

Aus der Sektion Biowissenschaften und der Sektion Pflanzenproduktion
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Beiträge zur Wirkung des Herbizideinsatzes auf Struktur und Stoffhaushalt von Agro-Ökosystemen

I. Zur Beeinflussung von Phytozönose und Bodenorganismengemeinschaften
nach mehrjährigem Herbizideinsatz¹

Von

Klaus Helmecke, Brigitte Hickisch, Ernst-Gerhard Mahn,
Joachim Prasse und Günther Sternkopf
Mit 16 Abbildungen und 2 Tabellen

1. Einführung

Agro-Ökosysteme sind anthropogen gesteuerte Ökosysteme. Die Erhaltung bzw. weitere Erhöhung ihrer Produktivität sind Zielfunktionen, die in entscheidendem Maße durch die angewandten agrotechnischen Maßnahmen bestimmt werden. Zu den Einflußgrößen, die den Ertrag der angebauten Kulturart negativ beeinflussen, gehört das Auftreten konkurrierender Unkräuter, die – auch in der modernen Landwirtschaft – z. T. noch erhebliche Ertragsverluste verursachen. Zu ihrer Unterdrückung bzw. Zurückdrängung werden derzeit vorwiegend chemische Pflanzenschutzmittel angewendet, deren Einsatz sich in den vergangenen Jahren in allen Ländern mit hoher Intensität der agrarischen Pflanzenproduktion ständig erhöht hat. Auch für die kommenden Jahre ist mit ähnlich hohen bis weiter zunehmenden Mengen an Herbiziden zu rechnen, die im Bereich der Agro-Ökosysteme ausgebracht werden.

Es erhebt sich daher die Frage, in welchem Umfang die jährliche, regelmäßige Anwendung von Herbiziden langfristig gesehen zu einer Veränderung der Bestandszusammensetzung der Unkrautphytozönose sowie zur Beeinflussung weiterer, direkt oder indirekt betroffener Zönosen bzw. Organismengruppen führt.

Die Klärung dieses Fragenkomplexes besitzt allgemeines ökologisches Interesse. Sie gewinnt aber auch ökonomische Relevanz, wenn es zu nachteiligen Wirkungen auf das Agro-Ökosystem kommt. Dies gilt einmal im Hinblick auf ungünstige Veränderungen der Unkrautphytozönose (z. B. mögliche Selektion \pm herbizidresistenter Arten oder Ökotypen), zum anderen hinsichtlich bestimmter Nebenwirkungen bei langfristigen Herbizideinsatz (z. B. Störung der abbauenden Organismengruppen), vgl. hierzu Audus 1976, Koch 1971, Laudien 1972, Mahn 1975 u. a.

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungskollektivs stellten wir uns die Aufgabe, einen Beitrag zur genannten Problematik zu erarbeiten. Zentrales Anliegen unserer Fragestellung bildete die Erfassung der Wirkungen des mehrjährigen regelmäßigen Einsatzes von Herbiziden auf die Veränderung von Struktur und Stoffhaushalt eines ausgewählten Agro-Ökosystems unter möglichst praxisnahen Bedingungen.

¹ Herrn Prof. Dr. Georg Müller zum 60. Geburtstag gewidmet.

An den während des Zeitraumes 1970–75 durchgeführten Untersuchungen waren mehrere Forschungsgruppen beteiligt. Der hier vorgelegte Beitrag stützt sich auf die Ergebnisse folgender Arbeitsgruppen:

Phytoökologie (Sektion Biowissenschaften, Wissenschaftsbereich Geobotanik/Botanischer Garten), Bodenzöologie/Bodenmikrobiologie (Sektion Pflanzenproduktion; Bodenkunde und Mikrobiologie), Herbizidrückstände (Sektion Pflanzenproduktion, Zentrallabor). Die Durchführung der agrotechnischen Maßnahmen lag in Händen von Mitarbeitern des Lehrstuhles Fruchtfolge und Unkrautbekämpfung (Sektion Pflanzenproduktion), von denen wir besonders Herrn Doz. Dr. Karch sowie Frau und Herrn Pietschk (Versuchsstation Etzdorf) zu großem Dank verpflichtet sind.

Von den insgesamt im Rahmen unseres Versuchsprogramms durchgeführten Untersuchungen wird im vorliegenden Beitrag über die Wirkungen des mehrjährigen Herbizideinsatzes auf die Struktur des Agro-Ökosystems am Beispiel ausgewählter Strukturelemente verschiedener Trophiestufen berichtet.

2. Material und Methoden

Versuchsort: Lehr- und Forschungsstützpunkt Etzdorf der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Bezirk Halle, DDR); Höhe über NN: 134 m, mittlerer Jahresniederschlag: 473 mm, mittlere Jahrestemperatur: 9 °C, Hauptbodenform: Löß-Schwarzerde, Standortseinheit: Lö 1

Die Größe unserer Versuchsfläche betrug etwa 0,7 ha, die der einzelnen Versuchsparzellen 200 m². Das Standardversuchsprogramm erstreckte sich über die Jahre 1971–75. Ergänzende Untersuchungen fanden in den Jahren 1970 und 1976 statt.

Als Versuchsvarianten wählten wir neben der Kontrolle (N) die praxisübliche Herbizid-Standarddosis (E) und die doppelte Standarddosis (D). Für jede der 3 Versuchsvarianten standen 8 Wiederholungen (Parzellen) zur Verfügung. Zu erwähnen ist, daß vor Beginn unserer Versuche auf der ausgewählten Fläche noch keine Unkrautbekämpfung mit Herbiziden stattgefunden hatte. Die mechanische Bearbeitung der Versuchsfläche sowie die Düngung entsprechen dem derzeitigen Standard auf der genannten Hauptbodenform. Die Ernte des Getreides erfolgte mit einem Parzellenmähdrescher.

Tabelle 1. Kulturartenanbau und Herbizideinsatz im Untersuchungszeitraum

Jahr	Kulturart	Herbizid	Handelspräparat und Menge
1971	Winterweizen	2,4-D	Spritz-Hormit 1,5 kg/ha (E), 3,0 kg/ha (D)
1972	Silo-Mais	Simazin	W 6658 4,0 kg/ha (E), 8,0 kg/ha (D)
1973	Sommergerste	2,4-D	Spritz-Hormit 1,5 kg/ha (E), 3,0 kg/ha (D)
1974	Winterweizen	MCPA	SYS 67 ME 1,5 kg/ha (E), 3,0 kg/ha (D)
1975	Hafer	MCPA	SYS 67 ME 1,5 kg/ha (E), 3,0 kg/ha (D)

Zur Charakterisierung des Herbizideinflusses auf die Struktur des Agro-Ökosystems wurden folgende Größen ermittelt:

Phytozönose: – Entwicklung von oberirdischer Biomasse und Individuenzahl der Unkräuter

- Entwicklung von oberirdischer Biomasse und Kornertrag der Kulturart
Biomasse und Individuenzahlen wurden in den 3 Versuchsvarianten in jeweils 10 nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Kleinflächen (0,25 m²) erfasst (vgl. auch Mahn u. Helmecke 1974).
- Bodenzönose: - Populationsentwicklung ausgewählter Tiergruppen der hypogäischen Fauna (Mikroarthropoden); zur Methodik vgl. Prasse 1975
- Populationsentwicklung von Bakterien und Bodenpilzen
- Beeinflussung ausgewählter Enzymaktivitäten des Bodens (Dehydrogenase)
- Herbizide: - Rückstände der eingesetzten Herbizide im Boden
(Bestimmung der Herbizidrückstände erfolgte dünnschicht-chromatographisch bzw. spektrophotometrisch)

Wie aus Tab. 1 ersichtlich kamen als Herbizide überwiegend Phenoxyalkylcarbon-säure-Präparate zur Anwendung. Diese werden gegenwärtig anteilmäßig überwiegend in den Getreidekulturen der DDR eingesetzt und zeichnen sich durch einen relativ raschen Abbau im Boden aus. Zur Beurteilung der Wirkungen des Einsatzes persistenter Herbizide wurde 1972 ein Simazin-Präparat appliziert.

Prüfung und Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Signifikanz erfolgte einmal nach herkömmlichen statistischen Testverfahren (F -, t -Test, Varianzanalyse). Darüber hinaus wendeten wir einige spezifische multivariate mathematische Auswerteverfahren an, die eine quantifizierte Erfassung der Strukturveränderungen des Agro-Ökosystems ermöglichen. Zur Charakterisierung der Komplexität (H) und Evenness (e) bedienen wir uns des Shannon-Wiener-Index. Wie bereits von anderen Autoren gezeigt wurde, lassen sich mit Hilfe des Shannon-Wiener-Index sehr gut Veränderungen (Störungen) der zönotischen Struktur erfassen (vgl. z. B. Helmecke u. Mahn 1976, Nagel 1976, Odum 1971). Die Darstellung der Veränderungen der Dominanzstruktur einzelner Zönosezustände erfolgte auf der Basis eines vom Shannon-Wiener-Index abgeleiteten partiellen Informationsmaßes (h_i), zur Methodik vgl. Stöcker 1977, Stöcker u. Bergmann 1977.

$$H = \sum_{i=1}^s h_i \quad \text{mit } h_i = p_i \ln 1/p_i,$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad N = \sum_{i=1}^s n_i$$

$$e = H/H_{\max} \quad \text{mit } H_{\max} = \ln s.$$

Um zu einer Ausscheidung von Merkmals- (Arten-)kombinationen zu kommen, die eine Trennung bzw. Indikation verschiedener Ökosystemzustände ermöglichen (durch Reduktion der Merkmale bis zu einer hocheffektiven Merkmalsmenge), bedienen wir uns der mehrdimensionalen Varianzanalyse und Diskriminanzanalyse (vgl. auch Helmecke 1975). Für ihre Anwendung standen Rechnerprogramme im Rechenzentrum der Universität Halle zur Verfügung (zu den mathematischen Grundlagen vgl. z. B. Ahrens u. Läuter 1974).

3. Ergebnisse

3.1. Verweildauer der eingesetzten Herbizide im Boden

Nach Angaben der Literatur (vgl. z. B. Maier-Bode 1971) beträgt die Persistenz von 2,4-D im Boden etwa 2 bis 6 Wochen. Der Abbau erfolgt hauptsächlich durch Mikro-

organismen, deren Aktivität von Temperatur, Feuchtigkeit und Bodenstruktur abhängig ist. 1971 waren besonders günstige Bedingungen für einen raschen Abbau des 2,4-D gegeben. 5 Tage nach der Applikation war nur noch etwa die Hälfte des ausgebrachten Wirkstoffes im Boden vorhanden. Nach 3 Wochen konnte bereits kein 2,4-D mehr nachgewiesen werden (vgl. Abb. 1). Im Jahr 1973 erfolgte der Abbau des 2,4-D infolge ungünstiger klimatischer Bedingungen wesentlich langsamer. Erst nach 7 $\frac{1}{2}$ Wochen waren nur noch Spuren des Wirkstoffes nachweisbar.

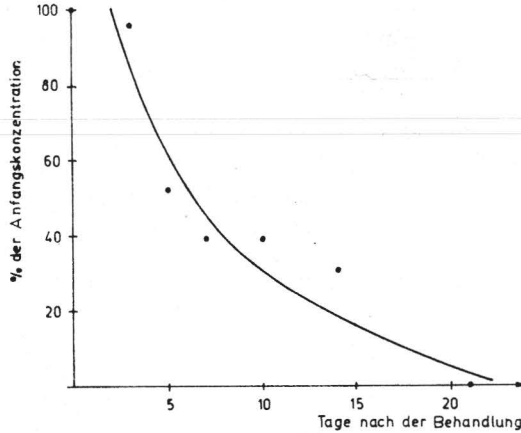


Abb. 1. Verweildauer von 2,4-D im Boden (1971)

Für MCPA wird eine Persistenz von maximal 10 bis 12 Wochen genannt. Der Abbau erfolgt ebenfalls hauptsächlich durch Mikroorganismen. Obwohl 1974 relativ günstige Abbaubedingungen bestanden, war der Wirkstoff wesentlich länger als das 2,4-D im klimatisch ungünstigen Jahr 1973 im Boden persistent. MCPA konnte 1974 erst nach 10 Wochen (*E*-Variante) bzw. 14 Wochen (*D*-Variante) im Boden nicht mehr nachgewiesen werden. Etwas rascher erfolgte der MCPA-Abbau 1975.

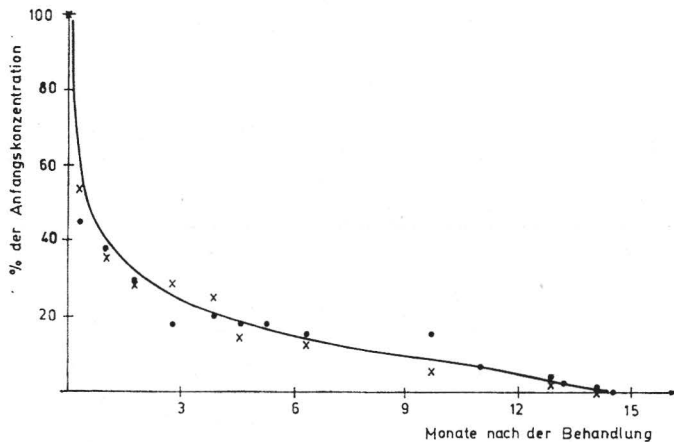


Abb. 2. Verweildauer von Simazin im Boden (1972/1973)

Im Vergleich zu den eingesetzten Wuchsstoffherbiziden erstreckte sich der Abbau des 1972 applizierten Simazin über einen wesentlich längeren Zeitraum. Für die Standarddosis (4 kg/ha) wird in der Literatur eine Abbauzeit von 12 ± 6 Monaten genannt. Im Anwendungsjahr bestanden infolge länger andauernder Trockenheit relativ ungünstige Bedingungen für den Abbau des Simazin. Der Wirkstoff wurde daher nicht nur während des Einsatzjahres, sondern auch im Folgejahr (1973) noch im Boden nachgewiesen. Erst 14 Monate nach der Applikation war das Simazin bis auf Spuren ($< 0,05$ ppm) abgebaut (vgl. Abb. 2). Wie im folgenden gezeigt werden wird, hatte dieser stark verzögerte Abbau nachhaltige Strukturveränderungen auf verschiedenen Trophieebenen des Ökosystems zur Folge.

3.2. Strukturänderungen der Phytozönose

3.2.1. Unkrautbestand

Vorversuche im Jahr 1970 (Kulturart Hafer) ergaben zunächst, daß die Verunkrautung der Gesamtfläche eine weitgehende Homogenität aufwies. Wertet man die Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung von Biomasse und Individuenzahlen der Unkräuter im Untersuchungszeitraum aus, so ergibt sich folgendes Bild (vgl. hierzu auch Helmecke u. Mahn 1976).

Bereits nach der ersten Herbizidapplikation (7. 6. 70; MCPA) ist eine geringe Verminderung der Individuendichte auf den Behandlungsflächen festzustellen. Zu stark ausgeprägten Unterschieden zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten (sowohl hinsichtlich der Biomasse wie der Individuenzahlen) kommt es 1972. Der Unkrautbesatz (und demzufolge auch die Samenproduktion) ist auf der Kontrollfläche im Vergleich zum Vorjahr sowie gegenüber den Behandlungsvarianten stark erhöht.

Diese Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten schwächen sich zwar im Folgejahr (1973) wieder ab, bleiben aber als solche signifikant erhalten. Dabei lassen sich auf den Behandlungsvarianten deutliche Nachwirkungen des vorjährigen Simazineinsatzes feststellen (Absterben einer größeren Anzahl von Unkräutern vor erneuter Applikation 1973).

Auch während der folgenden Jahre (1974, 1975) treten zu den meisten Untersuchungsterminen signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten auf, d. h., sie erhalten sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes. Die im Gefolge des mehrjährigen Herbizideinsatzes zu beobachtenden Veränderungen des Unkrautbesatzes sind dabei sowohl quantitativer wie qualitativer Art (vgl. hierzu auch die Ergebnisse von Cremer 1976, Kuzniewski 1975, Pötsch 1975).

Dabei handelt es sich um Veränderungen, die vor allem in engem Zusammenhang mit dem jährlichen Fruchtfolgewechsel stehen. Dies gilt besonders bei Aufeinanderfolge von Kulturarten, die sich \pm stark in ihrem Bestandsaufbau wie in der Spezifik ihrer agrotechnischen Bearbeitung unterscheiden (z. B. Getreide / Mais). Diese Unterschiede wirken sich entsprechend auf die Struktur des Unkrautbestandes aus, bleiben aber in der Regel nicht über einen längeren Zeitraum (d. h. mehrere Jahre) erhalten. Weitere Veränderungen, wie z. B. die Zunahme bestimmter Arten, auf unseren Versuchsflächen z. B. *Polygonum convolvulus* und *Cirsium arvense*, sind dagegen vor allem als Ergebnis des langfristigen regelmäßigen Einsatzes von Herbiziden zu deuten.

Recht gut lassen sich sowohl die jährlichen wie langzeitlichen Veränderungen in der Unkrautgemeinschaft durch den Herbizideinsatz über die Erfassung der Diversität (H), der Evenness (e) und der Dominanzstruktur darstellen.

In Abb. 3 erfolgte die Darstellung der Diversität und Evenness für wichtige Abschnitte des Untersuchungszeitraumes zur Charakterisierung der langzeitlichen Herbi-

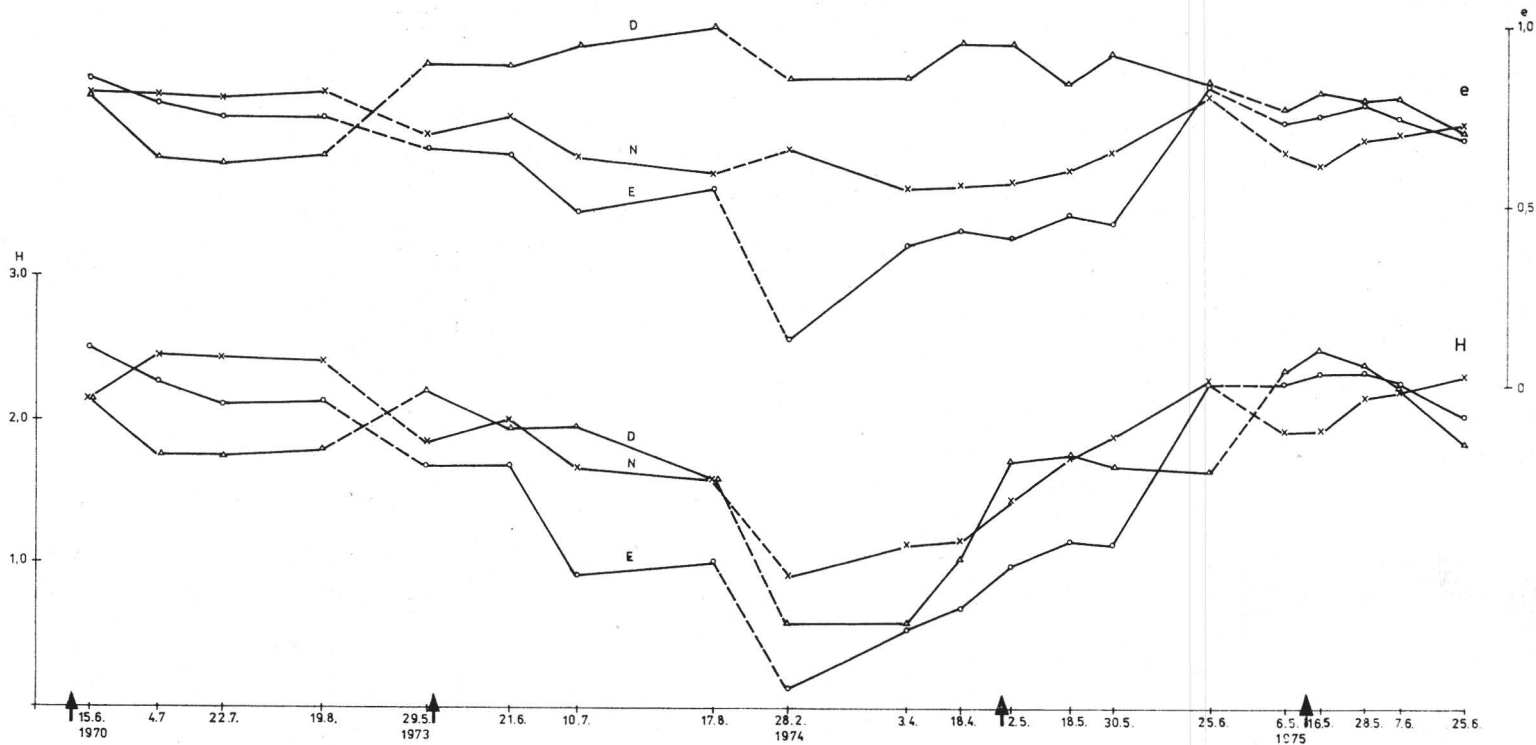


Abb. 3. Dynamik der Komplexität (H) und Evenness (e) der Unkrautphytozönose im Zeitraum 1970–75 (Erläuterungen: senkrechter Pfeil = Applikationstermine, N = Kontrolle, E = Standarddosis, D = doppelte Standarddosis)

zidwirkung. Die Kurven für die Kontrolle spiegeln die kulturartenbedingte bzw. jahreszeitliche Veränderung der beiden genannten Größen wider. Dabei fällt auf, daß die Evenness von diesen saisonalen Änderungen weniger stark als die Diversität betroffen wird. GleichermäÙe zeigen sich bei den Behandlungsvarianten für die Diversität die kulturartenbedingten Einflüsse auf die Unkrautgemeinschaft, allerdings mit charakteristischen Abweichungen gegenüber der Kontrolle. Im wesentlichen liegt der Wert für H auf den E -Parzellen bis 1974 immer unter der Kontrolle. 1975 verhalten sich die beiden Herbizidvarianten gegenüber der Kontrolle gleichsinnig. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei Betrachtung der Kurven der Evenness sichtbar, die sich in ihrer Tendenz von den Diversitätskurven nicht unterscheiden.

Durch den langzeitlichen Einsatz von Herbiziden wird die Diversität und Evenness auf den E - und D -Varianten scheinbar entgegengesetzt beeinflusst. Tatsächlich handelt es sich aber in beiden Fällen um das gleiche Phänomen der Umschichtung der Unkrautzönose, die bei den Behandlungsvarianten unterschiedlich schnell erfolgt. In der D -Variante kommt es bereits 1973 zu einer starken Uniformierung, d. h. zum Auftreten weniger, dominanter Arten, woraus eine hohe Gleichförmigkeit (Evenness) und z. T. auch hohe Diversität resultiert. Bei einfacher Herbiziddosis wird zunächst nur der Anteil der nichtdominanten Arten (h_i) an der Diversität zurückgedrängt, wodurch es zu einer geringen Evenness kommt. Bis 1975 hat sich infolge des langjährigen Herbizideinsatzes auf beiden Behandlungsvarianten eine Unkrautgemeinschaft herausgebildet, die vor der Herbizidapplikation 1975 sowohl eine höhere Diversität wie auch eine höhere Evenness aufweist als die Kontrolle. Die Umschichtung der Arten in den Behandlungsvarianten ist soweit fortgeschritten, daß wir auch bei gleichen H - bzw. e -Werten völlig verschiedene Strukturen vorliegen haben. Diese spiegeln sich auch in den hier nicht dargestellten Änderungen der Artenrangfolge und der ΔH -Werte (Maß für Unterschiede der Diversität zwischen den einzelnen Varianten) deutlich wider (Mahn u. Helmecke im Druck).

Die unmittelbare jährliche Herbizidwirkung auf die Unkrautphytozönose möchten wir an der Veränderung der Dominanzstruktur, und zwar am Beispiel des Jahres 1975,

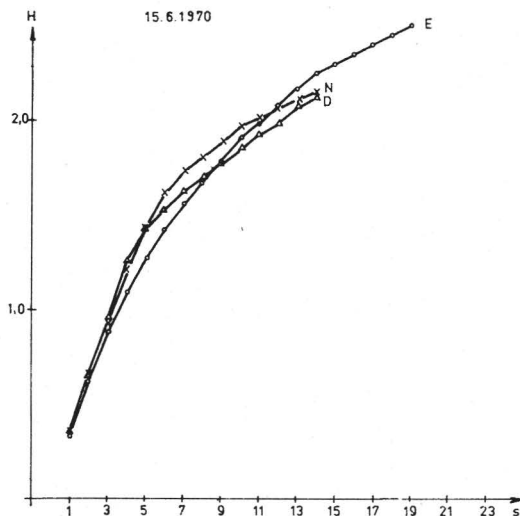


Abb. 4. Dominanzstruktur der Unkrautphytozönose vor Herbizidapplikation 1970 (Erläuterungen vgl. Abb. 3, S = Individuenzahl)

darstellen. Vorauszuschicken ist dabei, daß vor der ersten Herbizidapplikation 1970 zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten nur sehr geringe Unterschiede in der Dominanzstruktur bestanden (vgl. Abb. 4). Während des Untersuchungszeitraumes bildete sich aber dann auf den Behandlungsvarianten eine Unkrautkombination heraus, die sich von der der Kontrolle zum Zeitpunkt vor der (jährlichen) Applikation deutlich unterscheidet. Die Dominanzstruktur vor bzw. nach der Applikation im Jahr 1975 ist danach folgendermaßen zu interpretieren (vgl. Abb. 5 und 6).

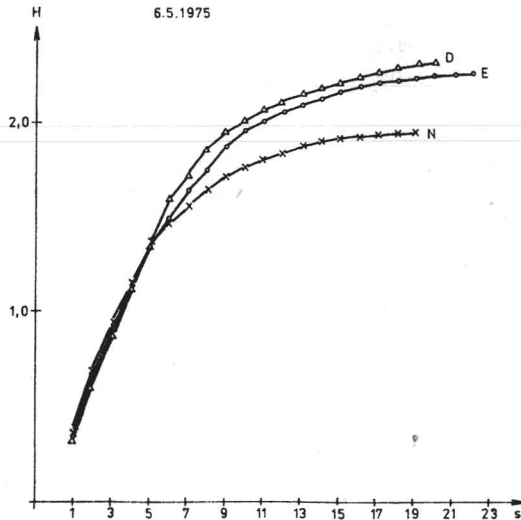


Abb. 5. Dominanzstruktur der Unkrautphytozönose vor Herbizidapplikation 1975 (Erläuterungen vgl. Abb. 4)

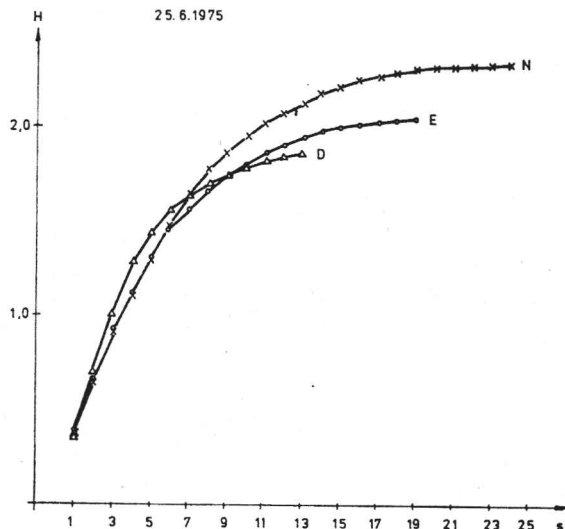


Abb. 6. Dominanzstruktur der Unkrautphytozönose nach Herbizidapplikation 1975

Ein größerer Anteil von Arten ist mit relativ gleichen h_i -Werten (gleicher relativer Häufigkeit) vorhanden und bewirkt auf den Behandlungsvarianten eine höhere Diversität (und Evenness) als bei der Kontrolle. Durch die Herbizidapplikation werden die h_i -Anteile der nichtdominanten Arten reduziert bzw. die Arten fallen aus. Dieser Vorgang der Herausbildung einer Kombination von wenigen, stark dominanten Arten, die relativ homogen verteilt sind, wiederholte sich in den einzelnen Untersuchungs-jahren (1973 und 1974 waren nur diese wenigen dominanten Arten in der *D*-Variante vorhanden, woraus die hohen Evenness-Werte resultierten, vgl. Abb. 3) und führte bis 1975 zur Einstellung eines neuen Strukturzustandes der Phytozönose.

Das bedeutet für die Praxis: Herausbildung einer für die gegebenen agrotechnischen und standörtlichen Bedingungen spezifisch veränderten Unkrautzönose. Diese zeichnet sich nicht selten durch das verstärkte Auftreten dominant gewordener und damit schwer bekämpfbarer Arten („Problemunkräuter“) aus. Unsere Untersuchungsergebnisse bestätigen damit die gute Anwendungsmöglichkeit der verwendeten Struktur-maße zur Erfassung von Störungen, wie sie auch von anderen Autoren (vgl. z. B. Barrett 1969) erfolgreich benutzt wurden.

3.2.2. Kulturpflanzenbestand

Über die Entwicklung der Biomasse und des Kornertrages der Kulturpflanzen während des Untersuchungszeitraumes wurde ausführlicher schon an anderer Stelle berichtet (vgl. Mahn u. Helmecke 1974). Hier sei nur kurz auf die wichtigsten Ergebnisse eingegangen (vgl. Tab. 2).

In den ersten Untersuchungsjahren (1970, 1971) kommt es infolge relativ geringer Verunkrautung der Untersuchungsfläche zunächst zu keiner signifikanten Erhöhung der Biomasse und des Kornertrages. Im Laufe des Untersuchungszeitraumes verstärkt sich jedoch die Tendenz der Herausbildung derartiger Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Behandlungsvarianten. Diese treten in den beiden letzten Untersuchungsjahren (1974, 1975) dann signifikant in Erscheinung.

Zu erwähnen ist weiterhin folgendes Ergebnis. Der Einsatz des persistenten Simazin (1972) führte bei der im Folgejahr angebauten Kulturart (Sommergerste) zu einer deutlichen, z. T. signifikanten Depression von Biomasse und Kornertrag, für die sich die Nachwirkungen des Simazins verantwortlich machen lassen (vgl. Abb. 2).

Tabelle 2. Erträge (Mittelwerte) der Kulturarten im Untersuchungszeitraum (in kg/100 m² bei 86 % Trockensubstanz)

Jahr	Kulturart	N	E	D
1970	Hafer	29,53	31,23 n. s.	31,20 n. s.
1973	Sommergerste	44,82	41,51 n. s.	38,66 ++
1975	Hafer	38,18	41,75 +	42,26 +

Signifikanz gegenüber der Kontrolle: n. s. = nicht signifikant
 + = signifikant bei 5 %
 ++ = signifikant bei 1 %

3.3. Änderungen der Struktur der Bodenorganismengemeinschaften und der Bodenenzymaktivität

Der Stoffkreislauf von Ökosystemen wird entscheidend dadurch bestimmt, wie sich der Abbau der im Ökosystem erzeugten organischen Substanz vollzieht. Der Vorgang der Remineralisierung der organischen Materie, der sowohl die Bildung stabilerer Zwischenprodukte (Humus) wie die \pm kontinuierliche Rückführung von Stoffen zum

anorganischen Nährstoffpotential des Bodens umfaßt, basiert im wesentlichen auf der Tätigkeit im Boden befindlicher Organismengruppen und Enzymsysteme. Bei Eingriffen, die auf der Trophiestufe der Destruenten wirksam werden, ist daher nicht nur mit einer Veränderung ihrer zönotischen Struktur bzw. Aktivität, sondern auch mit darüber hinaus gehenden Wirkungen zu rechnen.

3.3.1. Veränderungen der Bodenzoozönose

Von den tierischen Organismengruppen des Bodens sind Mikroarthropoden in starkem Maße an den Umsetzungen und Abbauvorgängen der organischen Substanz beteiligt. Zur Beurteilung der möglichen direkten wie indirekten Wirkungen des langfristigen Einsatzes von Herbiziden auf die abbauenden tierischen Organismen bot sich daher eine Untersuchung des genannten Verwandtschaftskreises an. Zur Methodik der Untersuchungen sei im einzelnen auf Prasse (1975) verwiesen.

Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich jeweils auf die gesamte untersuchte Bodenschicht (1971: 0 bis 10 cm Tiefe, 1972-75: 0 bis 20 cm Tiefe). Sie entspricht prinzipiell den Untersuchungsergebnissen für die einzelnen, stärker unterteilten Tiefenstufen. Allerdings sind die Unterschiede in den unteren Tiefenstufen weniger deutlich ausgeprägt, da hier die Beeinflussung durch den Herbizideinsatz geringer ist. Bei einigen Tiergruppen ist allerdings zu beachten, daß sie die oberen Bodenschichten bevorzugen und sich daher Veränderungen in der Artenstruktur unmittelbar nach der Herbizidapplikation stärker bemerkbar machen dürften.

Die Wirkungen des Herbizideinsatzes im Zeitraum 1971-75 wurden an folgenden taxonomischen Gruppen untersucht:

1. *Collembola*
2. *Acari*
 - 2.1. *Astigmata*
 - 2.2. *Cryptostigmata*
 - 2.3. *Tarsonemida*
 - 2.4. Rest der *Prostigmata*
 - 2.5. *Gamasina*
 - 2.6. *Uropodina*

Der Einfluß der Herbizidbehandlung auf die Individuendichte der genannten taxonomischen Gruppen während mehrerer Jahre des Untersuchungszeitraumes ist in Abb. 7 a und 7 b für die Tiefe 0 bis 5 cm dargestellt. Zwischen den beiden Applikationsvarianten E und D und den einzelnen Bodentiefen bestehen nur geringe Unterschiede.

Die Darstellungen machen deutlich, daß sich die einzelnen taxonomischen Gruppen z. T. recht unterschiedlich verhalten. Dies sei am Beispiel zweier Gruppen, der *Collembola* und der *Prostigmata* (Rest) erläutert.

Bei den *Collembola* kommt es 1971 nach der 2,4-D-Applikation bis zum Herbst zu einer schwach signifikanten Übervermehrung. Sie geht im Winter in eine Depression über, die bis zur Simazinapplikation erhalten bleibt und sich danach verstärkt fortsetzt. Auch nach dem Herbizideinsatz 1973 bleibt die Depression weiter erhalten. Die Gesamtpopulation erholt sich nur langsam und erst im Frühjahr 1974 wird vor der neuen Applikation annähernd das Niveau der Kontrolle erreicht. Nach der Behandlung erfolgt dann erneut eine Abundanzverringerung, die bis in den Herbst andauert. Die Gruppe der *Collembola* erleidet demnach während des überwiegenden Teiles des Untersuchungszeitraumes einen Rückgang ihrer Besiedlungsdichte. Bei der Mehrzahl der anderen Mikroarthropoden-Gruppen finden wir eine ähnliche Entwicklung der Individuenzahlen.

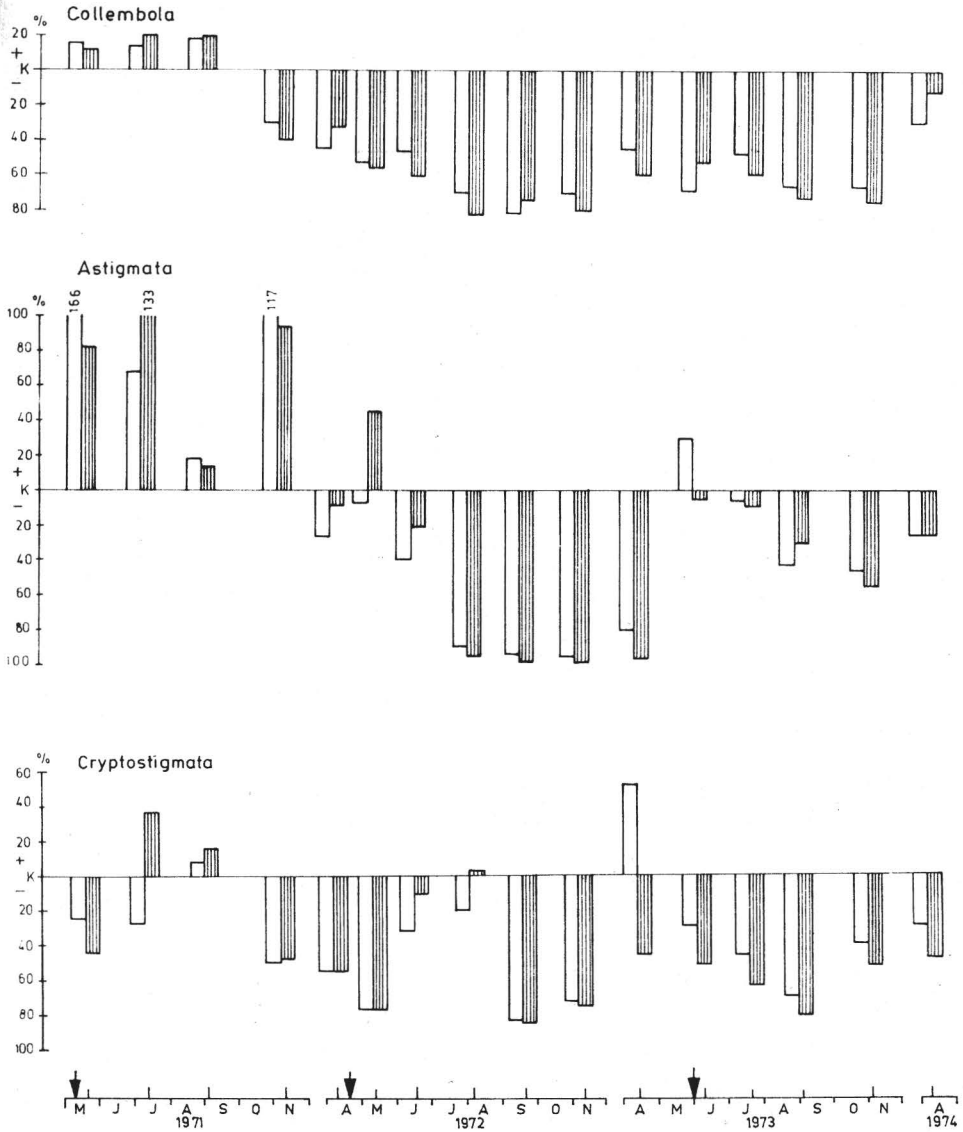


Abb. 7 a. Prozentuale Veränderung der Individuenzahlen verschiedener Mikroarthropodengruppen im Zeitraum 1971-74 (im Vergleich zur Kontrolle)

Wesentlich anders verhält sich die Gruppe der (restlichen) *Prostigmata*. Bei ihr erfolgt, ähnlich wie bei den *Collembola*, 1971 nach der Herbizidapplikation eine Erhöhung der Bestandesdichte, die erst zum Herbst hin allmählich abklingt. Während des Winters kommt es zu einer leichten Depression, die sich aber nach der Simazinapplikation ausgleicht und von einer hochsignifikanten Bestandesdichteerhöhung bis zum Ende der Vegetationsperiode 1972 gefolgt wird. Auch 1973 erfolgt nach Herbizidapplikation erneut eine starke Abundanzerrhöhung bis zum Spätherbst. In der Folgezeit bleiben dann die Unterschiede gegenüber der Kontrolle gering. Im Gegensatz zu

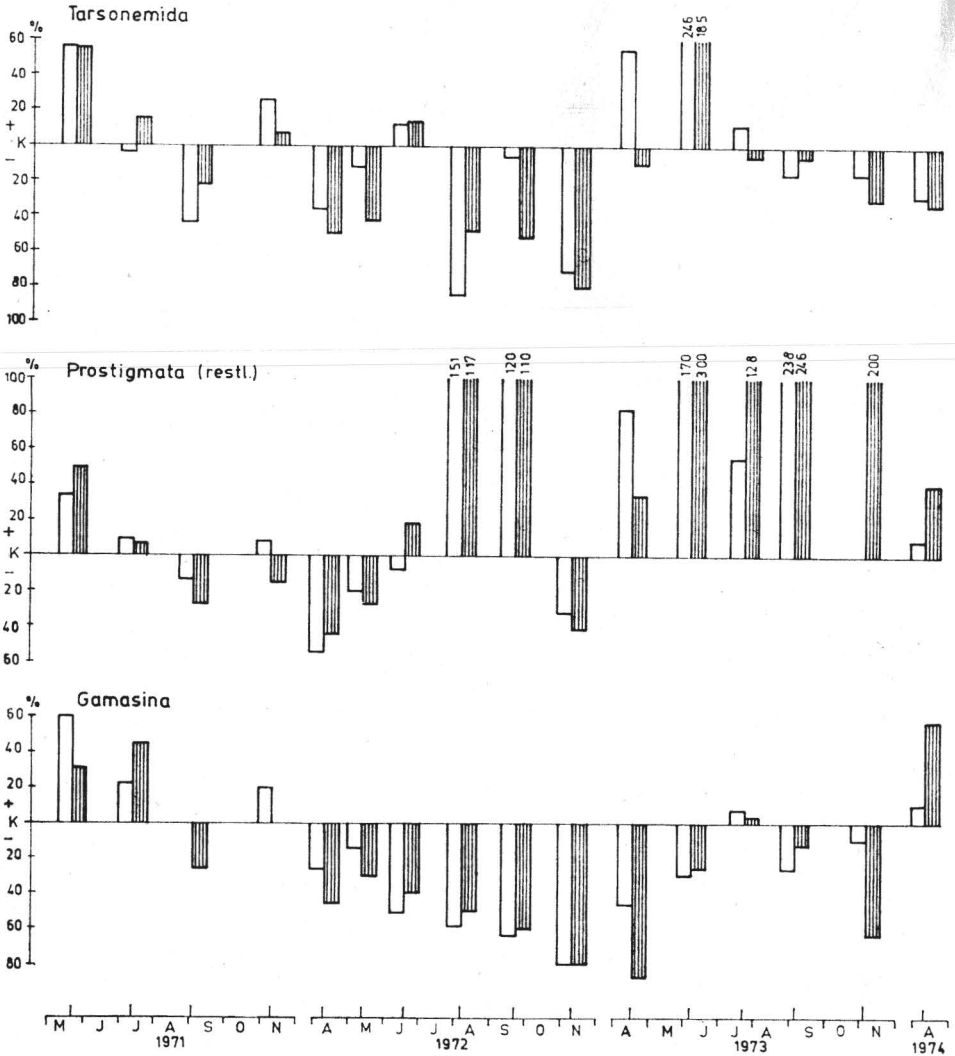


Abb. 7 b. Prozentuale Veränderung der Individuenzahlen verschiedener Mikroarthropodengruppen im Zeitraum 1971-74 (im Vergleich zur Kontrolle)

den *Collembola* waren also bei den *Prostigmata* die mittleren Abundanzen in allen Jahren nach der Simazinapplikation (1972) deutlich erhöht.

Wie bei der Unkrautphytozönose sind auch bei der Bodenzoozönose neben den in Abb. 7 a und 7 b dargestellten quantitativen Veränderungen solche qualitativer Art zu erwarten. Wir versuchten daher, diese an den Veränderungen der Dominanzstruktur deutlich zu machen. Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf die gesamte Gruppe der Mikroarthropoden.

Der Herbizideinsatz von 2,4-D im ersten Untersuchungsjahr (1971) führte zunächst nur zu unwesentlichen Unterschieden zwischen den einzelnen Versuchsvarianten. Die Kurven von E und D waren praktisch identisch, so daß deren Verlauf nur für die

E-Variante dargestellt wurde. Gegenüber der Kontrolle ist eine leichte Verringerung der Komplexität, bedingt durch den Ausfall einiger Arten, zu konstatieren (vgl. Abb. 8).

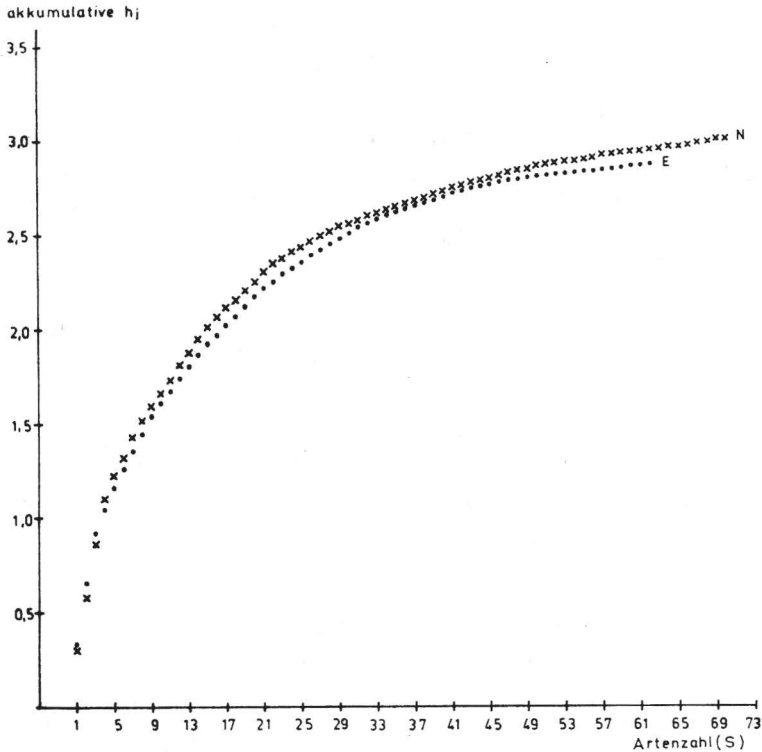


Abb. 8. Dominanzstruktur der Bodenzoozönose (Mikroarthropoden) nach Herbizidapplikation (8. 7. 1971, vgl. auch Erläuterung zu Abb. 9)

Zu außerordentlich starken Veränderungen in der Dominanzstruktur kommt es nach der Simazinapplikation 1972, wobei sich beide Behandlungsvarianten sehr ähnlich verhalten. Im Vergleich zur Kontrolle wurde auf den behandelten Flächen nicht nur der Anteil der dominanten Arten reduziert, sondern auch die partiellen h_i der stark verminderten nicht dominanten Arten verringert. Das heißt, wir haben es mit einer Selektion von weniger dominanten Arten (3 bis 4) und einem starken Rückgang der nicht dominanten Arten zu tun (vgl. Abb. 9).

1973 deutet sich ein Einpendeln auf den Ausgangszustand der Dominanzstruktur an. Dabei ist allerdings zu beobachten, daß sich unter den subdominanten Arten auf den Behandlungsvarianten eine Zunahme der h_i abzeichnet. Diese ist 1974 bei beiden Behandlungsvarianten stark ausgeprägt zu finden (vgl. Abb. 10). Obwohl in beiden Varianten geringere Artenzahlen als in der Kontrolle auftreten, wird bei *E* und *D* eine deutlich höhere Komplexität erreicht, die vor allem auf die erhöhten h_i der subdominanten Arten zurückzuführen ist.

Ähnlich wie in der Phytozönose ist somit auch in der Bodenzoozönose eine Veränderung der Dominanzstruktur festzustellen. Allerdings reagieren die untersuchten Organismengruppen in letzterer gleichartig, d. h., die Unterschiedlichkeit der Konzentration des applizierten Herbizids ist offenbar für sie von geringerer Bedeutung als für die Phytozönose.

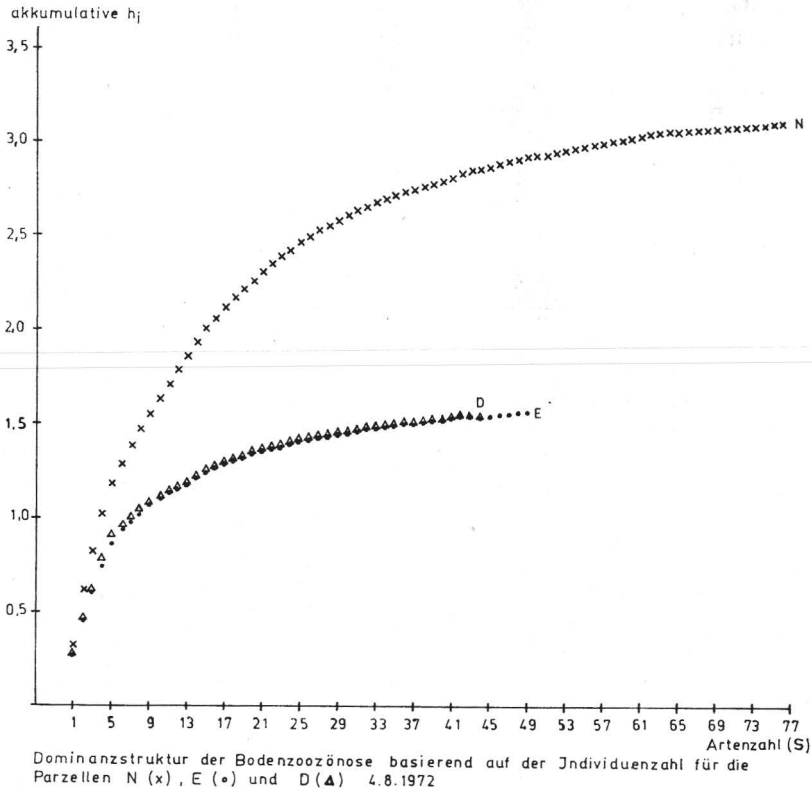


Abb. 9. Dominanzstruktur der Bodenzoozönose (Mikroarthropoden) nach Herbizidapplikation 1972

Die Veränderungen der Dominanzstruktur erfolgen – wie bei der Unkrautphytozönose – stufenweise. Zunächst kommt es zu einem Rückgang der Komplexität infolge Reduktion der Individuendichte. In der zweiten Stufe der Veränderungen stellt sich eine gleichmäßigere Verteilung der Individuen pro Art auf den Behandlungsflächen ein, die sich in einer Erhöhung („Überkompensation“) der Komplexität äußert. Hinzuweisen ist auf den gleichzeitig mit der Veränderung der Dominanzstruktur erfolgenden Wechsel innerhalb der Rangfolge der dominanten Arten.

Wie für die Phytozönose so erfolgte auch für die untersuchten Organismengruppen der Bodenzoozönose eine Berechnung und Darstellung der Komplexität und Evenness vgl. Abb. 11). Durch die 2,4-D-Applikation 1971 wird die Komplexität in den behandelten Flächen gegenüber der Kontrolle bereits leicht verändert. Dieser Rückgang verstärkt sich im weiteren Verlauf des Jahres wird aber im Anschluß an die Simazinbehandlung (1972) fast wieder aufgehoben. Im weiteren Verlaufe des Jahres 1972 kommt es dann allerdings zu sehr starken Abweichungen von H , d. h. zu einem enormen Rückgang der Komplexität auf den Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle. Im folgenden Jahr (1973) liegen die H -Werte dagegen weit über denen der Kontrolle, gehen danach aber auf die der Kontrolle zurück und treten 1974 stets als höhere Komplexität in Erscheinung.

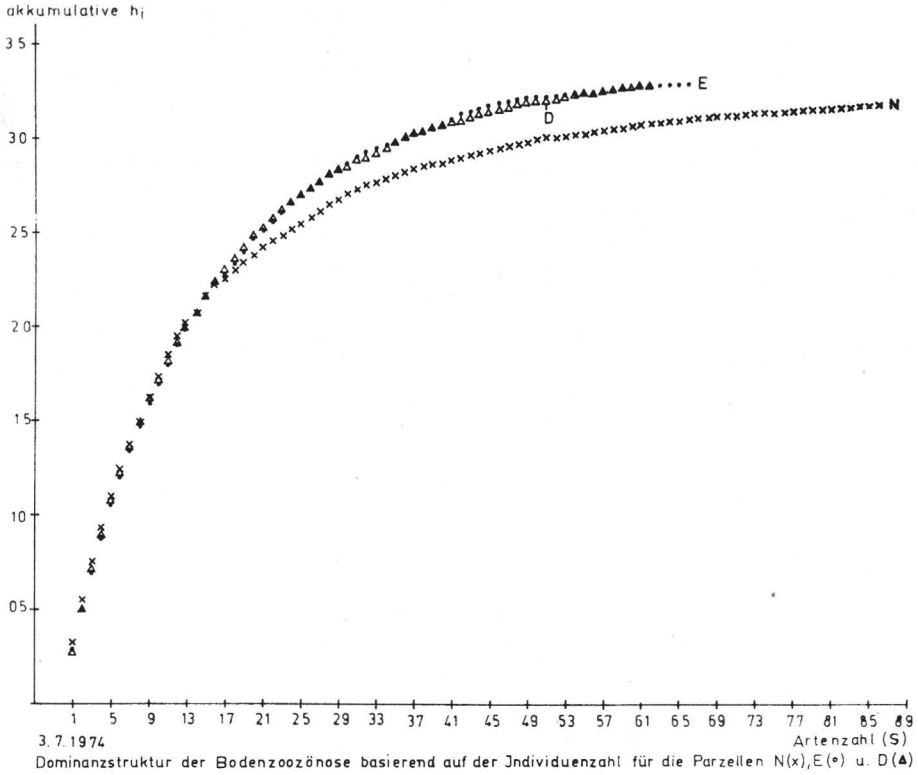


Abb. 10. Dominanzstruktur der Bodenzoozönose (Mikroarthropoden) nach Herbizidapplikation 1974

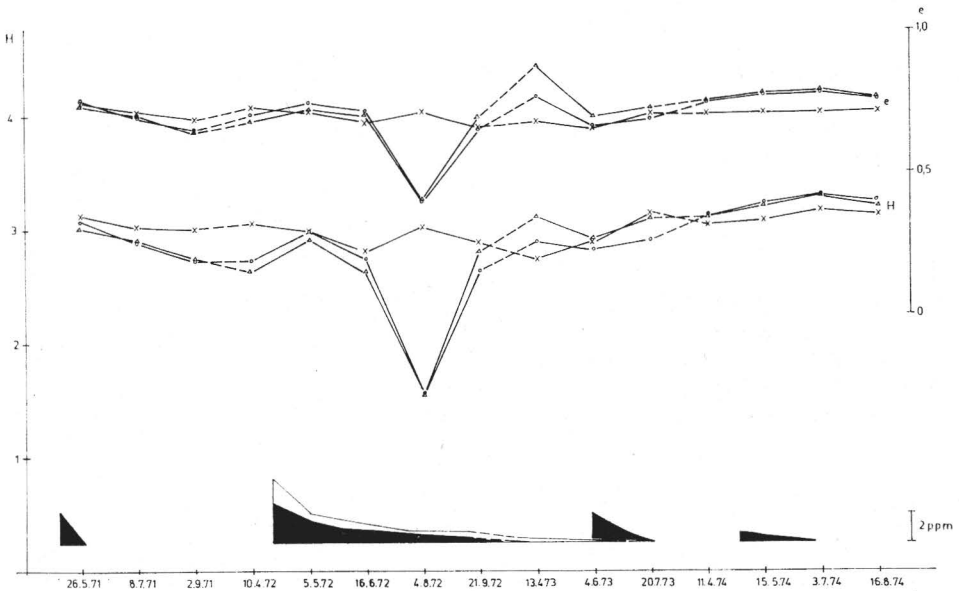


Abb. 11. Dynamik der Komplexität (H) und Evenness (e) der Bodenzoozönose (Mikroarthropoden) im Zeitraum 1971-74

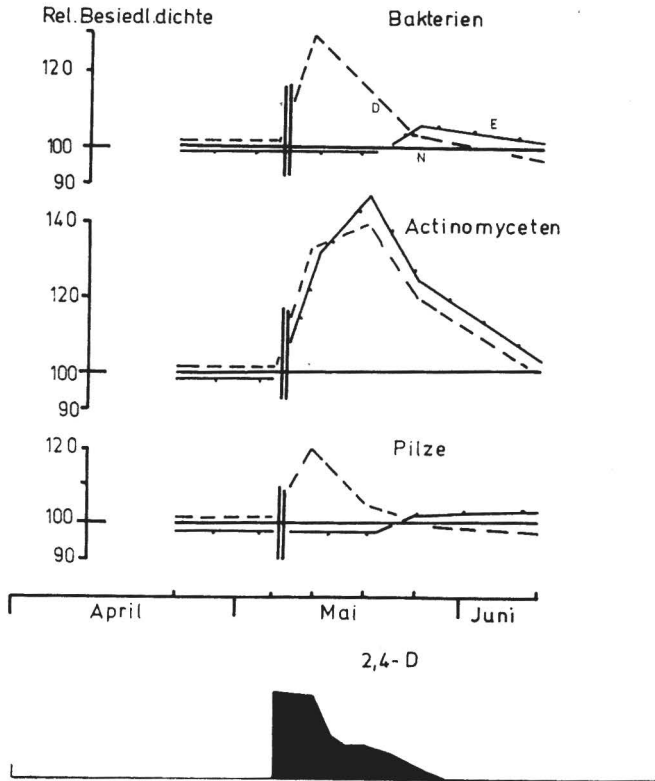


Abb. 12. Relative Besiedlungsdichte von Mikroorganismen gegenüber der Kontrolle nach Applikation von 2,4-D 1971

Ähnliche Abweichungen ergeben sich für die Evenness. Nach der Simazinapplikation erfolgt auf den behandelten Flächen ein starker Abfall weit unter den Wert der Kontrolle. 1973 übersteigt dann die Evenness auf den behandelten Flächen den Wert der Kontrolle und bleibt während des gesamten Zeitraumes 1973 und 1974 deutlich erhöht.

Das gleiche Phänomen des „Überschwingens“ von H und e nach einer starken Störung wird auch von anderen Autoren beschrieben (vgl. z. B. Barrett 1969). Durch die Simazinapplikation erfolgt eine Verminderung der Individuen pro Art und zugleich eine Verringerung der Artenzahlen. Dies findet seinen Niederschlag in einer entsprechenden Abnahme der Komplexität und Evenness (Auftreten einiger dominanter Arten). In der Folge kommt es dann zu einem stärkeren Ausgleich der Individuenzahlen der verbleibenden Arten. Dadurch werden die h_i der Einzelarten erhöht und damit auch der Wert für e und H .

3.3.2. Veränderungen der Bodenmikroorganismen

Während in den letzten Jahren zahlreiche Einzeluntersuchungen über den Einfluß bestimmter Herbizide auf Mikroorganismen veröffentlicht wurden (vgl. z. B. Naumann 1970, 1971, Resz 1968), liegen bisher kaum Ergebnisse über quantitative Veränderungen des Mikroorganismenbesatzes in Agro-Ökosystemen bei mehrjährigem Einsatz von Herbiziden – speziell unter Ökosystemaspekten – vor.

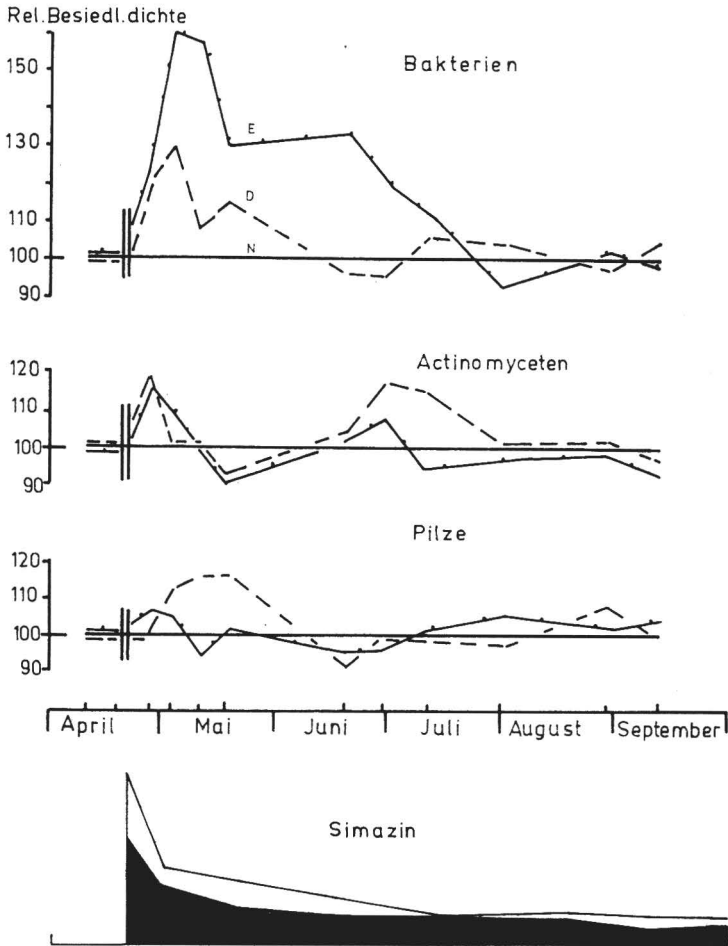


Abb. 13. Relative Besiedlungsdichte von Mikroorganismen gegenüber der Kontrolle nach Applikation von Simazin 1972

Um zu quantitativen Aussagen über die Beeinflussung der Struktur der Bodenmikroorganismen zu kommen, fanden im Rahmen des vorliegenden Versuchsprogramms Untersuchungen zur Veränderung der Besiedlungsdichte der Mikroorganismen statt. Es wurden dabei einmal taxonomische Gruppen und zum anderen physiologische Gruppen erfaßt. Von den Ergebnissen dieser Untersuchungen soll hier über die Veränderung der Besiedlungsdichte der taxonomischen Gruppen (Bakterien, Actinomyceten, Pilze) berichtet werden.

Die Entnahme der Bodenproben (10 g) aus den Tiefen 0 bis 5 und 7 bis 12 cm erfolgte in zeitlicher Abstimmung mit den anderen Arbeitsgruppen. Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsergebnisse für die Bodentiefe 0 bis 5 cm. Zur Erfassung der Zahl lebender Zellen (Bezugsbasis 1 g absolut trockener Boden) diente das fraktionierte Verdünnungs- und das Kochsche Plattengußverfahren mit Spezialnährböden für die verschiedenen Mikroorganismengruppen (zur Methodik vgl. Müller 1965). In den Abbildungen sind die Werte für die unbehandelten Flächen jeweils gleich 100 % gesetzt. Dargestellt werden die Ergebnisse der drei aufeinanderfolgenden Jahre 1971–73.

Für die Versuche des Jahres 1971 (2,4-D) ergibt sich folgendes Bild (vgl. Abb. 12). Bei den Bakterien konnten für die Standarddosis über einen Zeitraum von 36 Tagen nach der Applikation keine nennenswerten Veränderungen festgestellt werden. Dagegen führte der Einsatz der doppelten Standarddosis bis zum 18. Tag nach der Applikation zu einer gesteigerten Vermehrung. Nach 36 Tagen konnten allerdings bereits keine signifikanten Abweichungen gegenüber der Kontrolle mehr beobachtet werden. Die Actinomyceten wurden sowohl von der einfachen wie doppelten Dosis stimuliert, jedoch hatten sich bei dieser Gruppe nach 36 Tagen die herbizidbehandelten Flächen der unbehandelten Variante wieder angeglichen. Bei den Bodenpilzen zeigte sich ähnlich wie bei den Bakterien keine Reaktion auf die Standarddosis. Ähnlich führte auch hier die doppelte Standarddosis zu einer vorübergehenden Erhöhung der Besiedlungsdichte.

Zu einer wesentlich nachhaltigeren Beeinflussung der Mikroorganismen kam es nach dem Einsatz von Simazin im Folgejahr (1972, vgl. Abb. 13). Beide Behandlungsvarianten führten zu einer deutlichen Stimulation der Bakterienbesatzdichte. Dies gilt auffallenderweise besonders für die Standarddosis, die nicht nur zu einer stärkeren, sondern auch länger andauernden Erhöhung der Bakterienzahl führte, die noch 77 Tage nach Applikation nachweisbar war. Die Actinomyceten reagierten auf beide Dosierungen nur kurzfristig positiv, wiesen danach aber eine Verringerung ihrer Zahl gegenüber der Kontrolle auf. Etwa 70 Tage nach der Behandlung kam es bei der *D*-Variante nochmals zu einer vorübergehenden Stimulierung der Actinomyceten. Die Bodenpilze wurden von der Standarddosis des Simazins kaum beeinflusst. Dagegen führte die doppelte Standarddosis bis zum 23. Tag nach der Behandlung zu einer Zunahme der Besiedlungsdichte.

Bei dem erneuten Einsatz von 2,4-D im darauffolgenden Jahr (1973) zeigten sich ähnliche Wirkungen wie 1971 (vgl. Abb. 14). Kurz nach der Herbizidapplikation ließen sich für beide Dosierungen bei Bakterien, Actinomyceten und Bodenpilzen kurzfristige Stimulierungen beobachten, die, vor allem bei den Bakterien und Pilzen, wieder rasch abklangen. Gegenüber 1971 ergeben sich allerdings einige Abweichungen hinsichtlich der Höhe der Übervermehrung wie der Dauer bis zum erneuten Einpendeln auf die Werte der Kontrolle. Die Übervermehrung war 1971 deutlich stärker, klang danach aber schneller ab als 1973. Diese Befunde stehen in guter Übereinstimmung mit der Abbaugeschwindigkeit der eingesetzten Wirkstoffe im Boden (vgl. Abb. 12 und 14).

Das 1974 und 1975 eingesetzte MCPA führte – wohl vor allem auf Grund sehr unterschiedlicher klimatischer Bedingungen während der Vegetationsperiode – zu recht unterschiedlichen Ergebnissen in diesen beiden Jahren. 1974 war nach der Applikation des Herbizids nur eine sehr geringe Stimulation bei allen 3 taxonomischen Gruppen festzustellen, die unter der der zuvor in den Jahren 1971–73 eingesetzten Herbizide lag. 1975 ließ sich dagegen eine sehr hohe Stimulierung bei den Bakterien wie bei den Pilzen beobachten, die über der in allen vorangegangenen Jahren lag. Das Maximum der Vermehrung wurde in allen Jahren etwa eine Woche nach der Applikation des Herbizids festgestellt.

Über die Ursachen der aufgezeigten Dynamik bzw. der Unterschiede zwischen Behandlungsvarianten und Kontrolle bei allen behandelten Gruppen der Mikroorganismen lassen sich z. Z. noch keine endgültigen Aussagen abgeben. Sicher dürfte sein, daß die anfängliche Stimulierung auf den direkten Einfluß der Herbizidapplikation zurückzuführen ist. Als Ursache für den Rückgang der Werte unter die der Kontrolle nach etwa 8 Wochen könnte das veränderte Nahrungsangebot auf den Behandlungsvarianten evtl. im Zusammenhang mit dem Rückgang bzw. weitgehenden Ausfall der Unkräuter eine Rolle spielen.

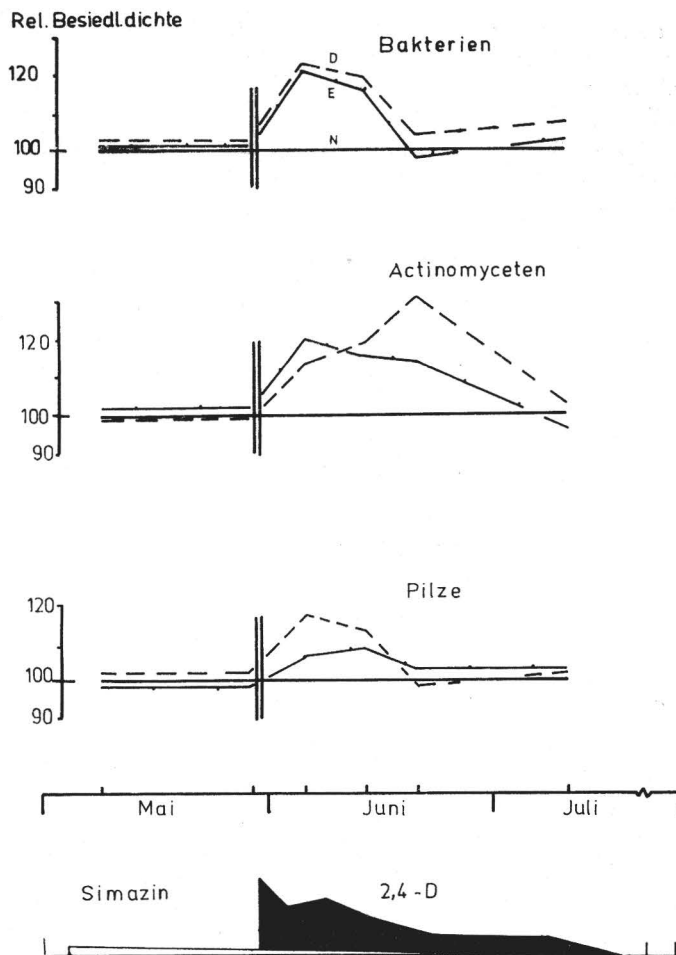


Abb. 14. Relative Besiedlungsdichte von Mikroorganismen gegenüber der Kontrolle nach Applikation von 2,4-D 1973

Außerhalb des Standardversuchsprogramms wurde im Frühjahr 1975 eine Prüfung der Besiedlungsdichte vorgenommen. Dabei ergaben sich für alle 3 untersuchten taxonomischen Gruppen auf den Behandlungsvarianten Abweichungen gegenüber der Kontrolle, die noch innerhalb der 10⁰/₀-Grenze lagen. Dabei zeigte sich weiterhin, daß innerhalb der Gruppe der Pilze die *Mucoraceae* durch den mehrjährigen Herbizideinsatz eine geringfügige Dezimierung erfuhren, während die Penicillien eine Zunahme aufweisen. Die *Aspergillus*-Vertreter scheinen gegenüber der doppelten Standarddosis etwas empfindlicher zu reagieren. Dies gilt, wenn auch abgeschwächt, für einige weitere Pilzarten. Von den im Formen-Spektrum der Kontrolle seltenen Arten sind in der E-Variante drei und der D-Variante vier Arten nicht (mehr) vertreten.

3.3.3. Veränderungen der Bodenenzymaktivitäten

An den Stoffwandlungs- und Abbauprozessen der organischen Substanz im Boden sind neben Bodentieren und Mikroorganismen Bodenenzyme entscheidend beteiligt.

Ziel unserer Untersuchungen war es festzustellen, in welchem Umfang unter den gegebenen Versuchsbedingungen die direkten bzw. indirekten Wirkungen des Herbizideinsatzes zu einer Beeinflussung von Enzymen führen, die von Bedeutung für die Steuerung wichtiger Stoffwandlungsprozesse im Boden sind. Von den zur Wirkung der Herbizide auf Urease- und Dehydrogenaseaktivität durchgeführten Untersuchungen soll hier vor allem auf das Verhalten der Dehydrogenase während des Zeitraumes 1972–74 eingegangen werden.

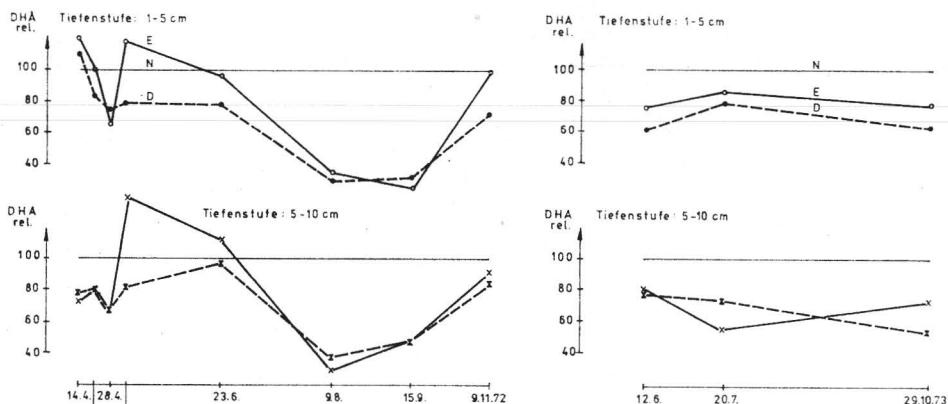


Abb. 15. Dynamik der relativen Dehydrogenaseaktivität im Boden gegenüber der Kontrolle nach Applikation von Simazin 1972 (linke Seite) und 2,4-D 1973 (rechte Seite)

Die Dynamik der Dehydrogenaseaktivität im Jahre 1972 ist durch folgenden Verlauf gekennzeichnet (vgl. Abb. 15). Unmittelbar nach der Simazinapplikation kommt es bei beiden Behandlungsvarianten zu einem starken Abfall. Dieser Phase folgt bei der E-Behandlungsvariante ein vorübergehender Anstieg der Werte über die der Kontrolle, der bis Ende Juni anhält. Dann sinken die Werte erneut stark unter die der Kontrolle ab. Die sich anschließende depressive Phase klingt erst im Spätherbst allmählich wieder ab. Im Gegensatz zur E-Variante dauert bei der D-Behandlungsvariante die Depression der Dehydrogenaseaktivität vom Zeitpunkt der Herbizidapplikation bis zum Spätherbst an, wobei der Kurvenverlauf von Ende Juni an dem der E-Variante sehr ähnlich ist.

Die Applikation von 2,4-D im Folgejahr (1973) führt bei beiden Behandlungsvarianten zu einer deutlichen Hemmung der Dehydrogenaseaktivität, wobei die Depression auf der D-Variante stärker ist. Zu vermuten ist, daß die 1973 zu beobachtende langfristige Hemmung der Dehydrogenaseaktivität nach Einsatz eines relativ rasch abbauenden Herbizids durch den stark verzögerten Abbau des 1972 eingesetzten Simazin (vgl. Abb. 2 und 14) erhöht wurde.

Auf die Applikation von MCPA im Jahr 1974 reagierte die Dehydrogenase ebenfalls mit einer deutlichen Hemmung, die aber weniger lang anhielt als im vorangegangenen Jahr.

Auf Grund der Ergebnisse unserer Untersuchungen läßt sich für die gegebenen Versuchsbedingungen verallgemeinert sagen, daß der Einsatz der Herbizide die Aktivität der Dehydrogenase deutlich beeinflusste. Dabei gehen von den im Untersuchungszeitraum eingesetzten Herbiziden vor allem depressive Wirkungen aus. Dies gilt für die Standarddosis wie – in besonderem Maße – für die doppelte Standarddosis der jeweils applizierten Herbizide.

Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang darauf, daß die hier nicht dargestellte Dynamik der Ureaseaktivität einen im Prinzip der Dehydrogenase ähnlichen Verlauf während des Zeitraumes 1972–74 aufwies.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der von uns durchgeführten Untersuchungen zur Erfassung der Wirkungen des mehrjährigen regelmäßigen Einsatzes von Herbiziden auf Agro-Ökosysteme gestatten folgende allgemeinere Aussagen:

Sowohl auf der trophischen Ebene der Produzenten wie der Destruenten kommt es zu deutlichen Veränderungen wichtiger Strukturelemente. Die Intensität und Dauer dieser Veränderungen wird einmal vom Wirkungsspektrum der jeweils eingesetzten Herbizide und zum anderen von der Dauer der in regelmäßigen Abständen (d. h. in unserem Fall jährlich) erfolgenden Einflußnahme über einen längeren Zeitraum bestimmt.

Entsprechend der Zielfunktion des Herbizideinsatzes sind die stärksten direkten Wirkungen auf der Ebene der Phytozönose zu erwarten und von uns auch festzustellen. Bereits nach der erstmaligen Herbizidapplikation sind Unterschiede in der Entwicklung der Unkrautbestände zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten zu beobachten, die sich im Verlauf des Untersuchungszeitraumes verstärken.

Die Veränderungen der Struktur des Unkrautbestandes sind dabei innerhalb des von uns untersuchten Zeitraumes im wesentlichen quantitativer Art. Während nämlich die Artenzusammensetzung weitestgehend unverändert bleibt, kommt es zu deutlichen Veränderungen der Komplexität und Dominanzstruktur. Im Verlauf dieses Vorganges findet eine Verringerung des Anteils nicht dominanter Arten zugunsten dominanter Arten statt. Von letzteren gehört nur ein Teil zu den bereits vor dem ersten Herbizideinsatz vorhandenen dominanten Arten. Das Auftreten weiterer, d. h. neuer dominanter Arten ist offenbar das Ergebnis eines Selektionsprozesses, der durch die direkten wie indirekten Wirkungen des Einsatzes von Herbiziden ausgelöst wird, wenn dieser über längere Zeit regelmäßig jährlich erfolgt. Für die Praxis der Unkrautbekämpfung erweisen sich diese dominanten Arten häufig als schwer bekämpfbar und werden daher zu „Problemunkräutern“.

Bei anfangs geringer Verunkrautung der Untersuchungsfläche führt der Herbizideinsatz zunächst zu keiner signifikanten Erhöhung der Biomasse und des Kornertrages bei der Kulturart. Die Tendenz zu signifikanter Erhöhung von Biomasse und Kornertrag verstärkt sich mit fortschreitender Dauer der Herbizidanwendung. Sie steht in engem Zusammenhang mit den gleichzeitigen Veränderungen des Unkrautbesatzes (Zunahme auf der Kontrolle, Abnahme auf den Behandlungsvarianten). Die einmalige Anwendung eines persistenten Herbizids führte zu einer nachhaltigen Beeinflussung der Phytozönose. Diese war auch im Folgejahr noch nachweisbar und äußerte sich in einer Ertragsdepression der angebauten Kulturart.

Bei den Bodenorganismen und Bodenenzymen lassen sich ähnlich wie in der Phytozönose direkte und indirekte Wirkungen des Herbizideinsatzes feststellen. Das Abklingen der Wirkungen der einzelnen Herbizide erstreckt sich über unterschiedlich lange Zeiträume. Dabei scheint die unterschiedliche Höhe der beiden von uns verwandten Dosierungsstufen in den meisten Fällen eine geringere Bedeutung zu besitzen als in der Phytozönose.

Die Wirksamkeit der Herbizide auf Wuchsstoffbasis (2,4-D, MCPA) beschränkt sich entsprechend deren relativ kurzfristigem Abbau in der Regel auf die ersten

Wochen nach der Applikation, bleibt aber in einigen Fällen auch darüber hinaus erhalten. Ebenso wie in der Phytozönose führt der Simazineinsatz bei den Bodenorganismen und -enzymen zu nachhaltigeren Wirkungen. Veränderungen lassen sich noch im Folgejahr feststellen und sind für einige Organismen sogar noch 1974/75 nachweisbar.

Die zur Interpretation der Primärdaten angewendeten multivariaten mathematischen Test- und Auswerteverfahren erwiesen sich als geeignet, um bereits in einem frühen Stadium zu quantitativen Aussagen über das Ausmaß von Veränderungen bestimmter Ökosystemstrukturen zu kommen. Wir halten ihren Einsatz bei Untersuchungen auf Ökosystemebene, wie z. B. für Aufgaben der Bioindikation, für erfolgversprechend.

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

Am Beispiel eines ausgewählten, regional repräsentativen Agro-Ökosystems wurden die Wirkungen des mehrjährigen regelmäßigen Einsatzes von Herbiziden auf ausgewählte Strukturelemente verschiedener Trophiestufen (Produzenten, Destruenten) untersucht. Die Untersuchungen zeigten, daß es im Gefolge des mehrjährigen Herbizideinsatzes zu deutlichen Strukturänderungen kam.

Auf der Ebene der Phytozönose wirkten sich die Änderungen erwartungsgemäß besonders deutlich in der Struktur des Unkrautbestandes aus. Sie äußerten sich vor allem quantitativ, das heißt in Veränderungen der Individuenzahl und Biomasse. Für die angebaute Kulturarten ergaben sich erst gegen Ende des Untersuchungszeitraumes signifikante Erhöhungen von Biomasse und Kornertrag.

Bei den untersuchten Bodenorganismengruppen waren ebenfalls eindeutige Wirkungen des Herbizideinsatzes festzustellen. So ließ sich bei den Mikroarthropoden besonders klar der Einfluß der Herbizidapplikation an Veränderungen der Dominanzstruktur und Komplexität sichtbar machen. Ähnliches gilt für Veränderungen der Individuendichte der Mikroorganismen auf den Herbizidbehandlungsflächen gegenüber der Kontrolle.

Während sich bei den überwiegend eingesetzten Herbiziden aus der Gruppe der Wuchsstoffherbizide (Phenoxyessigsäurederivate) die Wirkung auf das Einsatzjahr beschränkte, ließen sich nach Applikation des persistenteren Simazin nachhaltige Wirkungen feststellen, die auch im Folgejahr noch nachweisbar waren.

S u m m a r y

The paper reports on investigations concerning the effects of the continual application of herbicides over several years on the structure of a regional representative agro-ecosystem.

On the level of the plant community the application of herbicides led to remarkable changes within the weed community. The observed changes are primarily of a quantitative nature (modifications of biomass and number of individuals). Towards the end of our experimental studies a significant increase in biomass development and grain yield of the cultivated crop on the treated areas could be observed.

In a similar way the investigated groups of soil organisms showed effects of the herbicide application. This influence was reflected especially within the group of microarthropods (changes of dominance structure and diversity). The continual application of herbicides also influenced the individual density of microorganisms. The herbicides mostly used in our treatments (phenoxy-acetic acids) decomposed rapidly. The application of a persistent herbicide (simazine) produced more enduring effects which were still noticeable during the subsequent year.

S c h r i f t t u m

- Audus, L. J. (ed.): *Herbicides* 2nd ed., Academic Press London, New York, San Francisco 1976.
- Ahrens, H. u. J. Läuter: *Mehrdimensionale Varianzanalyse*. Akademie-Verlag Berlin 1974.
- Barrett, G. W.: The effects of an acute insecticide stress on a semienclosed grassland ecosystem. *Ecology* **49** (1969) 1019–1035.
- Cremer, J.: Siebenjährige Untersuchungen über den Einfluß von Herbiziden auf die Unkrautflora in einer konzentrierten Fruchtfolge. *Nachrichtenbl. Pflanzenschutzdienst DDR* **30** (1976) 29–32.
- Helmecke, K.: Auswertung von Dauerflächenbeobachtungen in Phytozönosen. 1. Mathematisch-statistische Verfahren zur Darstellung des Stabilitätsverhaltens von Phytozönosen. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* **15** (1975) 133–155.
- Helmecke, K. u. E. G. Mahn: Untersuchungen zur Wirkung eines mehrjährigen kontinuierlichen Einsatzes von Herbiziden auf die Phytozönose-Komponente von Agro-Ökosystemen. In: *Ökologie und Pflanzenschutz. Symposium Kühlungsborn 1976* (im Druck).
- Koch, W.: Herbizide in der Biosphäre. *Meded. Fac. Landbouwwetensch. Rijksunivers. Gent* **36** (1971) 814–830.
- Kuzniewski, E.: Probleme der Segetalgesellschaften im Gebiet mit intensivem Herbizideinsatz im südwestlichen Teil der VR Polen. In: *Probleme der Agrogeobotanik, Jena 1975*, 147–154.
- Laudien, H.: Einfluß der Herbizidanwendung auf die freilebende Tierwelt. *Z. Pflanzenkrankh. Sonderh.* **6** (1972) 127–131.
- Mahn, E. G.: Zum Einfluß von Herbiziden auf Agro-Ökosysteme. In: *Probleme der Agrogeobotanik, Jena 1975*, 131–138.
- Mahn, E. G., und K. Helmecke: Biomasseentwicklung von Agrophytozönosen bei Herbizidanwendung. In: *Symposium zur Schaderregerüberwachung in der Getreideproduktion, Halle 1974*, 481–492.
- Maier-Bode, H.: *Herbizide und ihre Rückstände*. Verl. Eugen Ulmer Stuttgart 1971.
- Müller, G.: *Bodenbiologie*. G.-Fischer-Verl. Jena 1965.
- Nagel, P.: Die Darstellung der Diversität von Biozönosen. *Schriftenr. Vegetationskunde* **18** (1976) 381–391.
- Naumann, K.: Zur Dynamik der Bodenmikroflora nach Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. *Zbl. Bakt.* **125** (1970) 119–133.
- Naumann, K.: Veränderung in der Zusammensetzung der Bodenbakterienflora nach Einbringung von Pflanzenschutzmitteln in den Boden. *Zbl. Bakt.* **126** (1971) 530–544.
- Odum, E. P.: *Fundamentals of Ecology*. 3rd ed. Saunders Comp. Philadelphia, London, Toronto 1971.
- Pötsch, J.: Untersuchungen über die Veränderung der Ackerunkrautvegetation nach Herbizideinsatz unter natürlichen landwirtschaftlichen Bedingungen. In: *Probleme der Agrogeobotanik, Jena 1975*, 161–168.
- Prasse, J.: Investigations concerning the effect of the herbicides 2,4-D and Simazin on the coenosis of the collembola and of the Acari of a arable soil. In: *Progress in Soil Zool. Prague 1975*, 469–480.
- Resz, A.: Untersuchungen in Herbizid-Dauerversuchen. 2. Quantitative Veränderungen in der Bodenmikroflora durch elfjährige Anwendung bestimmter Herbizide. *Z. Pflanzenkrankh. Sonderh.* **4** (1968) 147–150.
- Stöcker, G.: Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. 2. Bioindikation, allgemeine Ergebnisse. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* **17** (1977) 121–150.
- Stöcker, G., und A. Bergmann: Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. 1. Modellbildung, Modellrealisierung, Dominanzklassen. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* **17** (1977) 1–26.

Methodensammlung zur Rückstandsanalytik von Pflanzenschutzmitteln. Verl. Chemie Weinheim 1969.

Dr. Klaus Helmecke und Doz. Dr. E. G. Mahn
Sektion Biowissenschaften
Wissenschaftsbereich Geobotanik und Botanischer Garten
DDR - 402 H a l l e / Saale
Neuwerk 21

Dr. Brigitte Hickisch und Prof. Dr. Joachim Prasse
Sektion Pflanzenproduktion
Wissenschaftsbereich Standortkunde; Bodenkunde und Mikrobiologie
DDR - 402 H a l l e / S.
Weidenplan 14

Dr. Günther Sternkopf
Sektion Pflanzenproduktion
Zentrallabor
DDR - 402 H a l l e / S.
Emil-Abderhalden-Straße 25 b