), 87: 231-256.
- PALISSA, A. (1964): Bodenzöologie. - Berlin: 180 S.
- PRASSE, J. (1978): Die Struktur von Mikroarthropodenzönosen in Agro-Ökosystemen und ihre Beeinflussung durch Herbizide. - Pedobiologia, 18: 381-383.
- REGH-MELCHER, B. (1990): Ökologische Untersuchungen der Milbenfauna von verschieden bewirtschafteten Böden am Niederrhein. - Dissertation, Bonn.
- SCHAARSCHMIDT, L. (1959): Systematik und Ökologie der Tarsoneiden. - In: STAMMER, H.-J.: Beiträge zur Systematik und Ökologie mitteleuropäischer Acarina. - Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, Bd. I: 713-823.
- SCHAUERMANN, J. (1982): Verbesserte Extraktion der terrestrischen Bodenfauna im Vielfachgerät modifiziert nach KEMPSON und MACFADYEN. Kurzmitt. aus dem SFB 135. - Ökosysteme auf Kalkgestein, 1: 47-50.
- SCHEUCHER, R. (1959): Systematik und Ökologie der deutschen Anoetinen. - In: STAMMER, H.-J.: Beiträge zur Systematik und Ökologie mitteleuropäischer Acarina. - Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, Bd. I: 233-384.
- SCHWEIZER, J., BADER, C. (1963): Die Landmilben der Schweiz. Trobidiformes. - Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bd. 84, Abh. 2: 378 S.
- SELLNICK, M. (1960): Formenkreis: Hornmilben, Oribatei (Nachtrag). - Tierw. Mitteleur., 3 (Ergänzung): 45-134.
- SORENSEN, T. (1948): A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. - Biol. Skr. (K. danske vidensk. Selsk. N.S.), 5: 1-34.
- TÜRK, E., TÜRK, F. (1959): Systematik und Ökologie der Tyroglyphiden Mitteleuropas. - In: STAMMER, H.-J.: Beiträge zur Systematik und Ökologie mitteleuropäischer Acarina. - Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig: Bd. I: 3-231.
- USHER, M. B. (1970): Seasonal and vertical distribution of a population of soil arthropods: Collembola. - Pedobiologia, 10: 224-236.

VOGEL, W. (1979): Die Kleintierzusammensetzung anthropogen beeinflusster Wirtschaftsböden. - Naturwiss. Fakultät, Universität Braunschweig, als Manuskript gedruckt: 65 S.

WILLMANN, C. (1931): Moosmilben oder Oribatiden (Oribatei). - In: DAHL, F., DAHL, M., BISCHOFF, H.: Die Tierwelt Deutschlands, 22. Teil: Spinnentiere oder Arachnoidea, V.: Acarina (Allgemeine Einführung) - Oribatei (Cryptostigmata): 79-200.

THOR, S., WILLMANN, C. (1947): Acarina 3. Eupodidae, Penthaleodidae, Penthaleidae, Rhagidiidae, Pachygnathidae, Cunaxidae, Trombidiidae. - Das Tierreich, 71. Lief.: 541 S.

WOAS, S. (1986): Beitrag zur Revision der Opplioidea sensu BALOGH, 1972 (Acari, Oribatei). - Andrias, 5:21-224.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau, Messeweg 11/12,  
D-38104 Braunschweig.

XI *UNTERSUCHUNGEN ÜBER AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER  
BEWIRTSCHAFTUNGSINTENSITÄT AUF DIE NEMATODENZÖNOSE  
EINES ACKERBODENS*

Beatrix Leliveldt, Dieter Sturhan

1 Einleitung

Nematoden sind nach den Protozoen die häufigsten Bodentiere. Die hohe Individuendichte in nahezu allen Böden und Biotopen, breites Artenspektrum, Auftreten in verschiedenen Bodenhorizonten, Standorttreue, Vorkommen aktiver Stadien zu allen Jahreszeiten und insbesondere die sehr unterschiedliche Ernährungs- und Lebensweise machen die Nematoden zu einer für ökotoxikologische Untersuchungen interessanten Tiergruppe. Unter den tierischen Pflanzenschädlingen spielen sie nach den Insekten die wichtigste Rolle. Neben diesen "schädlichen" Nematoden sind z.B. entomopathogene Arten als "Nützlinge" von wirtschaftlicher Bedeutung, ebenfalls räuberische Nematoden im Boden als Feinde pflanzenschädigender Fadenwürmer, und auch mycophage Nematoden sind als "nützlich" erkannt worden, da sie die Gefährdung von Kulturpflanzen durch Bodenpilze mindern können. Zumeist gelten die mycophagen und insbesondere die bacteriophagen Nematoden als "indifferent". Über die Rolle vieler Nematoden im Ökosystem, ihre Biologie und Ökologie ist jedoch noch wenig bekannt. Als potentielle Bioindikatoren finden Bodennematoden und auch aquatische Nematoden in jüngster Zeit zunehmend Beachtung (BONGERS 1990, BONGERS & VAN DE HAAR 1990).

Der Einfluß der jeweils angebauten Kultur und die Auswirkungen einer Fruchtfolge sind insbesondere für pflanzenparasitäre Nematoden untersucht worden. Dabei ließen sich für Arten mit hoher Wirtsspezialisierung wesentlich stärkere Effekte nachweisen als bei polyphagen Nematoden. Untersucht wurde auch der Einfluß der Bodenbearbeitung auf Bodennematoden (OVERHOFF 1990). Zahlreiche Untersuchungen belegen, daß eine Zufuhr organischen Ma-

terials in der Regel eine Förderung bacteriophager und mycophager Nematoden zur Folge hat, gelegentlich eine Minderung der Populationen von Phytoneematoden. Für Mineraldünger und Schwermetalle konnte gezeigt werden, daß die Auswirkungen auf einzelne Nematodentaxa und verschiedene Ernährungsgruppen unterschiedlich sein können (STURHAN et al. 1986; WEISS & LARINK, 1991). Für viele Pflanzenschutzmittel wurden Nebenwirkungen auf pflanzenparasitäre Nematoden und andere bodenbewohnende Nematoden nachgewiesen (WEISCHER & MÜLLER 1985; WILMS 1992). Über Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nematoden als Nichtzielorganismen im Boden ist dagegen nur wenig bekannt, insbesondere über Einflüsse auf die gesamte Nematodenzönose und über langfristige Effekte.

Ziel des Teilprojektes "Nematoden" im Rahmen des Verbundvorhabens war die Untersuchung langfristiger Auswirkungen von unterschiedlichem Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz auf die Nematodenfauna eines Ackerbodens. Dabei sollten nicht nur die phytoparasitären Nematoden im Vordergrund stehen, sondern auch die für die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit "nützlichen" Nematoden verstärkt Beachtung finden sowie auch die übrigen ökologischen bzw. trophischen Gruppen im Boden vorkommender Nematoden.

## 2 Material und Methoden

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Die nematologischen Untersuchungen wurden auf allen drei Schlägen mit den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe durchgeführt. Dabei wurden jeweils die vier Intensitätsstufen mit unterschiedlichem Produktionsmitteleinsatz berücksichtigt:  $I_0$  - ohne Pflanzenschutzmittel, minimaler Düngemitelesatz,  $I_1$  - extensive Pflanzenproduktion mit suboptimalem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln,  $I_2$  - integrierte Pflanzenpro-

duktion bei Minimierung des Produktionsmitteleinsatzes, I<sub>3</sub> - intensive Pflanzenproduktion unter Nutzung aller zugelassenen und erforderlichen Mittel zur Erzielung eines maximalen Naturalertrages.

Bodenproben wurden in den Versuchsjahren 1987 und 1988 von April bis Dezember in zweimonatigen Abständen entnommen. Im Jahr 1989 mußte aufgrund der lange anhaltenden Trockenheit im Sommer die Probenentnahme im Juni entfallen, und die letzte Probenahme erfolgte im Oktober. Insgesamt wurden an 13 Terminen Bodenproben entnommen.

Die Bodenproben wurden auf allen drei Schlägen in den vier Intensitätsstufen mit einem Erdbohrer von 1,6 cm Durchmesser und 30 cm Länge gezogen. Pro Intensität wurden auf vier Parzellen (Wiederholungen) je fünf Einstiche vorgenommen. Die Bodenproben wurden nach den beiden Tiefenstufen 0-15 cm und 15-30 cm unterteilt. Für jeden Probenahmetermin ergaben sich somit 96 Mischproben, für den gesamten Untersuchungszeitraum 1248 Mischproben. Im November 1987 wurden außerdem an vier Stellen des Versuchsfeldes Bodenproben aus verschiedenen Bodenhorizonten bis zu einer Tiefe von 150 cm entnommen. Bis zur weiteren Bearbeitung, die zumeist innerhalb von sieben Tagen nach Probenahme erfolgte, wurden die Bodenproben im Kühlraum bei 4 °C gelagert.

Aus 250 g Erde jeder Mischprobe wurden die Nematoden mittels MgSO<sub>4</sub>-Zentrifugations-Methode extrahiert (modifiziert nach MÜLLER 1980) und anschließend mit TAF (Triäthanolamin-Aqua dest.-Formaldehyd) fixiert. Die mikroskopische Analyse der Proben erfolgte unter Verwendung eines umgekehrten Durchlichtmikroskopes bei in der Regel 125facher Vergrößerung. Dabei wurden jeweils ein Zehntel der Nematodensuspension jeder Probe untersucht und die Befunde für die Gesamtprobe umgerechnet.

Bei der verwendeten mikroskopischen Vergrößerung wurden vor allem Gattungen differenziert, in einigen Fällen auch Arten. Arten wurden nicht gesondert erfaßt, wenn eine Zuordnung der - meist häufig vertretenen - Jugendstadien nicht möglich war. Es erfolgte dann nur eine quantitative Erfassung höherer Taxa (Arten- und eventuell auch Gattungsgruppen). Artbestimmungen wur-

den in der Regel bei höchstmöglichen lichtmikroskopischen Vergrößerungen mit einem Interferenz-Kontrast-Mikroskop (Vergr. 1250x) vorgenommen. Diese zeitaufwendigen Untersuchungen waren insgesamt nur stichprobenweise durchführbar.

Die nachgewiesenen Nematodenarten und -gattungen wurden den folgenden Ernährungsgruppen zugeordnet:

- Phytoparasiten: als Endoparasiten in oder als Ektoparasiten an höheren Pflanzen lebende Nematoden,
- Mycophagen: pilzfressende und an Mycelien saugende Nematoden,
- Phycophagen: algenfressende Nematoden,
- Bacteriophagen: bakterienfressende Nematoden,
- Pantophagen: Nematoden mit geringer Nahrungsspezialisierung, in Jugendstadien oft bacteriophag oder phycophag, als Adulte häufig zoophag,
- Zoophagen: räuberisch lebende Nematoden,
- Zooparasiten: Bodentiere, insbesondere Insekten parasitierende Nematoden.

Die Zuordnung zu einer der trophischen Gruppen ist bei etlichen Taxa unsicher, da die Ernährungsweise nicht bekannt ist (u.a. bei vielen Tylenchidae und Dorylaimida), die Nahrungsaufnahme z.B. sowohl an Pilzhyphen als auch an Wurzeln höherer Pflanzen erfolgen kann (Vertreter der Tylenchidae und Anguinidae) oder die Arten innerhalb einer Gattung eine unterschiedliche Ernährungsweise haben können (z.B. *Ditylenchus*, *Aphelenchoides*).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Nematodentaxa und Ernährungsgruppen

Auf den Untersuchungsflächen des Versuchsfeldes wurden insgesamt 83 Nematodenarten nachgewiesen, die 29 Familien und 9 Ordnungen zugeordnet werden (Tab. 1). Mit 26 Arten waren die Tylenchida am stärksten vertreten, gefolgt von den Rhabditida mit 17 und den Dorylaimida mit 16 Arten; die übrigen Ordnungen

kamen in vergleichsweise geringer Artenzahl vor.

Bei der Auswertung der Proben bei relativ niedrigen mikroskopischen Vergrößerungen ließen sich nur 61 Taxa quantitativ erfassen (vgl. Tab. 1 mit den differenzierten Taxa und den jeweils zugeordneten - durch Einrücken gekennzeichneten - Arten). Die im folgenden dargestellten Befunde beziehen sich auf diese differenzierten und gesondert erfaßten Taxa, die Arten, Gattungen oder auch Gattungsgruppen repräsentieren.

Die Zuordnung der differenzierten Nematodentaxa und nachgewiesenen Arten zu den unterschiedenen Ernährungsgruppen ist in Tabelle 2 zusammengefaßt worden. Danach waren die bacteriophagen Nematoden in besonders hoher Artenzahl vertreten, ebenso die Mycophagen und die sog. Pantophagen, über deren Ernährungsweise allerdings zumeist wenig bekannt ist. Unter den 18 Arten der Phytoparasiten fanden sich vor allem ektoparasitär lebende Wurzelsauger (*Tylenchorhynchus*, *Geocenamus*, *Helicotylenchus*, *Cricconemella*, *Paratylenchus*, *Longidorus* und *Trichodorus*), wandernde, endoparasitäre Wurzelnematoden (*Pratylenchus*) und sedentäre Wurzelnematoden (*Heterodera*). Räuberische Nematoden waren vergleichsweise schwach vertreten und als algenfressend geltende Nematoden in äußerst geringer Artenzahl. Unter den zooparasitären Nematoden ist das Vorkommen der beiden entomopathogenen Arten *Steinernema affinis* und *S. feltiae* als bemerkenswert hervorzuheben.

Im Durchschnitt (n = 1248) wurden je Bodenprobe 35.0 Nematodentaxa differenziert, davon 11.6 Bacteriophagen, 7.4 Phytoparasiten, 6.9 Mycophagen, 5.4 Pantophagen, 2.0 Zooparasiten, 1.1 Zoophagen und 0.6 Phycophagen.

Unter den trophischen Gruppen waren die Mycophagen allgemein mit den höchsten Individuendichten vertreten, gefolgt von den Bacteriophagen und den Phytoparasiten mit ebenfalls hohen Abundanz. Die Pantophagen, die Zooparasiten und vor allem die Zoophagen und Phycophagen stellten zumeist nur einen geringen Anteil an der Gesamtzahl aller Nematoden. Die Dominanzverhältnisse - für alle drei Schläge und sämtliche Intensitätsstufen zusammengefaßt - waren bei der letzten Probenahme im Oktober



1989 (vgl. dazu Tab. 3): Mycophagen 39.7 %, Phytoparasiten 28.9 %, Bacteriophagen 27.1 %, Zooparasiten 2.8 %, Pantophagen 1.3 %, Zoophagen 0.1 %, Phycophagen 0.03 %.

Tab. 1: Auf dem Versuchsfeld Ahlum nachgewiesene Nematodenarten und bei den Untersuchungen erfaßte Taxa

	Erfafte Taxa/ Artenzahl	Trophische Gruppe
<b><u>TYLENCHIDA</u></b>		
Tylenchus elegans DE MAN, 1876	x / 1	Mycophagen
Tylenchus s.l.	x / 4	Mycophagen
Filenchus sp.	-	
Psilenchus sp.	-	
Neopsilenchus sp.	-	
Basiria sp.	-	
Coslenchus multigyryrus SIDDIQI, 1981	x / 1	Mycophagen
Boleodorus volutus LINA & SIDDIQI, 1963	x / 1	Mycophagen
Deladenus sp.	x / 1	Zoopara.
Ditylenchus spp.	x / 2	Mycophagen
Tylenchorhynchus dubius (BÜTSCHLI, 1873)	x / 1	Phytopara.
Geocenamus brevidens (ALLEN, 1955)	x / 1	Phytopara.
Geocenamus spp.	x / 2	Phytopara.
G. microdorus (GERAERT, 1966)	-	
G. nanus (ALLEN, 1955)	-	
Pratylenchus spp.	x / 2	Phytopara.
P. neglectus (RENSCH, 1924)	-	
P. flakkensis SEINHORST, 1968	-	
Helicotylenchus spp.	x / 2	Phytopara.
H. digonicus PERRY, 1959	-	
H. pseudorobustus (STEINER, 1914)	-	
Heterodera schachtii SCHMIDT, 1871	x / 1	Phytopara.
Heterodera avenae WOLLENWEBER, 1924	x / 1	Phytopara.
Heterodera sp. 1	x / 1	Phytopara.
Criconemella spp.	x / 2	Phytopara.
C. informis (MICOLETZKY, 1922)	-	
C. sp. 1	-	
Paratylenchus goodeyi (OOSTENBRINK, 1953)	x / 1	Phytopara.
Paratylenchus spp.	x / 2	Phytopara.
P. bukowinensis MICOLETZKY, 1922	-	
P. tateae WU & TOWNSEND, 1973	-	
<b><u>APHELENCHIDA</u></b>		
Aphelenchus s.l.	x / 2	Mycophagen
A. avenae BASTIAN, 1865	-	
Paraphelenchus tritici BARANOVSKAYA, 1958	-	
Aphelenchus sp.1	x / 1	Mycophagen
Aphelenchoides sp. 1	x / 1	Mycophagen
Aphelenchoides sp. 2	x / 1	Mycophagen
Seinura demani (GOODEY, 1928)	x / 1	Zoophagen
<b><u>DIPLOGASTERIDA</u></b>		
Diplogaster s.l.	x / 2	Zoophagen
Allodiplogaster sp.	-	
Pristionchus Cheritieri (MAUPAS, 1919)	-	

	Erfaßte Taxa/ Artenzahl	Trophische Gruppe
<b><u>RHABDITIDA</u></b>		
Rhabditis sp.	x / 1	Bakterio.
Mesorhabditis sp.	x / 1	Bakterio.
Pelodera strongyloides (SCHNEIDER, 1860)	x / 1	Zooparas.
Steinernema spp.	x / 2	Zoopara.
S. affinis	-	
S. feltiae	-	
Diploscapter coronatus (COBB, 1893)	x / 1	Bakterio.
Cephalobus persegnis BASTIAN, 1865	x / 1	Bakterio.
Eucephalobus spp.	x / 3	Bakterio.
E. mucronatus (KOZLOWSKA & ROGUSKA WASILEWSKA, 1963)	-	
E. oxyuroides (DE MAN, 1876)	-	
E. striatus (BASTIAN, 1865)	-	
Acrobeles ciliatus LINSTON, 1877	x / 1	Bakterio.
Acrobeloides spp.	x / 2	Bakterio.
A. buetschlii (DE MAN, 1884)	-	
A. tricornis (THORNE, 1925)	-	
Cervidellus spp.	x / 2	Bakterio.
C. serratus (THORNE, 1925)	-	
C. sp.1	-	
Drilocephalobus sp.	x / 1	Bakterio.
Panagrolaimus detritophagus FUCHS, 1930	x / 1	Bakterio.
<b><u>MONHYSTERIDA</u></b>		
Eumonhystera spp.	x / 2	Phycophagen
E. simplex (DE MAN, 1880)	-	
E. sp.1	-	
<b><u>ARAEOLAIMIDA</u></b>		
Cylindrolaimus communis DE MAN, 1880	x / 1	Bakterio.
Anaplectus granulosis (BASTIAN, 1865)	x / 1	Bakterio.
Plectus spp.	x / 2	Bakterio.
P. parietinus BASTIAN, 1865	-	
P. parvus BASTIAN, 1865	-	
Wilsonema s.l.	x / 2	Bakterio.
W. otophorum (DE MAN, 1880)	-	
Tylocephalus auriculatus (BÜTSCHLI, 1873)	-	
Aulolaimus spp.	x / 2	Bakterio.
<b><u>ENOPLIDA</u></b>		
Alaimus spp.	x / 2	Bakterio.
A. primitivus DE MAN, 1880	-	
A. simplex COBB, 1914	-	
Amphidelus spp.	x / 2	Bakterio.
<b><u>MONONCHIDA</u></b>		
Mononchus s.l.	x / 2	Zoophagen
Clarkus papillatus (BASTIAN, 1865)	-	
Mylonchulus brachyuris (BÜTSCHLI, 1873)	-	

	Erfasste Taxa/ Artenzahl	Trophische Gruppe
<b>DORYLAIMIDA</b>		
Paravulvulus sp.	x / 1	Pantophagen
Mesodorylaimus bastiani (BÜTSCHLI, 1873)	x / 1	Pantophagen
Ecumenicus monohystera (DE MAN, 1880)	x / 1	Pantophagen
Pungentus engadinensis (ALTHERR, 1950)	x / 1	Mycophagen
Thonus circularifer (LOOF, 1961)	x / 1	Pantophagen
Eudorylaimus sp.	x / 1	Pantophagen
Microdorylaimus sp.	x / 1	Pantophagen
Aporcelaimellus obtusicaudatus (BASTIAN, 1865)	x / 1	Pantophagen
Aporcelaimellus sp. 1	x / 1	Pantophagen
Aporcelaimellus sp. 2	x / 1	Pantophagen
Longidorus leptcephalus HOOPER, 1961	x / 1	Phytopara.
Discolaimium dubium DAS, KHAN & LOOF, 1969	x / 1	Pantophagen
Discolaimus major THORNE, 1939	x / 1	Zoophagen
Leptonchus s.l.	x / 1	Mycophagen
Diphtherophora communis DE MAN, 1880	x / 1	Pantophagen
Trichodorus primitivus (DE MAN, 1880)	x / 1	Phytopara.

Tab. 2: Systematische Stellung der auf dem Versuchsfeld Ahlum differenzierten 61 Nematodentaxa mit Anzahl nachgewiesener Arten (in Klammern) und ihre Zuordnung zu Ernährungsgruppen

Ordnung	Trophische Gruppe						
	Phyto- paras.	Mycophagen	Bacterio- phagen	Phycophagen	Pantophagen	Zoophagen	Zoophagen- paras.
Tylenchida	12 (16)	5 (9)	-	-	-	-	1 (1)
Aphelenchida	-	4 (5)	-	-	-	1 (1)	-
Diplogasterida	-	-	-	-	-	1 (2)	-
Rhabditida	-	-	10 (14)	-	-	-	2 (3)
Monhysterida	-	-	-	1 (2)	-	-	-
Araeolaimida	-	-	5 (8)	-	-	-	-
Enoplida	-	-	2 (4)	-	-	-	-
Mononchida	-	-	-	-	-	1 (2)	-
Dorylaimida	2 (2)	2 (2)	-	-	11 (11)	1 (1)	-
insgesamt	14 (18)	11 (16)	17 (26)	1 (2)	11 (11)	4 (6)	3 (4)

### 3.2 Horizontal- und Vertikalverteilung

Pflanzenparasitäre und andere Bodennematoden kommen selbst auf z.B. Flächen mit einheitlicher pflanzenbaulicher Nutzung zu- meist nicht gleichmäßig verbreitet vor; kleinräumige Unter-

schiede im Vorkommen und herdförmiges Auftreten einzelner Taxa sind die Regel. Von den auf dem Versuchsfeld differenzierten 61 Taxa konnten etliche nur auf bestimmten Parzellen nachgewiesen werden; und in den jeweils entnommenen Bodenproben waren insbesondere die in geringer Populationsdichte vorkommenden Arten nicht immer nachweisbar. Die Dichte der Taxa je Schlag, Intensitätsstufe und Parzelle war weitgehend einheitlich (vgl. dazu Tab. 6).

Beträchtliche Unterschiede in der Abundanz waren für viele Taxa nachweisbar, vor allem zwischen den drei Schlägen, teilweise auch zwischen verschiedenen Versuchsgliedern und Parzellen desselben Versuchsgliedes; durch Entnahme von Mischproben konnten kleinräumige Abundanzunterschiede teilweise ausgeglichen werden.

Die Auswertung der in 0-15 cm und 15-30 cm Bodentiefe gesondert entnommenen Proben ergab, daß die Nematodendichte in beiden Tiefenstufen im Mittel annähernd gleich war, doch waren zu einzelnen Terminen oder unter bestimmten Kulturen auch beträchtliche Unterschiede erkennbar. Auch bei der Anzahl der Taxa waren die Abweichungen zwischen beiden Bodentiefen in der Regel gering (Tab. 6). Für die Auswertung der Untersuchungen wurden daher zumeist die Befunde für beide Tiefenstufen zusammengefaßt (0-30 cm Tiefe, 500 g Boden).

Die Untersuchung über die Vertikalverteilung bis 150 cm Bodentiefe ergab, daß sich im Mittel ( $n = 4$ ) 83 (71-89) % aller Nematoden in der Bodenschicht bis 30 cm Tiefe fanden und die Abundanzen in 120-150 cm Bodentiefe auf unter 0.01 % sanken. Die Abnahme der Anzahl der Taxa war dagegen wesentlich geringer: von im Mittel 28 in 0-30 cm, je 20 in 30-60 cm und 60-90 cm Tiefe auf 14 in 120-150 cm Bodentiefe.

### 3.3 Einfluß der Bewirtschaftungsintensität auf die Individuendichte

#### 3.3.1 Nematoden insgesamt

Die mittlere Individuendichte sämtlicher Nematoden zeigte während des Untersuchungszeitraumes auf Schlag II - und ähnlich auch bei den Schlägen I und III - innerhalb der vier Intensitätsstufen große Unterschiede (Abb. 1). Die Individuendichte pro  $m^2$  schwankte zwischen 10 und 27 Mio. bei  $I_0$ , 5 und 30 Mio. bei  $I_1$ , 7 und 40 Mio. bei  $I_2$  und 7 und 30 Mio. bei  $I_3$ . Die geringsten Abundanzwerte wurden allgemein für die Frühjahrstermine ermittelt.

In dem intensiv bewirtschafteten Winterweizen und bei der Zuckerrübe deutete sich eine Abnahme der Individuendichte in den Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$  im Vergleich zu  $I_0$  an. In der Wintergerste zeigten sich keine auffälligen Unterschiede zwischen den vier Intensitätsstufen. In der Zwischenfrucht (Gelbsenf) war in allen Flächen die höchste Individuendichte zu verzeichnen (Abb. 1).

Zwischen den Bewirtschaftungsintensitäten waren insgesamt keine einheitlichen Tendenzen einer Zu- bzw. Abnahme der Individuendichte zu erkennen. Die mittlere jährliche Individuendichte auf den drei Schlägen erreichte jedoch in  $I_0$  immer einen höheren Wert als in  $I_1$ ,  $I_2$  und teilweise auch in  $I_3$ , wenn Winterweizen oder Zuckerrübe angebaut wurde (Abb. 2).

Eine Zusammenfassung der Befunde für alle drei untersuchten Schläge zu Abschluß der Untersuchungen im Oktober 1989 läßt zwischen den Intensitätsstufen  $I_0$  bis  $I_3$  keine ausgeprägten Unterschiede in der Individuendichte der Nematoden insgesamt erkennen (Tab. 3).

#### 3.3.2 Trophische Gruppen

Die Abundanzdynamik der verschiedenen Ernährungsgruppen auf Schlag II im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraumes ist

in Abbildung 7 zusammenfassend dargestellt worden. Die in nur geringen Individuendichten vorkommenden Pantophagen und Zoophagen blieben dabei unberücksichtigt. Eine Übersicht über die mittleren Abundanzen bei dem letzten Untersuchungstermin, zusammengefaßt für alle drei Schläge mit unterschiedlichen Kulturen, doch nach Intensitätsstufe getrennt, gibt Tabelle 3.

Tab. 3: Mittlere Individuendichte/500 g Boden im Oktober 1989 auf den Schlägen I<sub>1</sub> bis I<sub>3</sub> (je Intensitätsstufe n = 12)

	Intensitätsstufe			
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Nematoden insges.	21440	21636	23742	22859
Phytoparasiten	6904	6561	6477	6018
Mycophagen	9280	8214	9562	8556
Phycophagen	6	11	5	6
Bacteriophagen	4600	6359	6579	6749
Pantophagen	299	201	296	336
Zoophagen	20	28	23	32
Zooparasiten	331	262	800	1162

Die Dichte der phytoparasitären Nematoden in der Wintergerste und im Gelbsenf stieg zum Teil deutlich mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität an (Abb. 3). Im Winterweizen zeigten sich zwischen I<sub>0</sub>, I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> nur geringe Unterschiede. In der Zuckerrübe traten in I<sub>0</sub> die meisten Phytoparasiten auf. Die Tendenz einer Zunahme pflanzenparasitärer Nematoden mit verringerter Bewirtschaftungsintensität wird besonders deutlich in den zusammengefaßten Ergebnissen in Tabelle 3.

Die Individuendichte der Mycophagen auf Schlag II war mit einer Ausnahme in I<sub>0</sub> immer höher als in den Intensitäten I<sub>1</sub> bis I<sub>3</sub> (Abb. 4). Die geringsten Abundanzen wiesen zumeist die I<sub>3</sub>-Parzellen auf; dies wird besonders bei den Ergebnissen für das Jahr 1988 deutlich. Die für Schlag II ermittelte Tendenz einer Abnahme mycophager Nematoden mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität wird durch die Befunde vom letzten Untersuchungstermin nicht bestätigt (Tab. 3), und ein Vergleich der Resultate für die Schläge I, II und III zeigt, daß höchste Indivi-

duendichten während des gesamten Untersuchungszeitraumes häufig bei  $I_3$  oder  $I_2$  auftraten, die geringsten an den meisten Untersuchungsterminen bei  $I_0$  (Abb. 8).

Für die bacteriophagen Nematoden sind aus den Ergebnissen für Schlag II (Abb. 5) Tendenzen einer Zu- oder Abnahme in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise nicht ablesbar. Die in Tabelle 3 zusammengefaßten Daten deuten auf eine Förderung der Bacteriophagen mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität hin. Die Individuendichte der pantophagen Nematoden erreichte auf Schlag II bei allen Untersuchungsterminen bis auf eine Ausnahme die höchsten Werte bei  $I_0$ ; die niedrigsten Werte fanden sich zumeist bei  $I_3$  (Abb. 6). Die Unterschiede in der Individuendichte zwischen den Intensitätsstufen  $I_1$  bis  $I_3$  waren zumeist gering. Der hohe Abundanzwert für  $I_2$  beim letzten Untersuchungstermin ist durch verstärktes Auftreten einer einzigen Dorylaimiden-Art bedingt. Die für alle drei Schläge zusammengefaßten Befunde für Oktober 1989 (Tab. 3) bestätigen die für Schlag II vorliegenden Ergebnisse nicht.

Das Auftreten der Zooparasiten läßt keinen Zusammenhang zur Bewirtschaftungsintensität erkennen (Abb. 7). Im Winterweizen und in der Wintergerste deutet sich jedoch eine Zunahme der Individuendichte in  $I_0$  gegenüber den anderen Intensitäten an. Die in Tabelle 3 wiedergegebenen Befunde zeigen dagegen höchste Individuendichten bei  $I_3$  und  $I_2$ .

Für die zoophagen und die phycophagen Nematoden sind auch aus den in Tabelle 3 zusammengefaßten Ergebnissen keine Tendenzen einer Beeinflussung durch die Bewirtschaftungsintensität erkennbar.

### 3.3.3 Einzelne Taxa

In den Tabellen 4 und 5 sind die Abundanzwerte für einzelne ausgewählte Taxa phytoparasitärer, mycophager, bacteriophager, pantophager und räuberischer Nematoden wiedergegeben. Dabei wurden für jedes Untersuchungs-jahr die Ergebnisse von allen drei Schlägen für jede Intensitätsstufe zusammengefaßt.

Unter den Phytoparasiten ist aus den Befunden für *Geocenamus*

*brevidens* und *Pratylenchus* spp. keine eindeutige Beziehung zur Bewirtschaftungsintensität erkennbar, bei den - allerdings nur in geringen Populationsdichten vertretenen - *Helicotylenchen* eine Abnahme von  $I_0$  zu  $I_3$ .

Bei den mycophagen Taxa zeigen die Populationsdichten von *Tylenchus elegans* ebenfalls einen Rückgang mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität, während für *Coslenchus multigyrus* eher eine Zunahme deutlich wird. Für die beiden übrigen Taxa sind entsprechende Beziehungen nicht erkennbar.

Tab. 4: Mittlere Individuendichte/250 g Boden bei ausgewählten phytoparasitären und mycophagen Taxa in den Untersuchungsjahren 1987-1989 (1987 und 1988 je Intensitätsstufe n = 120, 1989 n = 72)

		Intensitätsstufe			
		$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
<b>PHYTOPARASITEN</b>					
<i>Geocenamys brevidens</i>	1987	49	47	62	67
	1988	99	112	92	94
	1989	109	126	151	184
<i>Helicotylenchus</i> spp.	1987	50	15	11	4
	1988	52	11	7	5
	1989	36	9	10	9
<i>Pratylenchus</i> spp.	1987	569	450	489	714
	1988	633	432	581	781
	1989	692	564	710	975
<b>MYCOPHAGEN</b>					
<i>Tylenchus elegans</i>	1987	113	99	73	7
	1988	85	94	66	6
	1989	86	73	67	45
<i>Coslenchus multigyrus</i>	1987	1	0	2	1
	1988	11	12	22	34
	1989	11	14	33	23
<i>Aphelenchoides</i> spp.	1987	318	337	258	291
	1988	349	450	387	338
	1989	338	407	422	556
<i>Aphelenchus</i> spp.	1987	50	35	24	22
	1988	47	42	37	27
	1989	82	75	70	83



Für *Rhabditis* sp. unter den Bacteriophagen zeigen die Ergebnisse für alle drei Versuchsjahre einen kontinuierlichen Anstieg der Individuendichte von  $I_0$  zu  $I_3$ , für *Anaplectus/Plectus*, *Cylindrolaimus communis* und *Alaimus/Amphidelus* dagegen einen Rückgang.

Bei dem zu den pantophagen Nematoden gezählten Dorylaimiden *Ecumenicus monohystera* und dem räuberischen *Discolaimus major* nimmt die Populationsdichte von  $I_0$  zu  $I_3$  ebenfalls ab. Bei der ebenfalls räuberischen Dorylaimiden-Art *Aporcelaimellus obtusicaudatus* ist dagegen eine Beziehung zur Bewirtschaftungsintensität nicht zu erkennen.

Tab. 5: Mittlere Individuendichte/250 g Boden bei ausgewählten bacteriophagen, pantophagen und zoophagen Taxa in den Untersuchungsjahren 1987-1989 (1987 und 1988 je Intensitätsstufe  $n = 120$ , 1989  $n = 72$ )

		Intensitätsstufe			
		$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
<b>BACTERIOPHAGEN</b>					
<i>Rhabditis</i> sp.	1987	954	1067	1156	1304
	1988	942	1091	1251	1250
	1989	718	1279	1411	1843
<i>Anaplectus granulosus</i> + <i>Plectus</i> spp.	1987	33	13	10	8
	1988	46	20	11	15
	1989	39	26	16	17
<i>Cylindrolaimus communis</i>	1987	6	4	2	1
	1988	4	4	1	1
	1989	2	0	1	0
<i>Alaimus</i> spp. + <i>Amphidelus</i> spp.	1987	16	15	19	7
	1988	19	16	18	10
	1989	17	15	13	9
<b>PANTOPHAGEN/ZOOPHAGEN</b>					
<i>Ecumenicus monohystera</i>	1987	12.1	8.8	9.2	5.6
	1988	17.8	9.9	11.4	7.8
	1989	22.8	13.1	10.6	13.5
<i>Discolaimus major</i>	1987	0.8	0.2	0.3	0.1
	1988	0.7	0.2	0.3	0.2
	1989	0.7	0.2	0.1	0.1
<i>Aporcelaimellus obtusicaudatus</i>	1987	2.4	3.3	2.5	2.7
	1988	8.9	6.8	7.5	8.8
	1989	12.2	12.4	19.0	12.8

### 3.4 Einfluß der Bewirtschaftungsintensität auf die Artendichte

Die Artendichte bzw. Dichte der differenzierten und gesondert erfaßten Taxa auf Schlag II ist - zusammengefaßt für die beiden getrennt untersuchten Tiefenstufen - aus Abbildung 9 ersichtlich. Unterschiede zwischen den Artendichten in den vier verschiedenen Intensitätsstufen sind im allgemeinen gering. Die niedrigste Anzahl der erfaßten Taxa fand sich häufig in I<sub>3</sub>. Nach den in Tabelle 6 zusammengefaßten Befunden für den ersten und den letzten Untersuchungstermin zeichnen sich im April 1987 auf allen drei Schlägen zumeist die Intensitätsstufen I<sub>3</sub> und I<sub>2</sub> durch die niedrigsten Artendichten aus, im Oktober 1989 dagegen durch zumeist höhere Artendichten. Während des Untersuchungszeitraumes konnte bei keiner Intensitätsstufe weder völliges Verschwinden eines Taxons noch erstmaliges Auftreten nachgewiesen werden.

Tab. 6: Mittlere Anzahl der Taxa/250 g Boden in 0-15 cm und 15-30 cm Bodentiefe bei Beginn und bei Abschluß der Untersuchungen

Intensitätsstufe	I <sub>0</sub>		I <sub>1</sub>		I <sub>2</sub>		I <sub>3</sub>	
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Schlag/Probenahme								
SCHLAG I								
April 1987	35	33	33	31	28	28	27	34
Oktober 1989	35	34	34	32	33	32	38	37
SCHLAG II								
April 1987	32	33	30	30	30	25	28	27
Oktober 1989	37	37	33	33	38	34	33	34
SCHLAG III								
April 1987	41	36	35	36	39	29	28	25
Oktober 1989	38	33	39	34	42	45	42	43

Eine Betrachtung der einzelnen trophischen Gruppen zeigt, daß die für die drei Schläge zusammengefaßten Befunde für den letzten Untersuchungstermin keine Einflüsse der unterschiedlichen

Bearbeitungsintensitäten erkennen lassen (Tab. 7). Die summarische Darstellung der Ergebnisse für alle drei Schläge und die insgesamt 13 Probenahmeterminen während des gesamten Untersuchungszeitraumes zeigt für einzelne Ernährungsgruppen eine schwache Tendenz einer Verringerung der Taxa mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität, z.B. für die Pantophagen und die Bacteriophagen (Tab. 8).

Tab. 7: Mittlere Anzahl der Taxa/250 g Boden auf den Schlägen I-III im Oktober 1989 (je Intensitätsstufe n = 24)

	Intensitätsstufe			
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Nematoden insges.	37.9	36.3	40.0	39.3
Phytoparasiten	8.0	6.3	8.3	8.0
Mycophagen	7.0	6.7	8.0	7.3
Phycophagen	1.0	1.0	0.7	1.0
Bacteriophagen	13.3	13.0	12.3	13.0
Pantophagen	5.3	5.0	6.7	6.0
Zoophagen	1.3	2.3	1.7	2.0
Zooparasiten	2.0	2.0	2.3	2.0

Tab. 8: Mittlere Anzahl der Taxa/250 g Boden auf den Schlägen I-III im Untersuchungszeitraum 1987-1989 (je Intensitätsstufe n = 312)

	Intensitätsstufe			
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Nematoden insges.	35.7	35.1	35.1	34.0
Phytoparasiten	7.3	7.4	7.5	7.3
Mycophagen	7.0	6.7	7.0	6.7
Phycophagen	0.6	0.6	0.6	0.6
Bacteriophagen	12.0	11.8	11.3	11.3
Pantophagen	5.6	5.5	5.4	4.9
Zoophagen	1.2	0.9	1.2	1.1
Zooparasiten	2.0	2.0	2.0	2.0

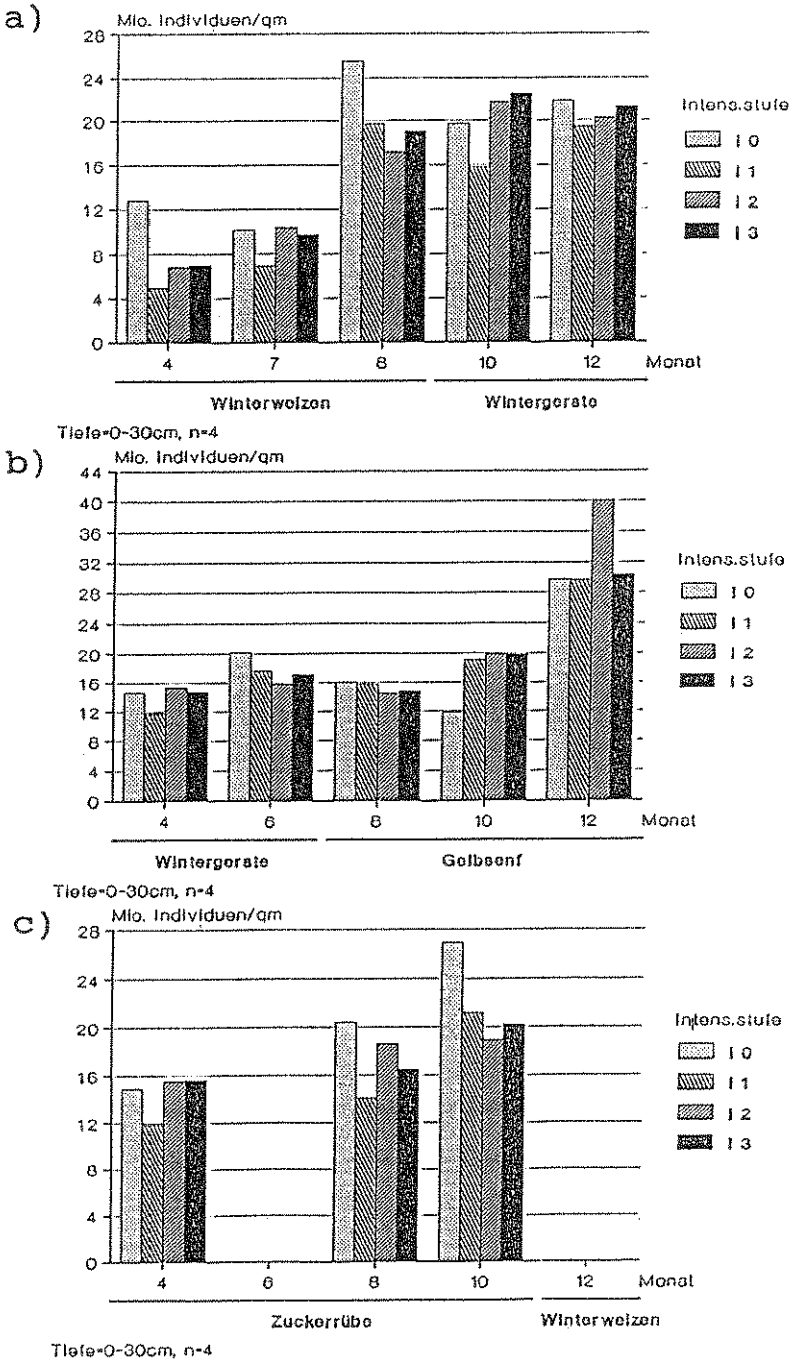


Abb. 1: Mittlere Individuendichten der Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)

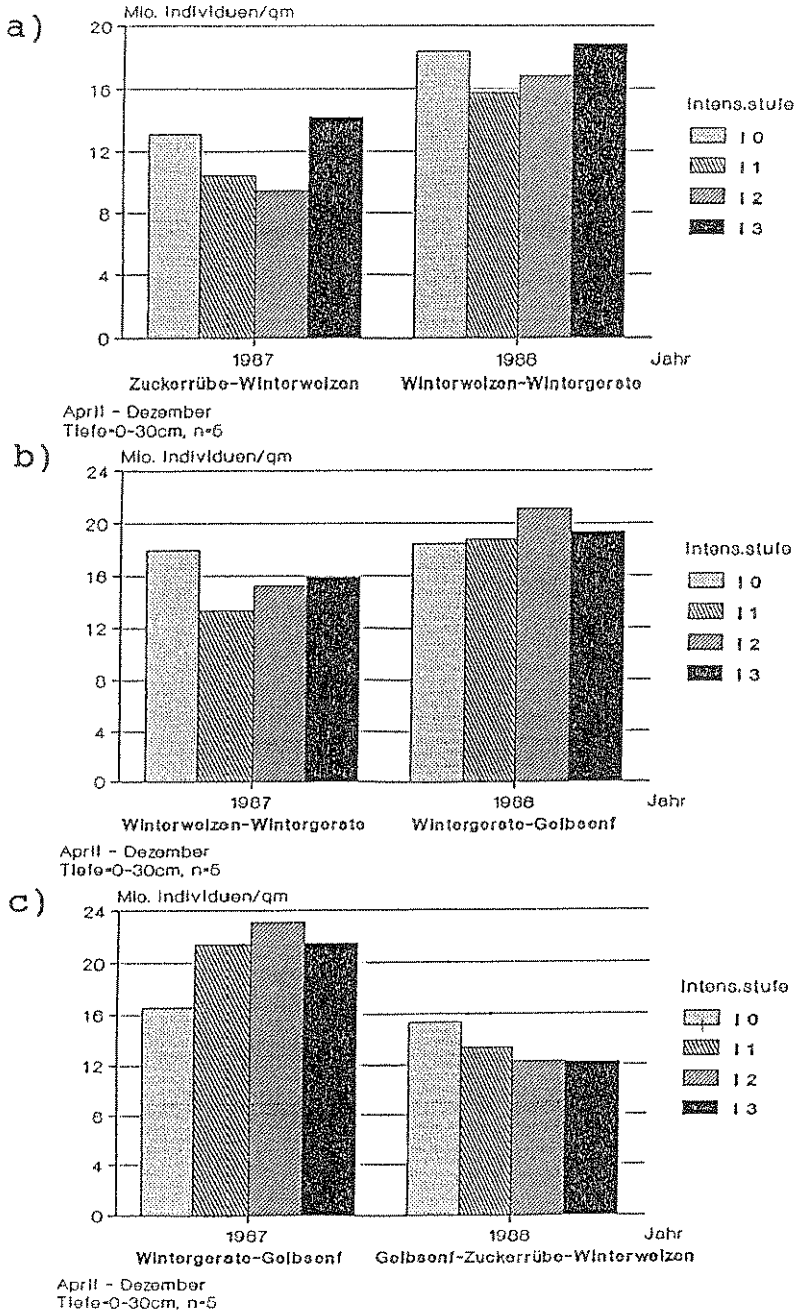


Abb. 2: Individuendichte der Nematoden im Jahresmittel auf Schlag I (a), Schlag II (b), Schlag III (c)

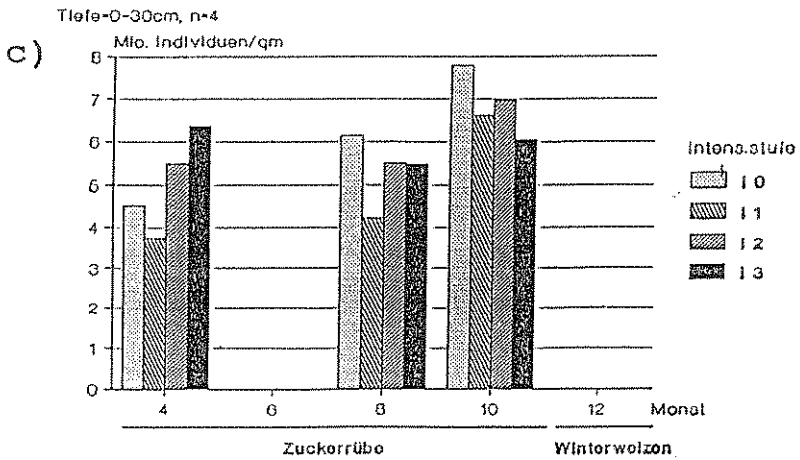
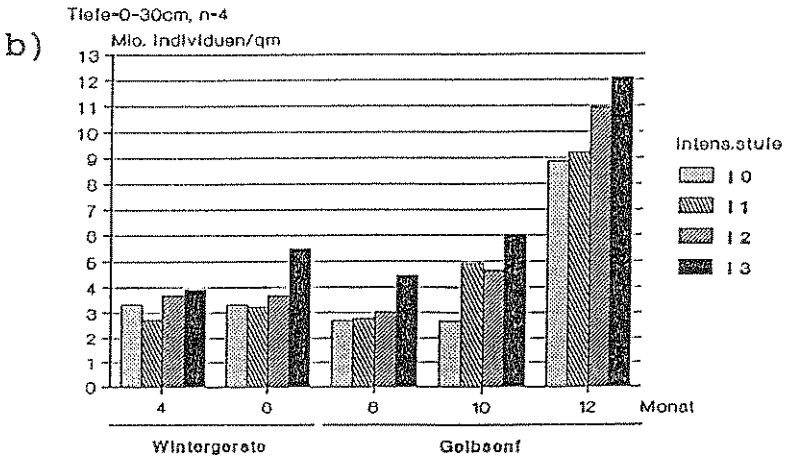
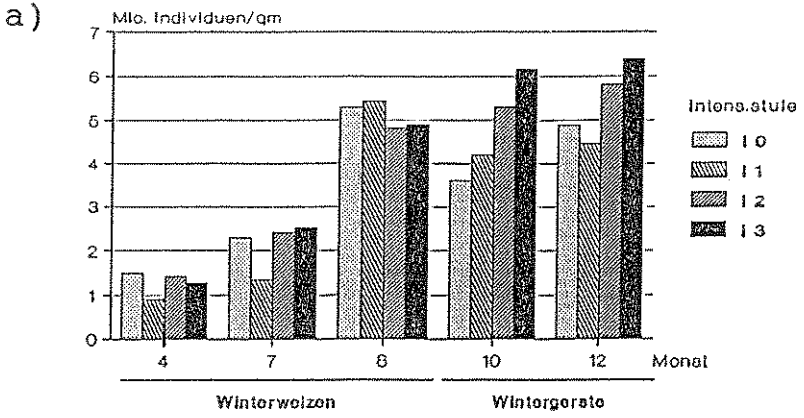


Abb. 3: Mittlere Individuendichte der phytoparasitären Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)

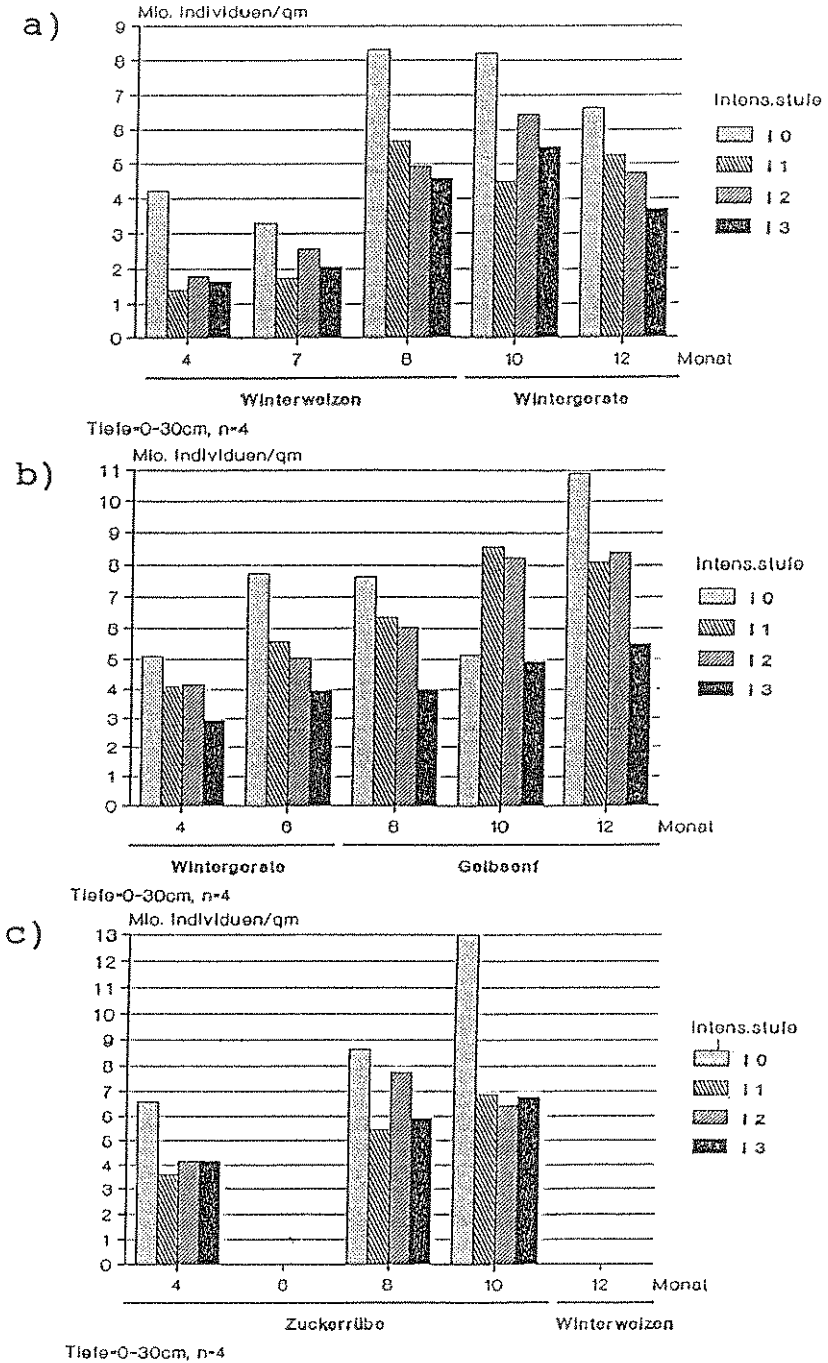


Abb. 4: Mittlere Individuendichte der mycophagen Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)

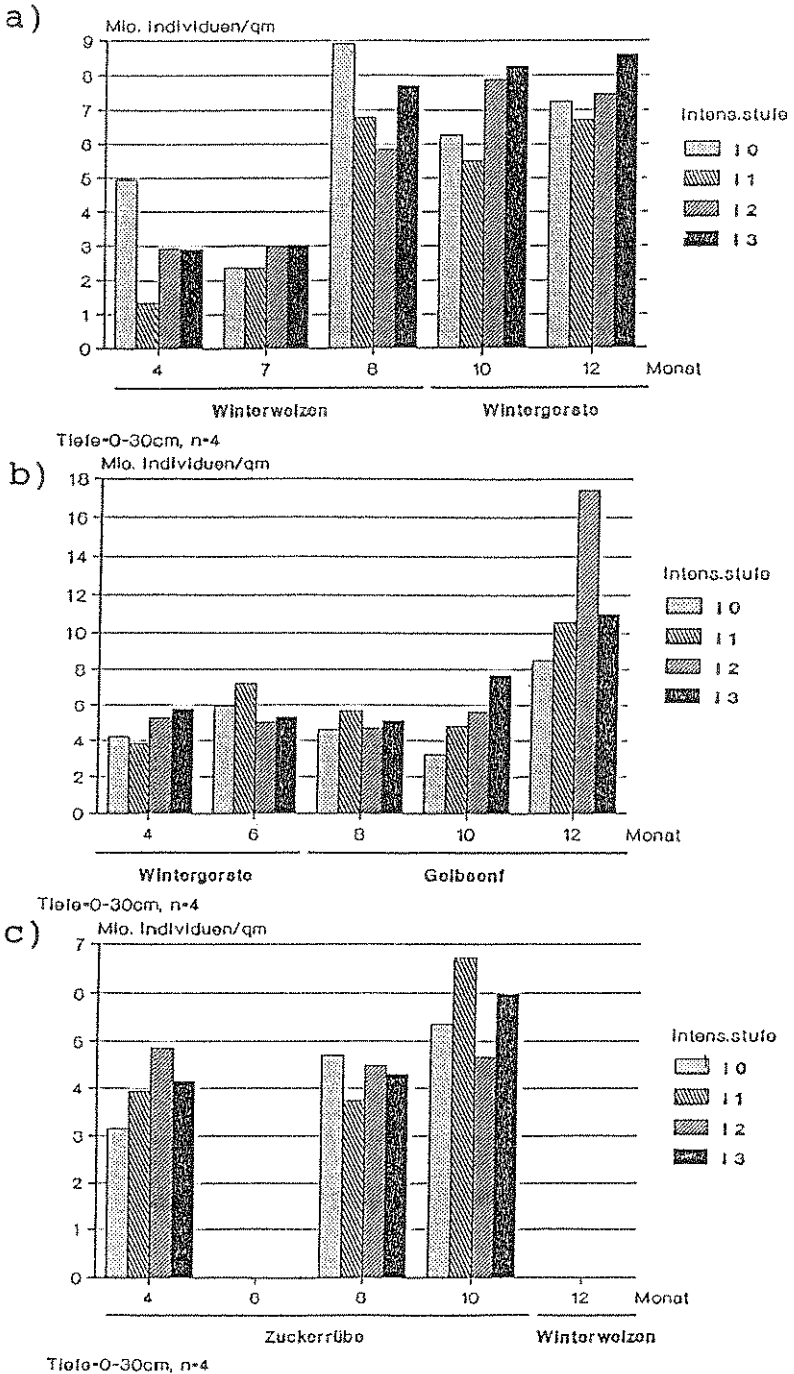
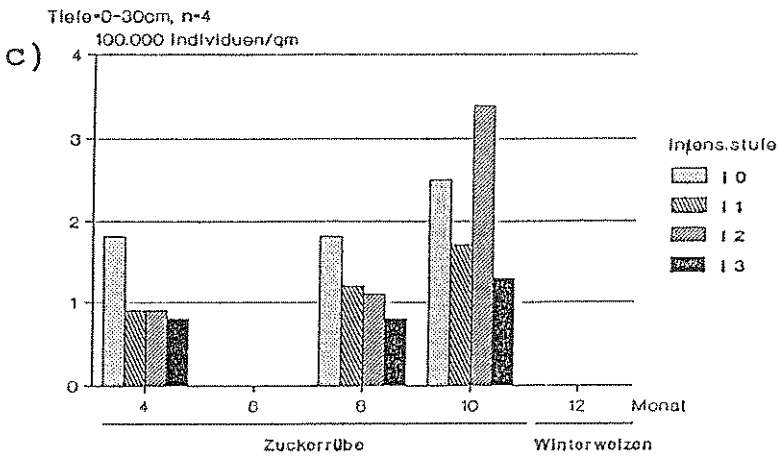
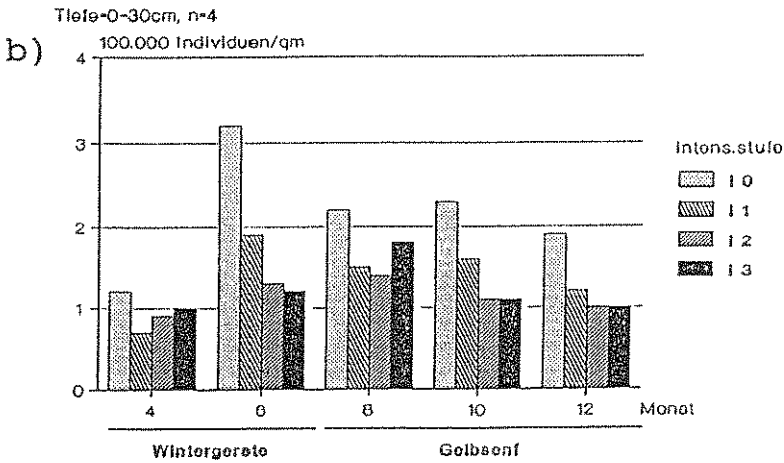
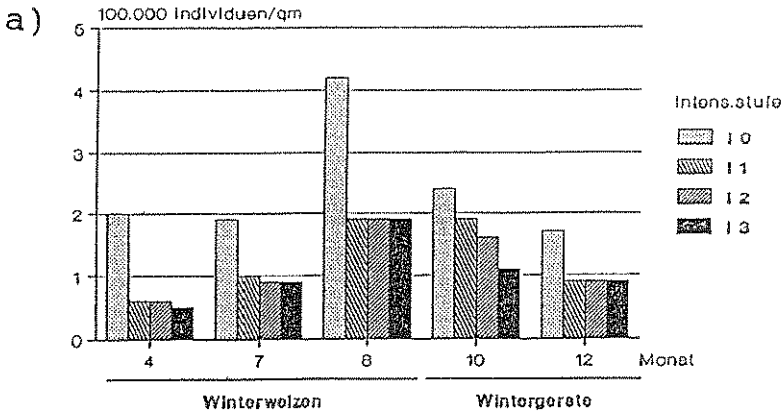


Abb. 5: Mittlere Individuendichte der bacteriophagen Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)





Tiefe 0-30cm, n=4

Abb. 6: Mittlere Individuendichte der pantophagen Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b) 1989 (c)

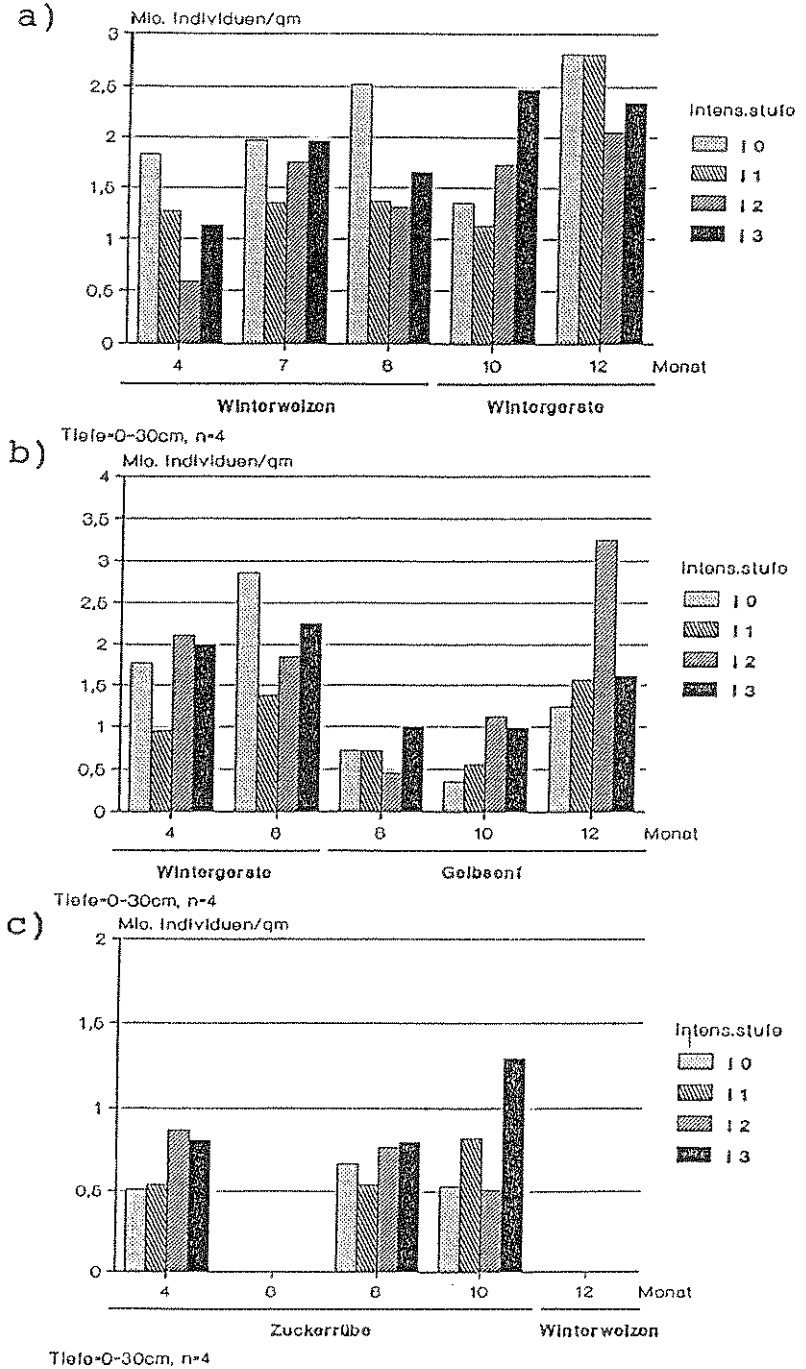


Abb. 7: Mittlere Individuendichte der zooparasitären Nematoden auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)

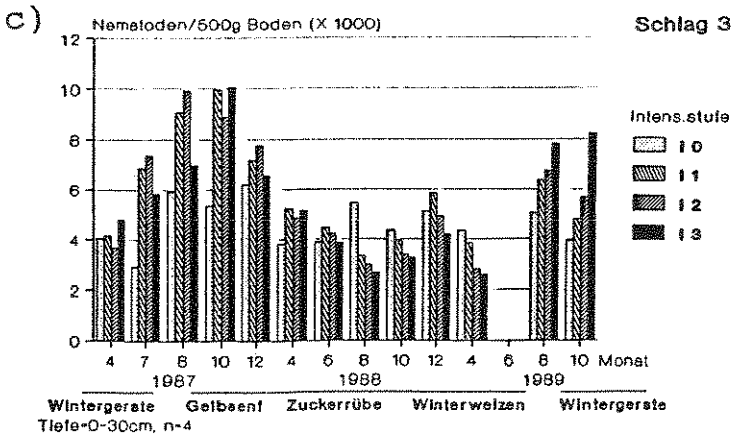
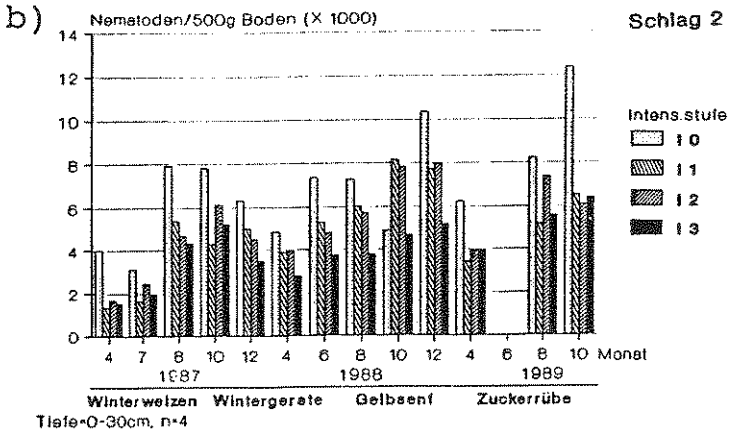
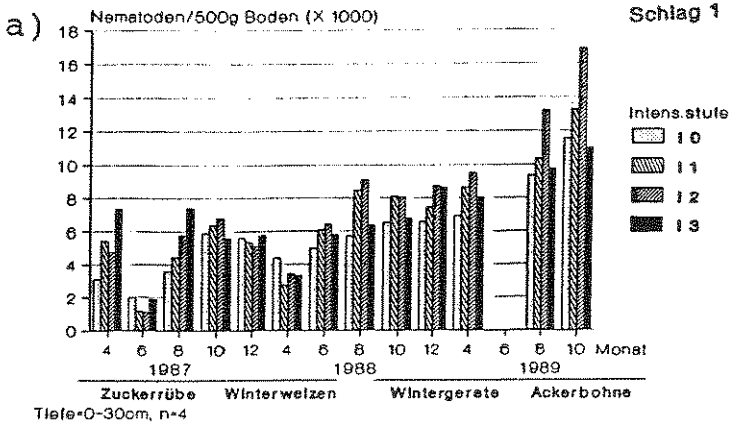


Abb. 8: Individuendichte der mycophagen Nematoden auf den Schlägen I-III während des gesamten Untersuchungszeitraumes

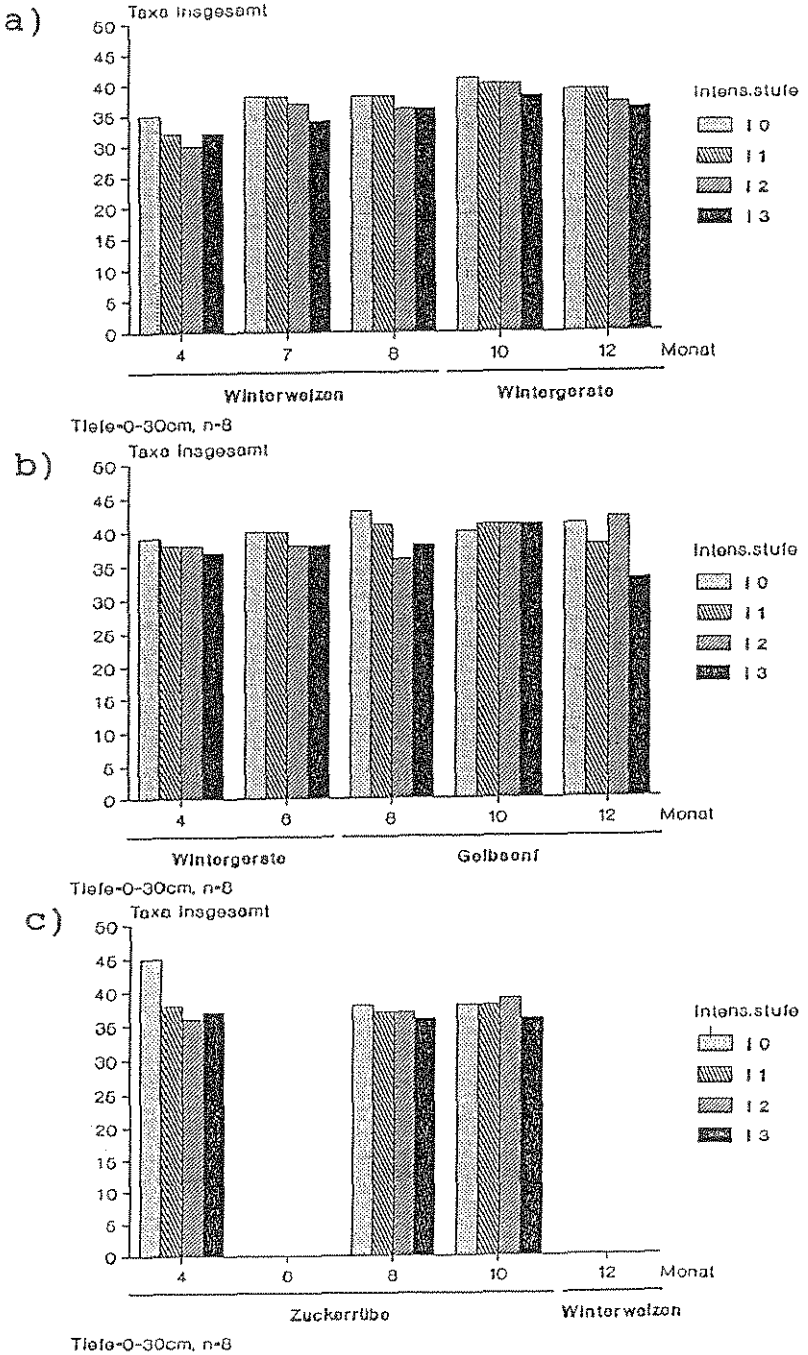


Abb. 9: Mittlere Anzahl der Nematodentaxa auf Schlag II in den Jahren 1987 (a), 1988 (b), 1989 (c)

#### 4 Diskussion

Die im Rahmen des Teilprojektes "Nematoden" auf dem Versuchsfeld Ahlum durchgeführten Untersuchungen haben mit insgesamt 1248 ausgewerteten Bodenproben, fast 1.4 Mio. identifizierten und insgesamt etwa 14 Mio. erfaßten Nematoden, eine große Fülle an wertvollen Daten geliefert. Im Umfang vergleichbare Untersuchungen, bei denen Taxa aller auf einer begrenzten Fläche vorkommenden Nematoden über einen längeren Zeitraum quantitativ erfaßt wurden, dürften bisher kaum vorliegen.

Mit insgesamt 83 Nematodenarten ist die Versuchsfläche als ziemlich artenreich einzustufen. Es waren jedoch nur 61 bei der Routineauswertung differenzierbare Taxa quantitativ erfaßbar. Wegen ungleichmäßiger horizontaler und vertikaler Verteilung der Arten waren durchschnittlich lediglich 35 Taxa je 250 g-Erdprobe nachzuweisen. Auf dem Versuchsfeld waren zwar alle im terrestrischen Bereich zu erwartenden Ernährungsgruppen vertreten, einschließlich zooparasitärer Arten, doch kamen vor allem die räuberischen Nematoden und die z.T. ebenfalls räuberisch lebenden Pantophagen in nur geringer Anzahl vor. Die pflanzenparasitären Nematoden z.B. waren dagegen mit einer größeren Anzahl Arten vertreten. Im Vergleich zu den Mycophagen, Bacteriophagen und Phytoparasiten fanden sich die Zoophagen und die Pantophagen in äußerst niedrigen Individuendichten. Das geringe Vorkommen phycophager Nematoden ist dagegen als "normal" einzustufen, und die Präsenz zooparasitärer Nematoden ist stark an das jeweilige Vorkommen oder Fehlen geeigneter Wirte gebunden.

Trotz insgesamt hoher Probenzahl waren für bestimmte, für das Gesamtvorhaben wichtige Fragestellungen keine gesicherten Resultate zu erzielen, z.B. über kurzfristige Auswirkungen von Pflanzenschutz- oder Düngemitteln, Bearbeitungsmaßnahmen, Einflüsse der jeweiligen Kultur u.a. Der Umfang der Proben, aus arbeitstechnischen Gründen auf vier je Versuchsglied beschränkt und jeweils gewonnen durch nur fünf Einstiche von einer 100 m<sup>2</sup>

großen Parzelle, erwies sich angesichts der in der Regel sehr ungleichmäßigen Verteilung der Nematoden im Boden als zu gering. Durch gemeinsame Auswertung der Proben aus beiden Bodenhorizonten (somit acht Proben je Parzelle) konnte die Verlässlichkeit der Befunde nur unwesentlich erhöht werden, da beide Tiefenproben durch dieselben Einstiche gewonnen worden waren. Die für einzelne Termine, Versuchsglieder und Schläge ermittelten Resultate besitzen daher geringe Aussagekraft. Es zeichnen sich trotzdem zumindest bei einigen Kulturen Beziehungen zur Bewirtschaftungsintensität ab (Abb. 1). Deutlicher werden entsprechende Beziehungen bei Betrachtung einzelner trophischer Gruppen (z.B. Abb. 4 und 6).

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für einzelne Untersuchungsjahre liefert verlässlichere Resultate (z.B. Abb. 2, Tab. 4 und 5). Um die Aussagekraft der ermittelten Daten noch zu erhöhen, wurden bei der hier getroffenen Auswertung in vielen Fällen die Befunde für alle drei Schläge zusammen gewertet, unabhängig von der jeweiligen Kultur (Tab. 7), zum Teil auch die Ergebnisse für den gesamten Untersuchungszeitraum für jede Intensitätsstufe ermittelt (Tab. 8). Da Auswirkungen von ackerbaulichen Maßnahmen auf Bodennematoden-Zönosen häufig kurzfristig nicht erkennbar sind und langfristigen Beeinflussungen größere Bedeutung zukommt, stehen bei der Bewertung der Befunde die Ergebnisse für die Intensitätsstufen bei Abschluß der Untersuchungen nach 2 1/2 Jahren im Vordergrund.

Die gesamte Individuendichte der Nematoden auf allen drei Schlägen des Versuchsfeldes läßt keinen Zusammenhang zur Bewirtschaftungsintensität erkennen. Dies gilt für beide Bodenschichten. Für einzelne Kulturen zeichnen sich jedoch Unterschiede ab. So deutet sich in den Zuckerrüben und im Winterweizen eine Abnahme der Individuendichte in den mit Agrochemikalien behandelten Intensitäten  $I_1$  bis  $I_3$  an. In der Wintergerste und der folgenden Zwischenfrucht stieg die Individuendichte dann wieder an und erreichte gelegentlich höhere Dichten als in der Intensitätsstufe  $I_0$ . Entsprechende Tendenzen zeigen sich im

Hinblick auf die mittlere Individuendichte/Jahr. Bei Anbau von Zuckerrübe oder Winterweizen lag im Jahresmittel die Individuendichte in  $I_1$  und  $I_2$  unter der von  $I_0$ , insbesondere in 0-15 cm Bodentiefe.

Die Individuendichte der Nematoden insgesamt erscheint als Maß zur Bewertung der Auswirkungen von z.B. Agrochemikalien und anderen Xenobiotika, Bearbeitungs- und pflanzenbaulichen Maßnahmen nicht geeignet, da sie eine Wertung ("positiv", "negativ" usw.) nicht zuläßt.

Eine differenziertere Betrachtung nach Ernährungsgruppen läßt eine entsprechende Wertung eher zu. Bei den Phytoparasiten erfolgte mit steigender Bewirtschaftungsintensität eine Zunahme der Individuendichte in der Wintergerste und im Gelbsenf und eine Abnahme in den Zuckerrüben. Die Zunahme der Individuendichte kann eine Folge optimaler Wachstumsbedingungen von - für die meisten der vorkommenden pflanzenparasitären Nematoden möglicherweise besonders günstigen - Wirtspflanzen sein. Die Abnahme unter Zuckerrübe kann sowohl Folge des in dieser Kultur vergleichsweise starken Einsatzes an Pflanzenschutzmitteln sein als auch durch die geringere Eignung der Zuckerrübe als Nährpflanze vieler der im Boden vertretenen Phytonematoden bedingt sein. Auf dem Versuchsfeld waren z.B. der Haferzystennematode (*Heterodera avenae*) vertreten, der ausschließlich an Gramineen parasitiert, und der Rübenzystennematode (*H. schachtii*), der außer Zuckerrübe auch den als Zwischenfrucht angebauten Gelbsenf und dikotyle Unkräuter als Wirte hat. Die bei Versuchsende erkennbare Tendenz einer Abnahme der Abundanzwerte für die pflanzenparasitären Nematoden von  $I_0$  bis  $I_3$  (Tab. 3) bzw. einer Zunahme mit verringertem Produktionsmitteleinsatz von 26.3 % der gesamten Individuendichte auf 32.3 % könnte auf verstärktes Auftreten von als Wirtspflanzen geeigneten Unkräutern zurückzuführen sein.

Bei den Mycophagen zeigt sich allgemein eine leichte Verringerung der Individuendichte mit steigender Bewirtschaftungsintensität. Eine indirekte Auswirkung durch Beeinträchtigung von als Nahrung dienenden Bodenpilzen mag die aus den Ergebnissen

ablesbare Tendenz erklären (Tab. 3).

Die Bacteriophagen zeigen bei Abschluß der Untersuchungen deutlich niedrigere Individuendichten bei  $I_0$  (Tab. 3). Die erhöhten Abundanzwerte bei  $I_1$  bis  $I_3$  beruhen möglicherweise auf in diesen Intensitätsstufen gefördertem Bakterienwachstum durch verstärkten Eintrag von zersetzbarem organischen Material.

Bei den Pantophagen ist zwar in allen Kulturen eine Abnahme der Individuendichte mit steigender Bewirtschaftungsintensität zu verzeichnen, doch sind zu Versuchsende entsprechende Beziehungen nicht erkennbar (Tab. 3).

Bei den phycophagen und den zoophagen Nematoden zeichnen sich Tendenzen einer möglichen Beeinträchtigung oder Förderung nicht ab (Tab. 3), es lassen sich diese trophischen Gruppen wegen zu geringer Individuendichte jedoch kaum in eine Wertung einbeziehen. Die zooparasitären Nematoden bleiben ebenfalls unberücksichtigt, da deren Auftreten im Boden vom Vorkommen der jeweiligen Wirte abhängt. Für die auf dem Versuchsfeld Ahlum in hohen Populationsdichten vertretenen entomopathogenen Steinernelemente z.B. sind Auswirkungen der pflanzenschutzlichen und sonstigen ackerbaulichen Maßnahmen nicht erkennbar.

Bezüglich der Nematodentaxa lassen sich über den 2 1/2 jährigen Untersuchungszeitraum hin keine wesentlichen Verschiebungen in der Gesamtzahl bei den einzelnen Intensitäten erkennen (Tab. 6). Dies gilt auch hinsichtlich der einzelnen Ernährungsgruppen (Tab. 7). Die für die gesamte Versuchsperiode zusammengefaßten Befunde zeigen jedoch für z.B. die Pantophagen und die Nematoden insgesamt eine Tendenz zur Abnahme der Anzahl der Taxa von  $I_0$  zu  $I_3$  (Tab. 8).

Während die erzielten Ergebnisse für die Ernährungsgruppen, in denen zumeist Vertreter unterschiedlicher systematischer Zugehörigkeit zusammengefaßt sind, nur wenig über eine Beeinträchtigung durch die Bewirtschaftungsintensität erkennen lassen, zeigt die gesonderte Betrachtung einzelner Taxa aus diesen Gruppen, daß verschiedene Arten oder höhere Taxa Einwirkungen deutlicher erkennen lassen. Bei den in den Tabellen 4 und 5



wiedergegebenen Beispielen wird deutlich, daß sich die einzelnen Taxa innerhalb derselben trophischen Gruppe unterschiedlich verhalten können. Abnahme einiger und Zunahme anderer Taxa kann somit bei Betrachtung der Ernährungsgruppe insgesamt zur Feststellung führen, daß eine Beeinträchtigung nicht vorzuliegen scheint.

Hemmende Auswirkungen mit steigender Intensität der Bewirtschaftungsmaßnahmen zeichnen sich vor allem für solche Nematoden ab, die von BONGERS (1990) als "persisters" bezeichnet werden, als K-Strategen (*sensu lato*), die sich in der Regel durch niedrige Vermehrungsraten, lange Entwicklungszeiten und Empfindlichkeit gegenüber Störungen auszeichnen. Zu den "persisters" zählen nach BONGERS (*l.c.*) unter den Beispielen in Tab. 5 die Alaimidae (mit den Gattungen *Alaimus* und *Amphidelus*), *Ecumenicus monohystera* und *Discolaimus major*, außerdem die meisten übrigen auf dem Versuchsfeld nachgewiesenen Dorylaimiden. Die Rhabditiden, Aphelenchiden und unter den Tylenchida vor allem die mycophagen Taxa werden in der insgesamt fünfstufigen Skala von BONGERS als "colonizers" eingestuft (*r*-Strategen *s.l.*), die sich u.a. durch kurze Entwicklungszeiten und Toleranz gegenüber Schadstoffen und sonstigen Störungen auszeichnen. Unter den bei den Untersuchungen in Ahlum differenzierten Nematodentaxa sind die Gruppen 1 und 2 der "colonizers" mit insgesamt 47 %, die intermediäre Gruppe 3 mit 22 % und die Gruppen 4 und 5 der "persisters" mit 31 % vertreten. Alle Vertreter der "persisters" fanden sich nur in geringen Populationsdichten.

Es ist schwer einzuschätzen, ob es sich bei der Förderung und Unterdrückung von Nematoden auf dem Versuchsfeld um direkte Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln, Düngemitteln und Bearbeitungsmaßnahmen handelt oder um indirekte Einwirkungen über z.B. Veränderung des Nahrungsangebotes und des Antagonistenpotentials. Da Taxa mit ähnlicher Ernährungsweise unterschiedlich reagieren können (z.B. innerhalb einer trophischen Gruppe, vgl. die Bacteriophagen auf Tab. 5), erscheinen Beeinträchtigungen

über die Nahrung unwahrscheinlich.

Nicht bekannt ist, ob dem Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Taxa - außer Phytoparasiten - eine Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit zukommt. Eine Unterdrückung von vor allem räuberischen Nematoden und den teilweise ebenfalls räuberisch lebenden Pantophagen, die als Antagonisten pflanzenschädigender Nematoden eine Rolle spielen, ist jedoch aus pflanzenschutzlicher Sicht als negativ zu werten.

Insgesamt scheinen die nematologischen Befunde aus dem Versuch Ahlum kaum Untersuchungen zu bestätigen, bei denen bemerkenswerte Auswirkungen - sowohl fördernder als auch hemmender Art - von mineralischer Düngung und Pflanzenschutzmitteln auf Nematoden nachgewiesen wurden (KLINGLER & KUNZ 1986, WEISCHER & MÜLLER 1985 u. a.). Da es sich bei dem Versuchsfeld Ahlum um eine zuvor langjährig "konventionell" bewirtschaftete Ackerfläche handelt, waren vermutlich besonders empfindliche Glieder der Nematodenfauna des Bodens bereits eliminiert worden. Das Fehlen bestimmter Taxa, z.B. unter den zoophagen Nematoden und den Pantophagen, deutet darauf hin. Ein Verschwinden weiterer Taxa und eine Verringerung der Artendiversität im Versuchsglied I<sub>3</sub> war somit kaum zu erwarten. Innerhalb des insgesamt viel zu kurz bemessenen Untersuchungszeitraumes war mit einer Wiederbesiedlung (z.B. der I<sub>0</sub>-Parzellen) durch bestimmte Nematoden nicht zu rechnen bzw. war die Erfassung von Arten mit geringen Populationsdichten und räumlich begrenztem Auftreten unwahrscheinlich.

**Untersuchungen über Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität auf die Nematodenzönose eines Ackerbodens**

#### Zusammenfassung

Im Rahmen eines Verbundvorhabens mit dem Ziel, langfristige Auswirkungen von unterschiedlichem Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatz auf das Ökosystem Ackerboden zu erfassen, wurden

auf dem Versuchsfeld Ahlum bei Braunschweig Untersuchungen über die Nematodenzönose durchgeführt.

Auf drei Schlägen mit den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe und je vier unterschiedlich intensiven Bewirtschaftungsweisen wurden Bodenproben aus 0-15 cm und 15-30 cm Bodentiefe entnommen. Die Probenahme erfolgte in der Regel in zweimonatigem Abstand von April 1987 bis Oktober 1989. Die aus insgesamt 1248 250 g-Bodenproben isolierten Nematoden wurden quantitativ und qualitativ erfaßt.

Es wurden insgesamt 83 Nematodenarten nachgewiesen; 61 Taxa waren im Rahmen der Untersuchungen differenzierbar. Unter den durchschnittlich 35 Taxa je Probe waren Bacteriophagen mit 11.6, Phytoparasiten mit 7.4, Mycophagen mit 6.9, Pantophagen mit 5.4, Zooparasiten mit 2.0, Zoophagen mit 1.1 und Phycophagen mit 0.6 Taxa vertreten. Die Mycophagen stellten allgemein die individuenstärkste trophische Gruppe, gefolgt von den Bacteriophagen und den Phytoparasiten, während die übrigen Gruppen zumeist in geringen Individuendichten vorkamen. Nematodendichte und Anzahl der Taxa waren in beiden untersuchten Bodenhorizonten im Mittel ähnlich; 83 % aller Nematoden/m<sup>2</sup> fanden sich in der Bodenschicht von 0-30 cm.

Die Individuendichte der Nematoden insgesamt wies im Jahresverlauf und in Abhängigkeit von der jeweiligen Kultur große Schwankungen auf; ein Zusammenhang zur Intensivierung der Bewirtschaftung war nicht erkennbar.

Bei einigen trophischen Gruppen zeigten sich tendenzielle Einflüsse der Bewirtschaftung: Bei den Phytoparasiten erfolgte mit steigender Bewirtschaftungsintensität eine Zunahme der Individuendichte in der Wintergerste und der Zwischenfrucht, eine Abnahme dagegen in den Zuckerrüben. Bei den Mycophagen und den Pantophagen nahm zum Teil die Individuendichte in allen Kulturen mit steigender Bewirtschaftung ab, bei den Bacteriophagen dagegen zu. Für die zumeist in geringen Dichten vertretenen Gruppen der Zoophagen, Zooparasiten und Phycophagen waren Tendenzen einer Beeinflussung durch die Bewirtschaftungsintensität

nicht ersichtlich. Aus den Abundanzwerten einzelner ausgewählter Taxa aus den verschiedenen Ernährungsgruppen waren jedoch sowohl eine Förderung als auch eine Hemmung mit zunehmendem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Dünger erkennbar, eine Abnahme vor allem bei Vertretern von Nematodenfamilien, die als empfindlich gegenüber Störungen gelten. Für den gesamten Untersuchungszeitraum zeigte sich nur für einzelne Ernährungsgruppen (z.B. die Pantophagen) eine schwache Tendenz einer Verringerung der Taxa mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität. Die langjährige konventionelle Bewirtschaftung der als Versuchsfeld dienenden Ackerfläche erklärt das weitgehende Fehlen empfindlicher Taxa; mit einer Neubesiedlung der Versuchspartellen ohne oder mit verringertem Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatz war während des kurzen Untersuchungszeitraumes nicht zu rechnen.

Studies on the impact of different intensity of cultivation on the nematode community in field soil

#### Summary

In a multi-institute project to establish the long term effect of different usage of pesticides and fertilisers on the ecosystem of agricultural fields, the experimental field at Ahlum, near Braunschweig, was used to study their influence on the soil nematode coenosis.

Soil samples (250 g) were taken at depths of 0-15 cm and 15-30 cm from field plots with winter wheat, winter barley and sugar beet, each cultivated with four different intensities. The sampling took place, usually at a two months interval, from April 1987 to October 1989. From the 1248 collected samples the total number of nematodes was established quantitatively and qualitatively.

A total of 83 species was found to be present representing 61 taxa. On the average, 35 taxa were present per sample of which

11.6 were classified as bacteriophages, 7.4 phytoparasites, 6.9 mycophages, 5.4 pantophages, 2.0 zooparasites, 1.1 zoophages and 0.6 phycophages. In general mycophages were the most abundant species followed by the bacteriophages and the phytoparasites; the remaining groups were detected usually only in small numbers. Total nematode density and number of taxa found were similar for the two soil horizons studied; 83 % of all nematodes/m<sup>2</sup> lived in the 0-30 cm layer.

The total nematode density varied considerably during the year depending on the crop cultivated. A correlation with increased intensity of cultivation and the occurrence of nematodes could be not established.

For several trophic groups effects of the different agricultural practices were observed: Increased intensity of cultivation resulted in an increase of the phytoparasites density in winter barley and catch crop, but in a decrease when sugar beet was cultivated. Intensive cultivation often reduced the number of mycophages and pantophages independent of the crops grown, while increasing the number of bacteriophages. However, the influence of an intensive cultivation on the zoophages, zooparasites and phycophages, all generally represented low individual numbers, could not be established. The changes in population density of selected nematode taxa from different trophic groups showed that stimulation as well as a suppression occurred. This result was related to the increased usage of pesticides and fertilisers. A noticeable reduction was observed with taxa of nematode families known to be sensitive to disturbance. Over the duration of the experiment only a few trophic groups (e.g. the pantophages) showed a slight decrease in number of taxa by increased intensity of cultivation. Extended use of conventional cultivation practices may explain the general absence of sensitive taxa in this experiment. Because of the limited timeframe of this experiment, it is unlikely that recolonisation of the plots with reduced treatments has occurred with nematode taxa.

5 Literatur

- BONGERS, T. & VAN DE HAAR, J. (1990). On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: An example from the river Rhine. - Hydrobiol. Bull., 24: 37-45.
- BONGERS, T. (1990): The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. - Oecologia, 83: 14-19.
- KLINGLER, J., KUNZ, P. (1986): Die Beeinflussung der Bodennematoden durch Klärschlamm und mineralische Düngung. - Schweiz. Landwirtsch. Forsch., 25: 45-61.
- MÜLLER, J. (1980): Ein verbessertes Extraktionsverfahren für *Heterodera schachtii*. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 32: 21-24.
- OVERHOFF, A. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungssystem und Bodenbearbeitung auf die Populationsdichte von Nematoden - mit besonderer Berücksichtigung antagonistischer Wirkung von Regenwürmern und nematophagen Pilzen. - Wiss. Fachverlag, Gießen, 198 p.
- STURHAN, D., LUDEWIG, A., KLOKE, A. (1986): Untersuchungen über den Einfluß von Umweltchemikalien auf Bodennematoden. - Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft., 232: 414.
- WEISCHER, B., MÜLLER, J. (1985): Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nematoden und ihre Antagonisten. - Ber. Landwirtsch., 198: 159-176.
- WEISS, B., LARINK, O. (1991): Influence of sewage sludge and heavy metals on nematodes in an arable soil. - Biol. Fertil. Soils, 12: 5-9.
- WILMS, W. (1992): Prüfung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf räuberische Nematoden. - Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 44: 25-29.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Toppheideweg 88,  
D-48161 Münster.

XII *BEWERTUNGSKRITERIEN ZUR BELASTUNG VON AGRARÖKOSYSTEMEN,  
VERKNÜPFUNG UND BEWERTUNG DER TEILPROJEKTDATEN UND  
FOLGERUNGEN FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT*

Thomas Kampmann, Bernhard Gottesbüren,  
Ernst Knüsting, Hans-Peter Malkomes

1 Einleitung

Die Landwirtschaft steht heute mehr denn je im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie. Das Ausmaß der tatsächlichen Beeinflussung von Umwelt und Naturhaushalt durch die moderne Landwirtschaft ist schwer abzuschätzen.

Mit Pflanzenschutzmitteln werden Fremdstoffe in das Agrarökosystem eingebracht, die neben der erwünschten Hauptwirkung, dem Schutz der Kulturpflanzen, auch noch zahlreiche unerwünschte Nebenwirkungen haben können. Solche Nebenwirkungen können z. B. bestehen in einer Abtrift und in Folge in einer Kontamination von Nichtzielkompartimenten wie der bodennahen Atmosphäre, in einer Vernichtung von Unkräutern als Refugium für zoophage Nützlinge, in einer direkten oder indirekten Schädigung von Nichtzielorganismen, in einer Schädigung von Nachfolgekulturen oder in einer Verlagerung der Pflanzenschutzmittel in tiefere Bodenschichten bis hin zum Grundwasser (DIERCKS & HEITFUSS 1990).

Aus ökologischer Sicht müssen solche Nebenwirkungen kritisch beurteilt werden. Doch erscheint ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bei der bestehenden Agrarstruktur aus wirtschaftlicher Sicht als unverzichtbar.

In neun Teilprojekten (Kapitel III-XI) innerhalb des Verbundprojektes wurden Daten über Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, über mikrobielle Aktivitäten, Pilze, Algen, Regenwürmer, Collembolen, Milben und Nematoden erarbeitet. Diese Daten werden im folgenden einer gemeinsamen Betrachtung unterzogen.

## 2 Verknüpfung der Teilprojekt-Daten

### 2.1 Zeitlich punktuelle Darstellung in Sterndiagrammen

Eine Beschreibung der Auswirkungen der verschiedenen Anbausysteme auf die einzelnen untersuchten Gruppen der Bodenorganismen erfolgte detailliert in den Teilprojekt-Berichten. Den multifunktionalen Beziehungen, in denen die Organismen im Boden zueinander stehen, muß bei der Interpretation der Ergebnisse Rechnung getragen werden.

Dazu werden beispielhaft Daten aller untersuchten Organismengruppen dreier Untersuchungstermine in der Wintergersten-Kultur (Oktober 1987, April 1988 und Juni 1988) für die Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  herausgegriffen.

Eine graphische Verknüpfung wichtiger Parameter möglichst vieler biologischer Gruppen soll helfen, in überschaubarer Weise Gemeinsamkeiten in den Reaktionen der einzelnen Gruppen zu finden. Außerdem sollen die äußeren Einflüsse sowie die Veränderungen in den Beziehungen zueinander zu erkennen sein. Hierfür erscheinen Sterndiagramme als eine geeignete Darstellungsform. In den Abbildungen 1 a-c und 2 a-c sind folgende Gruppen dargestellt:

- Die Bodenalgeln mit ihren beiden Hauptgruppen, den Cyanobakterien und eukaryotischen Algen,
- die Pilze mit den Oomyceten, den Zygomyceten, den Basidio-, Asco- und Deuteromyceten,
- die Dehydrogenase-Aktivität,
- die bodenzoologischen Gruppen der Nematoden, Lumbriciden, Acari und Collembolen.

Bei den Bodenalgeln und -pilzen dient als Meßwert die Gesamtzahl der Isolate, bei der Dehydrogenaseaktivität der Triphenylformazangehalt ( $\mu\text{g}/5 \text{ g Boden}$ ) und bei den zoologischen Gruppen die Individuendichte/ $\text{m}^2$ . Dabei beziehen sich die dargestellten Prozentwerte - ebenso wie bei allen bodenzoologischen Gruppen - auf die gesamte untersuchte Bodentiefe. Diese variiert von 0-5 cm (Algen, Pilze) bis zu 0-60 cm Tiefe (Lumbriciden).



Dargestellt werden jeweils die Prozentanteile der verschiedenen Parameter vom höchsten Wert aus den drei Terminen von  $I_0$  in der Wintergerste. Die vom Mittelpunkt ausgehenden Radialen geben mit ihrer Länge die Relation des jeweiligen Parameters zum Höchstwert (= 100 %) an. So kommen unterschiedlich sternförmige Strukturen zustande. Der Kreis bezeichnet die 110 %-Marke, um eine bessere optische Differenzierung zu gewährleisten.

Ein Vergleich der Sternogramme in  $I_0$  mit zunehmendem Wachstum der Wintergerste von Oktober 1987 bis kurz vor der Ernte im Juni 1988 zeigt deutliche Veränderungen der Sternform und damit der prozentualen Anteile der einzelnen Gruppen.

Die Algen (Cyanobakterien, eukaryotische Algen) nehmen zum Sommer hin bis zum Maximalwert zu. Die drei Pilzgruppen und die Dehydrogenaseaktivität zeigen keine großen, teilweise gar keine Änderungen.

Sehr deutliche Veränderungen innerhalb der bodenzoologischen Gruppen können bei Collembolen und Lumbriciden festgestellt werden, die durch die Populationsdynamik verursacht sind.

Bis auf die überwiegend inaktiven Lumbriciden werden alle Gruppen im Sommer durch Witterung und Bestandesentwicklung gleichzeitig beeinflusst und erreichen das höchste Abundanz- bzw. Aktivitätsniveau.

Insgesamt weisen viele Gruppen im Herbst 1987 geringe Abundanzen bzw. Aktivitäten auf; bis zum Sommer findet (nicht immer kontinuierlich) eine maximale Entwicklung statt.

Die Darstellung der Sternogramme in Abbildung 2 a-c geben die bodenbiologischen Abundanzen in der Intensität  $I_3$  zu den gleichen Zeitpunkten wie bei  $I_0$  an. Zur Verdeutlichung ist der 100 %-Kreis eingezeichnet.

Im Oktober 1987 ergaben sich auffällige Hemmungen bei den eukaryotischen Algen, der Dehydrogenaseaktivität und den Acari. Förderungen sind bei den Lumbriciden, den Nematoden und Collembolen festzustellen. Die starken Schwankungen bei den Lumbriciden hängen - ebenso wie bei der Intensität  $I_0$  - mit der Populationsdynamik der beteiligten Arten zusammen.

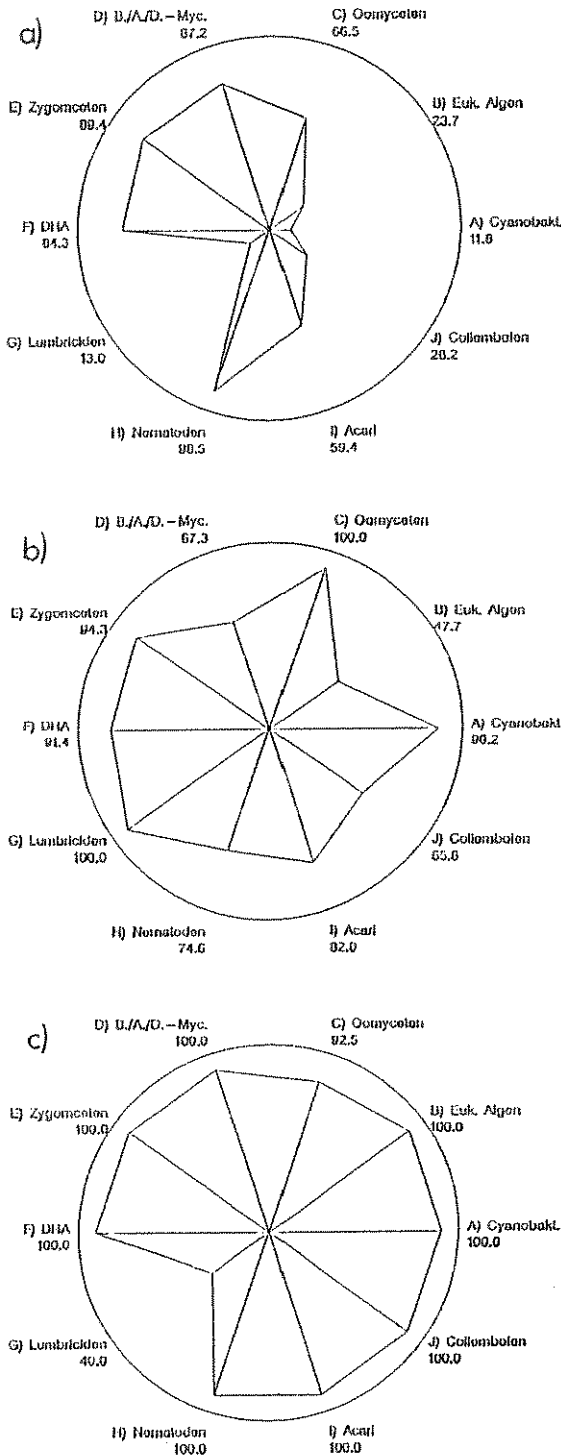


Abb. 1: Vergleich bodenbiologischer Parameter in der Intensität  $I_0$  an drei Untersuchungs-terminen in Wintergerste (Schlag II) - a) Oktober 1987, b) April 1988, c) Juni 1988

Angaben in % bezogen auf den Maximalwert (=100) der jeweiligen Parameter in diesem Vergleich (Kreis: 110 %-Linie)

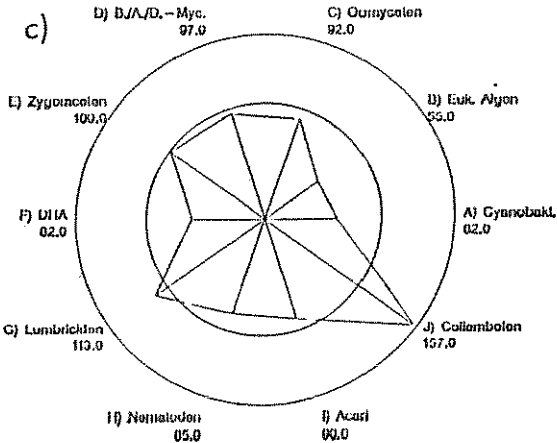
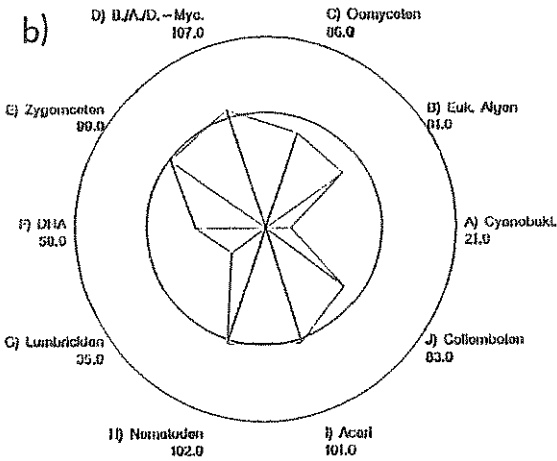
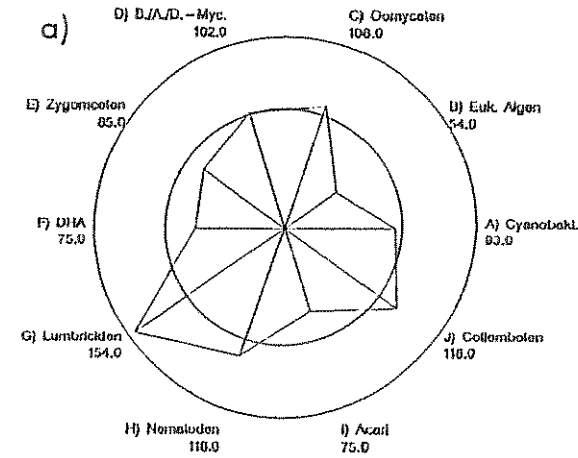
- A) **Cyanobakt.** = Cyanobakterien  
100 % = 237 (Isolate \*  $10^3$ /g Boden), Tiefe: 0-5 cm
- B) **Euk. Algen** = Eukaryotische Algen  
100 % = 8647 (Isolate \*  $10^3$ /g Boden), Tiefe: 0-5 cm
- C) **Oomyceten**  
100 % = 254 (Isolate), Tiefe: 0-5 cm
- D) **Zygomyceten**  
100 % = 690 (Isolate), Tiefe: 0-5 cm
- E) **B./A./D.-Myc.** = Basidio-Asco- und Deuteromycetes  
100 % = 548 (Isolate), Tiefe: 0-5 cm
- F) **DHA** = Dehydrogenase-Aktivität; 100 % = 637,3 ( $\mu\text{g TPF}$  pro 5 g Boden), Tiefe: 0-5 cm
- G) **Nematoden**  
100 % = 20,1 (Ind. \*  $10^6/\text{m}^2$ ), Tiefe: 0-30 cm
- H) **Lumbriciden**  
100 % = 10 (Individuen/ $\text{m}^2$ ), Tiefe: 0-60 cm
- I) **Acari**  
100 % = 21846 (Ind./ $\text{m}^2$ ), Tiefe: 0-10 cm
- J) **Collembolen**  
100 % = 33171 (Ind./ $\text{m}^2$ ), Tiefe: 0-10 cm

Abb. 2: Vergleich bodenbiologischer Parameter in der Intensität  $I_3$  an drei Untersuchungsterminen in Wintergerste (Schlag II) -  
 a) Oktober 1987  
 b) April 1988  
 c) Juni 1988

Relativwerte in % bezogen auf den entsprechenden Maximalwert in der  $I_0$ -Serie zum jeweils gleichen Termin

kleiner Kreis = 100 %-Marke  
 großer Kreis = 160 %-Marke

Legende sonst wie bei Abb. 1



Im April 1988 erfolgte ebenfalls bei den Cyanobakterien und der Dehydrogenaseaktivität, aber auch bei den Lumbriciden eine deutliche Hemmung. Leichte Rückgänge sind bei den Collembolen und eukaryotischen Algen festzustellen.

Während im Juni 1988 die Verhältnisse für die Algen und die Dehydrogenaseaktivität ähnlich wie im April waren, ist bei den Collembolen eine starke Förderung erkennbar.

Bei den an drei Terminen für alle wichtigen bodenbiologischen Meßgrößen durchgeführten Vergleichen zeigen insbesondere einige bodenzoologische Gruppen und die Bodenalgen im Kulturverlauf der Wintergerste große Abundanzschwankungen. Während die Pilze und Nematoden insgesamt relativ wenig von Kultur und Bewirtschaftungsintensität beeinflußt wurden, waren einige Parameter (Dehydrogenaseaktivität, Algen) zu allen Probenahmezeitpunkten in  $I_3$  gegenüber  $I_0$  vermindert. Die Gruppen mit den höchsten relativen Schwankungen (Lumbriciden, Collembolen) wiesen in  $I_3$  je nach Termin höhere bzw. geringere Abundanzen als in  $I_0$  auf. Ein eindeutiges Reaktionsmuster ist dabei nicht erkennbar.

Die Abhängigkeit der Reaktionen von den verschiedenen Bodentiefen ist bei den Darstellungen in den Abbildungen 1 und 2 nicht berücksichtigt worden. Die Betrachtung einzelner Bodentiefen läßt andere Reaktionen der untersuchten Gruppen erwarten. Alle Gruppen sind jedoch - teilweise infolge einer Probenahme über verschiedene Bodentiefen (z. B. Lumbriciden), - nicht miteinander vergleichbar.

## 2.2 Darstellung zeitlicher Verläufe

Die Darstellung zeitlicher Aktivitätsverläufe ausgewählter bodenbiologischer Parameter kann Hinweise geben, in welcher Weise bestimmte Bodentiergruppen (Nematoden, Lumbriciden, Collembolen und Acari), mikrobielle Aktivitäten und Bodenalgen auf natürliche und anthropogene Belastungssituationen reagieren. Auf diese Weise sind sowohl gleichartige Reaktionen verschiedener Gruppen und die Verlaufsmuster in verschiedenen Vegetationsperioden bzw. Kulturen als auch längerfristige Entwicklungstendenzen des Fließgleichgewichtes in den verschiedenen Anbausy-

stemen (Intensitätsstufen) erkennbar.

Für die Kulturen Winterweizen, Wintergerste mit nachfolgender Zwischenfrucht und Zuckerrübe sind diese Verläufe in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  dargestellt (Abb. 3-5).

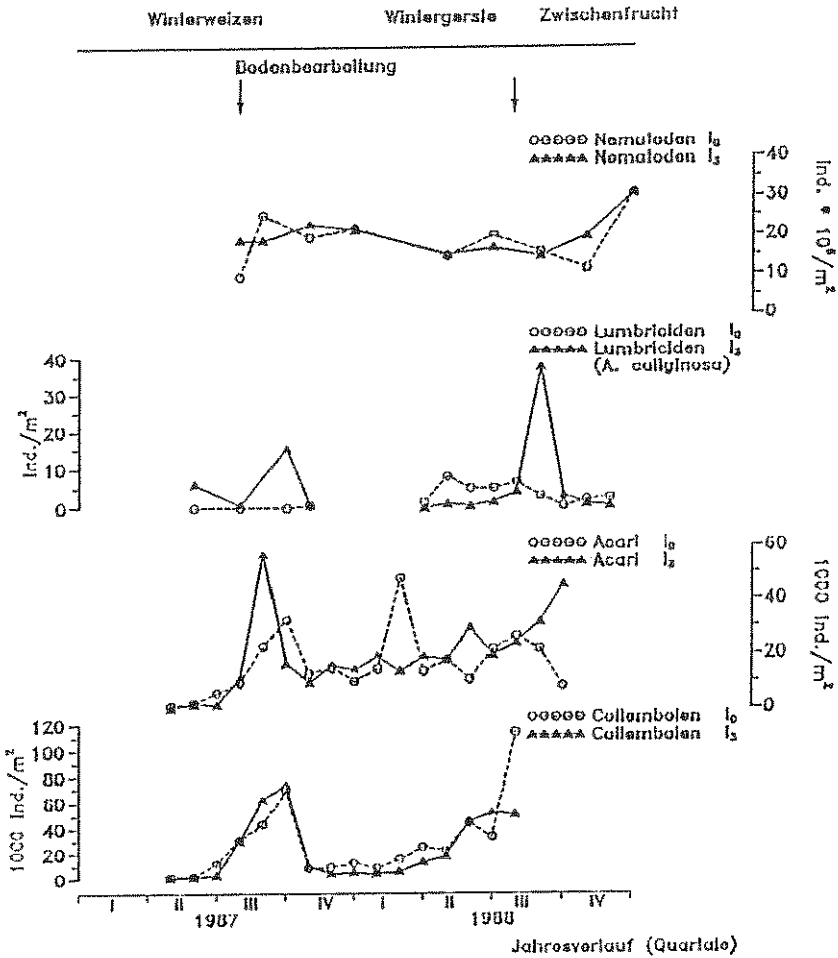


Abb. 3: Vergleich der Abundanzdynamik ausgewählter Bodentiergruppen in  $I_0$  und  $I_3$  (1987-1988; Schlag II, Bodentiefe 0-30 cm bei Nematoden, 0-60 cm bei Lumbriciden und 0-10 cm bei Acari und Collembolen)

Während die Darstellung der Abundanzdynamik für die Bodentiergruppen nur bis zum 4. Quartal 1988 (Zwischenfrucht) reicht, umfassen die Dynamiken der mikrobiellen Aktivitäten und Bodenalgae auch die Kulturperiode der Zuckerrübe im Jahre 1989 (Abb. 4). Teilweise zeigten die Abundanzdynamiken von Lumbriciden, Collembolen und Acari ähnliche Verläufe (Abb. 3). Dabei waren besonders im 3. Quartal des Jahres 1987 und vom 2. bis zum 3. Quartal 1988 für alle drei Gruppen parallel starke Abundanzzunahmen (insbesondere in der Intensität  $I_3$ ) zu beobachten. Bei den Nematoden waren diese Effekte nur angedeutet. Bei den mikrobiellen Aktivitäten zeigten die beiden Parameter Kurzzeitatmung und Dehydrogenaseaktivität starke Aktivitätsschwankungen vor allem in den Jahren 1987 und 1989 (Abb. 4).

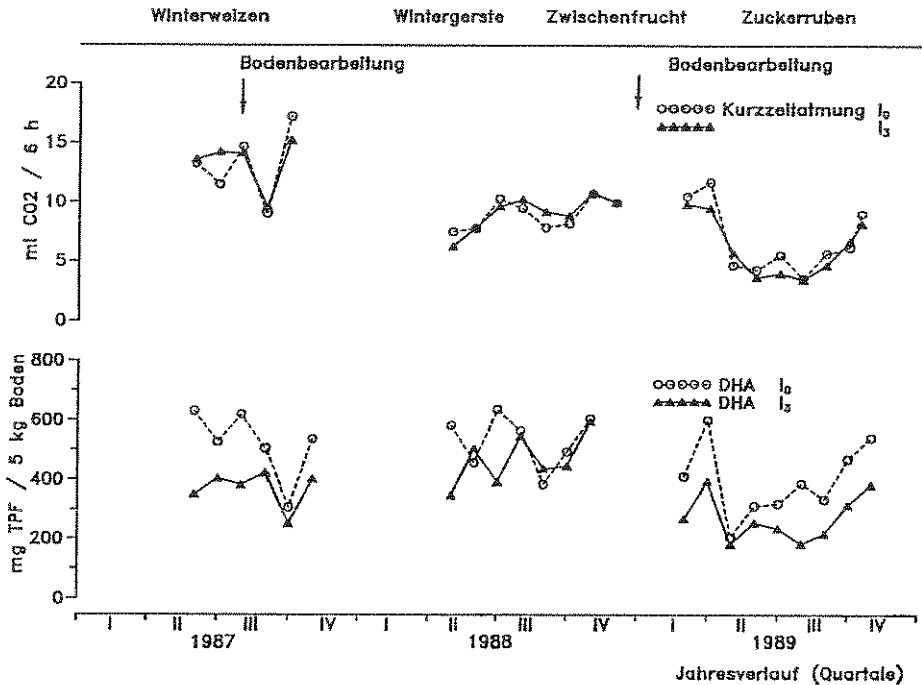


Abb. 4: Vergleich der Dynamik mikrobieller Aktivitäten (Dehydrogenaseaktivität und Kurzzeitatmung) in  $I_0$  und  $I_3$  (1987-1989; Schlag II, Bodentiefe 0-5 cm)

Während bei der Kurzzeitatmung keine Unterschiede im Verlauf zwischen den beiden Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  zu erkennen sind, zeigte die Dehydrogenaseaktivität insbesondere im 2. Quartal des Jahres 1987 sowie im 3. und 4. Quartal des Jahres 1989 Niveau-Unterschiede zwischen beiden Intensitäten. In allen drei Jahren kam es zeitgleich zu Absenkungen bei Kurzzeitatmung und Dehydrogenaseaktivität und auch zu einem Ausgleich der Intensitätsunterschiede immer dann, wenn eine Bodenbearbeitung erfolgte.

Wenn man sich im Fruchtfolge-Zyklus die Verläufe der Dehydrogenaseaktivität unter Zuckerrübe (4. Quartal 1989) für den Winterweizen (vgl. dazu 2. Quartal 1987) fortgesetzt denkt, ist ersichtlich, daß es über den Zeitraum der Kultur zu deutlichen Unterschieden zwischen den Intensitäten  $I_0$  und  $I_3$  kommt und daß jeweils die Bodenbearbeitung vor dem Drillen der Zuckerrüben und nach der Ernte des Winterweizens für den Niveau-Ausgleich sorgt.

Ähnliche Veränderungen wie bei den mikrobiellen Aktivitäten waren auch bei den Bodenalgen zu beobachten (Abb. 5).

Hierbei ist zu beachten, daß ein logarithmischer Maßstab gewählt wurde. Die Niveau-Unterschiede zwischen den beiden Intensitäten waren also für die eukaryotischen Algen und die Cyanobakterien viel größer als etwa für die mikrobiellen Aktivitäten. Um so stärker sind auch die Verringerungen in der Zahl der Isolate zu bewerten. Sie verliefen entweder für beide Intensitäten parallel (bei beiden Gruppen 1989 und bei den eukaryotischen Algen 1987) oder strebten - ähnlich wie bei der Dehydrogenaseaktivität - auf eine gemeinsame sehr niedrige Zahl der Isolate zu (4. Quartal des Jahres 1987 bei den Cyanobakterien). Auch in diesen Fällen ergeben sich wieder zeitliche Übereinstimmungen zwischen der Bodenbearbeitung und dem Rückgang der Isolate. Die nicht wendende Bodenbearbeitung (Grubbern) im Jahre 1988 hatte offenbar einen geringeren Einfluß. Hier war der Rückgang der Isolate weniger ausgeprägt.

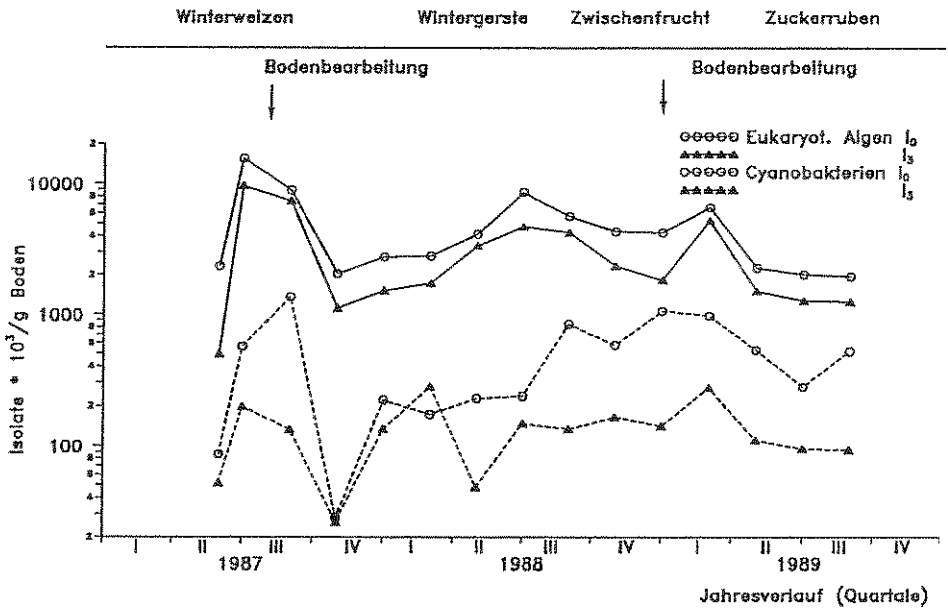


Abb. 5: Vergleich der Abundanzen von eukaryotischen Algen und Cyanobakterien in I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> (1987-1989; Schlag II, Bodentiefe 0-5 cm)

### 3 Bewertungsansätze zur Belastungssituation von Agrarökosystemen

Agrarökosysteme, deren vorrangiges Ziel die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte ist, sind anthropogen stark beeinflusst. Agrarbiozönos (Lebensgemeinschaften in agrarischen Systemen) werden vor allem im Kompartiment Boden dieser Ökosysteme entscheidend durch natürliche und anthropogene Einflußfaktoren geprägt (Abb. 6).

Infolge einer zeitweilig geringen und häufig wechselnden Vegetationsdecke ist der Einfluß der natürlichen abiotischen und biotischen Faktoren (z.B. Klima, Boden, Wurzelmasse) auf die Zönos im Boden unmittelbarer und stärker als etwa in einem Grünland- oder Waldökosystem. Hinzu kommen mit der Nutzung ver-



bundene (anthropogene) Bewirtschaftungsmaßnahmen (Fruchtart, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutzmittel-Einsatz), die in ganz erheblichem Maße auf das Edaphon (Bodenbiozönose) einwirken können (HEYDEMANN & MEYER 1983).

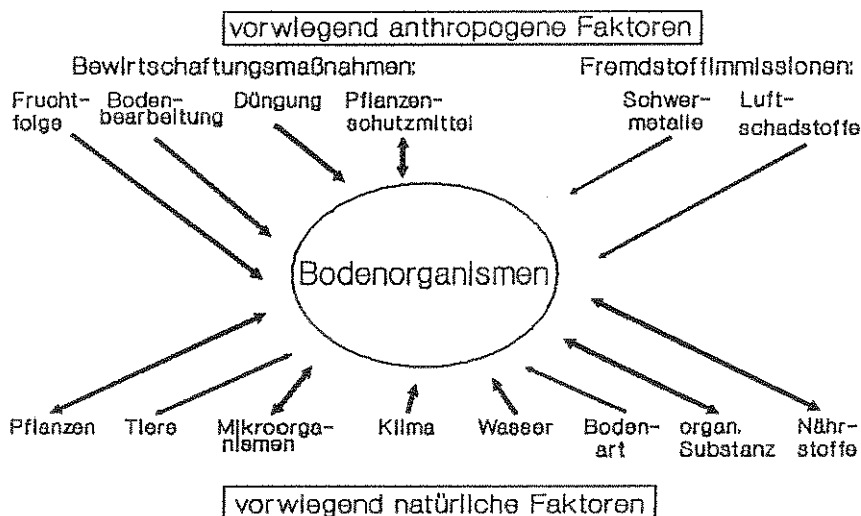


Abb. 6: Vereinfachte Darstellung der Wechselwirkungen von Bodenorganismen mit ihrer Umwelt (verändert nach MALKOMES, 1989)

Um eine langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit gewährleisten und dabei auch Belange des Naturhaushaltes berücksichtigen zu können, sind Untersuchungen der Auswirkungen anthropogener Maßnahmen auf die Agrarbiozönose und deren Bewertung erforderlich.

Im Falle der Nutzung von Ökosystemen als landwirtschaftliche Produktionsflächen lassen sich dort die beiden Bewertungsbereiche (a) für die "Landwirtschaft" und (b) für den "Naturhaushalt" unterscheiden (Abb. 7). Diese können in einem Zielkonflikt stehen. Für die Bewertungsbereiche können die verschiedenen Parameter als unterschiedlich wichtig betrachtet werden.

Aus der Sicht der Landwirtschaft besitzt z.B. die Interaktion der Nützlinge und Schädlinge eine hohe Präferenz, während aus der Sicht des Naturhaushaltes z.B. Flexibilität und Regenerationsvermögen der Ökosysteme u. a. vom gesamten Artenpotential (Artenzahl, Artendiversität) eines Ökosystems abhängig ist.

Bewertungsbereiche	
Landwirtschaft	Naturhaushalt
- Interaktion Nützlinge - Schädlinge	- Artenzahl
- Fruchtfolgeschäden (z. B. Nachbauprobleme)	- Artendiversität
- funktionelle Ersatzgruppen	- Abundanz
	- und andere (z. B. Biomasse)
- Umsatzleistung (Bodenfruchtbarkeit, biologische Aktivität)	
Eintrag in benachbarte Kompartimente (z. B. bodennahe Atmosphäre, Grundwasser)	

Abb. 7: Relevante Parameter für unterschiedliche Bewertungsbereiche anthropogener und natürlicher Einflußfaktoren

Natürliche und anthropogene Einflußfaktoren (Trockenheit, Dünger- und Pflanzenschutzmittel-Einsatz u.a.) können die Lebensbedingungen von Individuen, Populationen oder ganzen Zönosen vom Optimum bis zum Pessimum kontinuierlich verändern (Abb. 8). Dies ist jedoch nur stufenweise erfaßbar, wobei die Zahl der Bewertungsstufen abhängig ist von der differenzierten Abschätzung der Veränderungen. Somit stellt die in Abbildung 8 dargestellte Abstufung nur ein willkürliches Beispiel dar.

Als Bewertungskriterien kommen Stärke und Dauer der Veränderungen von Parametern (z. B. Prozesse, Arten- und/oder Individuendichten, Biomassen) in Frage, die sich direkt oder indirekt auf die jeweilige Situation der Population, Zönose oder des

Ökosystems auswirken können. Erste Ansätze für die Bewertung ökotoxikologischer Einflüsse auf Bodenmikroorganismen wurden bereits entwickelt (DOMSCH et al. 1983; MALKOMES 1985).

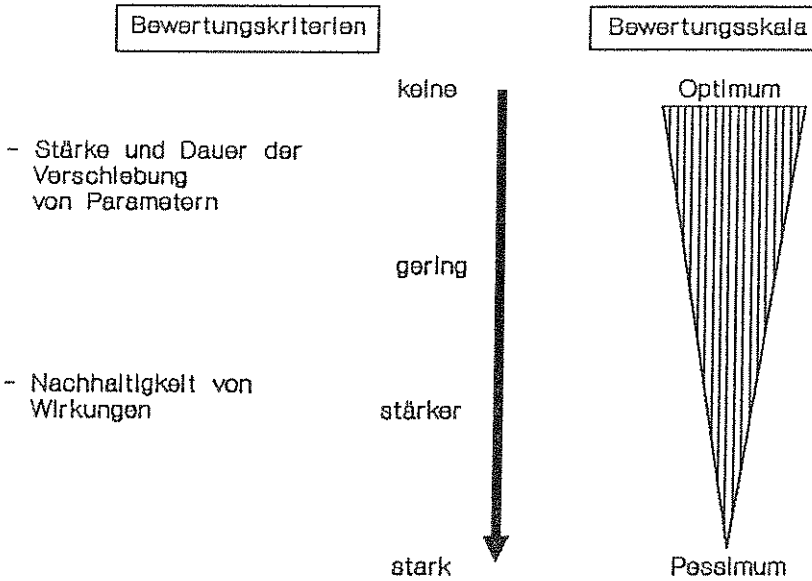


Abb. 8: Kriterien zur Bewertung der Wirkungen von Einflussfaktoren

Die Fähigkeit, äußere Einflüsse abpuffern zu können, kann bei Ökosystemen unterschiedlich stark ausgebildet sein. Je nachdem, wie groß diese Fähigkeit ist und relativ flexibel Populationen, Zönosen oder Ökosysteme reagieren, können unterschiedliche Gefährdungsgrade unterschieden werden (Abb. 9). Da Ökosysteme sich im Laufe der Zeit ändern und in der Regel einem Klimaxstadium zustreben, können sich auch die Gefährdungsbereiche mit der Zeit ändern. Diese potentiellen Gefährdungsbereiche lassen sich in einem mehrdimensionalen Koordinatensystem darstellen. In ihm können verschiedene ökologische Parameter (Artenzahl, Umsatz, Individuendichte, Biomasse u.a.) in ihrer natürlichen Schwankungsbreite als Flächen mit einer Begrenzung zu Ordinate und Abszisse charakterisiert werden. Unterschiedliche Zonen

dieser Flächen können dabei als Bereiche unterschiedlicher Stabilität und damit unterschiedlicher Gefährdung aufgefaßt werden. Ebenso wie sich die Struktur der gesamten Ökosysteme im Laufe der Zeit ändern können, verändern sich natürlich auch die Populations- und Zönosestrukturen in diesen Ökosystemen. Dies hat zur Folge, daß auch die Bereiche unterschiedlicher Gefährdung mit der Zeit Veränderungen unterworfen sind (Abb. 9).

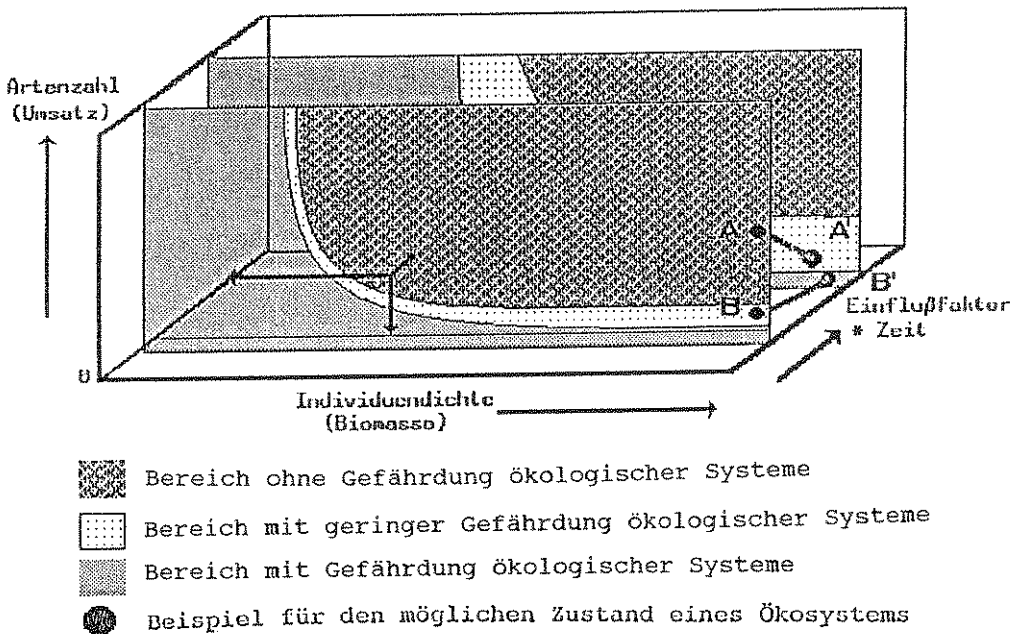


Abb. 9: Schematische Darstellung der Bewertungsansätze für die Beeinflussung ökologischer Parameter durch anthropogene Maßnahmen

Innerhalb des Koordinatensystems lassen sich gefährdete, gering gefährdete und nicht gefährdete ökologische Systeme differenzieren.

- Eine **Gefährdung** ökologischer Systeme ist bei geringer Arten- und/oder Individuenzahl gegeben, bei der der Erhalt und die Regeneration von Populationen einzelner Arten oder Artengemeinschaften nicht mehr gewährleistet ist.

- Eine geringe Gefährdung ökologischer Systeme umfaßt einen Bereich, in dem die Populationen von Arten oder Artengemeinschaften (infolge genügend hoher Individuenzahl und entsprechender Altersstruktur) sich noch erhalten bzw. wieder regenerieren können. Treten jedoch größere Störungen im Ökosystem auf (längere Trockenperioden, höhere Toxizität von Xenobiotika), so ist der Erhalt der Populationen am Standort nicht gesichert.
- Keine Gefährdung ökologischer Systeme besteht, wenn sich die Populationen von Arten oder Artengemeinschaften auch bei größeren extrinsischen Störungen weiterhin behaupten.

Der Aspekt der Immigration hinsichtlich des Erhalts von Populationen wurde in dieser Differenzierung außer Acht gelassen, da ihm bei bodenlebenden Organismen allenfalls eine untergeordnete Rolle zukommt.

Sowohl die ökologischen Systeme als Ganzes, wie auch die Zönosen und Populationen in ihnen unterliegen einer zeitlichen Veränderung. Wird ein kleiner ökologischer Teilbereich (z.B. eine Zönose) zu einem bestimmten Zeitpunkt untersucht, so kann er sich (wie in Abb. 9 beispielhaft dargestellt) im Bereich der Gefährdung oder geringerer Gefährdung befinden. Untersuchungen zu einem späteren Zeitpunkt können dann zum Beispiel ergeben, daß sich diese Population, Zönose o. ä. in einen Bereich hinein entwickelt hat, der nicht mehr bzw. geringer gefährdet ist. Während dieses Zeitraumes können sich natürlich die Gefährdungsbereiche des Ökosystems, die im vorliegenden Beispiel durch die zwei Parameter Artenzahl bzw. Umsatzleistung und Individuendichte bzw. Biomasse charakterisiert sind, ebenfalls verändert haben. Dies ist im vorliegenden Beispiel durch den breiteren Bereich geringerer Gefährdung zum zweiten eingezeichneten Zeitpunkt dargestellt.

Eine Abgrenzung der Gefährdungsbereiche setzt genaue Kenntnisse über die Regenerationsfähigkeit der Populationen, Zönosen bzw. Ökosysteme voraus. Diese sind bisher jedoch nur ansatzweise ermittelt.

Bewertungen, bei denen (wie in Abbildung 8 dargestellt) von den kontinuierlichen Veränderungen zwischen Optimum und Pessimum ausgegangen wird, sind allenfalls bei einigen wenigen Arten möglich. In vielen Fällen sind diese Arten nicht einmal die typischen Repräsentanten der jeweiligen Zönosen bzw. Ökosysteme.

### 3.1 Einfluß von natürlichen und anthropogenen Faktoren auf die Bewertung

Der Einfluß natürlicher abiotischer (Temperatur, Niederschlag, Bodenfeuchte) und biotischer (Unkraut- und Kulturpflanzenbesatz) Faktoren ist - je nach Organismengruppe - von großer Bedeutung oder sogar entscheidend für das Überleben einer Population (HEYDEMANN 1985).

Ebenso wie die mikrobiellen Aktivitäten sind auch alle untersuchten Organismengruppen primär von Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur abhängig. Deshalb werden die Populationsentwicklungen vor allem durch diese abiotischen Faktoren bestimmt. Als stark beeinflussend können auch biotische Faktoren wie der Entwicklungsstand und die Bestandesdichte der ober- und unterirdischen Phytomasse wirken.

Um unter den genannten Bedingungen die Populationsentwicklungen einzelner Organismengruppen oder -arten abschätzen zu können, sind sehr genaue Kenntnisse über deren Biologie und Reaktionsmuster erforderlich. Diese sind bei einzelnen Regenwurm- und Pilzarten bekannt. Bei allen anderen untersuchten Gruppen von Bodenorganismen sind die Reaktionen auf Änderungen der natürlichen und anthropogenen Faktoren noch viel zu wenig erforscht. Deshalb lassen sich hinsichtlich natürlicher und anthropogener Einflußfaktoren kaum detaillierte Aussagen treffen. Allenfalls können zu Faktoren wie Bodenbearbeitung sehr allgemeine Aussagen gemacht werden. So vernichteten das Pflügen und der nachfolgende Vogelfraß eine große Zahl von Lumbriciden und beeinträchtigten die Collembolen und Bodenmilben durch Zerstörung des nutzbaren Porenvolumens im Boden.

Derartige allgemeine Aussagen erscheinen jedoch wenig brauchbar, wenn es um eine möglichst präzise Einschätzung und Bewer-

tung von anthropogenen Faktoren wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel-Einsatz auf Populationen und deren Entwicklung innerhalb der Bodenmikroflora und Bodenfauna geht.

Bei der Interpretation des Einflusses der Bewirtschaftungsintensität auf die Bodenbiozönose ist im besonderen zu beachten, daß die unterschiedlichen Intensitäten als verschiedene ackerbauliche Anbausysteme aufzufassen sind, die sich nicht nur in der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln, sondern insgesamt in ihrem Einsatz an Produktionsmitteln (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Aussaatstärke) unterscheiden. Dabei bestehen Abhängigkeiten der Mittel untereinander hinsichtlich ihrer Einsatzintensität. Daraus leiten sich unterschiedliche Bestandesdichten der Kulturen und Zusammensetzungen der Segetalflora in den verschiedenen Intensitätsstufen mit unterschiedlichen mikroklimatischen Bedingungen und Habitaten für die Bodenlebewesen ab. Somit sind direkte Auswirkungen (Toxizität) des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und indirekte Effekte (Veränderungen der Habitate, der Nahrungsgrundlagen und von Antagonisten) denkbar, die im vorliegenden Projekt meistens nicht voneinander zu unterscheiden sind. Unter den Versuchsbedingungen in Ahlum können sie auch nicht getrennt von anderen intensitätsbedingten acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen erfaßt werden. Die Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensitäten sind daher als Resultate der Summe direkter und indirekter Wirkungen des unterschiedlich intensiven Produktionsmitteleinsatzes sowie deren Kombinationseffekte zu sehen. Ein Nachweis direkter Produktionsmitteleffekte und eine Unterscheidung von indirekten Auswirkungen einer intensitätsbedingten unterschiedlichen Verunkrautung der Versuchsflächen (starker Unkrautbesatz bei Zuckerrübe auf I<sub>0</sub>) konnte u. a. bei den mikrobiellen Aktivitäten erbracht werden.

Insgesamt ist ein komplexes Instrumentarium von Labor-, Halbfreiland- und Freilandversuchen notwendig, um die Einflußstärke natürlicher und anthropogener Faktoren auf Populationsveränderungen vor allem langfristig abschätzen zu können.

### 3.2 Bewertungstabelle

Zur zusammenfassenden Darstellung der in den Teilprojekten ermittelten Effekte anthropogener und natürlicher Einflußfaktoren auf die Bodenbiozönose werden die im Mittel aufgetretenen Auswirkungen auf die wichtigsten Parameter als Abweichungen (Stimulationen oder Verminderungen) vom mittleren Niveau in tabellarischer Form aufgeführt.

Dazu werden als qualitative Parameter die Artenzahlen bei den mikrobiologischen und zoologischen Teilprojekten und als quantitative Parameter die Zahl der Isolate bei den Pilzen und Algen und die Individuendichte/m<sup>2</sup> bei den Lumbriciden, Nematoden, Collembolen und Acari verwendet. Die mikrobiellen Aktivitäten werden als Dehydrogenaseaktivität ( $\mu\text{g}$  Triphenylformazan/5 g Boden) und als Kurzzeitatmung (ml CO<sub>2</sub>/6 h) und die Persistenz als Maß für die Verweildauer der Pflanzenschutzmittel im Zielkompartiment "oberste Bodenschicht (0-10 cm)" angegeben. Dabei beziehen sich die Angaben für die untersuchten Gruppen bzw. Parameter auf alle Kulturen und die jeweils untersuchten Intensitäten. Das sind bei den Algen und Pilzen nur die Intensitäten I<sub>0</sub> und I<sub>3</sub> des Schlages II, bei den zoologischen Gruppen, den mikrobiellen Aktivitäten und der Rückstandsanalytik alle Schläge und alle Intensitäten.

Die Daten wurden bei den Pilzen, Algen und mikrobiellen Aktivitäten für eine Bodentiefe von 0-5 cm erhoben. Bei den Collembolen und Acari stammen die Daten aus 0-10 cm Bodentiefe, bei den Nematoden aus 0-30 cm und bei den Lumbriciden aus 0-60 cm Tiefe. Die Werte der Rückstandsanalytik beziehen sich auf eine Tiefe von 0-5 und 5-10 cm. Die quantitativen Abweichungen (= Effekte) der Einflußfaktoren in Bezug zu mittleren Häufigkeiten oder Aktivitäten werden in Relativwerten (Bonituren) aufgeführt, wobei der Mittelwert die Boniturnote 5 erhält und die Einteilungen in die Klassengrenzen in 20 %-Schritten erfolgt, so daß eine Skala von 0-10 zur Verfügung steht (Tab. 1). Eine derartige überblicksmäßige Darstellung soll sowohl die Abschätzung der Empfindlichkeit von Meßparametern (z. B. Individuendichten oder Artenzahlen der untersuchten bodenbiologischen



Tab. 1: Boniturschema für die ermittelten Effekte

Boniturnote	Effekt (Abweichung) in % vom Mittelwert
0	> - 90
1	- 70 bis - 90
2	- 50 bis - 70
3	- 30 bis - 50
4	- 10 bis - 30
5	- 10 bis + 10
6	+ 10 bis + 30
7	+ 30 bis + 50
8	+ 50 bis + 70
9	+ 70 bis + 90
10	> + 90

Gruppen) gegenüber verschiedensten Umweltfaktoren als auch den Effekt einzelner Einflußgrößen (z. B. Fruchtart oder Bodenbearbeitung) auf die Gesamtheit der charakteristischen Meßgrößen der Bodenbiozönose ermöglichen.

Weiterhin können die Effekte der Bewirtschaftungsintensität in Beziehung zu natürlichen und anthropogenen Einflüssen gesetzt werden.

Die Empfindlichkeit von Meßparametern und die Effekte der Einflußgrößen können mit Hilfe von Streuungsmaßen über Zeilen sowie Streuungsmaße und Mittelwerte der Spalten der Bewertungstabelle ermittelt und miteinander verglichen werden, wobei Sensitivität bzw. Auswirkungen umso größer sind, je häufiger und stärker Abweichungen vom Mittelwert auftreten (Tab. 2). Ob und in welchem Ausmaß ein Einflußfaktor insgesamt hemmende oder stimulierende Effekte aufweist, ist an der Größe des mittleren Boniturwertes des jeweiligen Faktors im Vergleich zum Gesamtmittelwert 5 erkennbar.

Es ist bei der gewählten Darstellungsweise zu beachten, daß alle aufgeführten Leitparameter der Teilprojekte im Hinblick auf ihre Bedeutung für das Agrarökosystem als gleichwertig betrachtet werden, weil eine Gewichtung der Parameter beim derzeitigen Kenntnisstand als nicht gerechtfertigt erscheint. Die

Tabelle 2: Zusammenfassende Bewertung der Meßparameter aller Teilprojekte

Gruppe	Parameter	Einflußgrößen:Fruchtarten			Boden- bearbeitung	Klima und Witterung			steigende Bestandesd.	steigende Intensität	Standard- abweichung	
		ZR	HW	WG		ZF	VR-VP	ver. J.				Witterung
Algen, Cyanobakt.	Artenzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Zahl d. Isolate	3	6	2.5	7.5	-	-	-	-	1.5	2.27	
Algen, eukaryot. Al.	Artenzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Zahl d. Isolate	2.5	9	4	5	-	-	-	-	3	2.32	
Oomyceten	Artenzahl	4.5	4.5	5.5	5	-	5	-	-	5	0.34	
	Zahl d. Isolate	4.5	4.5	5	4	-	5	-	-	5	0.37	
Zygomyceten	Artenzahl	5	4	5	5.5	-	5	-	-	5	0.45	
	Zahl d. Isolate	4.5	4	5.5	6	-	5	-	-	4.5	0.67	
Ba./Asc./Deu- teromyceten	Artenzahl	5.5	-	4	5.5	-	5	-	-	5	0.55	
	Zahl d. Isolate	5	-	4.5	6	-	5	-	-	5	0.49	
Mikrobielle Aktivität	Dehydrogenase,-A.	2.5	5	5	6.5	3	-	4.5	5	6.5	4	1.29
	Kurzzeitatmung	3.5	5	6.5	-	2.5	-	5	5	6.5	5	1.27
Nematoden	trophische Ebene	5	5	5	5	-	-	-	-	5	0.0	
	Individuenzahl/m <sup>2</sup>	5	4	6	7	-	-	-	-	4	1.17	
phytoparas. Nematoden	Individuenzahl/m <sup>2</sup>	5	5	6	6	-	-	-	-	5.5	0.45	
Lumbriciden	Artenzahl	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.00	
	Individuenzahl/m <sup>2</sup>	2	9	7	8	0.5	5	2	2	5	4	2.72
Acarî	Artenzahl	3.5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.45	
	Individuenzahl/m <sup>2</sup>	4	5	6	9	5	1.5	-	1	7	4.4	2.36
Collembolen	Artenzahl	5	5	5	5	-	-	-	-	4.5	0.20	
	Individuenzahl/m <sup>2</sup>	4	5	5	9	-	0.5	-	-	3.5	2.52	
Rückstands- analytik	Persistenz in 0-10 cm	-	5	5	-	5-0*	1	7	5	-	5	1.80
Standardabweichung		1.04	1.44	0.97	1.45	1.84	1.82	1.60	1.73	0.93	0.93	
Mittelwert		4.15	5.27	5.12	6.11	3.5	4	4.75	4	5.83	4.45	

Die Maßzahlen sind Relativwerte und geben die Abweichungen vom Mittelwert in 20%-Schritten an. Der Mittelwert erhält den Boniturwert 5

Als Mittelwert gilt bei:

Fruchtart Mittelwert der jeweiligen Fruchtart im Vergleich zum Mittelwert über alle Kulturen und Untersuchungsjahre  
ZR = Zuckerrübe, WW = Winterweizen,  
WG = Wintergerste, ZF = Zwischenfrucht

Bodenbearbeitung Werte nach Bearbeitung im Vergleich zum Mittelwert über alle Kulturen und Untersuchungsjahre

Klima  
Veg.ruhe/ Veg.periode Mittelwerte aus der Vegetationsruhe im Vergleich zum Mittelwert der Vegetationsperioden  
VR = Vegetationsruhe, VP = Vegetationsperiode

Jahresklima Vergleich der Mittelwerte verschiedener Jahre ver. J. = verschiedene Jahre

Witterung Mittel aus den Werten in Trockenphasen im Vergleich zur jeweils vorausgegangenen Feuchtphase

steigende Bestandesdichte Vergleich der höchsten im Bezug zu der geringsten Bestandesdichte der jeweiligen Fruchtart  
Bestandesd. = Bestandesdichte

steigende Intensität Mittelwerte über alle untersuchten Schläge, Termine der höchsten im Vergleich zur niedrigsten untersuchten Bewirtschaftungsintensität (d. h. i. d. R.  $I_0$ , bei Rückstandsanalytik  $I_1$ )

\* Da Persistenz als Verweildauer eines Wirkstoffs in einem definierten Kompartiment der Umwelt definiert ist, kann je nach Art und Tiefe der Bodenbearbeitung nur eine Durchmischung im Kompartiment 0-10 cm (Bewertung = 5) oder z. B. durch Unterpflügen eine vollständige Entfernung hieraus (Bewertung = 0) erfolgen.

Weitere Abkürzungen:

Cyanobakt. = Cyanobakterien  
eukaryot. Alg. = eukaryotische Algen  
Asc. = Ascomyceten  
Deu. = Deuteromyceten  
phytoparas. Nematoden = phytoparasitische Nematoden

Datengrundlage der Parameter ist jedoch sehr unterschiedlich, da bei einigen Parametern die Boniturwerte nur aus den Ergebnissen einer Fruchtfolge eines Schrages (Schlag II) und dem Vergleich zweier Intensitäten ( $I_0$  und  $I_3$ ) beruhen (Bodenpilze, Bodenalgae), während andere aus den Fruchtfolgen aller drei Schläge und je vier Intensitätsstufen der Bewirtschaftung ermittelt wurden (z. B. Dehydrogenaseaktivität, Kurzzeitatmung, Lumbriciden, Rückstandsverhalten). Da nicht für alle Parameter die Effekte aller aufgeführten Einflußgrößen quantifizierbar waren, ist die Bewertungstabelle nicht vollständig besetzt.

### 3.3 Empfindlichkeit von Parametern

Bei der landwirtschaftlichen Fruchtfolge, die diesen Untersuchungen zugrunde liegt, scheinen qualitative Aspekte der Zusammensetzung der Bodenbiozönose (Artenzahlen) nur wenig durch die aufgeführten Faktoren beeinflußt worden zu sein. Unabhängig von Fruchtart (Ausnahme Acari unter Zuckerrübe), Klimafaktoren und Bewirtschaftungsintensität schien generell das Artenpotential des Ackers erhalten zu bleiben, während Abundanzverschiebungen zwischen den Arten und Veränderungen im Artenspektrum zu verzeichnen waren (z. B. Pilze).

Die Individuenzahlen, Zahl der Isolate, Enzym- und Atmungsaktivitäten und die Persistenz der Pflanzenschutzmittel wurden hingegen stärker - jedoch nicht signifikant - durch die einwirkenden Faktoren beeinflußt und reagierten empfindlicher (größeres Streuungsmaß).

Im Bereich der Bodenmikrobiologie sind bei den Bodenpilzen insgesamt geringere Effekte festzustellen als bei den Bodenalgae, deren Abundanzen durch Fruchtart und Bewirtschaftungsintensität stark beeinflußt wurden. Die Summenparameter mikrobieller Aktivitäten (Dehydrogenaseaktivität, Kurzzeitatmung) wiesen im Vergleich zu teilweise starken Abundanzänderungen einzelner Gruppen (Algen) mittlere Schwankungen auf, wobei Fruchtart und Bodenbearbeitung stärkere Auswirkungen hatten.

Bei den bodenzoologischen Untersuchungen reagierten die Nematoden unempfindlicher auf externe Einflüsse als die anderen Grup-

pen. Diese Resultate beziehen sich immer auf die gesamte Bodentiefe, in denen die einzelnen bodenzoologischen Gruppen untersucht wurden. Während die Artenzahlen von Collembolen, Acari und Lumbriciden weitgehend gleich blieben, wiesen die Individuendichten starke Schwankungen auf, wobei ausgeprägte Fruchtarteffekte, aber auch Einflüsse von Klima und Bodenbearbeitung zu verzeichnen waren. Bei den Collembolen wirkte sich auch die Bewirtschaftungsintensität aus.

Der für den Bereich der Rückstandsuntersuchungen gewählte Parameter Persistenz wurde bei den aufgeführten Einflußfaktoren von der Witterung und der Bodenbearbeitung deutlich beeinflußt. Bewirtschaftungsintensität und die Fruchtarten Winterweizen und Wintergerste, bei denen ein Vergleich möglich war, hatten keine erfaßbaren Auswirkungen auf die Verweildauer der Pflanzenschutzmittel im Boden.

#### 3.4 Effekte der Einflußgrößen

Allgemein wurden die untersuchten Parameter der Bodenbiozönose durch Bodenbearbeitung und Klima stark, durch die Fruchtarten teilweise beeinflußt, während nur geringe Effekte der Bestandesdichte und Bewirtschaftungsintensität (außer bei Algen) nachzuweisen waren.

Die Auswirkungen von **Bodenbearbeitungsmaßnahmen** auf die Biozönose der Ackerflächen konnten nur bei einigen Parametern erfaßt werden. Insbesondere die Individuendichte der Lumbriciden und die mikrobielle Aktivität wurden vorübergehend stark vermindert (40-90 %), die Artenzahlen blieben hingegen konstant. Die durch eine tiefergehende Bodenbearbeitung hervorgerufene Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln aus der obersten Bodenschicht bewirkte nur eine Entfernung aus bzw. Verdünnung in dem Zielkompartiment und damit eine Verminderung der räumlichen Verfügbarkeit für die dort befindlichen Nichtzielorganismen, nicht immer jedoch einen Abbau der Wirkstoffe.

Klima- und Witterungsfaktoren beeinflussten, außer bei den Pilzen, die untersuchten bodenbiologischen Häufigkeits- und Aktivitätsparameter sowie die Persistenz von Pflanzenschutzmitteln im allgemeinen stark, die mikrobielle Aktivität hingegen in geringerem Ausmaß.

Im Vergleich der Fruchtarten waren die Häufigkeits- und Aktivitätsparameter der Bodentiere (außer bei Nematoden), der mikrobiellen Aktivität und der Algen beim Anbau von Zuckerrüben vermindert. Unter der Zwischenfrucht kam es in der Regel zu einer starken Förderung der Aktivitäten. Die Pilze wurden nur in geringem Maße beeinflusst.

Eine steigende Dichte des Pflanzenbestandes hatte einen allgemein aktivitäts- und abundanzfördernden Effekt, wie einige Parameter andeuten, bei denen Ergebnisse für diesen Einflußfaktor vorliegen.

Eine hohe Bewirtschaftungsintensität hatte bei Algen und Collembolen eine stärkere Verminderung der Abundanzen zur Folge, in geringerem Umfang auch bei der mikrobiellen Aktivität (Dehydrogenaseaktivität). Die Artenzahlen blieben weitgehend konstant. Da die Pflanzenschutzmittel-Effekte sich auf die gesamte Untersuchungstiefe beziehen, sind die Reaktionen vermutlich schwächer als sie bei Betrachtung nur der oberen Bodenschicht oder der Bodenoberfläche wären.

Bei Organismen mit einem jährlichen Populationszyklus (z. B. Lumbriciden), die im allgemeinen einen langsamen Regenerationsprozess der Population und außerdem eine geringe Wiederbesiedlungsrate aufweisen, war keine gravierende Beeinträchtigung zu erkennen. Bei diesen wäre eine Reduzierung des Artenpotentials und der Abundanz kritischer zu bewerten als bei Populationen mit höherem Reproduktionsvermögen in kürzeren Zeitintervallen wie dies z. B. bei vielen Acari oder Collembolen der Fall ist. Durch die Bewirtschaftungsintensitäten wurden die ermittelten ökologischen Kenngrößen der Bodenbiozönose (bei geringer Tendenz zu niedrigeren Aktivitätsniveaus, außer bei Algen) insgesamt weniger beeinflusst als durch andere anthropogene oder natürliche Einflußfaktoren.

#### 4 Folgerungen für die Landwirtschaft

Aus dem heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand und den dreijährigen Resultaten des vorliegenden Verbundprojektes erscheint es notwendig, Folgerungen für die landwirtschaftliche Praxis zu formulieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Dazu sei noch einmal auf Abbildung 7 Bezug genommen, in der die beiden Bereiche "Landwirtschaft" und "Naturhaushalt" mit einigen notwendigen Teilbedingungen und Teilzielen aufgeführt sind.

Bei einer sachgerechten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung muß gewährleistet sein, daß

- die **Bodenfruchtbarkeit** erhalten bleibt,
- es möglichst zu keinen **Fruchtfolgeschäden** (z. B. bei Nachbaukulturen) kommt,
- ein ungünstiges **Verhältnis von Nutzorganismen zu Schaderregern** in der Bodenbiozönose vermieden wird.

In dem Verbundprojekt "Ahlum" wurden jeweils vier Intensitätsstufen mit unterschiedlicher Bewirtschaftung untersucht. Diese Intensitäten sind jedoch nicht als einzelne Varianten eines Freilandversuches zu betrachten, sondern stellen jeweils Anbausysteme mit eigenständigen ökonomischen und ökologischen Charakteristika dar.

Vergleicht man lediglich die oben genannten Voraussetzungen für eine langfristige ökonomisch sichere Landbewirtschaftung mit den Ergebnissen aus den einzelnen Teilprojekten, lassen sich insbesondere für die Bodenfruchtbarkeit und auch für die anderen Grundvoraussetzungen in keiner Intensität Beeinträchtigungen feststellen. Geringfügige negative Auswirkungen in der Intensitätsstufe I<sub>3</sub> waren etwa durch die leicht erhöhte Abundanz der phytoparasitischen Nematoden gegeben.

Da es keine Langzeitversuche zu diesen Komplexen gibt, existiert hier - wie auch an anderen Stellen innerhalb des Verbundprojektes - das Problem, solche allgemeinen Aussagen aus den Resultaten dreijähriger Untersuchungen treffen zu müssen.

Die Landwirtschaft darf jedoch nicht nur die rein ökonomischen

Gesichtspunkte betrachten. Zunehmend sind Aspekte des Naturhaushaltes, wie sie gesetzlich formuliert sind (z. B. im Pflanzenschutzgesetz vom 15. September 1986), mit seinen Auswirkungen bis hin zum Menschen zu berücksichtigen.

Dabei geht es um

- chemisch-physikalische Auswirkungen (Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Kompartimente benachbarter Ökosysteme),
- Biozönosen landwirtschaftlicher Böden, die nicht nachhaltig und dauerhaft geschädigt werden dürfen.

Ein Vergleich dieser Forderungen für den Naturhaushalt mit den Ergebnissen aus den einzelnen Teilprojekten läßt folgendes erkennen:

- Die stärkste Reaktion ergab sich bei den Bodenalggen, Organismen mit einer hohen Reproduktionsrate an der Bodenoberfläche. Das ermöglicht ihnen wahrscheinlich eine schnelle Erholung, weshalb sie insgesamt nicht dauerhaft geschädigt bzw. reduziert werden. Eindeutige Zuordnungen von Reduktionen der Isolate zum Einsatz bestimmter Pflanzenschutzmittel sind nicht möglich, obwohl eine stärkere Beeinträchtigung durch Herbizide zu erwarten war. Bei einigen Organismen (Pilze, Collembolen, Acari) kam es aufgrund der Bewirtschaftungsintensität zu Verschiebungen im Artenspektrum und/oder von Abundanzen. Die Veränderungen im Artenspektrum bei den Pilzen wurden als nicht gravierend angesehen. Die Verschiebungen in den Abundanzen, vor allem bei Collembolen und Acari sind angesichts einer relativ kurzen Generationsdauer und dadurch bedingt einer dichten Generationenfolge als gering zu bewerten, da sie schnell wieder ausgeglichen werden können.
- Bezieht man außer dem Vergleich der verschiedenen Anbausysteme noch die Effekte weiterer anthropogener (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) und natürlicher Einflußfaktoren mit ein (siehe Tab. 2), so sind die gemessenen Veränderungen stark zu relativieren und erscheinen vergleichsweise gering.
- Gravierende Einschnitte in die Bodenbiozönose des Agrarökosystems haben sich möglicherweise schon viel früher ereignet



und sind in den vorliegenden Untersuchungen gar nicht mehr erfaßbar. So fanden die Untersuchungen auf Böden statt, die schon lange einer agrarischen Nutzung unterlagen. Zu vermuten ist, daß die wirklich empfindlichen Arten schon nicht mehr vorhanden waren. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes konnten möglicherweise von vornherein keine starken Veränderungen in Artenspektren und/oder Abundanzen der Bodenorganismen erwartet werden, weil diese Agrar-Bodenbiozönose in zwischen vorwiegend aus euryöken Arten besteht, deren Populationen eine größere Flexibilität gegenüber den Änderungen natürlicher und anthropogener Einflüsse besitzen.

In der Intensität  $I_3$  mit maximalem Produktionsmitteleinsatz kam es temporär zu erkennbaren Veränderungen der Bodenbiozönose.

Aus alleiniger Sicht des Naturhaushaltes wäre möglichst jedes Risiko eines größeren Eingriffs in die Bodenbiozönose zu vermeiden, so daß deshalb eine Reduktion auf eine geringere Intensitätsstufe erstrebenswert erscheint.

Da in den Intensitäten  $I_0$  und  $I_1$  jedoch nicht annähernd rentable Erträge erwirtschaftet werden können, erscheint die Intensität  $I_2$  mit integriertem Pflanzenschutz (bei einer Reduktion des maximalen Produktionsmitteleinsatzes) und gleichzeitig wirtschaftlicher Rentabilität als erstrebenswertes Anbausystem, bei dem keine wesentlichen negativen Effekte auf die landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit und den Naturhaushalt zu erwarten sind.

**Bewertungskriterien zur Belastung von Agrarökosystemen, Verknüpfung und Bewertung der Teilprojektdaten und Folgerungen für die Landwirtschaft**

### Zusammenfassung

Von 1987 bis 1989 wurden innerhalb des BMFT-Bodenschutzprogramms auf der Versuchsfläche "Ahlum" auf Lößboden in einer dreigliedrigen Fruchtfolge (Zuckerrüben, Winterweizen, Winter-

gerste) Versuche mit dem Ziel durchgeführt, den Einfluß von vier unterschiedlich intensiven Bewirtschaftungsstufen (z.B. I<sub>0</sub> ohne Pflanzenschutzmittel, I<sub>3</sub> mit hohem Pflanzenschutzmittelaufwand) auf Bodenorganismen und das Verhalten von Pflanzenschutzmitteln zu erfassen. Neun Teilprojekte erarbeiteten Daten über Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, über mikrobielle Aktivitäten, Pilze, Algen, Regenwürmer, Collembolen, Milben und Nematoden, die hier einer gemeinsamen Betrachtung unterzogen wurden.

#### **Verknüpfung der Teilprojektdaten**

Da Bodenorganismen untereinander in einer multifunktionellen Beziehung stehen, muß auch eine Interpretation der Gesamtergebnisse dem Rechnung tragen. Anhand von Stern diagrammen und zeitlichen Verläufen biologischer Parameter wurde versucht, Daten zu verknüpfen. Am Beispiel von Wintergerste wurde gezeigt, daß von Oktober 1987 bis Juni 1988 z.T. deutliche Veränderungen von Teilen der Bodenbiozönose in der pflanzenschutzmittelfreien Variante I<sub>0</sub> auftraten. Zusätzlich konnten Einflüsse der höchsten Intensitätsstufe I<sub>3</sub> beobachtet werden. Die Darstellung zeitlicher Verläufe wies Ähnlichkeiten zwischen den Gruppen der Bodenfauna auf. Die Bodenbearbeitung führte meistens zu einem Ausgleich der Intensitätsunterschiede bei der Dehydrogenaseaktivität, bei Algen reduzierte sie die Zahl der Isolate.

#### **Überlegungen zur Bewertung**

Die Folgen landwirtschaftlicher Nutzung des Bodens erhalten aus der Sicht der Landwirtschaft eine andere Bedeutung als aus der des Naturhaushaltes. Die Bildung von Bewertungsstufen ist notwendig, um das Ausmaß von Beeinträchtigungen vergleichen zu können. Die in ein Koordinatensystem eingefügten Bereiche unterschiedlicher Pufferungsfähigkeit von Störungen soll eine Zuordnung von gefährdeten oder weniger gefährdeten Populationen, Zönosen und Ökosystemen ermöglichen. Im vorliegenden Fall konnten nur sehr allgemeine Aussagen getroffen werden. In tabellarischer Form wurden die Abweichungen vom mittleren Niveau bei den wichtigsten Parametern dargestellt, um einen Überblick über die in den Teilprojekten ermittelten Effekte natürlicher und anthropogener Einflußfaktoren erkennen zu können. Insgesamt

wurde die Artenzahl wenig, die Individuendichte, die mikrobielle Aktivität sowie die Pflanzenschutzmittelpersistenz stärker beeinflußt. Die untersuchten Parameter wurden durch die Bodenbearbeitung und das Klima stark, durch die Fruchtarten teilweise beeinflußt. Bestandsdichte und Bewirtschaftungsintensität waren geringer wirksam. Insgesamt können die Ergebnisse kaum Einzelmaßnahmen zugeordnet werden, sondern nur den mit den Intensitätsstufen verknüpften unterschiedlichen ackerbaulichen Anbausystemen.

#### Folgerungen für Landwirtschaft und Naturhaushalt

Bei einer sachgemäßen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung muß gewährleistet sein, daß die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt und es zu keinen Fruchtfolgeschäden sowie einer Abschwächung des Verhältnisses von Nützlingen zu Schädlingen kommt. Unter Berücksichtigung dieser Forderung waren im Untersuchungszeitraum keine Anzeichen für eine intensitätsbedingte Abnahme der Bodenfruchtbarkeit zu erkennen. Hinsichtlich des Naturhaushalts ist zu berücksichtigen, daß Biozöosen landwirtschaftlicher Böden nicht nachhaltig und dauerhaft geschädigt werden dürfen. Zwar ließen sich Beeinträchtigungen einiger Bodenorganismen beobachten, doch erschienen diese bei Einbeziehung der Wiedererholung und dem Vergleich mit anderen anthropogenen und natürlichen Einflußfaktoren als vergleichsweise gering. Allerdings muß hierbei berücksichtigt werden, daß gravierende Einschnitte in die Bodenbiozönose des Agrarökosystems vermutlich zeitlich viel weiter zurückliegen und stattfanden, als die landwirtschaftliche Nutzung begann. Es ist anzunehmen, daß die Bodenbiozönose inzwischen weitgehend aus euryöken Arten besteht, die eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Störungen aufweisen. Als Kompromiß zwischen der ökologisch "schonenden", aber kaum rentable Erträge erwirtschaftenden Variante  $I_0$  und der ökologisch stärker belastenden Variante  $I_3$  bietet sich die Variante  $I_2$  an, die bei relativ guter Umweltverträglichkeit noch Erträge erbringt.

## Criteria of stress in agricultural ecosystems, its connection and assessment of data and conclusions for agriculture

### Summary

Within the soil protection program of the BMFT experiments were carried out in the area "Ahlum" on loess soil with a crop rotation of sugar beet, winter wheat and winter barley from 1987 to 1989.

The aim was to find the effect of four different intensities of cultivation (e.g.  $I_0$  without plant protection products,  $I_3$  with high rate of plant protection products) and the influence of plant protection on soil organisms. In nine separate projects data of residues of plant protection products, of microbial activities, fungies, algae, earthworms, Collembola, mites and nematodes were investigated and were subjected to a joined reflection.

### Connection of the data

Since the soil organisms are related multi-functionally an interpretation of the total results must be considered. Using star diagrams and temporal courses of biological parameters it was tried to connect the data. The example of winter barley showed that from October 1987 to June 1988 there were some significant changes of parts of the soil biocoenosis when applying the intensity  $I_0$  without plant protection products. Also these effects could be observed in the highest intensity  $I_3$ . The description of temporal courses showed similarities among the groups of soil fauna. In the activity of dehydrogenase the tillage showed mostly a balance when different intensities of cultivation were used. In the case of the algae the tillage reduced the number of isolates.

### Considerations on assessment

The effect of agricultural usage of soil has an other significance for agriculture than for ecosystem energetics. Making assessment steps it is necessary to be able to compare the magnitude of adverse effects. Using a system of coordinates sectors with a different ability of ecological carrying

capacity it should be possible to assign the endangered or less endangered populations, coenoses and ecosystems. In this case only very common statements could be made. The differences from the average of the most important parameters were listed to be able to estimate the effects of natural and human factors ascertained in the separate projects. The total number of species was effected slightly, the number of individuals, the microbial activity and the persistence of plant protection products were more effected. The investigated parameters were effected higher by the tillage and the climate and partially by the type of crops. There were only small effects on density of location and of intensity of cultivation. Totally the results can hardly be assigned to single measurements but only to the intensities integrated with different agricultural cropping systems.

#### **Conclusions for agriculture and ecosystem energetics**

In a proper agricultural use it must be guaranteed that soil fertility maintains and that there is no damage in crop rotation and no reduction of beneficial organisms in the relationship to pests. Considering this demand no signs for a decrease of soil fertility by the used intensities was found. Regarding the ecosystem energetics the biocoenoses of agricultural soils there must not occur an intensive and permanent damage. Adverse effects of some soil organisms were observed but they seemed to be comparatively small by including regeneration and comparing the influence of other natural and human factors. Though it has to be regarded that serious disturbances in the soil biocoenoses of agricultural ecosystem was presumably long ago and had happened when the agricultural use started. Meanwhile the soil biocoenoses will consisted to a great extent consisted of euryoecious species which have a smaller sensitivity to adverse effects. As a compromise between the variant  $I_0$  which is ecological friendly but produces hardly profitable yields, and the variant  $I_3$  which has more ecological stress the variant  $I_2$  is ecologically well tolerated and produces acceptable yields.

5 Literatur

- DIERCKS, R., HEITFUSS, R. (1990): Integrierter Landbau. - BLV Verlagsgesellschaft, München: 420 S.
- DOMSCH, K. H., JAGNOW, G., ANDERSON, T. H. (1983): An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. - Residue Review, 86: 65-105.
- HEYDEMANN, B. (1985): Folgen des Ausfalls von Arten - am Beispiel der Fauna. - Schriftenreihe "Deutscher Rat für Landespflege", 46: 581-594.
- HEYDEMANN, B., MEYER, H. (1983): Auswirkungen der Intensivkultur auf die Fauna in den Agrarbiotopen. - Schriftenreihe "Deutscher Rat für Landespflege", 42: 174-191.
- MALKOMES, H.-P. (1985): Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. - Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 198: 134-147.
- MALKOMES, H.-P. (1989): Wirkung von Agrarchemikalien auf Bodenlebewesen. - VDLUFA-Schriftenreihe, 28, Kongreßband 1988: 1171-1185.

**Anschrift der Verfasser:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,  
Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig.

XIII *AUSWIRKUNGEN ABGESTUFTER INTENSITÄT DER PFLANZENPRODUKTION AUF LAUFKÄFER (COLEOPTERA; CARABIDAE)*

Christine Kula

1 Einleitung

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes 'Integrierte Pflanzenproduktion', das mit dem Bodenschutzprojekt (Kap. I-XII) in keinem Zusammenhang stand, wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Intensität der Pflanzenproduktion im Hinblick auf verschiedene ökologische und ökonomische Parameter untersucht. Im vorliegenden Teilprojekt waren insbesondere die polyphagen Laufkäfer als artenreiche, während der gesamten Vegetationszeit auf Agrarflächen auftretende Tiergruppe Gegenstand der Untersuchungen. Besonderes Interesse galt hierbei der möglichen Wirkung einer Restverunkrautung im Feld. Da einige der auf Ackerflächen auftretenden Laufkäferarten einen großen Aktionsradius haben und auch während der Vegetationszeit in angrenzenden Biotopen auftreten, wurden Randstrukturen wie Feldraine und künstlich angelegte Vegetationsstreifen in die Untersuchungen einbezogen.

Experimentelle Grundlage der vorliegenden Arbeit war ein Versuch der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, der die langfristige Erfassung ökologischer und ökonomischer Auswirkungen unterschiedlicher Intensität der Pflanzenproduktion zum Ziel hatte. Die Intensitätsabstufung erfolgte unter anderem durch unterschiedliche Pflanzenschutzmaßnahmen und zeigte sich teilweise deutlich in unterschiedlichem Unkrautbesatz.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsanlage

Allgemeine Daten zum Versuchsstandort "Ahlum", dem Versuchsdesign mit Kulturen, Bewirtschaftungsintensitäten sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind in Kapitel II in diesem Band dargestellt.

Jede Kultur wurde auf insgesamt 12 ha Fläche mit je 4 ha für jede Variante angebaut. Die vorliegenden Untersuchungen erfolgten auf Teilflächen von jeweils 1,2 ha im Zentrum der Versuchsanlage. Abbildung 1 zeigt für die Jahre 1984 bis 1986 schematisch die Lage der einzelnen Kulturen auf der Versuchsfäche einschließlich der Randstrukturen und des jährlich eingesäten Gras- und *Phacelia*-Streifens.

Die Pflanzenschutzmaßnahmen unterschieden sich aufgrund der ackerbaulichen Gegebenheiten der Jahre 1984 bis 1986 zum Teil von den Maßnahmen, die in den nachfolgenden Jahren 1987 bis 1989 im Rahmen des Verbundprojektes erfolgten. Die Definition und Zielsetzung der Varianten war jedoch bis auf die I<sub>0</sub>-Variante, die in diesen Jahren noch nicht angelegt war, gleich. Ausführliche Angaben zu den Pflanzenschutzmaßnahmen finden sich bei KOKTA (1989).

Die Unkrautflora setzte sich aufgrund des hohen Düngenniveaus vorwiegend aus nitrophilen Arten zusammen. In der Wintergerste dominierten *Stellaria media* (Vogel-Sternmiere) und *Poa annua* (Einjähriges Rispengras). Der unterschiedliche Herbizideinsatz in den einzelnen Varianten führte zu einem unterschiedlich hohen Unkrautdeckungsgrad. Im Durchschnitt der Jahre lag er zum Zeitpunkt der Bonitur im Sommer bei 30 % in I<sub>1</sub>, 20 % in I<sub>2</sub> und weniger als 1 % in I<sub>3</sub>.

Im Winterweizen gehörten neben *Poa annua* und *Stellaria media* auch *Veronica hederifolia* (Efeu-Ehrenpreis) und *Apera spica-*



venti (Windhalm) zu den häufigen Arten. Der Deckungsgrad im Sommer betrug in der I<sub>1</sub>-Variante im Durchschnitt der Jahre 28 %, in I<sub>2</sub> 20 % und in I<sub>3</sub> weniger als 1 %.

In den Zuckerrüben war die Verunkrautung aufgrund der intensiven Unkrautbekämpfung in allen Varianten gering. Nach Reihenschluß der Rüben war *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) die einzige häufige Art. Aufgrund der geringen Verunkrautung wird hier auf die Angabe von Deckungsgraden verzichtet.

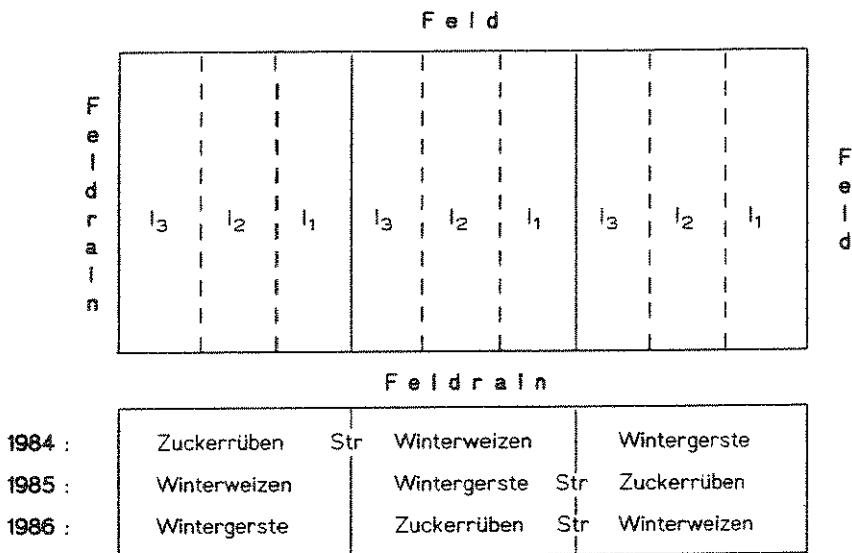


Abb. 1: Schematische Darstellung der Versuchsanlage 'Ahlum' mit Lage der Kulturen in den Jahren 1984 bis 1986 (Str= Streifen mit *Phacelia tanacetifolia* und *Lolium multiflorum* bzw. *Poa annua*)

## 2.2 Erfassung der Laufkäferaktivitätsdichte

In jeder Variante wurden vom Frühjahr bis zur Ernte jeweils sechs Bodenfallen aufgestellt und wöchentlich geleert. Die Abstände der Fallen voneinander betragen sowohl innerhalb als auch zwischen den Varianten jeweils 20 bis 25 m. Die Bodenfal-

le bestand aus zwei Plastikbechern mit einem Durchmesser von 10,5 cm, die in einen Bitumenring eingelassen waren. Ein Becher blieb ständig in diesen Ring installiert. Bei der wöchentlichen Leerung verhinderte dieser Becher ein Nachrutschen des Erdreichs, so daß der Wechsel des eigentlichen Fangbechers relativ störungsfrei für die Fallenumgebung ablief. Als Fangflüssigkeit diente eine 0,5 %ige Formalinlösung mit einigen Tropfen Detergens. Zur Untersuchung der Wanderungsbewegungen der Tiere zwischen den einzelnen Kulturen und Varianten und dem eingesäten Gras- und *Phacelia*-Streifen wurden Bodenfallen in den Innenwinkeln von kreuzförmig angeordneten Barrieren ('Laufkreuze', siehe KOKTA 1989, KOKTA et al. 1990) aufgestellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Gesamtfang

Auf der gesamten Versuchsfläche wurden in den drei Jahren insgesamt 61 Laufkäferarten gefunden. Im Durchschnitt der drei Untersuchungsjahre traten 46 Arten pro Jahr auf. In der Wintergerste wurden im Fangzeitraum von 11 Wochen vom Frühjahr bis zur Ernte in allen Varianten und Jahren zusammen 48 Arten gefangen, im Winterweizen in 16 Fangwochen 45 Arten und in den Zuckerrüben in 22 Wochen 43 Arten.

Der in den drei Untersuchungsjahren häufigste Laufkäfer auf der Versuchsfläche war *Loricera pilicornis*, eine frühjahrsaktive Art, die sich vorwiegend von Collembolen ernährt. Bei dieser Art wurde nach der Anwendung des Fungizids Afugan (Wirkstoff Pyrazophos) im Jahr 1985 in der Wintergerste eine deutliche und bis zur Ernte andauernde Reduktion der Aktivitätsdichte von Adulten und Larven beobachtet (Abb. 2).

### 3.2 Laufkäfer mit vorwiegend phytophager Ernährungsweise

Besonders in den I<sub>1</sub>-Varianten mit erhöhter Verunkrautung wurden vermehrt die als vorwiegend phytophag geltenden *Amara*-Arten gefunden. In der Wintergerste, in der im Vergleich der drei Kul-

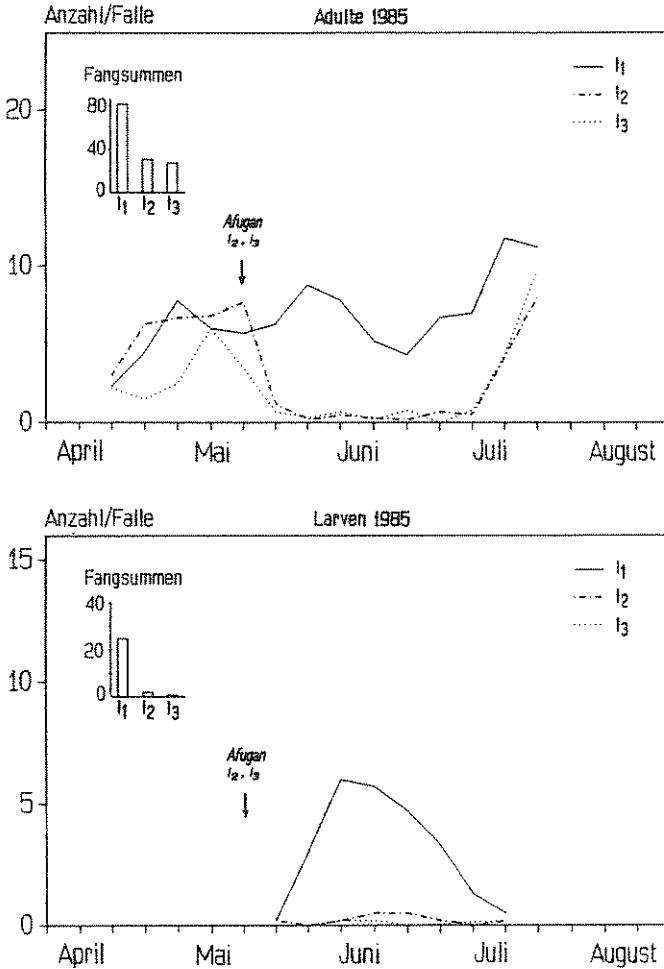


Abb. 2: Aktivitätsabundanz von Adulten und Larven von *Loricera pilicornis* im Jahr 1985 (weitere Pflanzenschutzmaßnahmen siehe KORTA (1989))

turen die meisten Tiere aus dieser Gattung vorkamen, traten in den drei Untersuchungsjahren 11 *Amara*-Arten in den Bodenfallen auf. Der Anteil dieser Arten am Gesamtfang der Laufkäfer betrug in der Wintergerste 14 %.

*Amara familiaris* war mit Abstand die häufigste Art. Tabelle 1 zeigt exemplarisch die Fangsummen der *Amara*-Arten und die Unkrautdeckungsgrade in der Wintergerste 1985. Zwischen den einzelnen Varianten bestanden beträchtliche Unterschiede. In der I<sub>1</sub>-Variante wurden 238 Tiere gefunden, in I<sub>2</sub> bzw. I<sub>3</sub> dagegen nur 12 bzw. 9 Tiere.

Tab.1: Fangsummen der *Amara*-Arten und Unkrautdeckungsgrad nach Unkrautbekämpfung in der Wintergerste 1985

1985			
<i>Amara familiaris</i>	169	8	5
<i>Amara aenea</i>	35	3	-
<i>Amara similata</i>	21	1	4
<i>Amara plebeja</i>	9	-	-
<i>Amara bifrons</i>	2	-	-
<i>Amara tibialis</i>	1	-	-
<i>Amara lunicollis</i>	1	-	-
<b>Summe</b>	<b>238</b>	<b>12</b>	<b>9</b>
Deckungsgrad des Unkrauts in %	25	20	<1

Diese unterschiedliche Aktivitätsdichte bestand über die gesamte Fangzeit (Abb. 3). Während sich die Aktivitätsdichte zwischen I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> beträchtlich unterschied, trat die Abstufung im Unkrautdeckungsgrad besonders zwischen den Varianten I<sub>2</sub> und I<sub>3</sub> auf. Der Grad der Verunkrautung kann daher nicht die einzige Ursache für die beobachtete Verteilung auf die Varianten gewesen sein. Auffällig ist, daß nach einer in allen Varianten ähnlichen Anfangsaktivität plötzliche und deutliche Unterschiede zwischen den Fängen im Mai auftraten (Abb. 3).

### 3.3 Aktivitätsabundanz der Laufkäfer auf der Versuchsfläche und auf angrenzenden Flächen

In den drei Untersuchungsjahren wurde wiederholt festgestellt, daß in einem an einen Feldrain angrenzenden Teil der Untersuchungsfläche vermehrt Laufkäfer in Bodenfallen auftraten. Besonders die Art *Platynus dorsalis* zeigte dieses Verhalten.

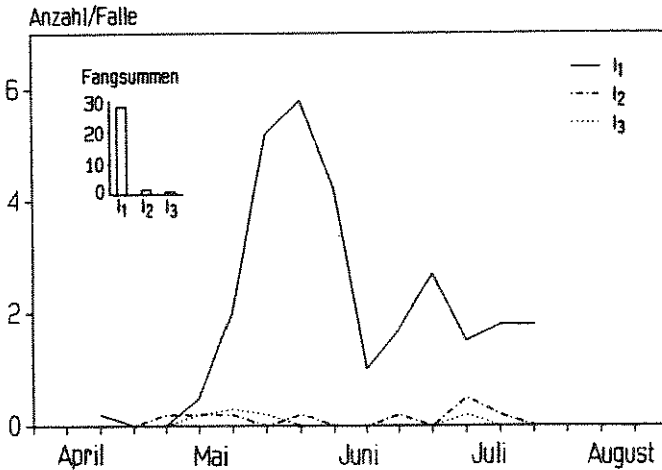


Abb. 3: Aktivitätsabundanz von *Amara familiaris* in der Wintergerste 1985 (Pflanzenschutzmaßnahmen siehe KOKTA (1989))

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Bodenfallenfänge dieser Art im Jahr 1986. In diesem Jahr grenzte die I<sub>3</sub> Variante der Wintergerste an einen Feldrain (s. Abb. 1).

Die Art *Platynus dorsalis* überwintert in der Regel nicht im Feld, sondern in angrenzenden Biotopen, zum Beispiel in Feldrainen (SOTHERTON 1984; COOMBES & SOTHERTON 1986). Auch während der Vegetationsperiode schien von diesem Rain aus eine Besiedlung des Feldes zu erfolgen, wie es Abbildung 4 zeigt. In den Monaten Juni und Juli war eine erhöhte Aktivität besonders in den randnahen Fallen der I<sub>3</sub>-Variante gegenüber I<sub>1</sub> und I<sub>2</sub> zu be-

obachten. In dieser Zeit herrschte trockene und warme Witterung vor, so daß der Rain offensichtlich als Refugium diente.

Untersuchungen zur Attraktivität eines jeweils zwischen zwei Kulturen eingesäten Gras- oder *Phacelia*-Streifens mit Hilfe von Bodenfallen in den Innenwinkeln von kreuzförmig angeordneten Barrieren ergaben, daß im Jahr 1986 im Streifen teil mit *Poa an-*

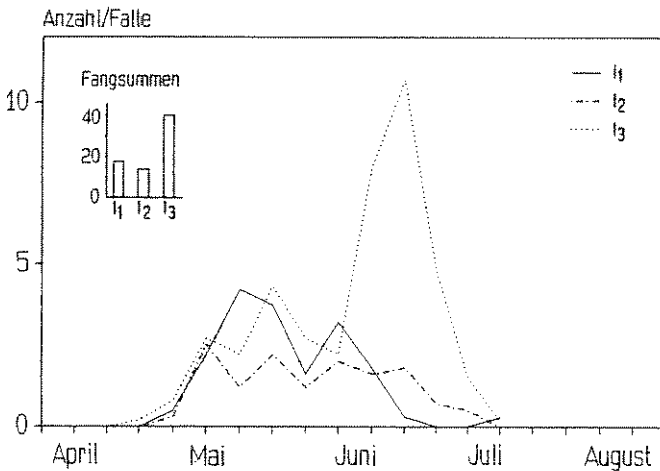


Abb. 4: Aktivitätsabundanz von *Platynus dorsalis* in der Wintergerste 1986 (Pflanzenschutzmaßnahmen siehe KOKTA (1989))

nua die Aktivitätsdichte der *Amara*-Arten höher war als im Streifen teil mit *Phacelia tanacetifolia* (s. Tab. 2).

In diesem Jahr bestanden keine ausgeprägten Unterschiede zwischen den Fallen, die an den Streifen grenzten und den Fallen, die an die Kultur grenzten. Im Jahr 1985 dagegen war eine höhere Fangzahl in den Fallen, die an die Kultur grenzten, zu beobachten. Dies deutet auf eine höhere Attraktivität des Streifens im Vergleich zum Kulturpflanzenbestand hin.

Tab. 2: Gesamtfang der *Amara*-Arten aus Laufkreuzfallen im *Phacelia*- und im Grasstreifen 1985 und 1986

	1985		1986	
Fangsumme der <i>Amara</i> - Arten im <i>Phacelia</i> -Streifen	innen	198	innen	41
	außen	400	außen	60
	gesamt	598	gesamt	101
Fangsumme der <i>Amara</i> - Arten im Grasstreifen	innen	130	innen	126
	außen	174	außen	131
	gesamt	304	gesamt	257

### 3.4 Vergleich der Fänge der Versuchsanlage mit einer biologisch-organisch bewirtschafteten Fläche

Da sich bei einem Vergleich des Arteninventars und der Aktivitätsdichte der Laufkäfer in Ahlum in vielen Fällen nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten zeigten, wurde im Jahr 1985 auf einem biologisch-organisch bewirtschafteten Betrieb in einem Weizenfeld untersucht, ob eine über die  $I_1$ -Variante hinausgehende Extensivierung zu einer Erhöhung der Artenzahl und der Aktivitätsabundanz führt.

Der biologisch-organisch bewirtschaftete Hof lag ca. 4 km von der Versuchsfläche entfernt. Er unterschied sich von der Ahlumer Fläche vor allem durch geringere Schlaggrößen, breitere Feldraine, weitgestellte Fruchtfolgen und geringere Bestandesdichte. Auf mineralische Düngung und chemischen Pflanzenschutz wurde verzichtet. Aufgrund der geringeren Schlaggröße standen die Bodenfallen hier nur jeweils 10 m voneinander entfernt.

Im 10-wöchigen Fangzeitraum von Ende Mai bis Anfang August im Winterweizen unterschied sich das Artenspektrum insgesamt kaum, es wurden jedoch auf dem biologisch-organisch bewirtschafteten Hof pro Fangtermin deutlich mehr Arten und Individuen gefunden (Tab. 3). Während hier 29 Arten gefunden wurden, traten auf der Versuchsfläche Ahlum im Vergleichszeitraum 23 Arten in  $I_1$ , 20 Arten in  $I_2$  und 16 Arten in  $I_3$  auf. Die Individuenzahlen auf

der biologisch-organisch bewirtschafteten Fläche waren um bis zu elfmal höher als auf der Ahlumer Versuchfläche.

Die Aktivitätsdichte der *Amara*-Arten war mit 18,2 Tieren pro Bodenfalle auf der biologisch-organisch bewirtschafteten Fläche wesentlich höher als zum Beispiel mit 7,8 Tieren in  $I_1$ , 1,3 Tieren in  $I_2$  und 0,2 Tieren in der  $I_3$ -Variante.

Tab. 3: Arten- und Individuenzahlen der Laufkäfer im Winterweizen in Ahlum und auf dem biologisch-organisch bewirtschafteten Betrieb

	biol.- org. Betrieb	$I_1$	Ahlum $I_2$	$I_3$
Artenzahl	29,0	23,0	20,0	16,0
durchschnittlich pro Termin gefundene Arten	16,1	8,7	7,1	7,3
durchschnittlich pro Termin gefundene Individuen	380,8	44,1	33,0	33,1

#### 4 Diskussion

Im Vergleich zu anderen Untersuchungen war die Artenzahl auf der Versuchsfläche Ahlum mit insgesamt 61 Arten und durchschnittlich 46 Arten pro Jahr relativ hoch (BASEDOW et al. 1976; WEBER 1983).

Die zusätzlichen Bodenfallenfänge von einem biologisch-organisch bewirtschafteten Weizenfeld zeigen, daß die Unterschiede zwischen den Varianten auf der Versuchsfläche Ahlum als relativ gering einzustufen sind. Besonders die Individuenzahlen waren auf der biologisch-organisch bewirtschafteten Fläche wesentlich höher als in Ahlum. Ähnliche Größenordnungen beim Vergleich von konventionell und organisch bewirtschafteten Höfen finden sich bei DRITSCHILO & WANNER (1980).

Die Kulturpflanze mit ihren speziellen Bedingungen wie dem



Wachstumsverlauf, der Bodenbedeckung, der Wuchsform und der potentiellen Nahrung für Laufkäfer übte einen starken Einfluß auf die Artenzusammensetzung und die Aktivitätsdichte der Laufkäfer auf der Versuchsfläche aus. So fanden sich in der Wintergerste relativ die meisten Arten und Individuen, in den Zuckerrüben mit der längsten Fangzeit dagegen die wenigsten.

Der Einfluß der Intensitätsabstufung zeigte sich im Getreide deutlicher als in den Zuckerrüben. Im Getreide traten wiederum in der Wintergerste deutlichere Unterschiede zwischen den Varianten auf als im Winterweizen. Diese waren vermutlich auf den unterschiedlichen Herbizideinsatz in der Wintergerste bei völligem Verzicht auf Insektizide zurückzuführen. Die Konzeption dieses Versuchs war nicht dazu geeignet, Effekte von einzelnen Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Fauna zu ermitteln. Daher wurden nur selten direkte Zusammenhänge zwischen einzelnen Pflanzenschutzmittelanwendungen und Auswirkungen auf Laufkäfer beobachtet, wie zum Beispiel der Einsatz des Fungizids Afugan und Auswirkungen auf die Art *Loricera pilicornis*.

Die aufgrund der Herbizidanwendungen abgestufte Verunkrautung führte besonders in der Wintergerste zu einer deutlichen Förderung von phytophagen Laufkäferarten in den weniger intensiv bewirtschafteten Varianten. Hierfür schienen besonders die häufigen Unkrautarten *Stellaria media* und *Poa annua* verantwortlich zu sein. Diese beiden Arten sind nach NIEMANN (1988) als Arten mit mittlerer bzw. eher untergeordneter Bedeutung anzusehen. Nach POWELL et al. (1985) und SPEIGHT & LAWTON (1976) werden auch andere Laufkäferarten durch die Verunkrautung gefördert.

Die an die Versuchsfläche angrenzenden Randstrukturen erwiesen sich als Rückzugsgebiete für manche Laufkäferarten. Für die als vorwiegend phytophag geltenden *Amara*-Arten war besonders der zwischen zwei Kulturen eingesäte Gras-Streifen von Bedeutung. Direkt nach der Ernte des Getreides gewann dieser Streifen Bedeutung als Refugium für die Art *Loricera pilicornis* (WELLING & KOKTA 1988).

## Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf Laufkäfer (Coleoptera; Carabidae)

### Zusammenfassung

Auf der Versuchsfläche Ahlum wurden in den Jahren 1984 bis 1986, also zeitlich direkt vor Beginn des BMFT-Verbundprojektes, die Auswirkungen unterschiedlicher Intensität der Pflanzenproduktion auf Laufkäfer im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes 'Integrierte Pflanzenproduktion' untersucht. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf den Zusammenhängen zwischen der Verunkrautung und dem Auftreten von Laufkäfern. Die Wechselwirkungen zwischen der Versuchsfläche und angrenzenden Randstrukturen, wie zum Beispiel Feldrainen und eingesäten Gras- oder *Phacelia*-Streifen, wurden ebenfalls in die Fragestellung einbezogen.

Die Fläche wies mit Ausnahme der  $I_0$ -Variante, die in den Jahren 1984 bis 1986 nicht angelegt war, denselben Versuchsaufbau auf. Die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen der Jahre 1984 bis 1986 sind unter Berücksichtigung der jahresbedingt notwendigen Maßnahmen des Pflanzenbaus mit den Jahren, in denen das Verbundprojekt durchgeführt wurde, vergleichbar.

Um das Artenspektrum und die Aktivitätsdichte der Tiere hinsichtlich der unterschiedlichen Verteilung auf die Varianten besser beurteilen zu können, wurde ein in der Nähe gelegener Betrieb mit organisch-biologischer Landbewirtschaftung vergleichend betrachtet.

Die Aktivitätsdichte der Laufkäfer und ihre Verteilung auf die Intensitätsstufen wurde mit Bodenfallen untersucht. Dabei kamen unterschiedliche Typen von Fallen zum Einsatz.

In den 3 Untersuchungsjahren wurden 62 Laufkäferarten gefangen. Elf von diesen 62 Arten traten stetig in allen Varianten und Jahren auf. Einige Käferarten waren in den weniger intensiv be-

wirtschafteten Varianten immer häufiger als in den intensiv bewirtschafteten. Dazu gehörten besonderes die als vorwiegend phytophag beschriebenen Arten der Gattung *Amara*. Hier zeigten sich besonders in der Wintergerste Zusammenhänge zwischen der Aktivitätsdichte der Tiere und dem Grad der Verunkrautung. Eine Mischverunkrautung aus vorwiegend *Poa annua* und *Stellaria media* führte zu einer mehrfachen Steigerung der Aktivitätsdichte der Tiere.

In wenigen Fällen waren Zusammenhänge zwischen der Aktivitätsdichte der Laufkäfer und auf den Flächen durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen erkennbar. So führte die Applikation des Fungizids Afugan zu einer deutlichen Reduzierung der Aktivitätsdichte dieser Art.

Die an die Versuchsfläche angrenzenden Randstrukturen erwiesen sich für einige Laufkäferarten als Winterlager und Refugium. In einem auf der Fläche eingesäten Gras-Streifen wurden die als Samenfresser bekannten *Amara*-Arten verstärkt in den Bodenfallen gefunden.

Im Vergleich zu dem in der Nähe gelegenen organisch-biologisch wirtschaftenden Betrieb lag bei einem ähnlichen Artenspektrum die Aktivitätsdichte der Laufkäfer auf der Ahlumer Fläche auf einem wesentlich niedrigeren Niveau. Eine quantitativ und qualitativ andere Verunkrautung führte auf dem biologisch-organisch wirtschaftenden Betrieb zu einer deutlich höheren Aktivitätsdichte von *Amara*-Arten.

Effects of different intensity of plant production on carabid beetles (Coleoptera; Carabidae)

#### Summary

From 1984 to 1986 the effects of different intensities of plant production on carabid beetles were studied within an interdisciplinary program of the 'Deutsche Forschungsgemeinschaft'. The

investigation took place in the research area 'Ahlum' several years before the 'BMFT project' started. Possible interactions between the degree of weed cover and the activity density of carabid beetles were of special interest. The interactions between field margins and artificially sown strips with grass or *Phacelia tanacetifolia* were also studied.

The research area was structured as in the BMFT project, but the I<sub>0</sub>-part was missing. The agricultural practice was comparable to the BMFT project taking into account the special situation of these years.

To enable comparison and evaluation of the species combination in the different treatments a nearby situated bio-farm was also investigated.

Different types of pitfall traps were used to investigate the activity abundance of the carabid beetles and their occurrence in the different treatments.

From 1984 to 1986 in total 62 carabid species were found. Eleven of these species occurred every year and in every treatment. Some carabid species were more abundant in the lower intensity of plant production, especially the species of the genus *Amara*, which are known to be predominantly herbivorous. Activity density of these species was much greater in weedy plots with *Stellaria media* and *Poa annua* than in weedfree plots.

In only a few cases relationships between application of pesticides and activity abundance of carabid beetles were evident. The application of the fungicide 'Afugan' reduced the number of beetles in the traps significantly.

The field margins were an overwintering area for some carabid species. In the artificially sown strips species of the genus *Amara* were more abundant than in the field. On a nearby

situated bio-farm the species composition was similar to the research field, but the activity abundance of the carabids on the bio-farm was much higher. Especially the numbers of animals of the genus *Amara* had increased due to the weed flora of the bio-farm.

## 5 Literatur

- BASEDOW, T., BORG, A., DEQLERQ, R., NIJVELDT, W., SCHERNEY, F. (1976): Untersuchungen über das Vorkommen der Laufkäfer (Col., Carabidae) auf europäischen Getreidefeldern. - *Entomophaga*, 21: 59-72.
- COOMBES, D.S., SOTHERTON, N.W. (1986): The dispersal and distribution of polyphagous predatory Coleoptera in cereals. - *Ann. Appl. Biol.*, 108: 461-474.
- DRITSCHILO, W., WANNER, D. (1980): Ground beetle abundance in organic and conventional corn fields. - *Environ. Entomol.*, 9: 629-631.
- KOKTA, C. (1989): Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf epigäische Arthropoden, insbesondere Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae), in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. - Diss. Darmstadt
- KOKTA, C., NIEMANN, P. (1990): Wechselwirkungen zwischen Produktionsintensität und Aktivitätsdichte von Laufkäfern in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. - In: 'Integrierte Pflanzenproduktion', Hrsg.: R. Heitefuss VCH Weinheim, 126-139.
- NIEMANN, P. (1988): Ein Ansatz zur bewertung von Ackerunkrautarten. - *Mitt. aus der Biol. Bundesanstalt*, H. 247 (Auswirkungen von Ackerschonstreifen), 115-128.
- POWELL, W., DEAN, G.J., DEWAR, R. (1985): The influence of weeds on polyphagous predators in winter wheat. - *Crop Protection*, 4: 298-312.
- SOTHERTON, N.W. (1984): The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. - *Ann. Appl. Biol.*, 10: 423-429.
- SPEIGHT, M.R., LAWTON, J.H. (1976): The influence of weed cover on the mortality imposed on artificial prey by predatory ground beetles in cereal fields. - *Oecologia*, 23: 211-223.
- WEBER, G. (1983): Die Carabidenfauna intensiv bewirtschafteter Felder des Versuchsgutes Dikopshof. - Diss. Bonn.

WELLING, M., KOKTA, C. (1988): Untersuchungen zur Entomofauna von Felddrainen und Feldrändern im Hinblick auf Nützlingsförderung und Artenschutz. - Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 6: 373-377.

**Anschrift der Verfasserin:**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Fachgruppe für Biologische Mittelprüfung, Messeweg 11/12,  
D-38104 Braunschweig.

XIV LISTE ALLER VERÖFFENTLICHUNGEN ÜBER DIE VERSUCHS-  
FLÄCHE "AHLUM"

- BARTELS, G., EBING, W., KÖLLNER, V., MALKOMES, H.-P., PESTEMER, W., SAUTHOFF, W., STURHAN, H. (1989): Untersuchungen zur Auswirkung eines langjährigen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln am Standort Ahlum bei unterschiedlichen Intensitätsstufen und Entwicklung von Bewertungskriterien. - Verh. Ges. Ökol., XIX/1, 155-156.
- BEULKE, S. (1991): Validierung von Prognosemodellen des Expertensystems 'HERBASYS'. - Diplomarbeit, Hannover.
- BÜCHS, W. (1991): Einfluß verschiedener landwirtschaftlicher Produktionsintensitäten auf die Abundanz von Arthropoden in Zuckerrübenfeldern. - Verh. Ges. Ökol., XX/1, 1-12.
- BÜCHS, W. (in press): Effects of different input of pesticides and fertilizers on the abundance of arthropods in a sugar beet crop - an example for a long term risk assessment in the field. - In: EIJSACKERS, H., HEIMBACH, F., DONKER, M. H. (eds.): Ecotoxicology of Soil Pollution. - Lewis Publishers, Chelsea (USA).
- BÜCHS, W. (1993): Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten auf die Arthropodenfauna von Winterweizenfeldern. - Verh. Ges. Ökol., XXII, 27-34.
- DIBBERN, H. (1992): Simulation und Modellierung des Verhaltens von Herbiziden im Boden und Grundwasserleiter. - Dissertation, Kiel.
- DIBBERN, H., PESTEMER, W. (1992): Anwendbarkeit von Simulationsmodellen zum Einwaschungsverhalten von Pflanzenschutzmitteln im Boden. - Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig), 44, 134-143.
- EBING, W., BARTELS, G., GOTTESBÜREN, B., GRUHN, U., HEIMANN-DETLEFSEN, D., HEIMBACH, U., KAMPMANN, T., KÖLLNER, V., KNÜSTING, E., KREUZIG, G., LELIVELDT, L., MALKOMES, H.-P., NIRENBERG, H. I., METZLER, B., OESTERREICHER, W., PESTEMER, W., POHL, K., SAUTHOFF, W., STEMMER, H., STURHAN, H., THEISS, S. (1991): Longterm Loading of Field Areas by Pesticides during Agricultural Practices and Impacts on Soil Biocoenosis. - Intern. East-West Symposium on Contaminated Areas in Eastern Europe. Origin, Monitoring, Sanitation. Abstracts, Papers, Posters, Gosen, 11-14.
- FRANZEN, J., BÜCHS, W. (1993): Einfluß eines langfristig unterschiedlichen Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatzes auf die Schlüpfabundanz ausgewählter Familien der Fliegen (Diptera: Brachycera) in der Kultur Zuckerrübe. - Verh. Ges. Ökol., XXII, 47-51.

- GOTTESBÜREN, B. (1991): Konzept, Entwicklung und Validierung des wissensbasierten Herbizid-Beratungssystems HERBASYS. - Dissertation, Hannover.
- GOTTESBÜREN, B., PESTEMER, W., KREUZIG, G., EBING, W. (1992): Die Pflanzenschutzmittel-Rückstandssituation im Boden bei der Fruchtfolge Winterweizen/Wintergerste/Zuckerrüben nach unterschiedlichen Intensitäten. - Berichte über Landwirtschaft, 70, 259-279.
- GOTTESBÜREN, B., BEULKE, S., HEIERMANN, M., PESTEMER, W. (im Druck): Freilandversuche zur Validierung von Prognosemodellen des Expertensystems "HERBASYS" zur Nachbauproblematik nach Herbizideinsatz. - Weed Research
- HEIERMANN, M. (1991): Sortenspezifische Phytotoxizität von Herbiziden zur Prognose von Nachbauschäden mit Hilfe des Expertensystems 'HERBASYS'. - Diplomarbeit, Hannover.
- HEIMANN-DETLEFSEN, D. (1991): Auswirkungen eines unterschiedlich intensiven Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz auf die Collembolenfauna des Ackerbodens. - Dissertation, Braunschweig, 164 S.
- HEIMANN-DETLEFSEN, D., HEIMBACH, U. (1989): Einfluß verschieden hoher Bewirtschaftungsintensitäten auf einige Collembolenarten des Ackerbodens. - Mitt. Dtsch. Ges. All. Angew. Ent., 7, 90 bis 95.
- KAMPMANN, T. (1991): The density of Tarsonemida in cropped arable soil in relation to fertilizer and crop-protection treatments. - In: SCHUSTER, R., MURPHY, P. W. (1991): The Acari - Reproduction, development and life history strategies. Chapman and Hall, London, 485-489.
- KAMPMANN, T. (1991): Einfluß von landwirtschaftlichen Produktionsintensitäten auf die Milbenfauna im Ackerboden. - Verh. Ges. Ökol., XX/1, 13-19.
- KAMPMANN, T. (1992): Das Bodenleben ackerbaulich genutzter Standorte. Ein Forschungsprojekt zur Auswirkung praxisnaher Produktionsintensitäten auf die Organismen des Ackerbodens. - Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Informationen aus den Bundesforschungsanstalten, 7, 15-19.
- KAMPMANN, T. (1993): Untersuchungen zu Auswirkungen unterschiedlicher ackerbaulicher Produktionssysteme (Dünger, Pflanzenschutzmittel) auf Bodenmilben. - Inf. Natursch. Landwirtschaftspfl., 6, 249-260.
- KAMPMANN, T., KÖLLNER, V. (1989): Die Gamasina (Acari) im Boden eines Getreidefeldes mit verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten. - Mitt. Dtsch. Ges. All. Angew. Ent., 7, 96-102.



- KLEINHENZ, A., BÜCHS, W. (1992): Einfluß verschiedener landwirtschaftlicher Produktionsintensitäten auf die Spinnenfauna in der Kultur Zuckerrübe: Vergleich von Barberfallen und Bodenphotoelektoren. - Mitt. Biol. Bundesanstalt Land- u. Forstwirtschaft, 283, 113.
- KLEINHENZ, A., BÜCHS, W. (1993): Einfluß verschiedener landwirtschaftlicher Produktionsintensitäten auf die Spinnenfauna in der Kultur Zuckerrübe. - Verh. Ges. Ökol., XXII, 81-88.
- KNÜSTING, E. (1992): Regenwürmer auf Ackerflächen mit abgestufter Bewirtschaftungsintensität. - Dissertation, Braunschweig, 154 S.
- KNÜSTING, E., BÜCHS, W., BARTELS, G., LARINK, O. (1989): Einfluß verschieden hoher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsintensitäten auf Populationsdichte und Artenzusammensetzung von Regenwürmern. - Verh. Ges. Ökol., XIX/1, 85.
- KNÜSTING, E., BARTELS, G., BÜCHS, W. (1991): Untersuchungen zum Artenspektrum, zur fruchtartspezifischen Abundanz- und zur Abundanzdynamik von Regenwürmern bei unterschiedlich hohen landwirtschaftlichen Produktionsintensitäten. - Verh. Ges. Ökol., XX/1, 21-27.
- KOENIG, R. (1988): Detection in surface waters of plant viruses with known and unknown natural hosts. - In: COOPER, J. I. & ASHER, M. J. C. (Eds.): Developments in Applied Biology. II. Viruses with Fungal Vectors, Association of Applied Biologists, Wellesbourne, U.K., 305-313.
- KOENIG, R., AN, D., LESEMANN, D.-E., BURGERMEISTER, W. (1988): Isolation of carnation ringspot virus from a canal near a sewage plant: cDNA hybridization analysis, serology and cytopathology. - J. Phytopathol., 121, 346-356.
- KOENIG, R., RÜDEL, M., LESEMANN, D.-E. (1989): Detection of petunia asteroid mosaic, carnation ringspot and tobacco necrosis viruses in ditches and drainage canals in a grapevine-growing area in West Germany. - J. Phytopathol., 127, 169-172.
- KOENIG, R., LESEMANN, D.-E. (1990): Phytopathogene Viren in Oberflächengewässern und landwirtschaftlich genutzten Böden. - Verh. Ges. Ökol. (Osnabrück 1989), XIX/II, 524-527.
- KOKTA, C. (1988): Beziehungen zwischen der Verunkrautung und phytophagen Laufkäfern der Gattung Amara. - Mitt. Biol. Bundesanstalt Land- u. Forstwirtschaft, 247, 139-145.
- KOKTA, C. (1989): Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf epigäische Arthropoden, insbesondere Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae), in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. - Dissertation, Darmstadt, 160 S.
- KOKTA, C. (1989): Auswirkungen abgestufter Intensität der Pflanzenproduktion auf Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae). - Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 7, 108-112.

- KOKTA, C., NIEMANN, P. (1990): Wechselwirkungen zwischen Produktionsintensität und Aktivitätsdichte von Laufkäfern in einer dreigliedrigen Fruchtfolge. - In: HEITEFUSS, R. (Hrsg.): Integrierte Pflanzenproduktion. VCH Weinheim, 126-139.
- KREUZIG, G., GOTTESBÜREN, B., EBING, W., PESTEMER, W. (1990): The residue behaviour of pesticides in soil at different types of agricultural management systems. - 7th Internat. Congress of Pesticide Chemistry, IUPAC, Hamburg 1990, Book of Abstracts, Vol. III, 07B-17.
- KREUZIG, R., SCHUPHAN, I., REESE, G., EBING, W. (1990): Spray Application of  $^{14}\text{C}$ -Labelled Fenpropimorph to Winter Wheat stand in an outdoor Lysimeter Experiment. - 7th Internat. Congress of Pesticide Chemistry, IUPAC, Hamburg 1990, Book of Abstracts, Vol. III
- LESEMANN, D.-E., KOENIG, R. (1988): Bodenbürtige Viren aus Zuckerrüben mit ähnlicher Partikelmorphologie wie das Rizomaniavirus, aber fehlender serologischer Verwandtschaft. - Mitt. Biol. Bundesanst. Land- u. Forstwirtschaft, 245, 465.
- LESEMANN, D.-E., KOENIG, R. (1988): Pflanzenpathogene Viren in Oberflächengewässern. - In: LOPEZ PILA, J. M., SEEGER, E., JANDER, J. (Herausgeber): Viren und Plasmide in der Umwelt, Ausscheidung, Freisetzung und Biotechnologie. - Schriftenreihe Verein Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 78, 145-152.
- LESEMANN, D.-E., KOENIG, R., LINDSTEN, K., HENRY, C. (1989): Serotypes of beet soil-borne furovirus from FRG and Sweden. - OEPP/EPP Bulletin, 19, 539-540.
- LI, Y., KAUFMANN, A., KOENIG, R., BREYEL, E., MAISS, E., LÜDDECKE, P., COMMANDEUR, U., LESEMANN, D.-E. (1990): Beet soil-borne virus: electrophoretic patterns of ssRNAs and dsRNAs and preparation of cDNA clones. - Schriftenreihe Deut. Phytomed. Ges., Bd. 1: Proceedings of the First Symposium of the International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors, Braunschweig, Germany, 1990 (Compiled by KOENIG, R.), Ulmer Verlag, Stuttgart, 29-32.
- LI, Y., LESEMANN, D.-E., KOENIG, R., RÜDEL, M., PFEILSTÄTTER, E. (1992): Isometric plant viruses in ditches and brooks in agriculturally used areas: Rediscovery of previously found viruses and indentification of so far unrecorded tombus- and carmoviruses including grapevine Algerian latent virus. - J. Phytopathol., 134, 121-132.
- NIRENBERG, H. I., METZLER, B. (1990): Identification of *Penicillium* species isolated from an agricultural loess soil in Germany. - In: SAMSON, R. A., PITT, J. I. (Eds.): Modern Concepts in *Penicillium* and *Aspergillus* Classification. - Plenum Press.
- OESTERREICHER, W. (1990): Ökologische Bedeutung der Algen im Boden. - Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig), 42, 122-126.

- POHL, K., MALKOMES, H.-P. (1990): Einfluß von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. - Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderheft XII, 379-388.
- WEHLITZ, J., BÜCHS, W. (1992): Langzeiteinfluß eines verschieden hohen landwirtschaftlichen Produktionsmitteleinsatzes auf die Dipterenfauna. - Mitt. Biol. Bundesanstalt Land- u. Forstwirtschaft, 283, 97.
- WELLING, M., KOKTA, C. (1988): Untersuchungen zur Entomofauna von Feldrainen und Feldrändern in Hinblick auf Nützlingsförderung und Artenschutz. - Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 6, 373-377.
- ZIMMERMANN, J., BÜCHS, W. (1992): Kurz- und langfristige Auswirkungen unterschiedlich intensiver Pflanzenproduktion auf Kurzflügelkäfer (Coleoptera: Staphylinidae) in der Kultur Zuckerrübe. - Mitt. Biol. Bundesanstalt Land- u. Forstwirtschaft, 283, 94.
- ZIMMERMANN, J., BÜCHS, W. (1993): Verzögerte Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf die Kurzflügelkäfer (Coleoptera: Staphylinidae) eines Zuckerrübenfeldes, unter besonderer Berücksichtigung eines Bodeninsektizides. - Verh. Ges. Ökol., XXII, 183 bis 190.