

# BULLETIN

# 14

---

## **Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung durch den Menschen**

SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR PHYTOMEDIZIN  
BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ  
NATIONALES FORSCHUNGSPROGRAMM «BODEN»

Referate der gemeinsamen Tagung  
vom 2. März 1990  
in Neuenburg

Abdruck aus  
Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 29 (1) 1990

---

Tätigkeitsberichte



**BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ**

**SOCIETE SUISSE DE PEDOLOGIE**

**BULLETIN 14**

**1990**

Jahrestagung vom

1./2. März 1990

in Neuenburg

**Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung  
durch den Menschen**

SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR PHYTOMEDIZIN  
BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ  
NATIONALES FORSCHUNGSPROGRAMM "BODEN"

Referate der gemeinsamen Tagung vom 2. März 1990

Abdruck aus  
Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 29 (1) 1990

Tätigkeitsberichte

Koordination: M. Müller, Zollikofen

---

Juris Druck, Zürich

**BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ**

**SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE**

**Adresse:** Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen

Pflanzenbau, 8046 Zürich-Reckenholz

01 371 88 00

**Postcheck-Konto:** BGS Bern 30-22131-0 Bern

**Vorstand / Comité 1989 - 1991**

Präsident / Président: H. Häni, Liebefeld

Vize-Präsident / Vice-président: J.-P. Dubois, Lausanne

Beisitzer / Assesseur: P. Lüscher, Birmensdorf

Sekretär / Secrétaire: L.-F. Bonnard, Zürich-Reckenholz

Kassier / Caissier: A. Kaufmann, Jegenstorf

**Redaktion / Rédaction**

M. Müller, Schweiz. landw. Technikum, 3052 Zollikofen

**Dokumentationsstelle / Service des documents**

Landw. Lehrmittelzentrale, Länggasse 79, 3052 Zollikofen

**Vorsitzende der Arbeitsgruppen / Présidents des groupes de travail**

Klassifikation und Nomenklatur: J. Presler

Körnung und Gefüge: J.-A. Neyroud, Nyon

Lysimeter: P.-F. Lavanchy, Orzens

Bodenzoologie: W. Matthey, Neuchâtel

Bodenschutz: Ch. Salm, Egliswil

**Koordination Ausstellung BODEN/SOL**

U. Zihlmann, Zürich-Reckenholz 01 371 88 00

---

**Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung durch den Menschen**  
**Referate der Tagung vom 2. März 1990**

H. STICHER	Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung durch den Menschen	5
H. BRÜNE	Bodenfruchtbarkeit - was ist das?	7
A. RUDAZ und E. BRÜNING	Importance et contribution des microorganismes pour l'élaboration de critères de fertilité des sols	16
W. MATTHEY	Signification des macroarthropodes dans les sols	23
W. JÄGGI, P. WEISSKOPF und H.R. OBERHOLZER	Zusammenhang zwischen mikrobiologischen und physikalischen Kennwerten des Bodens	29
M. BIERI	Die Erfassung der Einflüsse chemischer Pflanzenbehandlungsmittel auf die Bodenlebewelt - wie müssen die Prioritäten gesetzt werden.	40
H.U. AMMON	Auswirkungen der Herbizide auf die Bodenfruchtbarkeit	46
N. MAIRE, J.-M. BESSON, H. SUTER, G. HASINGER & A. PALASTHY	Influence des pratiques culturales sur l'équilibre physico-chimique et biologique des sols agricoles	59
U. NIGGLI	Die Zulassung der Pflanzenbehandlungsmittel im Hinblick auf den umfassenden Bodenschutz, Istzustand und Ausblick	73
F. HÄNI	Ökologische und ökonomische Auswirkungen des Bewirtschaftungssystems	80
	Nachwort	95
	<b>Jahresbericht / Rapport d'activité 1989</b>	96
	<b>Berichte der Arbeitsgruppen</b>	99



Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung durch den Menschen

H. Sticher

Zum Geleit

*Die Natur erteilt keine Vorschriften – auf Fehlverhalten reagiert sie allerdings.*  
(Bernhard Glaeser, 1990)

Sowie der Mensch sesshaft wurde und sich anschickte, das Land zu bebauen, wurde für ihn die Bodenfruchtbarkeit zu einer Schicksalsfrage. Die Kraft des heimischen Bodens, Früchte hervorzubringen, bestimmte über das Wohl und Wehe zahlloser Generationen. Die Fruchtbarkeit war zunächst naturgegeben; ihre jährliche Wiederkehr wurde überwacht von Gottheiten, deren Wohlwollen es durch Opfergaben zu erbeten galt. Mit der Bearbeitung und der Bewirtschaftung fand jedoch ein Eingriff in das ökosystemare Gleichgewicht statt, wodurch die naturgegebene Fruchtbarkeit zusehends verändert wurde. In vielen Fällen verlief die Veränderung in negativem Sinne, manche Regionen wurden bis zur «Erschöpfung» ausgenutzt und der Landmann war gezwungen, weiterzuziehen und der Natur frischen, unverbrauchten Boden abzurufen. Langfristige Sesshaftigkeit war erst möglich mit dem Erblühen der Agri-kultur, welche auf einer sorgfältigen Pflege (*cultura*) des Bodens basierte. Trotzdem wiederkehrende Missernten liessen jedoch erkennen, dass die bodeninhärente Fruchtbarkeit nur einen der Faktoren darstellt, welche den erzielbaren Ertrag bestimmen: Wenn Niederschläge ausblieben oder zu reichlich fielen, wenn Insektenplagen auftraten, konnten auf fruchtbare (fette) Jahre unfruchtbare (magere) folgen.

Fruchtbare Böden – fruchtbare Gegenden – fruchtbare Jahre! Was heisst eigentlich fruchtbar? Was heisst Bodenfruchtbarkeit? Es gibt wohl kaum einen Begriff im Bereich der Landwirtschaft, der so schwer fassbar ist und so unterschiedlich gehandhabt wird wie die Bodenfruchtbarkeit. In einem frühen englischen Lehrbuch über den Boden lesen wir: *The productive powers of land cannot be measured or weighed or tested, but can only be perceived by the results produced* (MORTON, 1842). Neben der Messbarkeit wurde selbst die Definierbarkeit in Frage gestellt: *La fertilité n'est pas susceptible d'une définition absolue; elle n'est que l'expression d'une constatation expérimentale: l'aptitude d'un sol à fournir des récoltes plus ou moins abondantes entre les mains de l'agriculteur* (DEMOLON, 1932). Auf Grund theoretischer Überlegungen über Begriffe und ihre Entstehung kam LINSER (1964) zum Schluss, ...dass der Begriff Bodenfruchtbarkeit eine Begriffshypothese ist. *Bodenfruchtbarkeit ist kein abgegrenzter Gegenstand, der sichtbar vor uns steht, sondern ein Symbol für etwas, von dem wir auf Grund gedanklicher Überlegungen vermuten, dass er als Ursache wirksam ist, die den Ertrag, den der Anbau und das Wachstum der Pflanze auf dem Felde liefert, mitbestimmt.* Da unsere «gedanklichen Überlegungen» wegen wechselnder Paradigmen wandelbar sind, wird es, wie DEMOLON richtig vermutete, eine absolute Definition der Bodenfruchtbarkeit wohl auch weiterhin nicht geben. Darüber vermögen auch wohleingeführte Hilfs- und Ausweichbegriffe wie Produktivität oder Ertragsfähigkeit nicht hinwegzutäuschen.

Der vielzitierte Paradigmenwechsel im gegenwärtigen Zeitalter hat in der Tat unser Verständnis der Bodenfruchtbarkeit nicht unberührt gelassen. Wo früher der Ertrag im Zentrum stand, wird heute Qualität gefordert (vgl. Art. 2 der VSBo von 1986); wo früher alles Bemühen der Produktivitätssteigerung galt, wird heute von der Erhaltung der Fruchtbarkeit gesprochen. Dass der Begriff «Erhaltung» implicit die Befürchtung eines möglichen Verlustes beinhaltet, ist wohl den wenigsten bewusst, steht aber symbolhaft für die Hintergründe, welche zum Wandel geführt haben. Wir haben erkennen müssen, dass unsere Anstrengungen, die Erträge in die Höhe zu treiben, nicht ohne Gefahren für die langfristige Bodenfruchtbarkeit sind. Der Ruf nach weniger Land-*Wirtschaft* und wieder mehr Agrar-*Kultur* ist unüberhörbar (Vgl. GLÄSER, 1990). Wir haben ebenso zur Kenntnis nehmen müssen, dass der Boden nicht mehr länger als Senke für alle denkbaren Abfallstoffe dienen kann, ohne dass er selbst und die Qualität der erzeugten Produkte Schaden leidet.

Die Querbezüge und Vernetzungen zwischen den menschlichen Aktivitäten ganz allgemein und der Fruchtbarkeit des Bodens sind komplex und verwickelt und daher nicht immer unmittelbar zu durchschauen (vgl. dazu z.B. MAUCH, 1985). Für den notwendigen Durchblick und die angestrebte Einsicht sind vernetzte Denkmodelle ebenso gefordert wie interdisziplinäre Forschung und letztlich die Bereitschaft, zu den wirklichen Quellen der Probleme vorzudringen. Die Tatsache, dass die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, die Schweizerische Gesellschaft für Phytomedizin und das Nationale Forschungsprogramm BODEN (NFP 22) zu einer gemeinsamen Tagung eingeladen haben, um über die Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit durch den Menschen miteinander zu diskutieren, hat gezeigt, dass die Zeichen der Zeit erkannt worden sind, und dass der Wille vorhanden ist, im oben erwähnten Sinne an die Lösung existentieller Probleme heranzugehen.

## LITERATUR

- DEMOLON, A. (1932): *La Dynamique du Sol*. Dunod, Paris.
- GLÄSER, B. (1990): Ganzheitlichkeit im Umweltschutz – mehr als nur ein Schlagwort. *Universitas (Stuttgart)* 45, 105 – 113.
- LINSER, H. (1964): Fassung und Bedeutung des Begriffs «Bodenfruchtbarkeit». *Z. Pflanzenern., Düng. Bodenk.* 108, 115 – 123.
- MAUCH, S. (INFRAS Zürich, 1985): Vernetzungsmodell. NFP 22, Bericht 2. Liebefeld-Bern.
- MORTON, J. (1842): *The Nature and Properties of Soils*. 3rd. enlarged edition. Ridgeway, London.
- SCHWEIZ. BUNDESRAT (1986): Verordnung über die Schadstoffe im Boden (VSBo) vom 9. Juni 1986.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. H. Sticher, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zentrum, 8092 Zürich. Präsident der Expertenkommission des Nationalen Forschungsprogramms BODEN.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## **Bodenfruchtbarkeit – was ist das?**

*H. Brüne,*

Hessische landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Am Versuchsfeld. 13, D-3500 Kassel-Harleshausen

### ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Bodenfruchtbarkeit und damit die potentielle Ertragsfähigkeit der Böden ist in den letzten Jahrzehnten überwiegend und entscheidend verbessert worden.
2. Einseitige Organisations- und Bodennutzungssysteme – ausgelöst durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen – sind im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit nachteilig zu bewerten. Dies gilt besonders für die Trennung von Ackerbau auf der einen und Tierhaltung auf der anderen Seite. Aus Boden- und Umweltschutzgründen muss die konzentrierte Tierhaltung in Grossbeständen oder ganzen Regionen abgelehnt werden.
3. Fruchtbare Böden können durch ihr hohes Nährstoffpotential und gesteigerte Nährstoffdynamik einen starken Stickstoffaustrag bewirken, wenn die Grundsätze einer ordnungsgemässen Landnutzung vernachlässigt werden und ungünstige hydrogeologische Bedingungen vorliegen.
4. Überschüsse durch die Düngung – insbesondere bei Stickstoff – können in Zukunft nicht weiter im Boden angereichert werden und führen zunehmend zu erhöhten Umsetzungen und Stoffausträgen. Eine standortgerechte und bedarfsgerechte Düngung wird damit in Zukunft immer wichtiger.
5. Gefahren für den Boden und seine Fruchtbarkeit können sich ergeben durch Bodenverdichtung und Strukturschäden, durch zunehmende Erosionen und durch Schwierigkeiten des Humusersatzes in viehlosen Betrieben mit hohem Hackfruchtanteil. Diesen Gefahren ist durch Forschung und Beratung entgegenzuwirken. Der Praxis sind dazu Alternativen aufzuzeigen.
6. Der Eintrag von potentiellen anorganischen und organischen Schadstoffen – insbesondere aus ausserlandwirtschaftlichen Quellen – muss weiter verringert werden.

In der Öffentlichkeit sind Befürchtungen weit verbreitet, dass die Landwirtschaft durch intensive Bodennutzung und hier insbesondere durch mineralische Düngung, chemische Pflanzenschutzmittel und Bodenbearbeitung den Boden selbst in seinen Funktionen nachteilig beeinflusst und Schäden in anderen Umweltbereichen hervorruft. Von Seiten der Wissenschaft müssen wir daher sehr kritisch fragen, ob die intensive landwirtschaftliche Bodennutzung Gefahren für Bodenfruchtbarkeit und Umwelt mit sich bringt. Wo dies der Fall ist, müssen wir der gesellschaftspolitischen Forderung nach boden- und umweltschonenden Landbauverfahren entsprechen.

Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit liegt im ureigensten Interesse des Landwirts, da der Boden der Produktionsstandort und damit die Grundlage seines Wirtschaftens ist. Auf der anderen Seite zwingt die Agrarpolitik der EG bei rückläufigen Produktpreisen den einzelnen Landwirt zu möglichst hohen Erträgen, um wirtschaftlich zu überleben. Durch Überproduktion und Preisrückgänge gibt der Verbraucher in der Bundesrepublik nur noch 15% seines Einkommens für Nahrungsmittel aus, wobei der Anteil des Landwirts immer weiter zurück geht.

Bodenfruchtbarkeit ist ein landwirtschaftlich geprägter Begriff, der die bodenbürtigen ertragswirksamen Standorteigenschaften beschreiben soll. Ein fruchtbarer Boden bietet durch seine Sorptions- und Nährstoffnachlieferungseigenschaften den Pflanzen gute Wachstumsbedingungen und er transformiert die anbautechnischen Massnahmen bei geringem Aufwand in hohe Erträge. Die Natur hat in Abhängigkeit von Ausgangsgestein, Klima und Vegetation fruchtbare und unfruchtbare Böden entwickelt. Der Landwirt bewirtschaftet Kulturböden und hat im Grunde schon seit Beginn des

Ackerbaues die Bodeneigenschaften zum Guten und Schlechten hinverändert. Die natürliche Bodenfruchtbarkeit ist in vielen Gebieten durch nicht standortgemässe Nutzung und insbesondere durch Erosion ungünstig beeinträchtigt, was bis zur Bodenzerstörung geht. In den gemässigten Klimabereichen Mitteleuropas ist die Bodenfruchtbarkeit in der Regel durch Düngung und Krümenvertiefung, besonders in den letzten Jahrzehnten, deutlich verbessert worden. Bodenfruchtbarkeit lässt sich nicht einfach messen, sondern anhand der langjährigen Erträge und der Ertragsicherheit beurteilen.

Produktionsleistung  
dl/ha GE

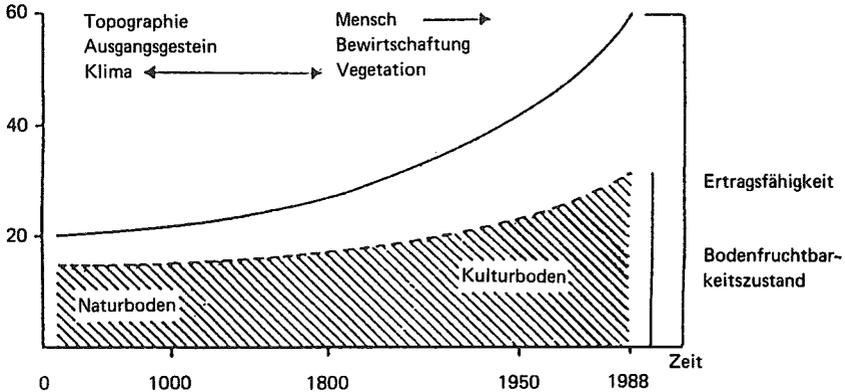


Abb. 1.: Natürliche Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit (nach L. Meyer)  
*Natural Soil Fertility and yield potential*

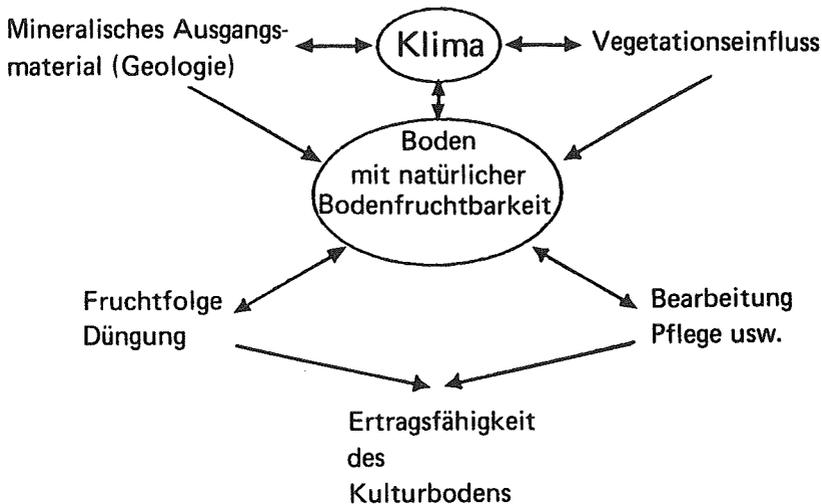


Abb. 2.: Bodenfruchtbarkeit – Ertragsfähigkeit  
*Soil Fertility – yield potential*

Die stark gestiegenen Erträge in den letzten Jahren sind kein alleiniger Beweis für eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, da diese auch von einer Reihe anderer Faktoren abhängig sind. Leistungsstarke Sorten und die ertragssichernden Massnahmen des Pflanzenschutzes haben einen wesentlichen Anteil an diesen höheren Erträgen. Um mögliche Gefahren abzuschätzen, müssen wir daher die einzelnen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften näher betrachten. Dabei sind insbesondere die Bodeneigenschaften anzusprechen, die im Sinne der Bodenkultur durch die Bewirtschaftungsmassnahmen beeinflussbar sind.

#### *Bodeneigenschaften (Bodenfruchtbarkeitszustand)*

physikalische	chemische	org.-biologische	hydrologische
Gefüge	+ Reaktion	++ Humusgehalt	(+) Infiltration +
Bodenart	- Gesamtnährstoffe	+ C/N-Verhältnis	(+) Wasserführung +
Gründigkeit	- Verfügb. Nährstoffe	++ Bodenorganismen	+ nutzb. Wasserkapazität -
Luftführung	+ Bodensättigung	++ Umsatzaktivität	+ Grundwasserzustand -
Wasserführung	+ Pufferung	(+) Transformation	+ Staunässe -
Erwärmung	- Sorptionskraft	(+) Mineralisation	+ Sickerwasserbildung -

Einflussmöglichkeiten: - keine, + geringe, ++ wesentliche

*Tab. 1.: Bodeneigenschaften (Bodenfruchtbarkeitszustand)  
Soil properties (Soil Fertility)*

### **1. Nährstoffgehalte und Düngung**

Die chemischen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften (Nährstoffgehalte und deren Verfügbarkeit) sind durch die Düngungsmassnahmen, unter Einschluss der Bodenuntersuchung, leicht zu korrigieren und zu optimieren. Die noch nach dem 2. Weltkrieg vielfach verarmten Böden sind inzwischen weitgehend aufgedüngt. Dazu hat die verstärkte Mineraldüngung, aber auch die organische Düngung beigetragen. Die Böden sind heute nährstoffreicher und umsatzaktiver, so dass der Nährstoffumsatz gegenüber natürlichen Ökosystemen um ein Vielfaches beschleunigt wurde. Insbesondere bei starker Viehhaltung kommt es zu unnötig hohen Nährstoffkonzentrationen, so dass Einsparungen bei der mineralischen Düngung möglich und empfehlenswert sind. Düngungsfehler und daraus resultierende Umweltbelastungen durch Nitratauswaschung, Denitrifikation und Ammoniakverflüchtigung entstehen häufig aus zu hoher und falsch ausgebrachter organischer Düngung, seltener aus der mineralischen Düngung. Bei den Düngungsmassnahmen ist auch die Bodenart und damit die Sorptionsfähigkeit und Pufferung der Böden mit in Rechnung zu stellen, die insbesondere auf leichten Böden begrenzende Faktoren darstellen.

Im Hinblick auf Ertrag, Qualität und Umweltbelastung kommt der Stickstoffdüngung eine besondere Bedeutung zu. Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs hat nach wie vor seine Gültigkeit und die Stickstoffdüngung sollte grundsätzlich nicht nach dem Maximalertrag, sondern nach dem höchsten korrigierten Geldrohertrag, der Qualitätsparameter mit berücksichtigt, bemessen werden. Die Böden enthalten im durchwurzelbaren Bodenraum heute nahezu die doppelten Stickstoffmengen wie früher und liefern dadurch auch mehr bodenbürtigen Stickstoff nach. Die Bilanzüberschüsse (Gesamt N-Zufuhr minus N-Abfuhr) von ca. 100 kg N ha/Jahr sind zum grössten Teil in den N-Pool des Bodens eingegangen. Die hohe Stickstoffnachlieferung der Böden findet in dem hohen Ertragsniveau auf den Stickstoff 0-Parzellen

ihren sichtbaren Ausdruck. Auf diesen Parzellen liegen bei Winterweizen im Schnitt die Erträge bei 53 dt/ha. Dies sind 140 kg N-Entzug. Früchte mit langer Vegetationszeit, wie Zuckerrüben, können den bodenbürtigen Stickstoff noch weit besser nutzen. Zum anderen führt eine Stickstoffübersorgung bei Zuckerrüben sehr schnell zu einer Verringerung des bereinigten Zuckerertrages. Beides führt dazu, dass der höchste korrigierte Geldrohertrag bei Zuckerrüben in Versuchen bereits mit 50 kg N erreicht wurde, während der maximale Rübenenertrag erst bei 125 kg N erzielt wurde.

Nach der Ernte sollten grundsätzlich möglichst geringe Nmin-Gehalte im Profil angestrebt werden, um Nitratauswaschungen aus dem Wurzelraum gering zu halten. Der im Ackerbau teilweise unvermeidliche Nitrataustrag wird jedoch auch wesentlich von der nutzbaren Feldkapazität und der klimatischen Wasserbilanz sowie von den nicht beeinflussbaren hydrogeologischen Bodeneigenschaften bestimmt. Hierauf ist insbesondere in Wasserschutzgebieten zu achten.

## **2. Humusgehalt und organische Düngung**

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass die Humusversorgung unserer Böden in den letzten Jahrzehnten mit steigender Intensität nicht abgenommen hat. Bei Viehhaltung fallen mehr Wirtschaftsdünger an. Durch die in den letzten Jahrzehnten vorgenommene Krumenvertiefung hat die Humusmenge zugenommen. Eine verstärkte Zufuhr von organischen Düngern und organischen Reststoffen führt über die damit verbundene starke Mineralisierung zu forcierten bodenbiologischen Umsetzungen, wobei gleichzeitig die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Wasser und damit die Nährstofftransformation gefördert werden. Negative Humusbilanzen ergeben sich in Marktfruchtbetrieben mit hohem Hackfruchtanteil und intensiver Bodendurchlüftung, da diese Fruchtfolgen vergleichsweise geringe Mengen organischer Reststoffe hinterlassen.

Ein erhebliches Qualitätsproblem im organischen Stoffkreislauf besteht in der Einbringung grosser Ernterückstandsmengen, insbesondere der Strohmassen bei hohen Getreideerträgen. Diese grossen Massen an organischen Stoffen müssen oberflächennah eingearbeitet werden, um Matratzenbildung, Sauerstoffmangel und nachfolgende Störungen bei Durchwurzelung, Wasserhaushalt und Stickstoffbindung zu vermeiden.

Neuere Verfahren mit reduzierter Bodenbearbeitungsintensität, wie sie im Extrem bei Direktsaatverfahren bestehen, wirken sich auch auf die Humusgehalte der obersten Schicht günstig aus. Sie führen sehr schnell zu biogen stabilisierten und tragfähigen Bodenstrukturen, zu hohen Humusgehalten und stabilen Gefügeständen im oberen Krumenbereich. Bei konsequent pfluglosem Ackerbau führt dies jedoch auf Dauer zu einer «Kopplastigkeit» der Böden.

## **3. Bodenleben und biogener Stoffumsatz**

Die bodenbiologischen Umsätze sind eng mit dem Humusgehalt und der organischen Stoffzufuhr gekoppelt. Das Bodenleben ist durch eine ausserordentliche Vielfalt gekennzeichnet und wechselt sehr stark mit den natürlichen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlüftung und C-Zufuhr). Es gilt als sicher, dass natürliche Witterungsbedingungen, C-Angebot und Bodenbearbeitung Biomasse und biologische Aktivität weitaus stärker verändern als mineralische Düngung und chemischer Pflanzenschutz. Über den Einfluss von Pflanzenschutzmassnahmen wird in anderen Beiträgen berichtet.

Sehr kritisch ist der Rückgang der Bodentiere, insbesondere der Regenwürmer, bei intensiver Bodenbearbeitung zu betrachten. Die Regenerationsfähigkeit der Bodentiere ist weitaus geringer als die der Mikroorganismen. Der teilweise feststellbare Rückgang der Regenwurmpopulation ist jedoch in erster Linie auf die intensive Bodenbearbeitung und die damit verbundene Zerstörung der Lebensräume und auf das zu geringe Nahrungsangebot in viehlosen Ackerbaubetrieben zurückzuführen. Die Regenwurm-tätigkeit ist für die Vertikalporung und Infiltration besonders wichtig. Bei reduzierter Bodenbearbeitungsintensität werden sehr schnell höhere Populationen erreicht, was in Versuchen mit Direktsaat und Mulchverfahren nachzuweisen ist.

#### **4. Bodenstruktur, Bodenverdichtung und Erosion**

Auf den physikalischen Bodenzustand nimmt der Landwirt massiv durch die Massnahmen der Bodenbearbeitung Einfluss. Alle ackerbaulichen Massnahmen verändern das Bodengefüge, wovon wiederum Wasser und Luftführung sowie andere Bodenfunktionen abhängen. Die mechanische Bodenbearbeitung soll neben der Saatbettbereitung eine Gefügeauflockerung herbeiführen. Biologische Vorgänge führen über die Garebildung zu einer Stabilisierung und Lebendverbauung. Auch natürliche Vorgänge wie Frost, Quellung und Schrumpfung führen zu einer Auflockerung verdichteter Bodenschichten.

Verdichtete Bodenschichten entstehen durch schwere Schlepper, Geräte, Erntemaschinen und Transportfahrzeuge, wenn die Böden in zu feuchtem Zustand befahren und bearbeitet werden. Dabei wird das Porenvolumen vermindert und die Verdichtungen reichen bei den heute höheren Gewichten bis in tiefere Bodenschichten.

Ein besonderes Problem sind die Verdichtungen zwischen Krume und Unterboden durch Druck und Verschmierungen im Pflugsohlenbereich. Derartige Verdichtungen sind durch Aufgraben mit dem Spaten leicht feststellbar. Eine zu tiefe mechanische Lockerung auf schluffreichen Böden kann nachträglich wieder zu höheren Rohdichten führen. Eine Tiefenbearbeitung zur Auflockerung verdichteter Bodenschichten sollte daher nicht ohne zwingenden Grund und nur bei trockenen Bodenbedingungen vorgenommen werden.

Auf schluffreichen Lössböden kommt es insbesondere nach zu feiner Saatbettbereitung im Frühjahr und Vorsommer häufig zu Verschlammungen mit nachfolgender Krustenbildung, wodurch sekundär Luftaustausch, Saataufgang und Infiltration behindert werden. Die Entmischung von Kolloiden und Mineralsubstanz führt zu einer Zerstörung der Oberflächenstruktur und hat häufig verstärkte Erosion zur Folge. Neben der zu feinen Bodenbearbeitung liegt die Ursache häufig in einer zu geringen Basenabsättigung der Ton-Humus-Komplexe. Eine Oberflächenkalkung kann hier Abhilfe schaffen. Im Gegensatz zu den übrigen Nährstoffen wird die regelmässige Kalkung häufig vernachlässigt und die strukturstabilisierende Wirkung dieser Massnahme zu wenig genutzt.

Die Bodenerosion mit allen nachteiligen Folgen für die Bodenfruchtbarkeit sowie für die Stoffeinträge in Oberflächengewässer hat regional durch vereinfachte Fruchtfolgen, Vergrösserung der Ackerschläge und durch Ersatz des bodendeckenden Feldfutterbaues durch Mais regional erheblich zugenommen. Die nachteiligen Folgewirkungen für Boden und Umwelt sind der Praxis bekannt, dennoch ist die Bereitschaft, durch acker- und pflanzenbauliche Massnahmen diesem Prozess entgegenzuwirken, noch ungenügend entwickelt. Die Strategien sind bekannt. Wenn die intensive Bodennutzung auf erosionsgefährdeten Flächen beibehalten werden soll, sind entsprechende

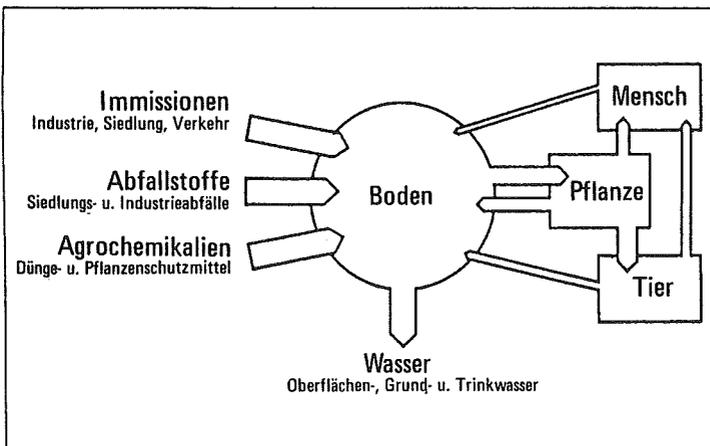
Aufwendungen für den Erosionsschutz unumgänglich. Dazu dienen Verringerung der Brachezeit, verstärkter Zwischenfruchtbau, Mulch- und Direktsaatverfahren bei Mais und Rüben, Untersaaten und verringerte Bearbeitungsintensität. In besonderen Fällen ist bei Hanglage auch die Nutzungsänderung durch Wiedereinsaat von Grünland ins Auge zu fassen.

## 5. Gewässerschutz

Vorfluter und Oberflächengewässer werden durch Eintrag von nährstoffreichem Feinbodenmaterial belastet. Alle wirksamen Erosionsschutzmassnahmen sowie Gewässerschutzstreifen können diese Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer drastisch verringern. Gewässerschutzstreifen werden im Rahmen der ordnungsgemässen Landwirtschaft zunehmend vorgeschrieben.

Speicherung und Filterung von Grundwasser ist neben der Biomassenproduktion eine wichtige Funktion land- und forstwirtschaftlicher Böden. In Wasserschutzgebieten hat diese Funktion wegen der Trinkwassergewinnung eine Vorrangstellung, auf die die Landwirtschaft Rücksicht nehmen muss. Dabei hängt das Potential zur Stoffverlagerung bis in das Trinkwasser in erster Linie von bodenkundlichen Kenndaten, klimatischen Bedingungen und den hydrogeologischen Verhältnissen ab, die standorttypisch nicht beeinflussbar sind und erst in zweiter Linie von der Intensität der ackerbaulichen Nutzung. Besonders ungünstig sind eine geringe nutzbare Feldkapazität und hohe Niederschläge, die einen schnellen Stofftransport in oberflächennahes Grundwasser beschleunigen. Ähnlich wirken Schotteruntergrund und Kluffgestein. Es gibt Bedingungen, wo eine intensive Bodennutzung mit oberflächennaher Wassergewinnung kaum vereinbar erscheinen.

Es ist keine Frage, dass die Landwirtschaft generell die in gewissem Masse unvermeidlichen Stoffausträge in tiefere Bodenschichten und damit potentiell ins Grundwasser gering halten muss. In Wasserschutzgebieten ist dies dort besonders dringend, wo zu hohe Nitratgehalte im Trinkwasser gefunden werden oder wo die Nitratgehalte ansteigen. Eine dem Standort und dem Bedarf angepasste Stickstoffdüngung ist hier im Rahmen der ordnungsgemässen Landbewirtschaftung besonders zu fordern. Eine



Der Boden in seiner Eigenschaft als Speicher, Puffer und Umwandler für Schadstoffe

Reihe von acker- und pflanzenbaulichen Massnahmen, insbesondere Zwischenfrucht-  
bau, kann auf Problemstandorten den Nitrataustrag aus dem Wurzelraum weiter ver-  
mindern. Werden darüber hinaus Nutzungseinschränkungen und Reduzierungen  
beim Düngereinsatz erforderlich, sind nach dem neuen Wasserhaushaltsgesetz die Er-  
trageinbussen zu entschädigen. Man muss dabei auch zur Kenntnis nehmen, dass die  
Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit in Wasserschutzgebieten an sich zu einem Problem  
werden kann, wenn die bodenbürtig mineralisierten Nährstoffe nicht durch Pflanzen  
genutzt werden.

## **6. Entsorgungsfunktion und Schadstoffanreicherung**

Fruchtbare Böden können nicht oder nur schwer abbaubare anorganische und organi-  
sche Stoffe in weiten Bereichen ohne Schaden filtern, puffern und speichern. Sorp-  
tionsschwache und saure Böden sind dagegen weit weniger belastbar. Probleme für  
die Bodenfruchtbarkeit ergeben sich in erster Linie in der Umgebung spezieller Emi-  
tenten, aber auch durch die höheren Stoffeinträge in Ballungsgebieten durch Besied-  
lung, Industrie und Verkehr. Die Probleme betreffen in erster Linie nicht den Boden  
selbst, sondern den Transfer von potentiellen Schadstoffen in Futter- und Nahrungs-  
mittel oder auch in das Wasser, wenn die Pufferkapazitäten des Bodens überschritten  
werden.

Abgesehen von Sonderfällen sind von den durchschnittlichen Schwermetallgehalten  
der Ackerböden noch keine Probleme zu erwarten. Deutlich höhere Gehalte werden  
jedoch in Überschwemmungsgebieten und besonders in Stadtgärten gefunden. Hier  
gilt es, die weitere Schwermetallanreicherung der Böden zu verhindern, um die unein-  
geschränkte Nutzungsfähigkeit der Böden auf Dauer zu erhalten.

Kritisch ist das Cadmium zu bewerten, da es leicht in die Pflanze übergeht und der  
jetzt noch gültige Grenzwert von 3 mg/kg Boden für empfindliche Pflanzen eindeutig  
zu hoch ist. Dieser Grenzwert nach der Klärschlammverordnung wird vermutlich pH-  
abhängig auf 1,5–2 mg reduziert werden. Bei den WHO-Richtwerten für Schwer-  
metalle in Futter- und Nahrungsmitteln haben wir eine Auslastung von etwa 30%.  
Dies bedeutet, dass hier die Sicherheitsspanne weitaus geringer als bei den häufig dis-  
kutierten Chlorkohlenwasserstoffen ist.

Auf Pflanzenschutzmittel soll hier nicht eingegangen werden. Bei der Gruppe der  
polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe haben wir in verschiedenen Berei-  
chen eine erhebliche antropogene Anreicherung festzustellen. In Komposten und  
Klärschlämmen sind bei einigen Verbindungen die Konzentrationen um den Faktor  
100 oder 1000 höher als in Ackerböden. Dennoch ist die Situation nicht so dramatisch,  
da diese Stoffe trotz ihrer Persistenz im Boden langsam abgebaut werden und der  
Übergang in die Pflanze sehr gering ist. Die im letzten Jahr aufgekommene Diskus-  
sion über Dioxine und Furane hat dazu geführt, dass die Landwirtschaft immer weni-  
ger bereit ist, Klärschlämme einer landbaulichen Nutzung wieder zuzuführen.  
Generell muss im Sinne eines langfristigen Bodenschutzes und der Erhaltung der un-  
eingeschränkten Nutzungsfähigkeit der Böden gefordert werden, die antropogenen  
Stoffeinträge aus ausserlandwirtschaftlichen Quellen weiter zu reduzieren.

## RÉSUMÉ

### *La fertilité du sol: de quoi s'agit-il?*

- 1 Au cours des dernières décennies, la fertilité des sols et, par conséquent, leur pouvoir potentiel de production s'est accrue de manière importante et décisive.
- 2 Les systèmes unilatéraux d'organisation et d'exploitation des sols – déterminés par les conditions-cadre de la politique agraire – doivent être considérés comme désavantageux du point de vue de la fertilité des sols. C'est le cas, en particulier, de la séparation entre la culture des terres ouvertes d'une part et l'élevage des animaux d'autre part. Pour des raisons de protection des sols et de l'environnement, il convient de renoncer à l'élevage concentré du bétail, soit en grands troupeaux, soit sur des régions entières.
- 3 Par leur potentiel élevé en matières fertilisantes et l'accroissement de la dynamique des éléments fertilisants, les sols fertiles peuvent provoquer une exportation élevée en azote quand on néglige les règles fondamentales d'une exploitation rationnelle du sol et que les conditions hydrogéologiques sont défavorables.
- 4 Les excédents en éléments fertilisants provoqués par la fumure – spécialement en azote – ne doivent à l'avenir plus être accrus davantage par des apports au sol; ils conduisent de plus en plus à des transpositions et à des exportations plus massives d'éléments. Une fumure adaptée aux conditions locales et aux besoins des plantes prend ainsi pour l'avenir une importance de plus en plus marquée.
- 5 Les conditions suivantes constituent aussi un danger pour la fertilité des sols: l'accroissement de la compacité et des dommages de structure, l'augmentation de l'érosion et les difficultés de remplacement de l'humus dans les exploitations sans bétail présentant de fortes proportions de cultures sarclées. Pour contrecarrer ces dangers, il convient d'effectuer davantage de recherches et d'accroître les services de renseignements aux agriculteurs. Il faut offrir à la pratique des solutions alternatives.
- 6 L'apport de substances nocives potentielles de nature inorganique ou organique – spécialement en provenance de sources extérieures à l'agriculture – doit être limité encore davantage à l'avenir.

## SUMMARY

### *Soil fertility – What is it?*

- 1 Soil fertility, and as a consequence, the potential yield capacity of soils have been improved chiefly and vastly during the last few decades.
- 2 One-sided organizational and soil utilization systems – caused by the circumstances of agricultural politics – must be criticized with regard to soil fertility. This is especially true for the separation of arable farming on one side from animal husbandry on the other. For reasons of soil and environmental protection, concentrated animal production with large numbers of animals or in whole regions must be viewed with disfavor.
- 3 Fertile soils through their high nutrient potential and increased nutrient dynamics can cause heavy nitrogen leaching, if the basics of reasonable land utilization are neglected and unfavorable hydrogeological conditions occur.
- 4 In the future, a surplus caused by fertilization – especially in the case of nitrogen – can no longer be accumulated in the soil and would lead increasingly to higher levels of transformation and loss of elements. Therefore, correct fertilization with respect to site conditions and requirements will become more and more important in the future.
- 5 Risks for soil and soil fertility could be caused by compression and structural damage, by increasing erosion and by difficulty in humus replenishment in the case of farms without animal stock and a large proportion of root crops. The dangers could be counteracted through research and consulting. For this reason, alternatives should be proposed to the farmers.
- 6 Inputs of potential inorganic and organic pollutants – especially those from sources outside of agriculture – must be reduced further.

## LITERATUR

- 1 BACH: Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Gött. Bdkl. Ber. 93, 1987.
- 2 BAUMGÄRTEL: Wie kann man die ordnungsgemässe N-Düngung überprüfen? DLG-Mitt. 9, 1989.
- 3 BRÜNE, H.: 100 Jahre Bodenfruchtbarkeit im VDLUFA. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil I.
- 4 BRÜNE, H.: Lebensmittelqualität in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen und landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen. Ärztezeitschr. f. Nat. u. Reg. 6, 30. Jahrg. 1989.
- 5 DRESSEL, J., ISERMANN, K., KNITTEL, H.: Stickstoffdüngung – Pflanzenproduktion – Eintrag ins Grundwasser. BASF-Mitteilungen für den Landbau 1/1989.
- 6 HANUS, H.: Wechselwirkungen zwischen Stickstoffdüngung und Pflanzenschutzmassnahmen beim Weizen. Schr. Reihe der Agr. wissenschaftlichen Fakultät der Uni Kiel 66, 39–48. Verlag Paul Parey, Hamburg 1984.
- 7 HEYN, J., BRÜNE, H.: Ein Vergleich zwischen N-Düngungsempfehlungen zu Zuckerrüben nach Nmin und EUF-Bodenuntersuchungen anhand von hessischen Feldversuchen. VDLUFA-Kongress 1989, in Druck.
- 8 KUNTZE, H.: Der Einfluss der Landbewirtschaftung auf die Umwelt. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil I.
- 9 SAUERBECK, D., SÖCHTIG, H., WESTRING, A.: Stickstoffbilanz eines ackerbaulich genutzten Wassereinzugsgebietes. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil II.
- 10 SCHOOP, P.: Computergestütztes Prognosemodell zur Berücksichtigung der Witterung, standortspezifischer und produktionstechnischer Parameter bei der Stickstoffdüngung im Getreidebau. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil II.
- 11 SEIBEL, W.: Qualität pflanzlicher Lebensmittel – ein Ziel der ordnungsgemässen Landwirtschaft. VDLUFA-Kongress 1989, in Druck.
- 12 SIELING, K., HANUS, H., SCHÖNBERGER, H.: Möglichkeiten zur Verringerung der Produktionsintensität bei Winterweizen. Kalibriefe 19 (8), 1989.
- 13 STURM, H., Knittel, H., Zerulla, W.: Ertragsfähigkeit langjährig intensiv bewirtschafteter Böden bei suboptimaler Stickstoffdüngung. VDLUFA-Kongress 1989, in Druck.
- 14 TIMMERMANN, F.: Schutz des Wassers und des Bodens im Rahmen der ordnungsgemässen Landwirtschaft. VDLUFA-Kongress 1989, in Druck.
- 15 VETTER, H.: Landwirtschaftliche Produktion, Nahrungsqualität und Umwelt. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil I.
- 16 WITZEL, D., HEYN, J.: Wirkung von Stickstoffspätdüngung zu Winterweizen. IFB Information für Beratung und Verwaltung Kassel 82/89.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

# Importance et contribution des microorganismes pour l'élaboration de critères de fertilité des sols

*Ariane Rudaz et Erika Brüning*

Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement. 3097 Liebefeld-Berne. (Directeur: J. von Ah)

## RÉSUMÉ

L'importance et la contribution des microorganismes pour la fertilité des sols provient de leur présence très diversifiée, de leur vitalité et de leurs fonctions. Des activités microbiennes, la formation de la structure des sols, la dégradation de la matière organique et la participation au cycle biogéochimique de l'azote sont fondamentales. Dans ce travail, un choix de méthodes représentatives pour estimer du point de vue microbiologique la fertilité des sols est proposé. Des recherches restent à faire pour définir dans quelles conditions ces tests doivent être réalisés.

## 1. Introduction

Pour être fertile et fonctionnel, le sol doit comporter non seulement de la matière inerte – minérale et organique – mais aussi de la matière vivante. La microflore, élément majeur de la vie tellurique, demeure relativement peu connue (1,2). La complexité des interactions entre les différents organismes rend son étude difficile (3).

L'impact exercé par l'activité humaine sur le sol est souvent discret car non visible. Ses effets se révèlent toutefois par des modifications des propriétés physiques du sol pouvant conduire à des problèmes d'érosion ou de compactage. Ces perturbations indicatrices d'une rupture de la stabilité de l'écosystème sol, laissent envisager une altération possible de la vie tellurique.

Dans l'état actuel de nos connaissances, les conséquences d'un déséquilibre des populations microbiennes sont difficilement estimables. Elles peuvent cependant porter une atteinte irréversible à la santé de nos sols. Il est donc urgent de rechercher des tests adéquats permettant de mettre en évidence ces déséquilibres.

Ce travail donne un aperçu de l'importance des microorganismes telluriques et de leur contribution pour l'élaboration de critères de fertilité des sols.

## 2. Importance des microorganismes dans les sols

Les microorganismes possèdent de nombreuses fonctions responsables de la formation et du maintien de l'équilibre des sols. Parmi les plus importantes, trois sont retenues:

- (a) contribution à la formation de la structure des sols
- (b) dégradation de la matière organique
- (c) participation au cycle biogéochimique de l'azote.

### (a) Contribution à la formation de la structure des sols

La taille et l'arrangement spatial des particules solides et des pores donnent au sol sa structure. En déterminant le point de fixation et la pénétration des racines et en régissant les échanges gazeux et hydriques, la structure influence le développement des végétaux. La microflore contribue partiellement à la formation de la structure, et ceci de manière directe et indirecte.

Les hyphes fongiques et les bactéries à polysaccharides sont responsables de l'agrégation directe (4). L'action des hyphes est mécanique lorsqu'au cours de leur croissance et lors de la formation de réseaux plus ou moins serrés, ils maintiennent les particules du sol entre elles. Par la présence de mucilage à la périphérie des hyphes, certaines espèces fongiques ont une action adhésive (5). Ce phénomène est aussi observé chez les bactéries synthétisant des capsules et des mucilages dans lesquels s'imbriquent les particules du sol.

L'agrégation indirecte se fait par l'intermédiaire d'agents agrégatifs issus du métabolisme microbien (6). Ces substances agrégatives sont soit des produits de synthèse, soit des sous-produits issus de processus de dégradation incomplète de la matière organique. Parmi les produits de synthèse, on distingue surtout des polysaccharides et des substances analogues aux composés humiques. Les métabolites provenant de processus de dégradation incomplète demeurent inchangés ou subissent de nouveaux processus de synthèse.

### **(b) Minéralisation de la matière organique**

Une grande partie des déchets d'origine végétale et animale est décomposée par la microflore tellurique. Les détritits d'origine végétale, quantitativement les plus importants, sont composés principalement de cellulose (15 – 60 %), d'hémicellulose (10 – 30 %) et de protéines (2 – 15 %). Ces composés de haut poids moléculaire et à structure complexe ne sont pas transformés tels quels par les microorganismes. Ils sont tout d'abord hydrolysés par des enzymes extracellulaires (exoenzymes) (7), celles-ci étant d'une part déjà présentes dans le sol et d'autre part synthétisées par une microflore spécifique. La vitesse de dégradation de la matière organique dépend de sa composition chimique et des conditions environnementales (propriétés des sols, facteurs climatiques). Les substances hydrosolubles comme les sucres, les acides aminés sont rapidement métabolisés alors que la cellulose et l'hémicellulose sont dégradées plus lentement. La lignine est une substance récalcitrante à la décomposition microbienne. Par hydrolyse, les polymères sont transformés en monomères ou oligomères assimilables par les cellules microbiennes.

La matière organique est dégradée soit en aérobiose, soit en anaérobiose. En aérobiose, une partie du carbone est décomposée intégralement – le gaz carbonique étant le produit final de cette décomposition – alors que le carbone restant sert à la synthèse de la biomasse microbienne et à la formation de métabolites. De manière générale, les champignons dégradent la matière organique avec une plus grande efficacité que les bactéries (8). La lignine, composé très résistant, est surtout dégradée par un nombre restreint d'espèces fongiques (9). Au cours de la transformation de la lignine, certains métabolites peuvent se polymériser et donner naissance à des substances analogues aux acides fulviques et humiques peu condensés.

En anaérobiose, la matière organique est transformée avec moins d'efficacité qu'en aérobiose. L'énergie produite durant la fermentation anaérobie est pauvre et ne permet qu'une faible production de cellules par unité de carbone. Après hydrolyse des polymères, les monomères ou oligomères qui en résultent ne seront que partiellement oxydés. Les produits de ces fermentations sont des acides gras à courte chaîne, des alcools, de l'acétone, de l'hydrogène et du gaz carbonique. Le gaz carbonique et l'acide acétique servent alors de substrats pour les bactéries méthanogènes. Le produit principal de cette transformation est le méthane. Les alcools et les acides organiques sont transformés en acide acétique par les bactéries acétogènes puis métabolisés par la mi-

croflore méthanogène. Certaines substances comme la lignine ou des alcanes à longues chaînes ne sont dégradés que partiellement en anaérobiose.

### **(c) Participation au cycle biogéochimique de l'azote**

Par leurs effets sur la recirculation des nutriments dans la biosphère, les microorganismes jouent un rôle prédominant dans la biogéochimie des éléments (N, P, S). En relation avec la nutrition végétale, les cycles de l'azote et du soufre sont les plus importants. Seul le cycle de l'azote sera présenté ici.

L'azote, élément indispensable pour la croissance des végétaux, est prélevé par la plante essentiellement sous forme d'ammonium ou de nitrate. L'azote organique est minéralisé en ammonium par une microflore ammonifiante très diversifiée. L'ammonium est ensuite oxydé en nitrite puis en nitrate par les nitrificateurs. Cette microflore est particulièrement importante dans les sols car elle est représentées par quelques espèces bactériennes autotrophes aérobies seulement (10). Dans des sols de pH inférieur à 5.0 la nitrification autotrophe est remplacée par la nitrification hétérotrophe (11) d'efficacité moindre. Elle provient de l'activité de bactéries, d'actinomycètes et de champignons hétérotrophes.

L'azote minéral produit est disponible pour la plante lorsque la minéralisation est supérieure à l'immobilisation microbienne. Cet équilibre est régi en partie par le rapport C/N de la matière organique apportée dans les sols. On observe une minéralisation nette pour un C/N inférieur à 20. Pour un rapport supérieur, l'azote minéral sera prélevé par la microflore au détriment de la plante.

Dans des conditions anaérobies et lorsqu'il y a suffisamment de carbone assimilable présent les nitrates sont réduits en NO, N<sub>2</sub>O et en N<sub>2</sub> par les dénitrificateurs (12). La dénitrification est un phénomène global positif puisque c'est la seule réaction qui régénère l'azote de l'air. A l'échelle locale elle peut agir négativement puisque l'azote apporté dans le sols sous forme de fumure peut s'échapper dans l'atmosphère au détriment de la plante. De plus, certains produits de la dénitrification comme NO et N<sub>2</sub>O peuvent devenir des polluants atmosphériques qui en se fixant à l'ozone le détruisent (13). Certains microorganismes fixent l'azote de l'air soit en vivant librement soit en vivant en symbiose avec les plantes. Ce processus est important puisque l'azote ainsi fixé peut atteindre des teneurs aussi élevées que 600 kg. ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (14). L'efficacité de cette fixation dépend de la plante et de la bactérie qui l'infecte.

### **3. Contribution des microorganismes pour l'élaboration de critères de fertilité pour les sols**

Trois critères microbiologiques sont retenus en fonction de leur caractère essentiel pour la fertilité des sols:

1. présence d'une microflore diversifiée
2. vitalité de la microflore (activité par unité de biomasse)
3. fonctions de la microflore

Pour mesurer ces critères, un choix restreint de tests de laboratoire et au champ est donné au tableau 1. Cette liste englobe surtout des tests fréquemment utilisés dans la recherche.

Concernant le critère 1, il est important de trouver un test qualitatif représentatif de la diversité de la microflore. Une telle étude est en cours dans notre laboratoire. Le comptage des germes totaux est fréquemment utilisé comme indicateur de la micro-

flore tellurique dans des études d'impact bien qu'il ne soit pas un bon indice. Il ne permet de saisir que 1 à 10 % de la microflore totale (2) et de plus il est peu sensible à l'apport d'une charge dans les sols (15).

Pour l'estimation de l'activité biologique, une méthode simple telle la production de CO<sub>2</sub> proche des conditions naturelles pourrait être réalisée. La biomasse citée pour le critère 2 peut être estimée selon les méthodes suivantes: le comptage direct (16), la teneur en ATP (17, 18), la biomasse-C mesurée après le traitement au chloroforme (19), la biomasse-CO<sub>2</sub> déterminée à la suite d'une adjonction de glucose (20). Chaque test présente un certain nombre de limites (21). Le comptage direct inclut une partie de la biomasse morte. La teneur en ATP varie dans certaines conditions avec l'activité de la microflore et avec la teneur en phosphore du milieu lorsque ce dernier est limitant. La biomasse-C est calculée avec un facteur  $k_c$  qui n'est pas valide pour les sols acides. La biomasse-CO<sub>2</sub> maximale doit être adaptée pour chaque sol. Des recherches restent à faire pour connaître les conditions expérimentales optimales dans lesquelles ces méthodes peuvent être utilisées.

Le critère 3 se réfère aux trois activités microbiennes citées précédemment:

- la fonction «contribution à la formation de la structure des sols» peut être mise en évidence avec le test des lames minces combiné avec des méthodes de coloration (22, 23). Cette méthode peut fournir des informations intéressantes sur la présence et la localisation des hyphes fongiques et des bactéries à polysaccharides dans le profil du sol. Sa réalisation nécessite un appareillage sophistiqué. Le test au périodate (24) est basé sur une destruction partielle et non spécifique des polysaccharides se trouvant dans les sols. Ce test à réalisation simple nécessite un plus ample développement dans le but de mettre en évidence le rôle de la fraction des polysaccharides détruits dans l'agrégation ou de le rendre plus spécifique pour les polysaccharides d'origine microbienne.
- la fonction «minéralisation de la matière organique» peut être exprimée par 2 types de test qui sont les activités d'enzymes extracellulaires (25) (exoenzymes) responsables de l'hydrolyse spécifique des polymères carbonés de haut poids moléculaire ou l'analyse du CO<sub>2</sub> (26) produit principal du catabolisme aérobie de la matière organique. Ce dernier bien que souvent utilisé n'est pas très approprié. C'est un indice global et lors d'un apport de substances nocives dans un sol, il peut être influencé par un flush dû à la dégradation de la biomasse morte. En revanche, le test au champ de la dégradation de la cellulose (27) basé sur la disparition d'un substrat cellulolytique semble être prometteur. Il donne une idée du pouvoir décomposeur spécifique du sol pour une substance très répandue dans le matériel végétal.
- pour l'estimation de la fonction «participation au cycle biogéochimique de l'azote» des tests d'activité d'enzymes extracellulaires et de nitrification sont proposés. La nitrification peut être exprimée soit par le test au laboratoire de la nitrification potentielle (28), soit par le test au champ de la dilution du pool azoté après adjonction de <sup>15</sup>NO<sub>3</sub> (29). Le premier donne une estimation des populations des nitrificateurs alors que le second permet de déterminer la nitrification nette qui a lieu dans un sol. Les tests d'activité d'enzymes extracellulaires ne sont pas proposés car ils ne peuvent pas être réalisés in situ et leur méthodologie impliquant une dilution de l'échantillon ne permet pas, dans la plupart des cas, de mesurer l'activité enzymatique dans la phase solide du sol.

En conclusion, pour estimer la fertilité des sols au moyen de critères microbiologiques, un choix de 4 tests est suggéré (cf. tableau 1):

1. test de biodiversité pour le critère 1
2. 1 test combiné pour le critère 2 (rapport de 2 méthodes, l'une déterminant l'activité, l'autre exprimant la biomasse)
3. test au champ de la dégradation de la cellulose pour le critère 3
4. test au champ de la dilution du pool azoté  
ou le test au laboratoire de la nitrification potentielle pour le critère 3.

Dans le but de pouvoir les utiliser et de les interpréter, des recherches restent à faire. Dans une première étape, leur validité pour exprimer l'état de santé des sols doit être démontrée. Puis, dans une deuxième étape, les conditions de leur réalisation doivent être définies.

Tableau 1: Choix de tests pour exprimer la fertilité des sols du point de vue microbiologique.

Critères microbiol.	Tests souvent utilisés		Tests choisis	
	lab.	champ	lab.	champ
<i>présence</i>	. comptage total . biodiversité	observation directe	<sup>m</sup> biodiversité	
<i>vitalité</i>				
- activité	CO <sub>2</sub>		<sup>r</sup> CO <sub>2</sub>	
- biomasse	. comptage direct . ATP . biomasse-C . biomasse-CO <sub>2</sub>	. observation directe	. <sup>r</sup> 1 des 4 tests	
<i>fonctions</i>				
- structure	. périodate  . lame mince		. <sup>m</sup> r analogue au périodate	
- dégradation matière organique	. exoenzymes . CO <sub>2</sub>	. dégradation cellulose		. dégrad. cellulose
- disponib. nutriments pour la plante	. exoenzymes . nitrification potentielle	. <sup>15</sup> N pool dilution	. <sup>r</sup> nitrification potentielle	<sup>15</sup> N pool dilution

<sup>m</sup> mise au point d'une méthode adaptée

<sup>r</sup> recherche en vue d'interpréter les résultats (caractérisation du type de sol, exploitation du sol, variation saisonnière).

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Bedeutung und der Beitrag der Mikroorganismen für die Bodenfruchtbarkeit liegen in ihrer grossen Vielfalt, ihrer Vitalität und ihren Funktionen. Die mikrobiologische Aktivität ist entscheidend für die Strukturbildung der Böden, den Abbau der organischen Substanz und den biogeochemischen Kreislauf des Stickstoffs. In der vorliegenden Arbeit wird eine Auswahl repräsentativer Methoden zur Abschätzung der Bodenfruchtbarkeit aus der Sicht der Mikrobiologie vorgeschlagen. Ein Forschungsbedarf besteht vor allem in der Festlegung der Bedingungen, unter denen diese Untersuchungen durchzuführen sind.

## SUMMARY

The importance and contribution of microorganisms for soil fertility is due do their diversified presence, their vitality and their functions. Microbiological activities, i. e. formation of soil structure, degradation of organic matter, and participation in the biogeochemical cycle of nitrogen, are fundamental. In this work, a selection of representative methods are proposed, which can be used for the estimation of soil fertility from a microbiological point of view. More research will be necessary to define the proper conditions under which these tests should be carried out.

## REFERENCES

- 1 HATTORI, T. (1973). *Microbial life. An introduction.* Marcel Dekker, New York.
- 2 ALEXANDER, M. (1977). *Introduction to soil microbiology.* 2nd edn. New York. John Wiley.
- 3 ALEXANDER, M. (1971). *Microbial ecology.* New York. John Wiley.
- 4 OADES, J.M. (1984): Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76, 319–337.
- 5 BURNS, G. R. and DAVIS, J. A. (1986): The microbiology of soil structure. *Biological Agriculture and Horticulture*, 3, 95–113.
- 6 ASPIRAS, R. B., ALLAN, O. N., CHESTERS, G. (1971): Chemical and physical stability of microbially stabilized aggregates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35, 283–286.
- 7 LADD, J. N. (1984). Soil enzymes. in *Soil organic matter and biological activity. Developments in plant and soil sciences.* Vol. 16. D. VAUGHAN and R. E. MALCOLM (eds.). Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers. Chap. 5, 175–221.
- 8 WAGNER, G. H. (1975). Microbial growth and carbon turnover. in *Soil Biochemistry.* Vol. 3. E. A. PAUL and A. D. MCLAREN (eds). Marcel Dekker, New York. Chap. 6, 269–305.
- 9 PAUL, E. A. and CLARK F. E. (1989). *Soil microbiology and biochemistry.* Academic Press. Chap. 6, 96–99.
- 10 BELSER, W. L. (1979): Population ecology of nitrifying bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.*, 33, 309–333.
- 11 SCHIMMEL, J. P., FIRESTONE, M. K. and KILLHAM, K. S. (1984): Identification of heterotrophic nitrification in a sierran forest soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 48 (4), 802–806.
- 12 FIRESTONE, M. K., (1982). Biological denitrification. In *Nitrogen in agricultural soils.* *Agronomy* 22, 289–326.
- 13 CRUTZEN, P. J. and EHHALT, D. H. (1977): Effects of nitrogen fertilizers and combustion on the stratospheric ozone layer. *Ambio*, 6 (2-3), 112–117.
- 14 NUTMAN, P. S. (1976). IBP field experiments on nitrogen fixation by nodulated legumes. In *Symbiotic nitrogen fixation in plants.* (ed. P. S. Nutman). Cambridge University Press, Cambridge. 211.
- 15 RUDAZ, A. (1988): Influence du cadmium et du cuivre sur la croissance de *Bacillus licheniformis*, la synthèse et l'activité de l' $\alpha$ -amylase dans un milieu synthétique liquide et dans un sol. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel.
- 16 JENKINSON, D. S., POWLSTON, D. S. and WEDDERBURN, R. W. M. (1976): The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. 3. The relationship between soil biovolume, by optical microscopy, and the flush of decomposition caused by fumigation. *Soil Biol. Biochem.* 8, 189–202.
- 17 JENKINSON, D. S. and OADES, J. M. (1979): A method for measuring adenosine triphosphate in soil. *Soil Biol. Biochem.* 11, 193–199.
- 18 MAIRE, N. (1984): Extraction de l'adénosine triphosphate dans les sols: une nouvelle méthode de calcul des pertes en ATP. *Soil Biol. Biochem.* 16 (4), 361–366.
- 19 JENKINSON, D. S. and POWLSON, D. S. (1976): The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. 5. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8, 209–213.
- 20 ANDERSON, J. P. E. and DOMSCH, K. H. (1978b): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 215–221.

- 21 JENKINSON, D. S. and LADD, J. N. (1981): Microbial biomass in Soil: measurement and turnover. In *Soil Biochemistry* Vol. 5. (E. A. PAUL and J. N. LADD, Eds.). MARCEL DEKKER, New York. 415–471.
- 22 ALTEMÜLLER, H. J. (1974): Mikroskopie der Böden mit Hilfe von Dünnschliffen. In *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*. FREUND, H. Band 4, Teil 2. Frankfurt am Main. 309–522.
- 23 ALTEMÜLLER, H. J. (1989): Zur fluoreszenzmikroskopischen Darstellung biologischer Objekte in Boden-Dünnschliffen. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 59 (1), 517–522.
- 24 CHESHIRE, M. V., SPARLING, G. P. and MUNDIE, C. M. (1983): Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *J. of Soil Sci.* 34, 105–112.
- 25 BURNS, R. G. (1978). *Soil Enzymes*. Academic Press Inc. (London).
- 26 JÄGGI, W. (1976): Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bildung als Mass der bodenbiologischen Aktivität. *Schweiz. Landw. Forschung*, 15 (3/4), 371–380.
- 27 JÄGGI, W. (1989): Bestimmung des Zelluloseabbaus im Boden im Freilandversuch. FAP (interne Methode, Reckenholz).
- 28 BELSER, L. W. and MAYS, W. L. (1980): Specific inhibition of nitrate oxidation by chlorate and its use in assessing nitrification in soils and sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 39, 505–510.
- 29 DAVIDSON, E. A., STARK, J. M. and FIRESTONE, M. K. Microbial production and consumption of nitrate in an annual grassland. *Ecology*. in press.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## Signification des macroarthropodes dans les sols

Willy Matthey  
Laboratoire d'Ecologie animale et d'Entomologie  
Université de Neuchâtel

### RÉSUMÉ

Le travail présenté poursuit les buts suivants:

- Comparer entre eux quatre milieux prairiaux de l'Ouest de la Suisse afin d'établir une base de référence pour la faune du sol (Microarthropodes, Macroarthropodes, Vers de terre).
- En conditions similaires, comparer les communautés prairiales à celles de champs de céréales.
- Répertoire les Invertébrés bioindicateurs de la qualité des sols.  
Nous présentons ici les problèmes par rapport aux Macroarthropodes.

### Introduction

Parmi les nombreux projets soutenus par le Programme national 22, il en est un qui porte le titre «Die Bodenfauna als Bioindikator für die Bodenqualität». Il rassemble les trois groupes de recherche suivants:

- groupe M. BIERI. (EPFZ); G. CUENDET. (EPEL). Thème de la recherche: les Vers de terre.
- groupe W. MATTHEY; F. TURRIAN; F. WITTEW (Université de Neuchâtel). Thème de la recherche: les Macroarthropodes du sol.
- groupe J. ZETTEL; C. TROXLER (Université de Berne). Thème de la recherche: les Microarthropodes du sol.

Les buts sont les suivants:

- a) Comparer entre eux un certain nombre de milieux prairiaux fauchés et/ou pâturés situés selon un transect sud-nord (tableau 2) afin d'établir une base de références en ce qui concerne la faune du sol.
- b) Comparer les communautés d'Invertébrés prairiaux à celles de champs de céréales ayant les mêmes caractéristiques pédologiques et climatiques pour évaluer l'influence des cultures sur les communautés animales.
- c) Répertoire les Invertébrés bioindicateurs de la qualité des sols.

Une collaboration aussi poussée que possible a été établie entre les trois groupes sur les mêmes stations de manière à ce que les résultats se complètent.

Nous ne parlerons ici que des Macroarthropodes du sol, en tentant de répondre à quatre questions:

1. Qu'appelle-t-on Macroarthropodes du sol?
2. Quelles méthodes utilise-t-on pour les étudier?
3. Quels rôles jouent-ils dans les sols?
4. Les Macroarthropodes dans le Programme national 22.

### 1. Qu'appelle-t-on Macroarthropodes du sol?

Dans nos régions, les Macroarthropodes comprennent les principaux groupes zoologiques suivants:

- les *Insectes*, représentés par une quinzaine d'ordres, mais surtout par les Coléoptères et les Diptères.
- les *Arachnides* (Araignées, Pseudoscorpions, Opilions).
- les Myriapodes ou mille-pattes.
- les *Isopodes* ou cloportes.

La récente charte des Invertébrés (PAVAN, 1989) publiée par le Conseil de l'Europe admet l'existence (compte tenu de l'abondance des espèces tropicales) d'une trentaine de millions d'espèces d'Invertébrés dans la biosphère. Ce nombre énorme comprend environ 90 % d'Arthropodes, et il est probable qu'environ un tiers de ceux-ci aient des liens plus ou moins étroits avec le sol. Si, dans nos contrées tempérées, les chiffres sont plus modestes, ils sont loin d'être négligeables, comme le montrent les exemples suivants:

- a) Un champ de maïs étudié par DUCOMMUN (1989) dans la région du Landeron abrite près de 600 espèces de Macroarthropodes du sol et de ses annexes.
- b) Dans une prairie fauchée-pâturée de l'Emmenthal, 29 familles de Diptères à larves édaphiques, représentant environ 150 espèces, ont été capturées par des pièges d'émergence.
- c) Dans une seule bouse de vache en provenance d'un pâturage jurassien, près de 5300 individus appartenant à 40 familles de Macroarthropodes ont été obtenus dans un extracteur de type Berlese-Tullgren.

## 2. Quelles méthodes utilise-t-on pour les étudier?

Le sol est une boîte noire, c'est-à-dire que l'on ne peut observer directement ce qui s'y passe. Aussi l'étude de la pédofaune est souvent indirecte en ce sens qu'elle nécessite l'emploi de pièges et d'extracteurs bien adaptés.

- Les *pièges barbers* sont des pièges d'activité qui capturent la faune mobile à la surface du sol (par exemple Carabes, Staphylins, Chilopodes). Le barber classique est un gobelet de yoghourt enfoncé dans le sol, protégé par un petit toit et contenant un liquide conservateur. Cette méthode permet de calculer l'abondance relative des espèces capturées.
- Les *pièges d'émergence* sont plus particulièrement utilisés pour étudier les Diptères dont les larves vivent dans le sol. Plus que les barbers, ils permettent d'estimer la densité des organismes.
- Enfin, *l'extracteur de type Berlese-Tullgren* a été souvent décrit. Dès lors, nous précisons simplement que nos échantillons mesurent 20x 20x5 cm. Cette méthode permet également d'estimer la densité des Macroarthropodes dans le sol.

Pratiquement, chaque chercheur adapte ces méthodes à ses besoins, si bien que les publications qui les concernent sont très nombreuses et pas toujours d'une portée générale. On trouvera dans l'ouvrage de PHILLIPSON (1971) une bonne discussion des méthodes mentionnées plus haut.

## 3. Quels rôles jouent les Macroarthropodes dans les sols?

Par leur grand nombre et leur diversité, ils sont importants en tant que décomposeurs de la matière végétale morte (racines comprises), des cadavres d'animaux vertébrés et invertébrés, et par leur action sur les bouses et excréments divers.

Chaque espèce, parmi les 200 à 600 que l'on trouve dans les sols des agrosystèmes, joue un rôle particulier. Celui-ci dépend de la taille des organismes, de leur capacité à se déplacer, de leur phénologie, de leur régime alimentaire, de leur localisation, etc. Ces paramètres constituent ensemble la niche écologique des différentes espèces, chacune d'entre elles ayant en principe une niche qui diffère de celle des autres espèces par au moins un paramètre important.

La notion de niche écologique permet de comprendre la coexistence de nombreuses espèces dans le même milieu. Nous l'illustrerons par le tableau 1, qui prend en compte les sept espèces de Carabes les plus fréquentes dans nos stations parmi une cinquantaine d'autres espèces.

Ces Carabes réagissent bien à la nature du sol, à son humidité. Ils jouent un rôle important, mais à chaque fois différent, dans l'équilibre des peuplements d'Invertébrés, par exemple *Bembidion lampros* en se nourrissant d'œufs de Diptères, *Poecilus cupreus* étant plus abondant sur les parcelles fumées, etc. Les travaux de DUCOMMUN (1989) sur l'effet des boues de stations d'épuration montrent que les Carabes en général sont favorisés par les fumures organiques et les boues qui contiennent en abondance des proies.

Tableau 1.

Espèces	Tailles en mm	Régimes alimentaires	Sols préférés	Période
<i>Bembidion lampros</i>	3-4	Microarthropodes Oeufs d'insectes.		P (d)
<i>Notiophilus palustris</i>	4,5-6,5	idem	Humus	P. A.
<i>Amara aenea</i>	6.5-8.5	Graines	Sableux argileux	P (d)
<i>Agonum muelleri</i>	7-9	idem Larves de Diptères	Argileux denses	P
<i>Poecilus cupreus</i>	9-13	Insectes	Sableux marneux	V-VI. A
<i>Pterostichus melanarius</i>	13-17	Larves	Sableux	VIII-X (n)
<i>Carabus monilis</i>	17-32	Mollusques		A (n)

P = espèce printanière      A = espèce automnale.  
Chiffres romains = mois.      (d) = diurne      (n) = nocturne.

Si l'on considère globalement l'action des Macroarthropodes sur le sol, il faut mentionner les points suivants:

- Fragmentation des restes végétaux (litière, racines mortes): Isopodes, Diplopedes, larves de Diptères.
- Destruction et intégration au sol des cadavres d'animaux et des excréments (donc une puissante action sanitaire à la surface du sol): Coléoptères nécrophages, Scarabées, larves de Diptères.
- Humification de la litière.

- Mélange des horizons, microlabour et drainage superficiel: Diplopodes, grosses larves de Diptères.
- Contribution au maintien de l'équilibre biologique des sols: Coléoptères carnivores (Carabes part., Staphylins part., larves carnassières de Diptères).
- Interaction faune-microflore: observée chez des larves de Diptères, de Coléoptères, etc.

Il faut préciser qu'on ne peut réellement séparer l'activité des Macroarthropodes du sol de celle des Microarthropodes, ni de celle des bactéries et des champignons. Les Macroarthropodes tiennent un certain nombre de registres dans l'orchestre, mais pas tous. De plus, leur activité varie au cours de l'année, car tantôt larves, tantôt adultes, ils ont des modes de vie parfois très dissemblables: les Diptères en constituent un bon exemple. De plus, les larves de différents stades n'ont pas le même impacts à cause des grandes différences de taille. Par exemple, une larve carnassière de taon (espèce *Hybomitra bimaculata*) passe en dix stades de 2 à 20 mm. de longueur, ce qui suppose la capture de proies de plus en plus grosses.

Les Microarthropodes ont, en revanche, une présence et une action plus constantes dans le sol, de même que les vers de terre.

#### 4. Recherches sur les Macroarthropodes dans le Programme National 22.

A) Comme nous l'avons précisé au début, nous avons voulu établir des références concernant la faune épi- et hypogée, donc étudier le «compartiment décomposition» de l'écosystème prairial dans les stations suivantes:

Tableau 2.

Communes	Lieux	Altitude		
Changins (VD)	Station fédérale de recherche agronomique	445 m	PP	P
Belp (BE)	Belpmoos	510 m	PP	F
Dombresson (NE)	La Chaux	730 m	PP	P
Couvet (NE)	Sur le Crêt	1140 m	PP	P
Couvet (NE)	Sur le Crêt	1140 m	PP	F

PP = prairie permanente

P = prairie pâturée plus de 7 jours par an.

F = prairie fauchée, moins de 7 jours de pâture par an.

TURRIAN (en préparation) a étudié les Macroarthropodes en utilisant des pièges barbers et des pièges d'émergences. Plus de 100 000 individus ont été capturés, et les taxons ci-dessous ont été pris en compte:

Pièges Barbers (détermination jusqu'à l'espèce):

Carabes: 48 espèces

Staphylins: > 90 espèces

Araignées: 40 espèces

Diplopodes: 9 espèces.

Pièges d'émergence (détermination jusqu'à la famille): 22 familles de Diptères.

Toutes les espèces ne se trouvent pas dans chaque station, si bien qu'abondance et diversité varient selon les endroits. Les conditions météorologiques introduisent de plus des variations d'une année à l'autre.

En première analyse, les chiffres nous montrent que:

1) L'altitude, qui intègre pour une part le climat, est le premier facteur de différence entre les communautés de Macroarthropodes. Celle de Couvet est assez différente par la présence de plusieurs espèces de Carabes et de Staphylyns à tendance montagnarde qui ne se retrouvent pas ailleurs. Les stations de Changins sont caractérisées par la présence d'un Iule particulier, *Brachyiulus pusillus*, par ailleurs considéré jusqu'ici comme rare par les spécialistes.

D'autres facteurs interviennent ensuite, dont, importante, l'humidité du sol.

2) Les différences de traitement entraînent des différences au niveau de la diversité. Par exemple, il n'est que logique de constater un enrichissement en espèces coprophages dans les pâturages. Par contre, on constate qu'il y a diminution du nombre d'espèces dans les champs de blé. Cette remarque n'a d'ailleurs pas valeur générale, puisque à Lützelflüh, le champ de blé en culture biologique-dynamique que nous avons étudié présente une diversité au moins aussi grande que celle des milieux prairiaux avec une soixantaine de taxons.

B) Notre second objectif était de déterminer des communautés bioindicatrices de l'état de ces sols. Ce que nous avons dit plus haut montre que cela est possible. Un premier état de la question apparaîtra dans notre rapport final.

D'autres recherches seront encore nécessaires pour préciser quelles sont les espèces bioindicatrices et pourquoi elles le sont. Il sera nécessaire de développer l'aspect systématique, de préciser jusqu'à quel niveau taxonomique (famille, genre ou espèces) les bioindicateurs doivent être identifiés, et quelles est leur biologie et leur écologie ...

Mais, malgré l'énorme tâche qui attend encore les zoologistes de la faune du sol, on doit reconnaître que quelques progrès ont été accomplis de l'époque ou W. KUEHNELT (1970) écrivait à peu près ceci: «La surface du sol est un habitat mal défini, peuplé de groupements mal définis formés d'organismes difficiles à définir».

## REMERCIEMENTS

Nous remercions le Fonds national suisse de la Recherche scientifique pour son soutien financier (projet 4022-01-0931)

## ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegenden Arbeit sind folgende Ziele zugrunde gesetzt:

- Vergleich von vier Grasland-Milieus der Westschweiz und Erstellen einer Referenz-Basis ihrer Bodenfauna (Mikroarthropoden, Macroarthropoden, Regenwürmer).
- Vergleich der Boden-Gemeinschaft von Grasland mit derer von Getreidefeldern unter vergleichbaren Bedingungen.
- Erstellen einer Liste der Wirbellosen mit Bioindikator-Eigenschaften bezüglich der Bodenqualität.

Hier stellen wir den Problemkreis der Makroarthropoden vor.

## BIBLIOGRAPHIE

- DUCOMMUN, A. 1989. Influence des boues d'épuration et du fumier sur les Macroinvertébrés édaphiques de quelques cultures intensives du Grand-Marais (Plateau suisse). Thèse de doctorat. Institut de Zoologie. Université de Neuchâtel.
- KUEHNELT, 1970. Méthodes d'étude de l'écologie du sol. Actes du Colloque de Paris organisé par l'UNESCO et le PBI: pags 45 à 56. UNESCO. Genève.
- PAVAN, M. 1989. Une révolution culturelle européenne: la «Charte sur les Invertébrés» du Conseil de l'Europe. Strasbourg. 51 pages.
- PHILIPPSON, 1971. Methods of Study in Quantitative Soil Ecology. Oxford. 297 pages.
- TURRIAN, F. (en préparation). Communautés de Macroarthropodes des milieux prairiaux de l'Ouest de la Suisse. Thèse de doctorat. Institut de Zoologie. Université de Neuchâtel.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## Zusammenhang zwischen mikrobiologischen und physikalischen Kennwerten des Bodens

W. Jäggi, P. Weisskopf und H. R. Oberholzer  
Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau Zürich-Reckenholz,  
CH-8046 Zürich (Direktor: A. Brönnimann)

### ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Vergleich verschiedener mikrobiologischer Kenngrössen mit dem Gesamtporenvolumen und der Porengrössenverteilung wurde versucht, den Einfluss von Bodenverdichtungen auf die Bodenmikroorganismen und ihre Aktivität zu erfassen. Nebst einigen Standardmethoden, bei denen gesiebte Feinerde unter optimalen Luftaustausch- und Feuchtigkeitsverhältnissen inkubiert wird, untersuchte man auch die Atmung von Bodenproben mit ungestörtem Gefüge bei zwei unterschiedlichen Feuchtigkeitsstufen.

Um in einem möglichst weiten Porositätsbereich desselben Bodens arbeiten zu können, wurden Proben sowohl ausserhalb als auch innerhalb von Fahrspuren entnommen. Dabei variierte das Gesamtporenvolumen zwischen 54 und 65 %, das Grobporenvolumen zwischen 5 und 20 %. Die Atmung der ungestörten Proben zeigte bei pF 2 (feucht) eine positive, bei pF 3 (relativ trocken) eine leicht negative Korrelation zum Gesamt- und Grobporenvolumen. Daraus lässt sich schliessen, dass bei ungestörtem Bodengefüge in feuchtem Zustand die Sauerstoffversorgung und in relativ trockenem Zustand das Wasserangebot der begrenzende Faktor für die Bodenatmung war.

Im Durchschnitt betrug die Atmung der Proben mit ungestörtem Gefüge lediglich 40 – 50 % von jener der standardmässig gesiebten Proben. Durch die mit dem Sieben verbundene Lockerung des Bodens wurde der hemmende Einfluss der Verdichtung auf die mikrobielle Aktivität teilweise aufgehoben. In einigen Fällen führte dies sogar zu einer Stimulierung der Atmung und N-Mineralisierung im Brutversuch. Der Gehalt an mikrobieller Biomasse und an mineralischem Stickstoff war bei der Probeentnahme im verdichteten Boden geringer als im unverdichteten Boden. Vergleiche von mikrobiologischen Kennwerten gestörter und ungestörter Proben mit Gefügekennwerten ermöglichen es, die Auswirkungen von Bodenverdichtung und -lockerung auf das Bodenleben zu beurteilen.

### Einleitung

Anzahl, Populationszusammensetzung und Aktivität der Mikroorganismen eines Bodens sind abhängig von den Standortbedingungen, wie Angebot an organischen und mineralischen Nährstoffen, Bodenreaktion und -temperatur, Luft- und Wasserhaushalt. Damit die Bodenmikroflora atmen kann, muss der Boden in nassem Zustand genügend luftführende Poren aufweisen. Zur Überbrückung von Trockenzeiten sollte er über ein hinreichendes Speichervermögen verfügen, um das für verschiedene physiologische Funktionen unerlässliche Wasser in genügender Menge anbieten zu können. Luft- und Wasserführung sind im Boden miteinander gekoppelt, indem die Poren Leitbahnen und Speicher sowohl für Luft als auch für Wasser sind. Der Zustand des Bodengefüges beeinflusst deshalb gleichzeitig den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens.

Der Einfluss einzelner Standortfaktoren auf das Bodenleben ist komplexer Natur. Verändert sich beispielsweise die Bodenfeuchtigkeit, wirkt sich dies zwangsläufig auch auf die Durchlüftung, die Temperatur, das Redoxpotential, die Verfügbarkeit von Nährstoffen und damit auf die Populationsdynamik und den Stoffwechsel der Mikroorganismen aus. Um sowohl die direkten als auch die indirekten Auswirkungen eines Standortfaktors auf die Bodenmikroorganismen erfassen zu können, bedarf es deshalb einer geeigneten Versuchsanordnung und -auswertung. Bei den üblichen boden-

mikrobiologischen Standardmethoden werden die Bodenproben gesiebt und unter optimalen Temperatur-, Luftaustausch- und Feuchteverhältnissen inkubiert. Die dabei erzielten Ergebnisse stellen deshalb potentielle Aktivitäten der entsprechenden Mikroorganismenpopulationen dar, unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit von Nährstoffen, des pH-Wertes und der Sorptionseigenschaften des Bodens. Um die tatsächliche mikrobielle Aktivität eines Bodens unter Standortbedingungen erfassen zu können, ist es jedoch notwendig, zusätzlich die Einflüsse des Bodengefüges mit zu berücksichtigen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, in einem ersten Schritt die Atmung der Mikroorganismen in Proben mit ungestörtem Bodengefüge bei konstanter Temperatur und kontrollierter Bodenfeuchtigkeit zu bestimmen. Gleichzeitig wurden die Bodenproben auch physikalisch charakterisiert, um Zusammenhänge zwischen dem Zustand des Bodengefüges und der bodenmikrobiologischen Aktivität festzustellen. Ein Vergleich von Bodenproben, die aus der Fahrspur sowie dem unmittelbar angrenzenden, unbelasteten Bereich entnommen worden waren, sollte es ermöglichen, die Folgen von Bodenverdichtungen auf die Tätigkeit der Bodenmikroflora zu studieren. Entsprechende Bodenproben wurden auch gesiebt und nach den üblichen Standardmethoden untersucht, so dass die Aussagekraft der beiden Verfahren miteinander verglichen werden konnte.

## **Material und Methoden**

Die Bodenproben stammten aus einem Feldversuch an der Eidg. Forschungsanstalt in Tänikon; Ziel dieses Versuches war es, Auswirkungen von unterschiedlichen Mechanisierungsstufen auf Pflanzenertrag und Bodenstruktur im Rahmen einer sechsjährigen Fruchtfolge (Winterweizen – Zuckerrüben – Winterweizen – Winterroggen – Winterraps – Silomais) festzustellen.

### **Mechanisierungsverfahren:**

Um die Druckbeanspruchung durch unterschiedliche Mechanisierungsstufen untersuchen zu können, wurden folgende Mechanisierungsverfahren gewählt:

Verfahren 2S = «Mittlere Mechanisierung»: Traktoren von 40 PS (2t Gewicht) und 60 PS (3t Gewicht); 2-Schar-Pflug, 3m-Egge;

Verfahren 3S = «Schwere Mechanisierung»: Traktoren von 60 PS (3t Gewicht) und 90 PS (4,5t Gewicht); 3-Schar-Pflug, 4,2m-Egge.

### **Boden:**

Teilweise entkarbonatete pseudogleyige Braunerde; skelettfrei; 40 % Ton; 36 % Schluff; 2,3 %  $\text{CaCO}_3$ ; 2,3 %  $\text{C}_{\text{org}}$ ; pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 7,0; pH ( $\text{CaCl}_2$ ) 6,1; P-, K- und Mg-Gehalte gemäss Düngungsrichtlinien der Eidg. Forschungsanstalten im genügenden Versorgungsbereich.

### **Entnahme der Bodenproben:**

Die Bodenproben wurden Mitte August des sechsten Fruchtfolgejahres entnommen, pro Mechanisierungsverfahren jeweils innerhalb und ausserhalb jener Fahrspuren, die beim Säen und Düngen entstanden waren.

Die Bodenproben mit ungestörtem Gefüge entnahm man als Zylinderproben von  $100 \text{ cm}^3$  Volumen aus 10 bis 15 cm Bodentiefe, pro Mechanisierungsstufe je 10 Proben in und ausserhalb der Fahrspur.

An denselben Stellen wurde je eine Mischprobe für die mikrobiologischen Standarduntersuchungen gezogen und anschliessend in feldfeuchtem Zustand durch ein Sieb mit der Maschenweite 2 mm gerieben.

#### Mikrobiologische und physikalische Untersuchungsmethoden:

Die Bodenatmung wurde nach dem Prinzip von ISERMAYER (1952) durch Adsorption des freigesetzten  $\text{CO}_2$  in Natronlauge und anschliessender Rücktitration bestimmt, wobei Konservengläser mit einem Volumen von 1 Liter als Reaktionsgefässe dienten (Abb. 1). Die Inkubationstemperatur betrug  $25^\circ \text{C}$ , gemessen wurde in den zwei Zeitintervallen von 0 bis 24 und von 24 bis 96 Stunden nach Inkubationsbeginn.

An den gleichen Zylinderproben, an denen die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung gemessen wurde, bestimmte man auch das Gesamt- und das Grobporenvolumen. Als Grobporen wurden die bei  $-100 \text{ hPa}$  entleerten Hohlräume bezeichnet.

Die gesiebten Standardproben feuchtete man für die Inkubation auf 55 % ihrer maximalen Wasserhaltekapazität an. Neben der Bodenatmung wurden an den Standardproben auch die mikrobielle Biomasse (ANDERSON und DOMSCH, 1978) sowie die N-Mineralisierung im Brutversuch (BECK, 1983) bestimmt.

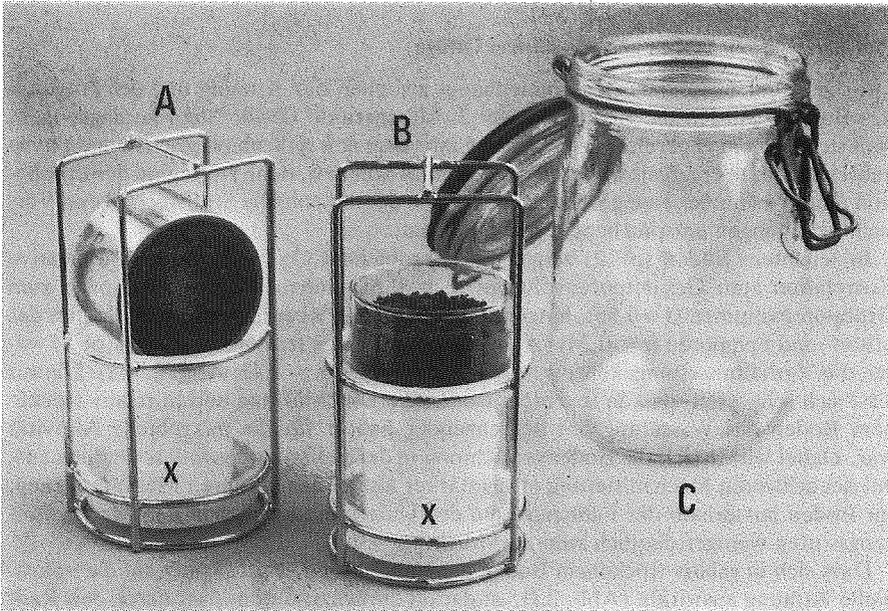


Abb. 1. Versuchsanordnung zur Bestimmung der  $\text{CO}_2$ -Abgabe: A = Bodenprobe mit ungestörtem Gefüge; B = gesiebte Bodenprobe; C = dicht schliessendes Reaktionsgefäss; x = Gefäss mit Natronlauge.

## Ergebnisse und Diskussion

### Porosität des Bodens

Das Gesamt- und das Grobporenvolumen wurden durch den Druck der Räder in der Fahrspur vermindert, während das Volumen der Mittel- und Feinporen leicht anstieg (Tab. 1). Im unbelasteten Boden variierten das Gesamtporenvolumen und die Porengrößenverteilung wesentlich stärker als in der Fahrspur. Bei der schweren Mechanisierung war diese Streuung sowohl in als auch ausserhalb der Fahrspur etwas geringer als bei der mittleren Mechanisierung.

*Tabelle 1.* Einfluss «mittlerer» und «schwerer Mechanisierung» auf das Gesamtporenvolumen und die Porengrößenverteilung

Mechanisierung Probeentnahme	mittlere				schwere			
	in Spur		ausserhalb Spur		in Spur		ausserhalb Spur	
	Volumen- %	Standard- abweichung	Volumen- %	Standard- abweichung	Volumen- %	Standard- abweichung	Volumen- %	Standard- abweichung
Gesamt- porenvolumen	56,2	1,0	61,5	2,0	56,0	0,8	61,1	1,5
Grob- porenvolumen	6,3	0,7	14,4	3,3	6,5	0,4	12,6	3,0
Mittel- und Fein- porenvolumen	49,9	1,7	47,1	3,1	49,5	1,5	48,5	2,3

### Bodenatmung von Proben mit ungestörtem Gefüge

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Atmung und der Porosität des Bodens wurden die Ergebnisse der 2. Messperiode (24–96 Std.) herangezogen, weil sich hier ein engerer Zusammenhang zwischen den mikrobiologischen und physikalischen Daten ergab als während der ersten 24 Stunden, denn zu Beginn der Inkubation dauert es immer eine gewisse Zeit, bis sich der mikrobielle Stoffwechsel den Versuchsbedingungen entsprechend einreguliert hat.

In feuchtem Boden (pF 2) zeigte die mikrobielle CO<sub>2</sub>-Freisetzung eine positive Korrelation zum Gesamtporenvolumen ( $r = 0,61$ ; lineare Regression) sowie zum Grobporenvolumen ( $r = 0,58$ ), hingegen eine negative Korrelation zum Volumen der Mittel- und Feinporen ( $r = -0,34$ ) (Abb. 2. a–c). In relativ trockenem Boden (pF 3) waren die Verhältnisse umgekehrt ( $r = -0,16$ ;  $r = -0,29$ ;  $r = 0,43$ ; Abb. 2. d–f). Daraus lässt sich schliessen, dass in feuchtem Boden die Durchlüftung und in relativ trockenem Boden das Wasserangebot begrenzender Faktor für die mikrobielle Aktivität war. Dabei wirkte sich die Bodenverdichtung in der Fahrspur besonders deutlich aus, bei der schweren Mechanisierung etwas stärker als bei der mittleren Mechanisierung. Im Boden ausserhalb der Fahrspur kam der Unterschied zwischen den Mechanisierungsstufen weniger deutlich zum Ausdruck.

Dass sich in relativ trockenem Boden die Verdichtung leicht positiv auf die mikrobielle Atmung auswirkte (Abb. 2.f), ist darauf zurückzuführen, dass durch den Raddruck ein Teil der luftführenden Grobporen zusammengepresst und zu wasserführenden Mittel- oder Feinporen geworden ist, wodurch das Wasserspeichervermögen vergrössert und damit die Wasserversorgung unter trockenem Verhältnissen verbessert

wurde. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Bodenverdichtungen deswegen generell für die mikrobielle Aktivität als vorteilhaft zu bewerten sind, denn im Jahresverlauf sind feuchte Verhältnisse weit häufiger als Trockenheit, so dass eine allfällige kurze Aktivitätssteigerung, wie sie sich hier ergab, kaum ins Gewicht fällt.

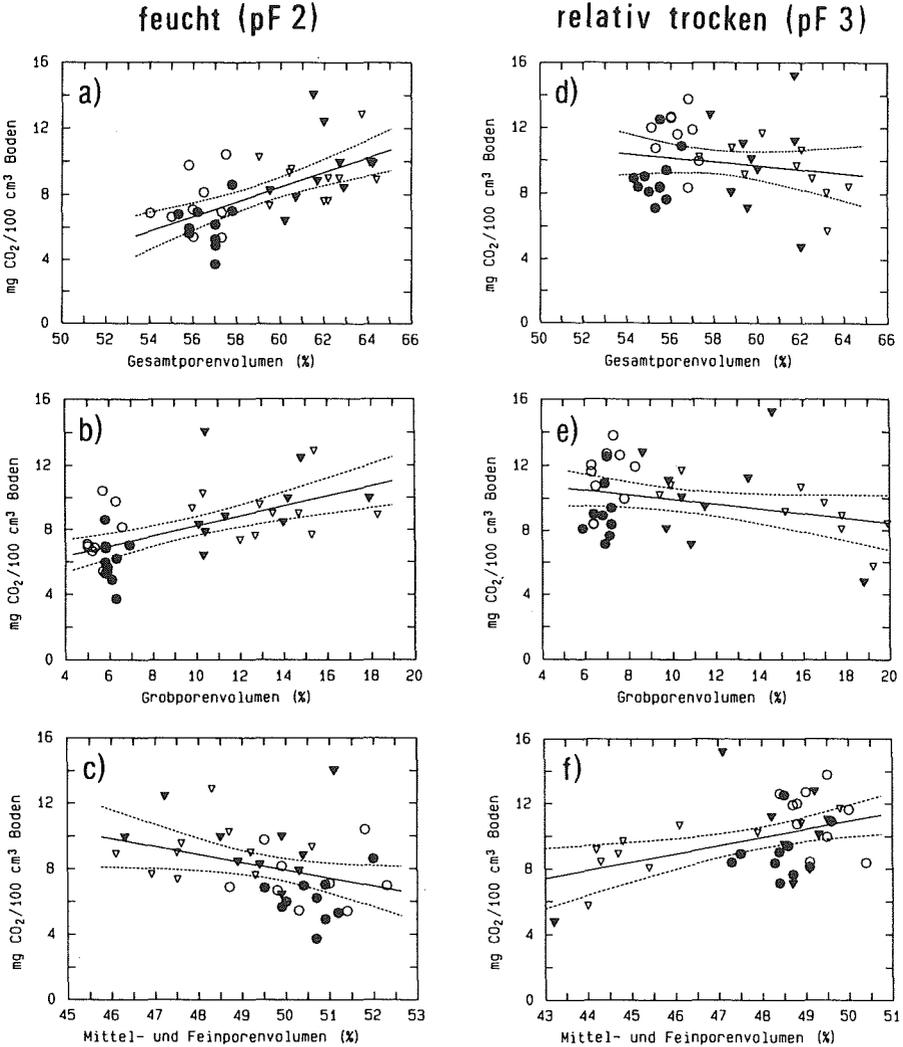


Abb. 2. Zusammenhang zwischen der Atmung von Bodenproben mit ungestörtem Gefüge und dem Gesamtporenvolumen (a und d), dem Grobporvolumen (b und e) sowie dem Mittel- und Feinporvolumen (c und f), in feuchtem Zustand (pF 2) (a–c) und in relativ trockenem Zustand (pF 3) (d–f).

Mittlere Mechanisierungsstufe: ○ innerhalb Spur, ▽ ausserhalb Spur;  
 schwere Mechanisierungsstufe: ● innerhalb Spur, ▼ ausserhalb Spur.  
 Inkubation bei 25° C, 24–96 Std. nach Inkubationsbeginn.

### Atmungsaktivität von Bodenproben mit ungestörtem Gefüge bzw. von gesiebtem Boden

Um die Atmungsaktivität von Bodenproben mit ungestörtem Gefüge mit jener von gesiebten Bodenproben zu vergleichen, wurde die  $\text{CO}_2$ -Abgabe während der gesamten Inkubationsdauer (0–96 Std.) berücksichtigt. Gegenüber den standardmässig aufbereiteten Bodenproben (gesiebte Feinerde, angefeuchtet auf 55 % der maximalen Wasserhaltekapazität; = 100 %) betrug die Atmung der ungestörten Bodenproben in feuchtem Zustand (pF 2) im Durchschnitt lediglich 40 %, in relativ trockenem Zustand (pF 3) 50 % (Abb. 3). Die verhältnismässig hohe Atmungsaktivität der gesiebten Proben ist zu einem grossen Teil auf den ungehinderten Luftaustausch in den Hohlräumen zwischen den Bodenteilchen zurückzuführen. Die Aktivitäten der ungestörten Proben dürften jenen unter Feldbedingungen näher kommen, während die Aktivitäten der gesiebten Proben eher ein Potential darstellen.

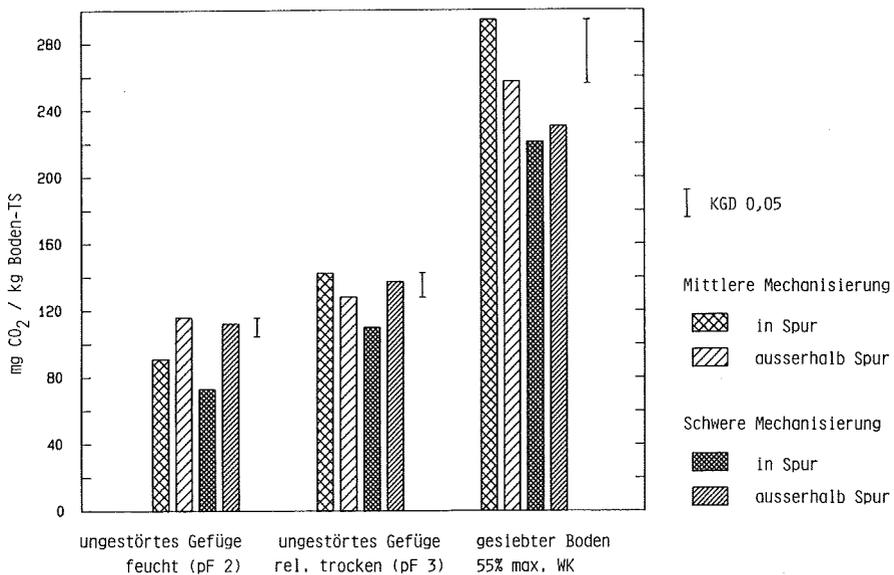


Abb. 3. Vergleich der Bodenatmung von Proben mit ungestörtem Gefüge in feuchtem (pF 2) und relativ trockenem Zustand (pF 3) mit jener von gesiebten Proben bei einem Wassergehalt von 55 % der maximalen Wasserhaltekapazität (WK).

Die beiden Mechanisierungsstufen wirkten sich je nach Feuchtigkeit und Behandlung der Proben unterschiedlich auf die Bodenatmung aus.

– Ungestörtes Gefüge, feucht: Die Proben aus der Fahrspur zeigten eine geringere Atmung als jene aus dem unbefahrenen Boden. Bei der schweren Mechanisierung lagen die Messwerte tiefer als bei der mittleren Mechanisierung.

– Ungestörtes Gefüge, relativ trocken: Bei der mittleren Mechanisierung wiesen die Proben aus der Fahrspur eine höhere Atmungsaktivität auf als jene aus dem unbelasteten Boden, weil durch die Verdichtung das Volumen der Mittel- und Feinporen zunahm und daraus eine verbesserte Wasserversorgung resultierte (vgl. Abb. 2.f). Bei der schweren Mechanisierung machte sich jedoch noch immer der übliche Verdich-

tungseffekt bemerkbar, d.h. ein verminderter Luftaustausch und infolgedessen eine reduzierte Atmung der Proben aus der Fahrspur.

– Gesiebter Boden, optimale Feuchtigkeit: Bei der mittleren Mechanisierung wiesen auch hier die Proben aus der Fahrspur eine höhere Atmungsaktivität auf als jene aus dem unbelasteten Boden. In diesem Fall könnte dies jedoch eine andere Ursache haben. Durch das Lockern und die bessere Durchlüftung wurde die Mineralisierung organischer Substanzen gefördert, deren Abbau zuvor durch die Verdichtung gehemmt worden war. Bei der schweren Mechanisierung konnte sich dies nicht voll auswirken, weil hier möglicherweise nicht nur die Hohlräume zwischen, sondern auch in den Bodenkrümeln selbst stärker verdichtet worden waren als bei der mittleren Mechanisierung.

### **Mikrobielle Biomasse**

Der Gehalt an mikrobieller Biomasse ist das Ergebnis der Vorgeschichte eines Bodens, d.h. je günstiger die Lebens- und Vermehrungsbedingungen für Bakterien und Pilze sind, umso stärker nimmt auch ihre Biomasse zu. Die nachteiligen Auswirkungen von Bodenverdichtungen zeigten sich auch hier, indem der Biomassegehalt in der Fahrspur geringer war als ausserhalb der Fahrspur (Tab. 2).

*Tabelle 2.* Gehalt an mikrobieller Biomasse der Bodenmischproben in  $\mu$  Biomasse-C pro g Boden-TS, KGD 0,05 = 20,8

	innerhalb Fahrspur	ausserhalb Fahrspur
Mittlere Mechanisierung	607,0	653,3
Schwere Mechanisierung	622,0	644,7

### **Gehalt an mineralischem Stickstoff und N-Mineralisierung im Brutversuch bei gesiebten Bodenproben**

Ein Mass für die N-Mobilisierung bei ungestörtem Bodengefüge stellt der Gehalt an mineralischem Stickstoff ( $\text{NH}_4$  und  $\text{NO}_3$ ) bei der Probeentnahme dar. Dieser war in den Fahrspuren geringer als im unbefahrenen Boden (Abb. 4), was auf den Zusammenhang der N-Mineralisierung mit dem Gehalt an mikrobieller Biomasse und der Bodenatmung in feuchtem Zustand bei ungestörtem Bodengefüge hinweist.

Nach dem Sieben und der Inkubation von Bodenproben unter optimalen Feuchtigkeits- und Luftaustauschbedingungen war kein hemmender Einfluss der Verdichtung mehr zu beobachten. Wie die Atmungsaktivität stieg auch die N-Mineralisierung der Proben aus der Fahrspur stärker an als diejenige der Proben des unbefahrenen Bodens. Die Verbesserung der Lebensbedingungen für die Mikroorganismen durch das Sieben des Bodens kommt auch im zeitlichen Verlauf des Mineralisierungsprozesses zum Ausdruck, indem die Geschwindigkeit der N-Mineralisierung in den zuvor verdichteten Proben schneller zunahm als in jenen des unbelasteten Bodens. Was schon aufgrund der Bodenatmung der gelockerten Proben vermutet worden war, schien sich erneut zu bestätigen, dass bei der schweren Mechanisierung auch der Boden ausserhalb der Fahrspur durch die vorangegangene Bewirtschaftung stärker verdichtet worden war als bei der mittleren Mechanisierung.

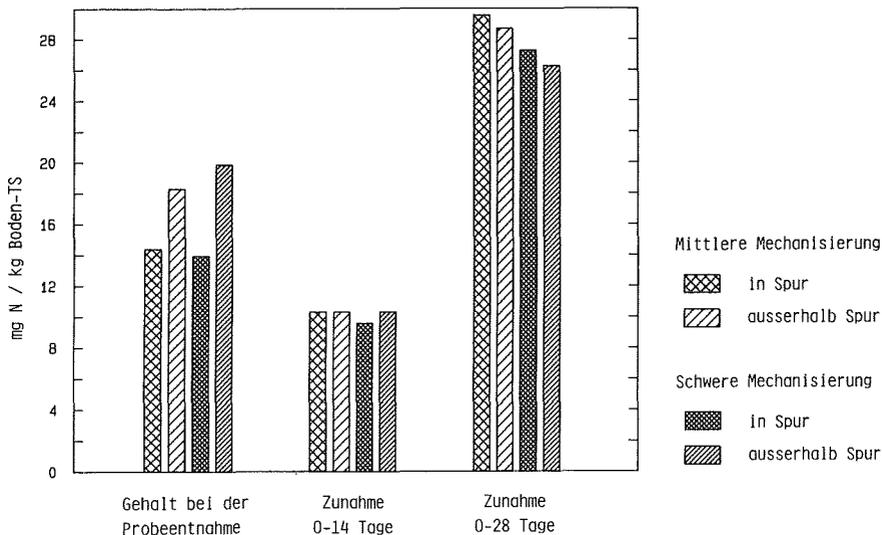


Abb. 4. Gehalt an mineralischen Stickstoff ( $\text{NH}_4$  und  $\text{NO}_3$ ) bei der Entnahme der Bodenproben und N-Mineralisierung im Brutversuch von gesiebten Proben.

### Zusammenhang zwischen Bodenatmung und N-Mineralisierung

Dass ein enger Zusammenhang zwischen Bodenatmung und N-Mineralisierung in Abhängigkeit des Luftaustausches und des Wasserangebotes besteht, zeigten auch LINN und DORAN (1984) anhand eines Versuches mit abgestufter Bodenfeuchtigkeit bei gleicher Porosität aller Proben (Abb. 5). Sie stellten zwei scharf voneinander abgegrenzte Bereiche fest:

- Mit zunehmendem Wassergehalt im Bereich von 0–60 % des Porenvolumens stiegen Bodenatmung und N-Mineralisierung stark an. Das Wasserangebot war hier der begrenzende Faktor.
- Wenn der Wassergehalt im Bereich von 60–100 % erhöht wurde, fielen beide Aktivitäten stark ab. Hier war der Luftaustausch der begrenzende Faktor. Mit abnehmender Durchlüftung trat anstelle der Atmung in zunehmendem Masse Gärung, was sich durch ein steigendes Verhältnis der  $\text{CO}_2$ -Abgabe zur  $\text{O}_2$ -Aufnahme äusserte; gleichzeitig setzte auch Denitrifikation ein.

Durch die Hemmung des Gasaustausches verändert sich der mikrobielle Stoffwechsel, was nicht ohne Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit ist, hier aber nicht weiter behandelt wird. Die Ergebnisse zeigen jedoch den entscheidenden Einfluss des Luft- und Wasserhaushaltes auf die mikrobiellen Vorgänge im Boden sehr deutlich. DORAN *et al.* (1988) zeigten, dass der Übergang von Wasser- zu Durchlüftungslimitierung je nach Beschaffenheit des Bodens bei unterschiedlichen Wassersättigungsgraden liegen kann. In der Humusaufgabe eines Waldbodens trat eine starke Hemmung der Bodenatmung erst ein, nachdem mehr als 80 % des Porenvolumens mit Wasser gefüllt waren (WILHELMI und ROTHE, 1990).

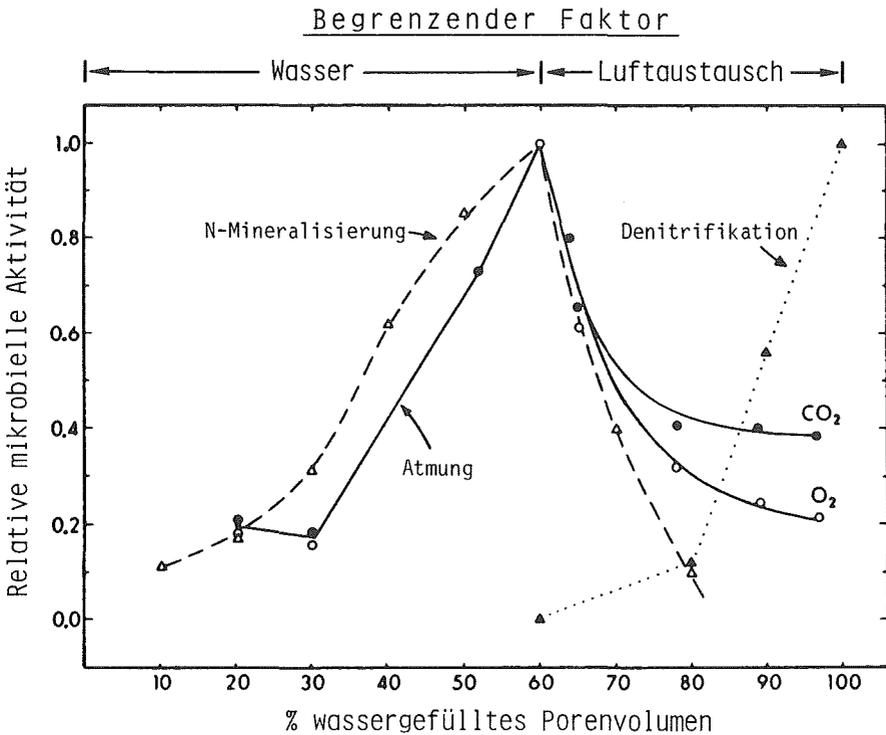


Abb. 5. Atmung und N-Umsatz des Bodens in Abhängigkeit des Porenvolumenanteils, der mit Wasser gefüllt ist (nach LINN und DORAN, 1984).

### Schlussfolgerungen

- Die Atmung von Bodenproben mit ungestörtem Gefüge (Zylinderproben) ist geringer als jene von standardmässig aufgearbeiteten (gesiebten) Bodenproben.
- Bei ungestörtem Bodengefüge ist die Atmungsaktivität in feuchtem Zustand geringer als in relativ trockenem Zustand.
- Unter feuchten Verhältnissen ist der Luftaustausch, unter relativ trockenen Verhältnissen das Wasserangebot begrenzender Faktor für die mikrobielle Aktivität.
- Durch die Bodenverdichtung wird ein Teil der luftführenden Grobporen zu wasserführenden Mittel- und Feinporen umgewandelt. Dadurch erhöht sich das Wasserspeichervermögen. Da unter den gegebenen klimatischen Standortverhältnissen im Feld jedoch mehrheitlich feuchte Bedingungen vorherrschen, kann sich dies meistens nicht vorteilhaft auswirken.
- Durch das Lockern des Bodens (Aufbereitung durch Sieben im Labor) wird der hemmende Einfluss der vorangegangenen Bodenverdichtung auf die Tätigkeit der Mikroorganismen teilweise aufgehoben. Dadurch kann die Mineralisierung zuvor konservierter organischer Substanz gefördert werden.

Zum Verständnis der Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Bodenmikroorganismen ist es notwendig, sowohl mit ungestörten als auch mit standardmässig auf-

bereiteten Bodenproben zu arbeiten und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Infolge Witterungsverlauf, Bewirtschaftung und Pflanzenentwicklung verändern sich die Gefüge- und damit auch die Feuchtigkeits- und Durchlüftungsverhältnisse ständig. Für die Beurteilung eines Bodens sind daher verschiedene Gefüge- und Feuchtigkeitszustände zu berücksichtigen.

## VERDANKUNG

E. Kramer, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon, danken wir, dass er uns dieses Versuchsfeld sowie die anbautechnischen Informationen zur Verfügung gestellt hat. Susanne Müller danken wir für die zuverlässige Ausführung der bodenmikrobiologischen Untersuchungen.

## RÉSUMÉ

### *Relation entre les caractéristiques microbiologiques et physiques du sol*

On a étudié l'influence du tassement du sol sur les microorganismes et leur activité, en recherchant des relations entre quelques paramètres usuels de mesure d'activité biologique et la distribution du volume des pores. L'activité respiratoire a été mesurée en conditions optimales (terre fine tamisée, humectée et aérée) et dans des échantillons non perturbés de sols à différents paliers de tension d'eau.

Des échantillons ont été prélevés dans et à côté des traces de tracteur afin de pouvoir travailler dans des plages de porosité les plus larges possibles. Celles-ci s'étendaient de 54 à 65% pour la porosité totale et de 5 à 20% pour la macroporosité. Dans les échantillons non perturbés soumis à une tension de pF 2 (sol humide), l'activité respiratoire était positivement corrélée à la porosité totale et à la macroporosité. A pF 3 (sol assez sec), cette même corrélation était faiblement négative. On a conclu que, dans un sol non perturbé à l'état humide, l'approvisionnement en oxygène peut limiter l'activité respiratoire. A l'état sec, c'est au contraire la disponibilité de l'eau qui peut jouer le rôle de facteur limitant.

L'activité respiratoire dans les échantillons non perturbés n'a pas dépassé les 40-50% de l'activité de ces mêmes sols, placés en conditions optimales. L'effet négatif du tassement sur l'activité microbienne peut donc être partiellement annulé par le mode opératoire de préparation des échantillons en conditions standardisées. On a même observé plusieurs cas de forte stimulation de la respiration et de la minéralisation de l'azote dans des sols placés en conditions optimales d'incubation. La quantité de biomasse microbienne et la teneur en azote minéral du sol tassé était inférieure à celle du sol de référence. Des analyses microbiologiques et physiques effectuées aussi bien sur les sols non perturbés que sur les mêmes sols remaniés, permettent d'apprécier les conséquences du tassement et du décompactage sur la vie du sol.

## SUMMARY

### *Relation between microbiological and physical characteristics of the soil*

The effect of soil compaction on soil microorganisms was evaluated by comparing different microbiological characteristics with total pore volume and pore size distribution in the soil. Sieved fine soil was incubated at optimum conditions of air exchange and moisture using some standard methods to determine biological activity. Respiration was also examined in soil samples with undisturbed structure at two moisture levels.

Samples were taken from uncompacted soil as well as from the compacted area below the tractor tracks, so as to work in a wide porosity range of the same soil. The total pore volume varied between 54 and 65%, the volume of large pores between 5 and 20%. Respiration of undisturbed samples exhibited a positive correlation with the total and large pore volume at pF 2 (moist) and a

slightly negative correlation at pF 3 (relatively dry). It can be concluded that oxygen supply limited the respiration of moist soil with undisturbed structure and that water supply was the limiting factor for the respiration in relatively dry soil.

The respiration of the samples with undisturbed structure was on an average only 40–50 % of that of the sieved samples (standard). The sieving process loosened the soil and thereby increased the microbial activity. In some cases respiration and nitrogen mineralization was strongly stimulated during incubation. The content of microbial biomass and of mineral nitrogen was smaller in compacted than in uncompacted soil at the sampling time. The effect of soil compaction and loosening on soil life can be estimated by comparing microbiological characteristics and structure of disturbed and undisturbed samples.

## LITERATUR

- ANDERSON J. P. E. and DOMSCH K. H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* **10**, 215–221.
- BECK Th., 1983. Die N-Mineralisierung von Böden im Laborversuch. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **146**, 243–252.
- DORAN D. W., MIELKE L. N. and STAMATIADIS S., 1988. Microbial activity and N cycling as regulated by soil water-filled pore space. *ISTRO Proceedings* **1**, 49–54.
- ISERMEYER H., 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Carbonate im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **56**, 26–38.
- LINN D. M. and DORAN J. W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **48**, 1267–1272.
- WILHELMI V. and ROTHE G. M., 1990. The effect of acid rain, soil temperature and humidity on C-mineralization rates in organic soil layers under spruce. *Plant and Soil* **121**, 197–202.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## Die Erfassung der Einflüsse chemischer Pflanzenbehandlungsmittel auf die Bodenlebewelt – wie müssen die Prioritäten gesetzt werden.

M. Bieri

Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH, Bereich Phytomedizin,  
Clausiusstrasse 21, CH-8092 Zürich

### ZUSAMMENFASSUNG

Richtig gelenkte Agroökosysteme sind so gestaltet, dass sie den Nutzorganismen optimale Bedingungen verschaffen. Dies hat zur Folge, dass viele Störungen, welche durch Schädlinge verursacht werden, meistens nur noch in einem stark reduzierten Mass auftreten. Interventionen mit solchen Pflanzenbehandlungsmitteln, welche die Nutzorganismen beeinträchtigen, machen jedoch sämtliche Bemühungen einer nützlingsschonenden Systemgestaltung zunichte. Schädigungen an Nutzorganismen lassen sich jedoch nicht allein aufgrund der akuten Toxizität einer Substanz abschätzen. Im Falle von Ökosystemen haben wir es mit belebten Systemen zu tun. In diesen können Verhaltens- und Wachstumsstörungen von einzelnen Bodenorganismen bereits grosse Auswirkungen auch auf die mit diesen verbundenen Bodenprozesse haben, die wiederum auf das gesamte System zurückwirken.

Als die bedeutendsten Bodenorganismen von Agroökosystemen können, neben den höheren Pflanzen, der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) und die VA-Mykorrhizen betrachtet werden. Für beide Organismen existieren heute Labortests, welche es ermöglichen Verhaltensstörungen von Pestiziden auf die beiden Organismen zu erfassen. Es handelt sich um den Daniel-Trichter Test (BIERI, et al. 1989) für *L. terrestris* und um den von SCHÜEPP et al. (1987) entwickelten Küvetten-Test, mit dem Wachstumsstörungen bei VA-Mykorrhizen erfasst werden können.

Im weiteren existieren bereits Prüfverfahren für die beiden Nützlinge *Poecilus cupreus* (Carabidae) und *Aleochara bilineata* (Staphylinidae), welche vornehmlich mit dem Boden vergesellschaftet sind (HASSAN et al. 1985).

Für Populationserhebungen von Regenwürmern in Freilandtests wird die Oktett-Methode von THIELEMANN (1986) favorisiert. An der Verbesserung dieser Methoden wird zur Zeit gearbeitet.

### Problemstellung

Aufgrund der enormen Vielfalt an Bodenorganismen und den äusserst komplexen und noch weitgehend unbekanntem Interaktionen, welche zwischen denselben aber auch mit dem Boden bestehen, und anhand der Tatsache, dass allein in der Schweiz für die Landwirtschaft um die 200 Wirksubstanzen zugelassen sind, wird es nie möglich sein eine umfassende Beurteilung sämtlicher Wirkungen der einzelnen Pestizide auf die Bodenlebewelt vorzunehmen. Ein umfassendes Testprogramm stösst sehr bald an Machbarkeits- und an Interpretationsgrenzen. Dennoch dürfen uns diese Schwierigkeiten nicht als Vorwand dienen, auf jegliche Erfassung oder Beurteilung von möglichen negativen Auswirkungen auf die bodenbürtigen Nutzorganismen zu verzichten. Schliesslich betreffen solche Störungen nicht nur den Boden als solchen, sondern ein ganzes Agroökosystem.

Landwirtschaftlich genutzte Böden sind direkt vom Menschen beeinflusst und dienen vornehmlich der Erzeugung von Nahrungsmitteln. Agroökosysteme sind demnach vom Menschen gelenkte und gestaltete Systeme. Im Gegensatz zu natürlichen, vom Menschen unberührten Ökosystemen, wird in Agroökosystemen zwischen nützlichen und schädlichen Organismen unterschieden. Richtig gelenkte Agroökosysteme sind so gestaltet, dass sie den Nutzorganismen optimale Bedingungen verschaffen.

Dies hat zur Folge, dass viele Störungen, welche durch Schädlinge verursacht werden, meistens nur noch in einem stark reduzierten Mass auftreten. Interventionen mit solchen Pflanzenbehandlungsmitteln, welche die Nutzorganismen beeinträchtigen, machen jedoch sämtliche Bemühungen einer nützlingsschonenden Systemgestaltung zunichte. Schädigungen an Nutzorganismen lassen sich jedoch nicht allein aufgrund der akuten Toxizität einer Substanz abschätzen. Im Falle von Ökosystemen haben wir es mit belebten Systemen zu tun. In diesen können Verhaltens- und Wachstumsstörungen von einzelnen Organismen bereits grosse Auswirkungen auch auf die mit diesen verbundenen Bodenprozesse haben, die wiederum auf das gesamte System zurückwirken.

Zur Erfassung der Nebenwirkungen von Pflanzenbehandlungsmitteln auf die Bodenorganismen existieren bereits eine grössere Anzahl von Testverfahren. Insbesondere ist das Angebot an Methoden, welche Globalparameter erfassen, wie beispielsweise Dehydrogenase, Nitrifikation, Bodenatmung, Celluloseabbau, mikrobielle Biomasse ect. sehr umfangreich. Bei diesen Grössen muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass sie nie isoliert beurteilt werden dürfen, sondern stets in Zusammenhang mit dem untersuchten Systemkomplex als ein Einzelfaktor betrachtet werden müssen. Richtig eingesetzt, handelt es sich um durchaus sinnvolle Tests. Ihr Aussagewert für das Gesamtsystem bleibt jedoch beschränkt, da es meistens nicht möglich ist, die für das Testergebnis verantwortlichen Organismen zu eruieren.

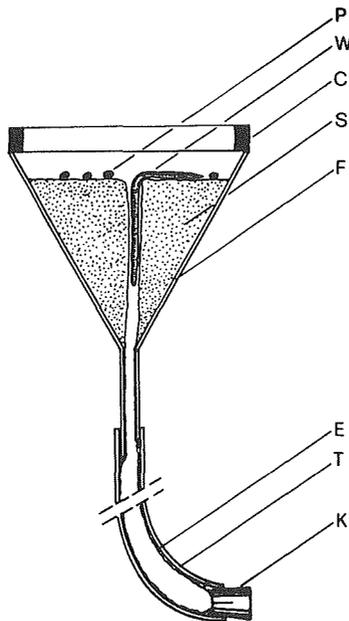
Zu einigermaßen befriedigenden Aussagen gelangt man allerdings nur mit Untersuchungen an einem einzelnen, für die Bodenorganismen repräsentativen, Nutzorganismus über dessen Verhalten und dessen Lebensweise bereits einiges bekannt ist. Es ist auch die einzige Möglichkeit, gezielte und artgerechte Experimente durchzuführen, bei denen die natürliche Verhaltensweise dieser Organismen mitberücksichtigt werden kann.

Als ein guter Repräsentant für die Bodentiere kann der grosse Tauwurm *Lumbricus terrestris* L. betrachtet werden. Es handelt sich um einen typischen Vertreter einer Tiergruppe (die *Lumbricidae*), welcher eine eigentliche Schlüsselrolle in unseren Böden zukommt. Der Biomasseanteil von *L. terrestris* beträgt in ungestörten Nutzflächen meistens um die 50% der gesamten tierischen Biomasse. Er verhält sich auch sehr ähnlich, wie die übrigen vertikal grabenden Arten, so dass *L. terrestris* als typischer Vertreter der vertikal grabenden Würmer angesehen werden kann. Er wird zu den Tieren gerechnet, welche bei uns die wichtigsten Bodenstrukturbildner sind. Die Verhaltens- und Lebensweise von *L. terrestris* ist zu einem grossen Teil bekannt und seine Nützlichkeit für die landwirtschaftlichen Böden ist unbestritten (BIERI und CUENDET, 1989, LEE 1985). Die von diesen Tieren angelegten Wohnröhren beeinflussen entscheidend den Wasser- und Gashaushalt der Böden und bilden für die Pflanzenwurzeln ideale Wachstumskanäle. Durch die Tätigkeit der vertikal grabenden Regenwürmer wird der grösste Teil der Pflanzenstreu in die Wohnröhren und damit in den Boden eingearbeitet, was zu einem wesentlich besseren Recycling der Pflanzennährstoffe führt. Dieses eingearbeitete organische Material und jenes im Regenwurm Kot dient einer Vielzahl von Bodenmikroorganismen als Lebensgrundlage. Diese Mikroben tragen dazu bei, dass der Regenwurm Kot sehr stabile Bodenaggregate abgibt, die reich an organo-mineralischen Verbindungen sind.

Unter den Bodenmikroorganismen nehmen die vesikulär-arbuskulären Mykorrhizen (VA-Mykorrhizen) wie z.B. *Glomus mossea* eine Schlüsselrolle ein. In den landwirtschaftlich genutzten Böden beträgt ihr Biomasseanteil meistens mehr als 50% aller Mikroorganismen und ihre grosse Bedeutung innerhalb der Agroökosysteme

wird ebenfalls nicht bestritten. Die VA-Mykorrhizen haben, insbesondere bei Jungpflanzen, auf die Entwicklung einen entscheidenden Einfluss. Dank ihrer intensiven Verkoppelung mit den Wurzelzellen und ihrem weit verzweigten Mycel im Boden sind sie in der Lage, die Pflanzenwurzel aktiv mit Phosphor und mit vom Pilz gebildeten Wachstumsstimulanzien zu versorgen. Die VA-Mykorrhizen schützen die Pflanzenwurzeln vor zahlreichen bodenbürtigen pathogenen Pilzen. Ihrer Fähigkeit, einen hohen Anteil Stickstoff (z.B. als Chitin) biologisch festzulegen, kommt im Zusammenhang mit Nitratauswaschungen und Denitrifikationsvorgängen eine grosse Bedeutung zu.

Abb. 1. Aufbau eines Einzeltrichters beim Daniel-Trichtertest, Querschnitt durch den Trichter. P: Nahrung oder Pellets, W: juveniler *Lumbricus terrestris*, C: Abdeckung mit perforierter Paraffinfolie, S: gepresster Boden, F: Trichter, E: Regenwurmkot im Silikonschlauch, T: Silikonschlauch, K: Kork- oder Gummistopfen.



### Testmethoden im Labor

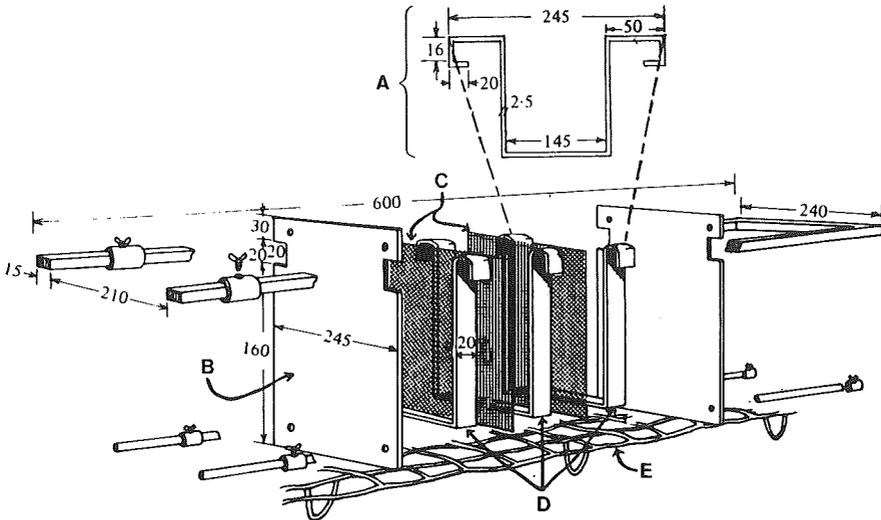
Zum Studium der Nebeneffekte von Pestiziden an *L. terrestris* hat sich der Daniel-Trichter-Test (BIERI, et al. 1989) in ersten Testläufen (mit Schneckenkörner) als ideal erwiesen (Abb. 1). Diese Versuchsanordnung ermöglicht es, die Expositionsart (wie das Tier dem Mittel im Freiland ausgesetzt ist) zu simulieren. Damit können Verhaltens- und Entwicklungsstörungen sowie Wirkstoffkontaminationen der Tiere sehr gut erfasst werden. Er eignet sich hingegen nicht besonders gut zur Beurteilung der akuten Toxizität. Der Test soll nun weiter perfektioniert werden und für die Prüfung von anderen Formulierungen ausgebaut werden. In einem beschränkten Rahmen lassen

sich auch Studien über Tiefenverfrachtungen von Pestiziden in Regenwurmgingen und deren Auswirkungen auf die Tiere vornehmen (BIERI und AMMON, 1990). Gegenwärtig wird an der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig (BRD) ein weiterer Test entwickelt, mit dem der Einfluss auf die Vermehrungsrate von *Eisenia fetida* erfasst wird und der eine sinnvolle Ergänzung zum Daniel-Trichter-Test darstellen wird.

Die von SCHÜEPP et al. (1987, 1990) entwickelte Küvetten-Methode (Abb. 2), liefert ausgezeichnete Informationen über Veränderungen des Hyphenwachstums der VA-Mykorrhizen im Boden. Der Test ist nun soweit ausgebaut, dass sowohl mit Wirkstoffen behandelte Bodenproben oder Substrate als auch aus einem Feldversuch entnommene Monolithe untersucht werden können.

An dieser Stelle soll aber auch darauf hingewiesen werden, dass bereits seit einigen Jahren eine Arbeitsgruppe der IOBC (International organization for biological control of noxious animals and plants) besteht, welche die Wirkung von Pflanzenbehandlungsmitteln auf Nutzorganismen studiert und die Richtlinien für Prüfverfahren festlegt. Unter anderem existieren bereits Prüfverfahren für die beiden Nützlingen *Poecilus cupreus* (Carabidae) und *Aleochara bilineata* (Staphylinidae), welche vornehmlich mit dem Boden vergesellschaftet sind (HASSAN et al. 1985).

Abb. 2. Ansicht des Aufbaus der Küvettenmethode aus SCHÜEPP et al. (1987). A: Schnitt durch Einzelküvette, B: feste Abschluss- oder Trennplatte, C: Polyamidnetze, D: Küvettenkammern, E: Metalltraggitter.



### Testmethoden im Freiland

Eine ausgereifte Labormethode muss eine hohe Sicherheit bieten, dass die als unbedenklich eingestuft Formulierungen mit grosser Wahrscheinlichkeit auch im Freiland keine negativen Auswirkungen auf die getestete Art haben werden. Ein Mittel, welches die Testorganismen im Labor beeinträchtigt, muss zusätzlich weiteren, ausge-

dehnten Freilanduntersuchungen unterzogen werden. Freilandtests mit Regenwürmern lassen sich im Sinne klassischer Feldversuche durchführen. Für diesen Zweck wird momentan, mit der Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), an der Verbesserung der Oktettmethode (THIELEMANN, 1986) zur Erfassung von Freilandpopulationen von Regenwürmern gearbeitet.

### Schlussbemerkungen

Aufgrund der gemachten Erfahrungen soll darauf hingewiesen werden, dass zusätzlich zu den Pflanzenbehandlungsmitteln auch die Wirkungen aller übrigen agronomischen Massnahmen und von Schadstoffen, welche nicht aus der Landwirtschaft stammen, erhoben werden müssen. Letztlich kann eine umfassende Beurteilung der einzelnen Auswirkungen auf die Bodenorganismen nur anhand umfassender Kenntnisse sämtlicher in Frage kommenden Ursachen erfolgen.

Es muss aber auch davor gewarnt werden, dass mit den beiden hier vorgestellten, relativ aussagekräftigen Labortests, gleich sämtliche Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf das Bodenleben erfasst werden können. Mit diesen Tests haben wir bloss die ersten Möglichkeiten geschaffen, massiven Schädigungen an der Bodenflora und -fauna vorzubeugen. Man muss sich jedoch stets darüber im Klaren sein, dass auch dann die Gefahr besteht, dass andere nützliche Bodenorganismen, deren Bedeutung wir im Moment noch nicht kennen, in Mitleidenschaft gezogen werden könnten.

### RÉSUMÉ

#### *Influence des produits phytosanitaires sur la faune du sol – quelle sont les priorités*

Conduits de façon correcte, les agroécosystèmes sont organisés de telle façon qu'ils procurent aux organismes utiles des conditions optimales. Ceci a pour conséquence que beaucoup de perturbations, provoquées par les parasites et ravageurs, n'apparaissent le plus souvent que d'une façon très réduite. Des interventions avec des produits phytosanitaires, qui portent préjudice aux organismes utiles, peuvent cependant anéantir tous les efforts déployés dans un système les protégeant. Les dommages que peuvent subir les organismes utiles, ne peuvent être estimés seulement sur la base de la toxicité aiguë d'une substance. Avec les agroécosystèmes, nous avons à faire avec des systèmes vivants. Dans ceux-ci, des perturbations du comportement et de la croissance de quelques organismes du sol peuvent avoir déjà de grandes répercussions sur les processus du sol, qui leur sont liés et qui vont en retour influencer tout le système.

À côté des plantes supérieures, le ver de terre *Lumbricus terrestris* L. (comme représentant des vers de terre anéciques) et les VA-mycorhizes peuvent être considérés comme les organismes du sol les plus importants dans les agroécosystèmes. Pour ces deux organismes, il existe actuellement des tests de laboratoire, qui permettent d'évaluer des possibles perturbations du comportement qu'ils peuvent subir sous l'action des pesticides. Il s'agit du test «à entonnoir Daniel» (BIERI et al. 1989) pour *L. terrestris* et du test «aux cuvettes» développés par SCHÜEPP et al. (1987) pour les perturbations qui peuvent affecter la croissance des VA-mycorhizes.

Il existe aussi des tests pour les deux auxiliaires que sont *Poecilus cupreus* (Carabidae) et *Aleochara bilineata* (Staphylinidae), dont les activités sont principalement liées au sol (HASSAN, et al. 1985).

Pour l'échantillonnage des peuplements de vers de terre lors des tests sur le terrain, il serait préférable d'utiliser l'«Oktett-Méthode» de THIELEMANN (1986). L'amélioration de cette méthode est en cours.

## ABSTRACT

*Effects of Agrochemicals on soil organisms – where to set priorities.*

Ecologically managed agroecosystems are organized so as to provide optimal conditions for beneficial organisms. This often leads to a considerable reduction in stress caused by pests. Therefore any intervention with agrochemicals harmful to the beneficial organisms invalidates the investments in this type of system management. The harm done cannot be measured based alone on the acute toxicity of a substance. Ecosystems are living systems in which effects on the behaviour or growth of some soil organisms may lead to obvious changes in certain soil processes, finally influencing the system as a whole.

The most important soil organisms in agroecosystems are, other than the higher plants, the earthworm *Lumbricus terrestris* L. and the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. For both of the latter mentioned organisms laboratory tests exist enabling the study of changes in behaviour caused by pesticides. The Daniel-Funnel test was developed to investigate these effects on *L. terrestris* (BIERI et al. 1989), while with the cuvette-test of SCHÜEPP et al. (1987) effects on growth of VAM fungi can be quantified.

Furthermore laboratory tests (HASSAN et al. 1985) have been developed for two species living mainly in the top soil *Poecilus cupreus* (Carabidae) and *Aleochara bilineata* (Staphylinidae).

For field tests the Oktett-method of THIELEMANN (1986) is preferred to estimate the abundance of earthworms. Improvements of this method are currently in progress.

## LITERATUR

- BIERI, und AMMON, H. U.: Labor- und Freilandmethoden zur Prüfung der Regenwurm-Gefährdung durch Pestizide. Landwirtschaft Schweiz 3: 11–15, 1990.
- BIERI, M. und CUENDET, G.: Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Oekosystemen. Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung 28: 81–96, 1989.
- BIERI, M., SCHWEIZER, H. CHRISTENSEN, K. und DANIEL, O.: The effect of metaldehyde and methiocarb slug pellets on *Lumbricus terrestris* L. In: BCPC Monograph No. 41. Slugs and Snails in World Agriculture. p. 237–244, 1989.
- HASSAN, S. A. et al.: Standard methods to test the side-effects of pesticides on natural enemies of insects and mites developed by the IOBC/WPRS Working Group «Pesticides and Beneficial Organisms». Bulletin OEPP/EPPO 15: 214–255, 1985.
- LEE, K. E.: Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press (Harcourt Brace Jovanovich, Publishers), Sidney, Orlando, San Diego, New York, Toronto, Montreal, Tokyo, 411 pp., 1985.
- SCHÜEPP, H. MILLER, D.D. und BODMER, M.: A new technique for monitoring hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus through soil. Trans. Br. mycol. Soc. 89: 429–435, 1987.
- SCHÜEPP, H. und BODMER, M.: Complex response of VA-mycorrhizae to xenobiotic substances. Toxicological and Environmental Chemistry (in press), 1990.
- THIELEMANN, U.: Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode, Pedobiologia 29, 296–302, 1986.

Schweiz. landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

# Auswirkungen der Herbizide auf die Bodenfruchtbarkeit

H. U. Ammon

Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau, CH-8046 Zürich-Reckenholz

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Bodenfruchtbarkeit als Ganzes lässt sich nicht erfassen: Es lassen sich lediglich wichtige Parameter untersuchen, welche für die Bodenfruchtbarkeit eine Voraussetzung bilden, wie Einflüsse auf Boden-, Makro- oder Mikroorganismen, Funktion dieser Organismen usw. Direkte Wirkungen auf einzelne Organismen oder deren Funktion lassen sich mit oekotoxikologischen Tests prüfen. Am Beispiel des Regenwurmes wird gezeigt, dass sich oekotoxikologische Daten nur bedingt auf Feldverhältnisse übertragen lassen.

Insgesamt sind die ursprünglich befürchteten, unerwünschten Nebenwirkungen der Herbizide durch direkte Beeinflussung von Nicht-Zielorganismen jedoch eher überschätzt worden. In ausgedehnten Untersuchungen wurden keine nachhaltigen Schäden festgestellt.

Schwerwiegender scheint sich die an sich beabsichtigte Wirkung auf die Zielorganismen, die Vernichtung der Unkräuter, auf die Bodenfruchtbarkeit auszuwirken. Die durch Herbizide mögliche hohe und langdauernde Unkrautfreiheit wirkt sich auf die Nützlingsfauna, auf den Boden, besonders die Bodenerosion sowie die Stoffbelastung der Grund- und Oberflächengewässer aus.

Neue Konzepte zur Unkrautbekämpfung mit reduzierter Bekämpfungintensität und Möglichkeiten zur gezielten Begrünung im Ackerbau werden diskutiert.

## Einleitung

«Bei Voraufaufanwendung gelangt die gesamte Menge, bei Nachaufaufanwendung zumindest ein erheblicher Teil der ausgebrachten Herbizide auf und schliesslich in den Boden. Vielfältige Wechselbeziehungen zwischen Herbizid und Boden sind die Folge». KOCH und HURLE (1972).

Heute werden in der Schweiz jährlich ca. 800 t Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe verwendet. Die Herbizide stellen im Feldbau die höchsten Tonnagen dar und werden am «regelmässigsten» eingesetzt. Im Durchschnitt wird jeder Acker 1–2 mal pro Jahr mit Herbiziden behandelt. Dazu kommen, je nach Kulturpflanze, zusätzliche Insektizide und/oder Fungizide. Der Wunsch, mehr über die «vielfältigen Wechselbeziehungen» zu wissen, ist verpflichtend. Aufgrund von Literaturangaben und eigenen Untersuchungen werden im folgenden einige ausgewählte Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit diskutiert. Die Bodenfruchtbarkeit als Ganzes ist aber nicht erfassbar. Es geht darum, wesentliche Teilbereiche zu untersuchen, wie etwa Einflüsse auf die Pflanzenentwicklung, bodenbewohnende Makro- oder Mikroorganismen und deren Funktionen im Boden.

## Gesetzliche Grundlagen

Nach dem Wortlaut des Gesetzes soll ein Pflanzenschutzmittel für den vorgesehenen Zweck hinreichend *geeignet* (also möglichst wirksam) sein und keine wesentlichen, unerwünschten *Nebenwirkungen* aufweisen.

Als *Wirkung* eines Präparates wird der Effekt auf den Zielorganismus verstanden, hier also die selektive Abtötung der Unkräuter. Auf die Prüfung der Wirksamkeit und der Selektivität wird hier nicht eingegangen.

Als *Teilwirkung* wird eine Wirkung bezeichnet, die gegen einen Zielorganismus nur unvollständig («teilweise») wirkt oder gegen einen, dem Zielorganismus vergleichbaren Organismus «teilweise» wirkt. Z.B. wirkt 2,4-D gut gegen Disteln, Blacken dagegen werden lediglich geschädigt aber nicht oder nur zum Teil vernichtet.

Wirkungen, die nicht die direkt anvisierten Zielorganismen betreffen, werden als «*Nebenwirkungen*» bezeichnet. Bisher wurden vor allem negative Nebenwirkungen gesucht und gefunden, daher spricht auch das Gesetz von «unerwünschten Nebenwirkungen». Neben anderen werden darunter auch Wirkungen verstanden, welche die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen können.

Die genügende Wirkung und das Fehlen unerwünschter Nebenwirkungen ist vor der Bewilligung durch entsprechende Versuche nachzuweisen.

## **1. Prüfung von Nebenwirkungen**

### **1.1. Ökologische Tests**

Für alle in der Umwelt einzusetzenden Chemikalien sind nach OECD-Richtlinien Testmethoden für einzelne Organismen wie Fische, Vögel, Säuger, Kleinlebewesen und Pflanzen verbindlich vorgeschrieben. Für Pflanzenschutzmittel werden in nationalen Richtlinien zusätzliche Tests gefordert, z.B. Tests auf Nützlinge (nach OILB-Richtlinien) oder Tests für Funktionen von Bodenorganismen, die Fähigkeit zum Zellulose-Abbau oder für Messungen der bodenbiologischen Aktivität usw. (Gerber 1990).

Die Resultate werden meist als LD<sub>50</sub> oder LC<sub>50</sub>-Werte (=Dosis, resp. Konzentration, welche bei einer bestimmten Testdauer und einem definierten Aufnahmeweg für 50% der Versuchsorganismen letal wirkt) angegeben. Bei Funktionstests werden das Ausmass und die Dauer der Funktionsbeeinträchtigung gemessen.

Der interessantere, versuchsmässig aber schwer bestimmbare «No effect level» (NOEL) ist vielfach um einen Faktor 10 tiefer.

Bei diesen Tests, unter Laborbedingungen, wird auf möglichst guten Kontakt der Präparate mit den Testorganismen, d.h. auf eine hohe Exposition, geachtet. Das Resultat entspricht in der Regel der (höchst-)möglichen, potentiellen Wirkung (inherent activity). Grundsätzlich handelt es sich um Tests, welche Wirkungen gegen bestimmte Organismen nachweisen. Ob diese als Ziel- oder Nicht-Ziel-Organismen gelten und inwiefern Auswirkungen, z.B. auf die Bodenfruchtbarkeit zu gewärtigen sind, ist in weiteren Schritten abzuklären.

### **1.2 Beeinflussung von Nicht-Ziel-Organismen und Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit**

Wesentliche direkte Beeinträchtigungen der Bodenlebewesen sollen vor der Bewilligung der Mittel erkannt und unzulängliche Präparate nicht zugelassen werden. In neueren Untersuchungen (SCHUSTER, 1988) einzelner Pflanzenschutzmittel, aber auch von Spritzfolgen und Kombinationen verschiedener Mittel, wurden keine nachhaltigen Einflüsse auf die mikrobiologische Aktivität des Bodens unter Freilandbedingungen festgestellt. Als Zusammenfassung einer grösseren Arbeit über «Verhalten und Nebenwirkungen von Herbiziden (FEHRMANN et al. 1986) kommen die Autoren zum Schluss, dass wesentliche und nachhaltige direkte Wirkungen von Herbiziden auf Bodenorganismen bei den neueren Wirkstoffen nicht nachgewiesen wurden. Andere

Untersuchungen zeigten jedoch, dass auch Herbizide Schädlinge oder Nützlinge direkt fördern oder hemmen können.

Um das Prinzip einer direkten Wirkung mit Folgewirkungen zu demonstrieren, wird auf eine ältere, weitgehend ersetzte Wirkstoffgruppe zurückgegriffen, die DNOC-Verbindungen. Diese können unter bestimmten Voraussetzungen Regenwürmer nachhaltig dezimieren (AMMON, 1984). Einflüsse auf oekologische Komponenten, an welchen Regenwürmer mitbeeiligt sind (BIERI und CUENDET, 1989) werden anhand einiger Beispiele erläutert.

### Regenwurmmortalität/Pflanzenwachstum

*Ertragsbeeinflussung:* Regenwürmer, insbesondere der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*), erleichtern durch ihre tiefen, vertikalen Gänge den Wurzeln das Eindringen in den Boden. Bei einer akuten Vergiftung der Würmer sind die Gänge noch vorhanden, der Nutzen bleibt kurzfristig erhalten. Pro Hektare können bis zu 1,2 Tonnen Regenwürmer gefunden werden. Sie bestehen aus organischem Material mit hohem N-Gehalt. Diese N-Menge liegt nach dem raschen Zersetzen der Würmer weitgehend in pflanzenverfügbarer Form vor und führt damit zu einer Ertragssteigerung. Der Mehrrtrag nach dem Einsatz eines wurmtoxischen Herbizides kann somit fälschlicherweise der Unkrautwirkung gutgeschrieben werden – selbst der monofaktoriell statistisch richtig angelegte und ausgewertete Parzellenversuch schützt, ohne gute Beobachtung, nicht vor Fehlinterpretationen.

*Phytomedizinische Folgen:* Verschiedene pflanzenpathogene Pilze überwintern auf den abgefallenen Blättern und infizieren von dort aus im Frühjahr das neue Laub. Durch das Einziehen der Blätter in die Wurmröhren wird der Zyklus infolge der Tätigkeit der Regenwürmer unterbrochen.

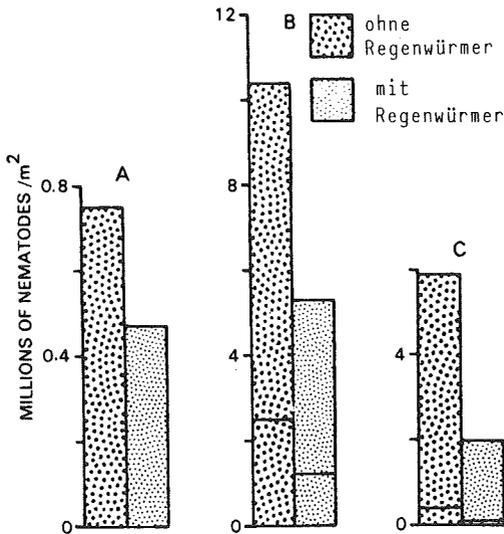


Abb. 1. Die Wirkung von Regenwürmern auf die totale Nematodenpopulation in zwei verschiedenen, beweideten Böden (A,B) und in Raigrasbepflanzten Töpfen (C) (nach YEATES 1981).

Regenwürmer können auch die Nematodenpopulation beeinflussen (Abb. 1).

*Wurmbesatz / Wasserabfluss:* Hoher Oberflächenabfluss bildet eine Hauptvoraussetzung der Bodenerosion (EHLERS, 1975). Der Regenwurm, speziell *Lumbricus terrestris*, der oberflächlich offene, vertikale und tiefe Röhren gräbt, fördert die Versickerung des Wassers in tiefere Bodenschichten (bis zu 1 l/m<sup>2</sup> pro Minute) und verhindert somit teilweise die Erosion.

Dieser Nutzung muss aber wieder relativiert werden. Das rasche Einsickern unter Umgehung der adsorptionsfähigen Ackerkrume, kann die Verlagerung oberflächlich applizierter Pflanzenschutzmittel in tiefere Bodenschichten ermöglichen und damit das Grundwasser gefährden. Quantitative Erhebungen fehlen jedoch.

Die Beispiele zeigen, dass die Beeinträchtigung eines einzelnen Organismus bereits weitreichende und vielschichtige und nicht in jedem Fall voraussehbare Folgen haben kann.

### 1.3 Möglichkeiten und Grenzen der Risiko-Abschätzung

Die oekotoxikologischen Daten basieren auf Laboruntersuchungen. Hier ist die Exposition des Testorganismus mit der Testsubstanz bekannt. Unter Feldbedingungen ist die Exposition, d. h. die aufgenommene Menge oder die Konzentration im Lebensbereich des Organismus, schwer abzuschätzen. Im Gegensatz zu verschiedenen Umweltchemikalien ist im Pflanzenschutz zumindest die Anwendungszeit und die Menge bekannt. Ebenso kennt man das Verhalten der Substanz in der Umwelt, besonders die Lebensdauer (Abbau-Halbwertszeit) und die Verlagerungsmöglichkeiten (Mobilität) im Boden. Ebenfalls weiss man ungefähr, welche Organismen sich wann auf den Pflanzen, wann auf der Bodenoberfläche oder im Boden aufhalten.

Mit den Kenntnissen über

- die Anwendung und das Verhalten der Mittel in der Umwelt
- die Lebensräume der wichtigsten Organismen
- das toxische Potential der Wirkstoffe

lässt sich eine erste Risikobeurteilung vornehmen. DNOC-Verbindungen mit 1 kg A.S. (Aktiv-Substanz) pro Hektar im Frühjahr eingesetzt, können die Regenwürmer bis zu 72 % dezimieren, während eine Anwendung zur Krautvernichtung im Kartoffelbau mit 10 kg A.S./ha keine Wirkung auf Regenwürmer zeigt. Dieses Resultat lässt sich erklären: Im Frühjahr, bei Niederschlägen unmittelbar nach der Behandlung, wird das Präparat durch Regenwasser in die oben offenen Wurmgänge verfrachtet und die Würmer kommen an die Bodenoberfläche. Im Kartoffelbau wird der Wirkstoff im Juli-August eingesetzt. Dann sind die Würmer in 20–30 cm Tiefe in Trockenstarre. Eine Exposition ist momentan und wegen des raschen Abbaus im Boden auch später nicht gegeben.

Die wenigen Beispiele zeigen, dass die Beurteilung der voraussichtlichen Exposition und auch das Bestimmen der betroffenen Organismen im voraus schwer vorzunehmen sind. Im weiteren werden nur direkte Wirkungen gemessen. Folgewirkungen werden in der Regel nicht erfasst und sind auch nur in Einzelfällen bekannt. Damit sind die Ergebnisse, besonders die Einflüsse auf die bodenbiologische Aktivität, schwer interpretierbar.

### 1.4 Massnahmen zur Behebung oder Vermeidung unerwünschter Nebenwirkungen

Wenn bei einem Präparat unerwünschte Nebenwirkungen festgestellt werden, wird nach der heutigen Praxis ein Ersatz durch ein besseres Präparat, einen technisch bes-

seren Einsatz oder ein alternatives Bekämpfungsverfahren gesucht, also eine bessere Symptom-, aber weiterhin keine Ursachenbekämpfung.

Spätestens hier stellt sich die Frage, inwieweit die vom Gesetz definierte Aufteilung in «unerwünschte Nebenwirkungen» und (erwünschte) Wirkung auch bei der Unkrautbekämpfung oekologisch haltbar ist. Auch die erwünschte Wirkung auf Zielorganismen, hier die Wirkung gegen Unkräuter, kann oekologisch unerwünschte Auswirkungen haben.

## **2. Auswirkungen infolge der Vernichtung der Unkräuter**

Bei Pilzkrankheiten ist der Schaderreger relativ klar definiert, bei Insekten bereits weniger sicher, bei Unkräutern ist die Unterscheidung zwischen gut und böse in dieser einfachen Form nicht zutreffend. Unkräuter können je nach Art, Ort, Zeitpunkt und Dichte des Vorkommens auf direkte oder indirekte Weise schädlich oder auch nützlich sein.

Nicht nur Herbizide vernichten Unkräuter. Der Pflug oder die Hacke werden mit dem gleichen Ziel eingesetzt, die mechanischen Verfahren haben das ursprüngliche Ziel, die Vernichtung der Unkräuter, nie so radikal und langdauernd, auch nie so einfach, billig und bequem ermöglicht. Mögliche negative Auswirkungen, ausgehend von der zu intensiven Bekämpfung der Zielorganismen, werden erst mit den Herbiziden sichtbar. Erste Probleme stellte die rasche Verbreitung herbizidresistenter Unkräuter (GRESSEL et al. 1982). Heute stehen Auswirkungen auf Nützlinge sowie Boden- und Umweltbelastungen im Vordergrund.

### **2.1 Wirkung der herbizidbedingten Unkrautfreiheit auf Nützlinge**

Nützlinge sind räuberische und parasitische Organismen, welche sich von Schädlingen ernähren. Viele von ihnen (z.B. Schwebfliegen, Schlupfwespen) ernähren sich als ausgewachsene Insekten von Pollen und Nektar. Sie sind deshalb auf das Vorhandensein von Blütenpflanzen als Nahrungsbasis angewiesen. Im Ackerbau können sie sich u.a. infolge des stark schwankenden Nahrungsangebotes und der regelmässigen Bodenbearbeitung kaum halten. Sie sind deshalb auf Überlebensräume ausserhalb der Äcker angewiesen und müssen in diese zuerst einwandern. Völlig monotone, unkrautfreie und blütenlose Pflanzenbestände, z.B. Getreide oder Zuckerrüben-Reinbestände sind für viele Nützlinge wenig anziehend. Folge: Vermehrung von spezialisierten Schädlingen, die sich in Monokulturen besonders gut entwickeln. Über den Nutzen der Begrünung auf die Nützlingsfauna berichten REMUND, NIGGLI und BOLLER (1989) aus dem Weinbau. Im Feldbau wird durch eine Begrünung ebenfalls eine positive Wirkung erwartet. Anbauverfahren mit Begrünung führten im Feldbau oft zu Ertragsbeeinträchtigungen. Aussaat von Blütenpflanzen wie Phacelia am Feldrand als Randstreifen oder Hecken mit Krautsaum sind Möglichkeiten. Nach SCHMUTTERER und GAUDCHAU (1986), NENTWING (1988), WELLING (1988) bewirkt ein blühender Streifen am Feldrand eine Erhöhung der Nützlinge und eine Reduktion z.B. von Getreideblattläusen (Abb. 2 und 3).

Anstelle von gesäter Phacelia, die nur während einer kurzen Zeit blüht, kann ein Feldrandstreifen (Strassenbankett, Anhaupt), als Magerwiese genutzt, während längerer Zeit blühende und nichtblühende Pflanzen aus einem grossen Artenspektrum anbieten. Die positive Wirkung dieses Verfahrens ist im Rebbau mit den naturbegrünten Terrassen gut belegt (REMUND, NIGGLI und BOLLER, 1989). Im Rebbau sind die blühenden Pflanzen aber nicht nur am Feldrand, sondern im Rebbau selbst.

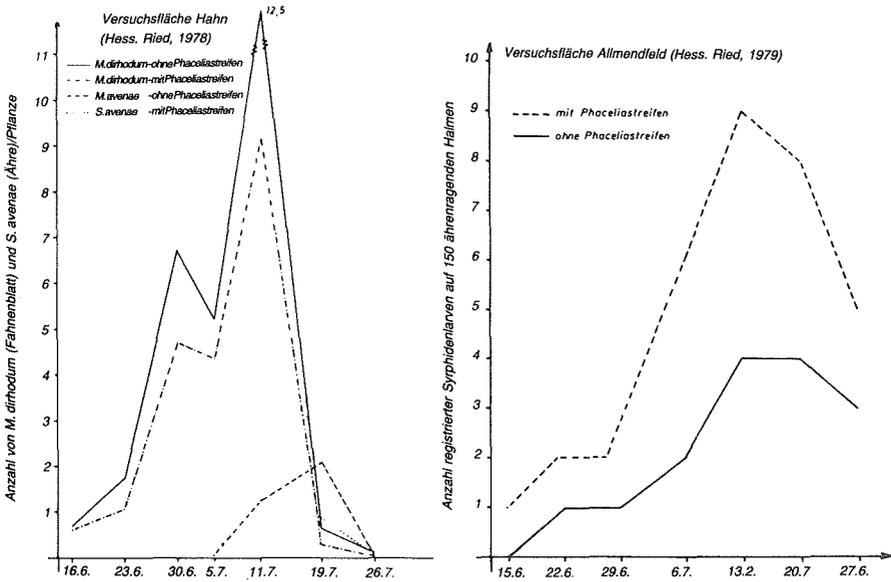


Abb. 2. Durchschnittliche Zahl der an je 150 ährentragenden Halmen in einem Weizenfeld mit oder ohne Phacelia-Streifen ermittelten Syrphidenlarven (Schwebefliegenlarven) (nach SCHMUTTERER und GAUDCHAU 1986).

Abb. 3. Anzahl der durchschnittlich pro Fahnenblatt (*M. dirhodum*) und Ähre *S. avenae* in Teilen eines Winterweizenbestandes mit und ohne *Phacelia*-Streifen an je 150 ährentragenden Halmen ermittelten Getreideblattläuse (nach SCHMUTTERER und GAUDCHAU 1986).

### Begrünung im Acker durch Unkräuter

Die billigste Begrünung des Ackers erfolgt durch Unkräuter. Nach den Grundsätzen der zeitbezogenen Schadschwelle (AMMON und KUNZ, 1982) sind die Kulturpflanzen nur während einer bestimmten kritischen Periode unkrautfrei zu halten. Vor und nach dieser Zeitspanne schaden Unkräuter nicht. In Zuckerrüben liegt diese kritische Periode etwa zwischen der 2.–8. Woche nach Keimung. Mit einer rechtzeitigen Nachauflauf-Bandspritzung kann das Unkraut zwischen den Reihen noch etwas länger belassen werden. Nach HÄNI et al. (1990), wurden mit diesem Verfahren, im Vergleich zu möglichst voller Unkrautfreiheit ab der Saat, u.a. positive Auswirkungen auf den Blattlausbefall und die Vergilbung festgestellt. Ähnliche Wirkungen erzielten BRÜGGER und SENGONCA (1989) in Getreide.

Die zeitbezogene Schadschwelle ermöglicht es, im Rahmen eines Fruchtwechsels während der gesamten Vegetationsperiode, Felder mit Restverunkrautung anzubieten (AMMON, BEURET und NIGGLI, 1986). Dadurch sollte ein breiter wirksames Angebot als Nahrungsgrundlage für Nutzorganismen erreicht werden als dies durch die Anlage von Randstreifen oder Ablenkungsfuttersaaten usw. möglich ist. Weitere Angaben über Zusammenhänge zwischen Unkrautbekämpfung und Nutz- und Schadorganismen finden sich bei FEHRMANN et al. (1986).

## Weitere Möglichkeiten zur Begrünung im Acker

- **Einsaaten** von Klee/Gras in Getreide oder die **Untersaaten** in Mais.
- **Einsaaten von Sonnenblumen in Mais.** Dazu wird eine «Handvoll» Samen direkt ins Einzelkornsägerät gegeben. Das Verfahren ist auch bei chemischer Unkrautbekämpfung möglich, wenn die für Mais und Sonnenblumen selektiven Präparate (z.B. Stomp + Linuron oder Lass + Linuron) gewählt werden.
- **Frässaaten von Mais mit Mulchschnitt zwischen den Reihen,** ein Anbauverfahren, bei welchem zwischen den Maisreihen ein ca. 50 cm breites Band als «Grünbedeckung» belassen wird (AMMON et al. 1990).
- **Einsaaten von Rüsen in Raps** (nach BÜCHI et al. 1987). Einsaaten früh blühender Rüsen in Raps wirken als Ersatzfutter für Rapsglanzkäfer und sind ein Beispiel einer gezielten Ablenkfütterung. Hier zeigt sich der fließende Übergang von «Unkraut» zu «Begleitflora» und «Beikraut».

## 2.2. Wirkung der herbizidbedingten Unkrautfreiheit auf dem Boden

Bodenverluste auf Ackerflächen durch Wind- und Wassererosion sind ein altbekanntes Phänomen aus dem fernen Afrika oder Amerika. In Mitteleuropa war Erosion bestenfalls aus dem Weinbau bekannt, im Feldbau aber erst in neuerer Zeit. Frühere Angaben aus Bayern von HÖLTL et al. (1976) weisen bereits auf die Erosionsgefahr durch den Maisbau hin. In der Schweiz begann Ende der 70er Jahre die Universität Basel mit Projekten über Bodenerosion auf Ackerflächen (LESER, 1988). Es wird ebenfalls auf die erosionsgefährdende Kultur Mais hingewiesen.

Aus herbologischer Sicht ist aber nicht der Mais an sich umweltbelastend, sondern die Art, wie der Mais konventionell angebaut wird, besonders die Art und Weise der Unkrautbekämpfung. Die ursprünglich angestrebte und mit Herbiziden ermöglichte vollständige Unkrautfreiheit, scheint eine Hauptursache der Erosionsbegünstigung, der Bodenverkrustung, Bodenverdichtung und der Nitrat- und Herbizidauswaschung zu sein.

### Einfluss des Unkrautes auf Wasserabfluss und Erosion

Unkrautbekämpfung beeinflusst den Wasserabfluss und somit direkt und indirekt (Bewurzelung, Mulch) auch die Erosion. WELL (1980) erzielte folgende Werte:

	Unkrautfrei	Verunkrautet
Wasserabfluss (% der Niederschläge)	27 %	11 %
Bodenabtragung/ha	18,6 t	4,5 t

### Ersatz mechanischer Massnahmen durch Herbizide und Wirkung auf Wasserabfluss und Erosion

Die mechanische Unkrautbekämpfung wurde praktisch vollständig zugunsten der Herbizide aufgegeben. Besonders Voraufbauherbizide, wie sie im Mais lange Zeit üblich waren, wirken sich auf den Boden und die Bodenstruktur aus (Verkrustung, Verdichtung, fehlende Durchwurzelung und Bedeckung).

Nach WHITAKER et al. (1973) war der Wasserabfluss in mit Herbizid behandelten Böden 2–3 mal höher als in mechanisch bearbeiteten Böden, die Bodenerosion in mit Herbizid behandelten Böden 4–8 mal höher als in mechanisch bearbeiteten Böden.

Der Ertragsverlust von Mais (durch Wassermangel nicht bearbeiteter Böden) betrug in den USA 80 kg/ha in einem trockenen Jahr.

Die Ergebnisse nach ALKÄMPER (1988) bestätigen die Erfahrungen aus den USA, wonach

- auch der Mais gegenüber Brache eine Erosionshemmung bewirkt (Tab. 1) und
- je nach Art der Unkrautbekämpfung die Erosionsgefahr sehr verschieden sein kann (Tab. 2).

Tab. 1. Wasserabfluss und Bodenabtrag während der Maisvegetation

Behandlung	Wasserabfluss mm	Bodenabtrag	
		in % Brachzelle	in kg/h in % von Brachzelle
Ganzflächenspritzg.			
brach	46	100,0	6968
Mais	31	67,4	2425
2 x Hacken vor			
brach	20	100,0	2782
Mais	8,5	42,5	656

Quelle: MARTINS und ERPENBECK, 1982 (aus ALKÄMPER 1988)

Tab. 2: Einfluss der Unkrautbekämpfung auf Wasserabfluss und Bodenabtrag während der Maisvegetation

Unkrautbekämpfung	Wasserverluste in mm			Ø 3 Jahre	% von Flächenspritzg.
	1982	1983	1985		
VA Flächenspritzung	31,0	15,0	12,6	19,5	100,0
2 x Hacken	8,5	5,9	6,7	7,0	35,9
VA Bandspritzung + 1 x Hacken	4,4	4,8	3,9	4,4	22,6
	Bodenabtrag in kg/ha				
VA Flächenspritzung	2425	820	6195	3147	100,0
2 x Hacken	656	741	1851	1083	34,4
VA-Bandspritzung + 1 x Hacken	526	542	959	676	21,5

Quellen: 1982 MARTINS und ERPENBECK (1982)  
 1983 HILGER und MEKSCHRAT (1984) (aus ALKÄMPER 1988).  
 1985 KUNZ (1985)

### Auswirkung der Begrünung auf den Boden und die Stoffauswaschung

Von den Untersaaten wurde eine Verringerung der Erosionsgefahr erwartet. Diese Hoffnung hat sich aber nur zum Teil erfüllt, da sich die Untersaaten erst Ende Juni – anfangs Juli entwickeln. Die Vorsommertgewitter treten aber häufig bereits im Mai auf (Abb. 4). Nach AUERSWALD (1989) sind spezifische Massnahmen wie Spurlockerung oder die Einsaat von Getreide oder Gräser in die Fahrspur bei der Maissaat (AMMON und BOHREN 1990) nötig und wirksam (Abb. 5). Diese Saaten verlangen aber wiederum eine angepasste Unkrautbekämpfung, häufig als Bandspritzung und Hacke. Das heisst: geringere Herbizidbelastung, Behebung der Bodenverkrustung und bessere Befahrbarkeit des Bodens bei der Ernte.

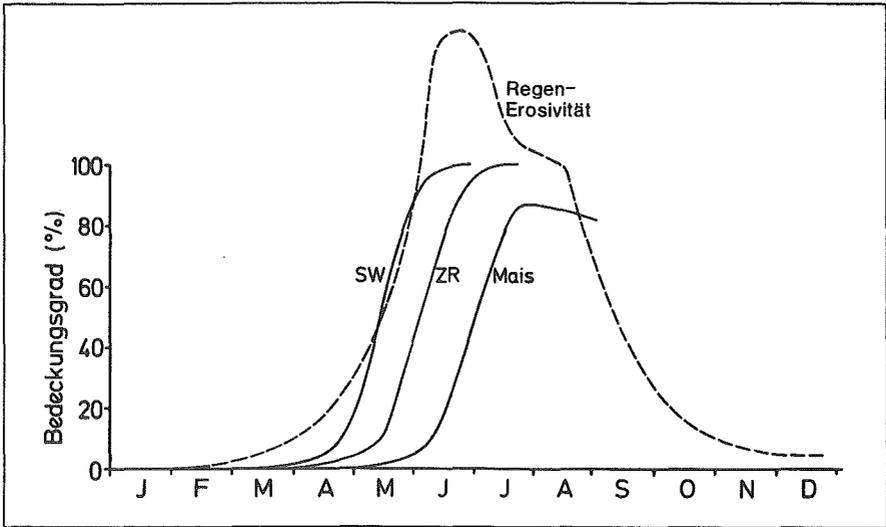


Abb. 4. Verteilung erosiver Regen im Jahresverlauf (gestrichelte Linie) und Bedeckung des Bodens durch Sommerweizen (SW), Zuckerrüben (ZR) bzw. Mais (n. SCHWERTMANN & VOGL. 1983). (Aus AUERSWALD 1989).

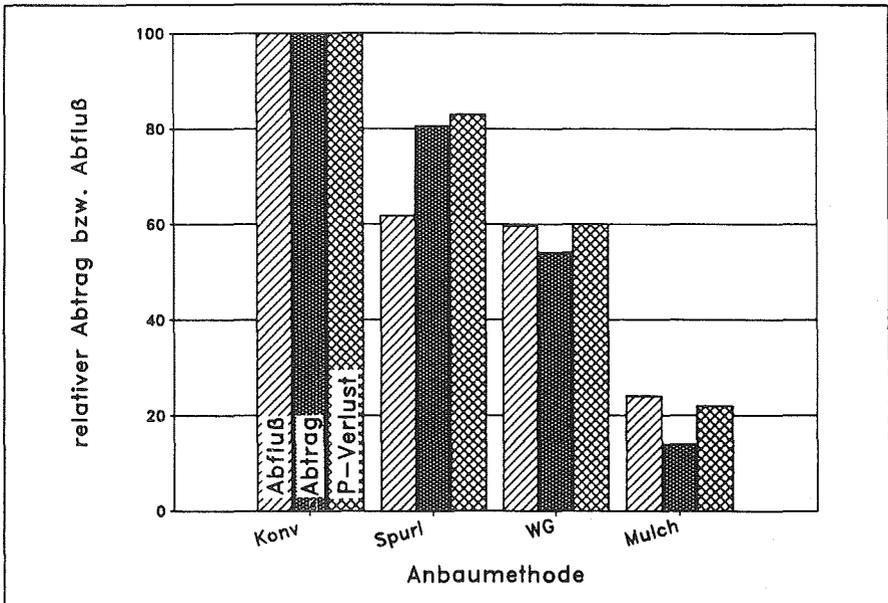


Abb. 5. Veränderung von Abfluss, Abtrag und Phosphatverlust bei Mais mit unterschiedlichen Erosionsschutzmassnahmen im Vergleich mit konventionell angebautem Mais (konv = konventionell; Spurl = Spurlockering; WG = Wintergersteneinsatz; Mulch = Mulchsaat). (nach AUERSWALD 1989).

Die Untersaaten, insofern Gräser als Hauptanteil gewählt wurde, ermöglichen eine gute Reduktion der Nitratauswaschung nach der Mäisernte (BÄR und NUNGESSER, 1987). Zur Reduktion der Nitratauswaschung im Winter vor der Maissaat ist eine Grünbedeckung der Felder bis kurz vor der Maissaat erwünscht. In schwer bearbeitbaren Böden ist aber Pflügen im Frühjahr oft nicht möglich. Pfluglose Verfahren wären dazu besser geeignet. Diese haben sich auch zur Reduktion der Bodenerosion bewährt. Pfluglose Anbauverfahren stellen aber an die Unkrautbekämpfung wiederum andere Anforderungen. Nach ausländischen Angaben wird meist ein zusätzlicher Herbizideinsatz vor der Saat empfohlen. Nach den Erfahrungen von STURNY (1990), und AMMON und BOHREN (1990) ist dies jedoch je nach Art der pfluglosen Saat und je nach Zwischenfrucht nicht zwingend.

### **Zusammenhänge Unkrautbekämpfung, Anbautechnik, Erosion, Herbizidbelastung der Gewässer**

Auf die Zusammenhänge von Anbautechnik, Unkrautbekämpfung und Erosion wurde hingewiesen, ebenso auf die unterschiedlichen notwendigen Mengen der Herbizide und die Möglichkeiten, die oberflächlich abfließende Wassermenge zu vermindern. Damit sollte auch die Herbizidbelastung der Oberflächengewässer sinken.

Nach BACKER und JOHNSON (1979) ist zwar die oberflächlich abfließende Wassermenge im pfluglosen Verfahren geringer, die Herbizidkonzentration in diesem Wasser aber höher, weil bei pfluglosem Anbau offenbar die Adsorption an Bodenteile geringer ist. Eine zumindest partielle Bearbeitung, wie breite Frästreifen, scheint vorteilhafter als die in den USA meist verwendeten schmalen Frästreifen oder Schlitzsaaten. Über diese Fragen liegen aus der Schweiz keine Resultate vor. Versuche zur Abklärung dieser Zusammenhänge sind in Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie angelegt worden.

### **3. Möglichkeiten und Probleme der Einführung der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis**

Präparate mit eindeutigen unerwünschten Nebenwirkungen werden bereits bei der Prüfung durch die Herstellerfirmen, spätestens durch die Verweigerung oder den Rückzug der Verkaufsbewilligung, vom Markt ferngehalten. Wenn nicht das Präparat an sich sondern bestimmte Anwendungen unerwünscht sind, wird bei der Beratung darauf hingewiesen. Nach der Stoffverordnung sind zudem nicht explizit auf der Packung aufgeführte Anwendungen verboten. In den letzten Jahren wurden sowohl im offiziellen Pflanzenschutzmittelverzeichnis als auch in Pflanzenschutzmittelkatalogen vermehrt Hinweise und Bewertungen der oekotoxikologischen Eigenschaften aufgeführt, die in der Praxis auf grosses Interesse stossen.

Die Umsetzung der Erkenntnisse zum Schutz von Nützlingen, Bodenschutz und Grundwasser erfordern andere Konzepte zur Unkrautbekämpfung, zum Teil andere Anbautechniken, was wesentliche Umstellungen, auch hohe Neuinvestitionen im Maschinenpark erfordert. Bei verschiedenen neuen Anbautechniken, besonders bei den Anbauverfahren mit vermehrter Begrünung und mit Direktsaat, sind jedoch noch verschiedene Fragen offen, was die zögernde Einführung der neuen Verfahren erklären mag:

- Einfluss auf die Schnecken (Zwischenfrüchte als Wirtspflanzen)
- Fritfliege bei Roggen als Vorfrucht (die Fritfliege verpuppt sich anfangs Mai an der Stengelbasis vom Roggen)
- Vermehrung von Nematoden
- Beeinflussung durch Wurzelabscheidungen (Allelopathie), TAUSCHER, B. (1988)
- Übertragung von Pflanzenkrankheiten usw.
- Bedeutung der Veränderung des Samenpotentials des Bodens
- N-Düngung (N-Bedarf resp. Zeitpunkt der Freisetzung bei Verrottung des Pflanzenmaterials).
- Der Maiszünsler hat bei pfluglosem Anbau bessere Überlebenschancen.

#### 4. Diskussion

Pflanzenschutzmittel wirken auf direkte und indirekte Weise auf einzelne Parameter der Bodenfruchtbarkeit ein. Direkte Wirkung auf Nutzinsekten sind besonders bei Insektiziden voraussehbar. Die Nützlingsprüfungen der OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique) zeigen aber, dass auch Fungizide und Herbizide Nutzinsekten schädigen können. Zudem ist nicht zu übersehen, dass Nutzinsekten nicht die einzigen Nutzorganismen sind. Diverse Pilze gehören zu den wirksamsten Blattlausfeinden; ein Fungizideinsatz kann somit die Blattlausprobleme fördern.

Die Unkrautbekämpfung durch Herbizide scheint in ihren Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit die am stärksten unterschätzte Massnahme zu sein. Die ursprünglich hauptsächlich gefürchteten *direkten* Auswirkungen auf Nutzorganismen, Bodenlebewesen usw. sind, mit Ausnahme einzelner Wirkstoffe, vermutlich eher überschätzt worden; kritische Stoffe, z.B. DNOC, wurden und werden laufend elimiert.

Schwerwiegender scheinen aber die *indirekten* Auswirkungen durch die an sich beabsichtige Vernichtung der Unkrautflora zu sein. Die hohe Unkrautfreiheit wirkt sich durch Nahrungsentzug und durch mangelnde Attraktivität negativ auf Nutzorganismen aus und fördert Schadorganismen direkt oder indirekt. Die dank Herbiziden nicht mehr notwendige mechanische Unkrautbekämpfung und die extrem hohe und lang dauernde Unkrautfreiheit, d.h. die über lange Perioden fehlende Bedeckung durch bodenbedeckende Pflanzen wie Einjähriges Rispengras (*Poa annua*), Sternmiere (*Stellaria media*) usw. fördern die Bodenerosion in Mais und zunehmend auch in anderen Kulturen speziell bei Verwendung von Bodenherbiziden.

Das neuerdings stark diskutierte Problem, die Belastung der *Grund- und Oberflächenwasser* durch Herbizide, hat auf die lange verniedlichten, sehr hohen Tonnagen aufmerksam gemacht. Inwieweit diese Rückstände eine tatsächliche Gefährdung der Umwelt darstellen, kann heute nur schwer beurteilt werden. Die Rückstandswerte sind politisch festgesetzt. Die humantoxikologische Gefährdung ist sicher nicht vorhanden. Negative oekologische Auswirkungen sind zurzeit nicht eindeutig nachgewiesen – die Unschädlichkeit ist aber auch nicht bewiesen! Einigkeit herrscht darin, dass die Belastung reduziert werden soll und dass sich die bisher getroffenen Massnahmen bereits positiv auswirken.

Im Nationalen Forschungsprojekt Boden wurde das Problem der *Bodenerosion* aufgegriffen. Wichtig scheint nun, dass neben den Feststellungen der Erosionsverhältnisse und der Grundwasserbelastungen den Landwirten klare Empfehlungen abgegeben werden können, was gemacht werden kann und soll. Die Landwirte warten auf praxis-konforme, überprüfte, standortsgerechte Anbauempfehlungen im Sinne des Integrierten Pflanzenbaus. Die Direktsaaten von Mais in die grüne Wiese mit Mulchschnitt

zwischen den Reihen anstelle von Herbiziden – dies alles mit selbstgebauten Maschinen – illustriert die Innovationsfreude der Praxis, die der wissenschaftlichen Überprüfung vorausgeht.

## RÉSUMÉ

### *Influence des herbicides sur la fertilité du sol*

La fertilité du sol, qui doit être considérée comme un tout, n'est pas facile à appréhender. Seuls certains paramètres importants doivent être pris en compte. Ce sont les influences sur les êtres vivants du sol, macro- et microorganismes et leurs fonctions, etc... Ces influences directes peuvent être déterminées par des tests écotoxicologiques. L'exemple du ver de terre démontre, que des données écotoxicologiques ne se transmettent que partiellement sur des conditions du milieu.

Dans l'ensemble les effets secondaires négatifs des herbicides sur des organismes non visés ont été surestimés. Au cours d'observations élargies, on n'a pas été en mesure de déterminer des dégâts subséquents.

L'effet désiré de la destruction des mauvaises herbes semble avoir des conséquences plus graves que prévues sur la fertilité du sol. La longue durée d'absence de mauvaises herbes, obtenue par l'utilisation des herbicides, influence la faune auxiliaire, la structure et en particulier l'érosion du sol, ainsi que l'accumulation des résidus dans les nappes souterraines et les eaux de surface.

Des conceptions nouvelles concernant l'emploi d'herbicides à des concentrations et à une fréquence réduites, ainsi que des possibilités d'enherbement dirigées dans les grandes cultures sont proposées dans le présent article.

## SUMMARY

### *Influences of Herbicides on soil fertility*

A direct influence of herbicides on specific organisms or functions of soil microorganisms of importance for the soil fertility can be measured by ecotoxicological laboratory tests. The example of the earthworm toxicity tests shows, that laboratory results can not be transferred to field conditions without restrictions. In addition, indirect influences on further organisms are not included in the tests and they are not easily predictable.

Despite extensive studies, unwanted, irreversible side effects of herbicides on non-target organisms by direct intoxications have not been found. In contrast to the side effects, the main effect on the target organisms, here the eradication of weeds by herbicides, affects several parameters of soil fertility. The effective and long-lasting weed eradication affects several predators of aphids, the uncovered soil favours soil compaction, soil erosion and the contamination of ground and surface water.

Concepts for reduced weed control practices based on threshold limits, methods for more extensive green soil covers and conservation tillage systems are discussed.

## LITERATUR

- ALLKÄMPER, 1988. Einfluss der Unkrautbekämpfung auf Erosionsvorgänge im Mais. Z.f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI: 211–218.
- AMMON, H. U. und KUNZ, P. 1982. Einfluss der Unkrautkonkurrenz zu bestimmten Entwicklungsstadien auf den Ertrag der Zuckerrüben. Mitt. Schweiz. Landwirtschaft 30: 29–34.
- AMMON, H. U., 1984. Worm toxicity tests using Tubifex tubifex. Les Colloques de l'INRA 31: 303–317.
- AMMON, H. U., BEURET, E. und NIGGLI, U., 1986. Die Ziele der Unkrautbekämpfung im Wandel der Zeit – vom Verdämmen der Unkräuter zur zeitbezogenen Schadschwelle. Landwirtschaftliche Forschung 25: 351–366.

- AMMON, H. U., BOHREN, Ch. und ANKEN, Th., 1990. Breitband Frässaar von Mais in Wiesen und Zwischenfrüchte. *Landwirtschaft Schweiz* 3: 121–124.
- AMMON, H. U. und BOHREN, Ch., 1990. Unkrautbekämpfung in Bodenschonenden Anbauverfahren von Mais. *Die Grüne* 126: 17–29.
- AUERSWALD, K., 1989. Verminderung der Bodenerosion im Maisbau. *Mais* 2: 24–26.
- BACKER und JOHNSON, 1979. The effect of tillage systems on pesticides in runoff from small watersheds. *Trans ASEA* 22, 554–559.
- BÄR, A. NUNGESSER, L. C., 1987. Retten Untersaaten den Maisbau? *Mais* 2: 38–41.
- BIERI, M. und CUENDET, 1989. Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. *Landw. Forschung* 28: 81–96.
- BRÜGGEN, K. U. und SENGONCA, C., 1989. Einfluss von mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Winterweizen auf die Populationsentwicklung von Getreideblattläusen und ihren natürlichen Feinden. *EWRS Newsletters* 45.
- BÜCHI, R. *et al.* 1987. Rüpsen in Raps als Fangpflanzen für Rapsschädlinge. *Mitt. Schweiz. Landwirtschaft* 35: 34–40.
- EHLERS, W., 1975. Observation on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess. *Soil Sci* 119: 242–249.
- FEHRMANN, H., MAAG, G., SCHMUTTERER, H. und WYBERT, H., 1986. DFG Forschungsbericht Herbizide II.
- GERBER, 1990. Oekotoxikologische Tests der Industrie. In Vorbereitung.
- GRESSEL, J. und SEGEL, L. A., 1982. In *Le Barons und Gressel*, Wiley, New York 1–401.
- HÄNI, A., AMMON, H. U. und KELLER, S., 1990. Bedeutung der Restverunkrautung für Nützlinge, Schädlinge und Krankheiten im Zuckerrübenbau. *Landwirtschaft Schweiz*, in Vorbereitung.
- HÖTL, W., KARL, J. und PORZELT, M., 1976. Maisanbau und Bodenabtrag. *Z. Kulturtechnik und Flurber.* 17: 25–38.
- KOCH, W. und HURLE, K., 1972. Herbizide und Boden, *Mitt. Schweiz. Landw.* 20: 125–140.
- LESER, H., 1988. Bodenerosionsforschung – Wandel eines Projektes. *Regio Basiliensis* 24: 1–8.
- NENTWIG, W., 1988. Augmentation of beneficial arthropodes by strip-management. *Z.f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 96: 89–99.
- OECD 1981. *Guideline for testing of Chemicals*, Paris.
- REMUND, U., NIGGLI U. und BOLLER, E. F., 1989. Faunistische und botanische Erhebungen in einem Rebberg der Ostschweiz. *Landwirtschaft Schweiz* 2: 393–304.
- SCHMUTTERER, H. und GAUDCHAU, M., 1986. Anlockung von Syrphiden durch künstlich als Ersatz für Unkräuter in Winterweizenbeständen angesäte *Phacelia* (*Phacelia tanacetifolia*) und Auswirkungen auf Getreideblattläuse. DFG, Herbizide II. VHC Verlagsges. Weinheim, 115–128.
- SCHUSTER, E., 1988. Einfluss von Pflanzenschutzmittel-Spritzfolgen auf die mikrobiologische Aktivität des Bodens, Diss. Uni. Trier.
- STURNY, W., 1990. Mulchsaaten von Mais in Gründungsbestände. *FAT Bericht* 376.
- TAUSCHER, B., 1988. *Z.f. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft IX:* 15–31.
- WELL, R. R., 1980. *Agr. Abstr.* 72 Meeting Am.Soc.Agr.
- WELLING, M., 1988. Auswirkungen von Ackerschonstreifen. *Mitt. BBA* 247: 1–175.
- WHITAKER, F. D., HEINEMANN, H. G. und WISCHMEIER, W. H., 1973. Chemical weed control affect runoff, erosion and corn yields. I. of *Soil and Water Cosn.* 28: 174–177.
- YEATES, G. W., 1981. Soil nematode populations depressed in the presence of earthworms. *Pe-dobiologia* 22: 191–195.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

# Influence des pratiques culturales sur l'équilibre Physico-chimique et biologique des sols agricoles

*N. Maire* Orlab SA, Z.I. Les Ducats, 1350 Orbe  
*J.-M. Besson* Station Fédérale de Recherces en Chimie Agricole et sur l'Hygiène de l'Environnement, 3097 Liebefeld-Berne  
*H. Suter* Institut Suisse de Recherches de l'Agriculture Biologique, 4104 Oberwil  
*G. Hasinger* Institut Suisse de Recherches de l'Agriculture Biologique, 4104 Oberwil  
*A. Palasthy* Service Migros-Sano, Route d'Oron 2, 1010 Lausanne

## RÉSUMÉ

Cette communication présente les principaux résultats obtenus par une recherche effectuée dans le cadre du programme national de recherche «Sol». Elle étudie et compare l'équilibre physico-chimique et biologique des sols cultivés selon les modes d'agriculture biologiques et conventionnels et cherche à tirer les relations de cause à effet des phénomènes mis en évidence.

## I Introduction

La diminution de la productivité occasionnée par le passage d'un système de production agricole dit conventionnel à un autre dit biologique (phase de conversion) est-elle liée à une destabilisation des conditions écologiques des sols et, le cas échéant, observe-t-on une réorganisation progressive vers un nouvel équilibre?

La recherche présentée ici (MAIRE et al., 1990) aborde ce problème par l'analyse de sols qui est un moyen d'appréhender la notion de fertilité, celle-ci étant définie comme l'expression globale des conditions physico-chimiques et biologiques qui caractérisent cet écosystème.

L'aspect qualitatif est appréhendé par le choix des paramètres analysés: dans ce sens, l'accès expérimental au compartiment «vie du sol» est un atout indispensable à l'approche des phénomènes mis en cause.

L'aspect évolutif est abordé par le biais de la répétition des mesures dans le temps, de manière coordonnée au cycle naturel de la végétation. Enfin, l'aspect quantitatif est le résultat des valeurs pondérales des différents paramètres analysés.

L'analyse statistique, outil de synthèse puissant, permet de comprendre les interactions existantes et de comparer les situations entre elles.

## II Matériel et Methodes

### 2.1 Conception de l'essai et domaines d'investigation

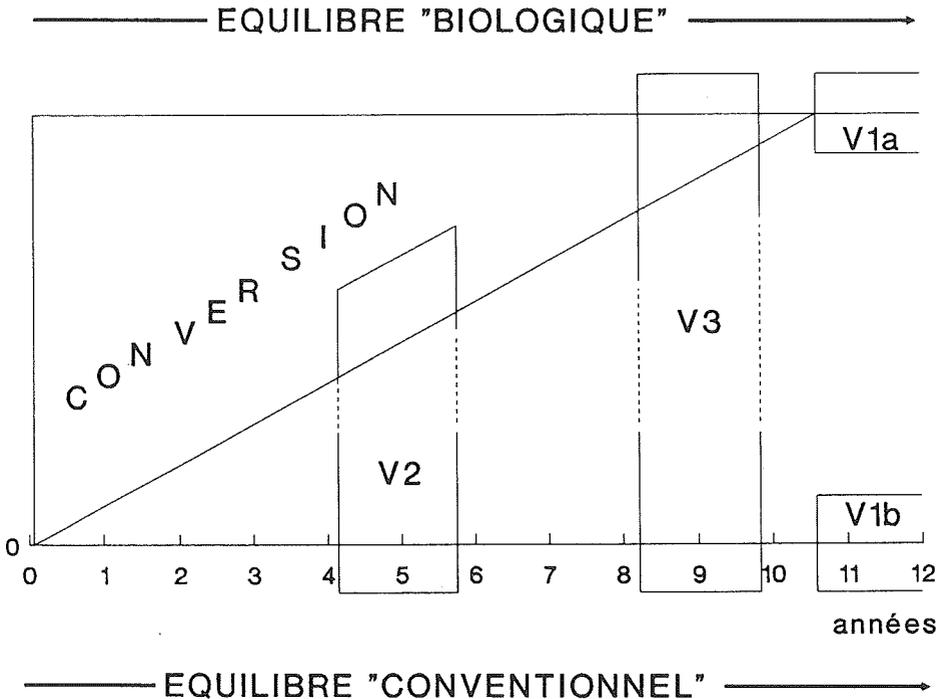
La structure de l'étude est schématisée par la *figure 1*: partant de l'hypothèse à vérifier que les pratiques culturales, considérées dans leur ensemble, influencent de manière significative l'équilibre des sols cultivés, trois études partielles et complémentaires (= volets) ont été mises en place de manière à couvrir l'ensemble de la problématique posée:

*Volet 1: Situation équilibrée*

Une campagne d'échantillonnages de sols et d'analyses a été menée dans des cultures de blé et de pommes de terre auprès d'une soixantaine d'exploitations agricoles bio-

logiques de longue durée (10 ans de pratique au minimum). Les résultats obtenus ont été comparés aux situations conventionnelles similaires existantes provenant de la banque de données du Service Migros-Sano.

Fig. 1. Etude de l'équilibre fonctionnel évolutif des sols cultivés selon les méthodes culturales biologiques et conventionnelles à l'aide des trois volets d'études V1, V2 et V3



- Volet 1, V1a: Exploitations agricoles biologiques en croisière  
 V1b: Exploitations agricoles conventionnelles  
 Volet 2, V2: Exploitations agricoles biologiques en conversion  
 Volet 3, V3: Essai DOC de Therwil

*Volet 2: Situation en conversion*

Le suivi analytique et la comparaison de sols au cours de la période de végétation de 4 cultures (blé, orge, pommes de terre et prairie temporaire) a été effectué dans des sols échantillonnés dans cinq paires d'exploitations, les unes en pleine phase de conversion (4 et 5 ans de pratique culturale biologique), les autres conventionnelles.

*Volet 3: Situation expérimentale*

Les 96 parcelles de l'essai DOC de Therwil, qui compare dans une structure expérimentale contrôlée les modes culturaux biologique-dynamique, organique-biologique

et conventionnel, ont été inventoriées selon le schéma du premier volet.

Les relevés expérimentaux se sont déroulés en 1986 et 1987 et ont porté sur près de 500 échantillons prélevés sur l'axe Zürich-Genève.

## 2.2 Méthodes d'analyses

Les échantillons ont été prélevés à la carrière hollandaise sur des parcelles types préalablement définies. Les échantillons représentatifs ont ensuite été séchés à l'air et tamisés à 2 mm. Toutes les investigations analytiques ont été effectuées sur le matériel ainsi conditionné.

### 2.2.1 Mesures physico-chimiques

Il s'agit des mesures du pH, de la salinité, de la granulométrie ROBINSON (argile, limon et sable), de la matière organique ANNE, du carbone organique par calcination et de l'azote KJEDAHL.

### 2.2.2 Fertilité actuelle

L'azote nitrique, le phosphore, le bore, le potassium, le calcium, le magnésium, le fer et le sodium ont été mesurés dans un extrait à l'eau (rapport terre sèche: eau = 1:2.5).

Le test-P et le test-K ont été effectués par extraction à l'eau carbonatée selon la méthode DIRKS-SCHEFFER.

L'azote ammoniacal a été mesuré après échange par une solution de KCl 2 M.

### 2.2.3 Réserves en éléments

Le phosphore, le calcium, le potassium, le magnésium et la manganèse ont été mesurés dans un extrait à l'acétate-lactate d'ammonium (AL) selon la méthode EGNER-RIEHL.

Le calcium a également été dosé après extraction à l'acétate d'ammonium 2N et le magnésium après extraction au chlorure de calcium 0.025 N.

### 2.2.4 Mesures biologiques

Le système d'analyses biochimiques proposé par MAIRE (1987) a été adopté dans cette étude. Celui-ci est constitué de la mesure de l'indice catalasique, de trois mesures respirométriques par dégagement de CO<sub>2</sub> (après 4, 9 et 15 jours d'incubation de l'échantillon à 25° C) et de la mesure de la biomasse-ATP. Ce système permet, par ailleurs, de calculer la minéralisation du carbone organique, l'activité potentielle et la réactivité du milieu, ainsi que le rapport CO<sub>2</sub>/ATP.

Pour plus de détails sur les méthodes et les critères qui en ont déterminé le choix, le lecteur est renvoyé au rapport de base (MAIRE et al., 1990).

## 2.3 Valorisation statistique

L'analyse statistique multivariée (GENDRE, 1976) a été à la base du traitement statistique des résultats. En particulier, le test des scores factoriels et l'analyse en composantes principales ont été les principales méthodes utilisées.



**Éléments solubles AL (mg/100 g)**

Calcium (CaO)	> 224.0	302.0	> 175.0	263.0
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	< 42.0	20.0	< 53.0	33.0
Potassium (K <sub>2</sub> O)	< 16.0	10.0	< 27.0	18.0
Magnésium (MgO)	> 14.0	20.0	> 11.0	17.0
Manganèse (Mn)	< 16.0	22.0	< 15.0	21.0

**Mesures biologiques**

Indice catalasique (%)	< 2.7	4.9	< 2.3	3.9
Biomasse - ATP (ng ATP/g)	> 880.0	1161.0	> 450.0	696.0
Téactivité (%)	< 95.0	69.0	< 100.0	73.0
Activité potentielle (ug CO <sub>2</sub> /g/h)	> 4.0	6.7	> 3.0	4.8
Dég. CO <sub>2</sub> j4 (ug CO <sub>2</sub> /g/h)	> 4.5	5.8	> 3.0	4.2
Dég. CO <sub>2</sub> j9 (ug CO <sub>2</sub> /g/h)	> 3.4	4.0	> 2.1	3.0
Dég. CO <sub>2</sub> j15 (ug CO <sub>2</sub> /g/h)	> 2.1	2.7	-	-
Min. carbone org. (ug.uo/g/15j)	< 943.0	822.0	-	-
Rapport CO <sub>2</sub> /ATP (gCO <sub>2</sub> /gATP)	< 6.0	4.8	< 7.6	5.9

**Mesures FAC-Liebefeld**

pH (H <sub>2</sub> O)	> 6.3	6.5	-	-
Carbone (%C)	> 1.54	1.93	-	-
Azote Kj (%N)	< 0.174	0.214	-	-
P-Test	< 30.0	11.4	-	-
K-Test	< 2.5	1.4	-	-
Ca (ppm)	> 1850.0	2387.0	-	-
Mg (ppm)	< 68.4	97.6	-	-

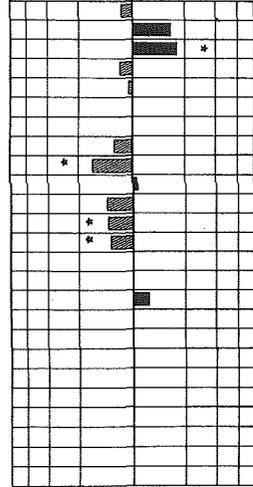
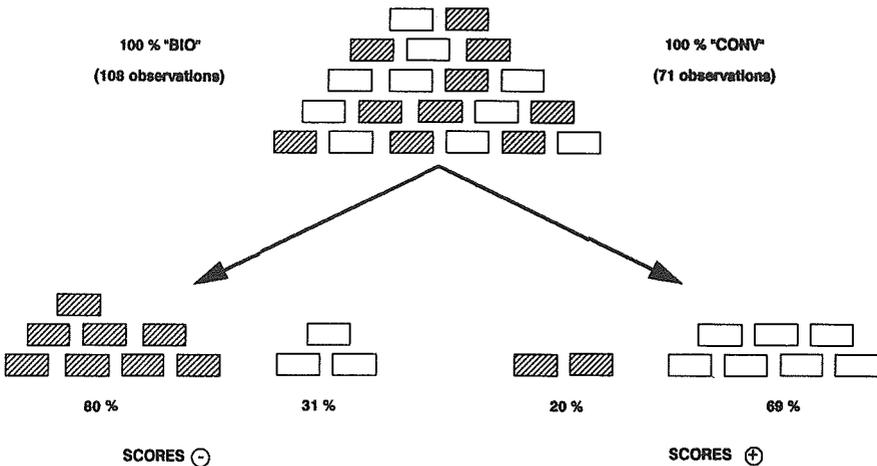


Fig. 2. Structure fréquentielle (scores factoriels) d'une population constituée de sols biologiques et de sols conventionnels



solubles est, de ce point de vue parfaitement explicite. Cette tendance se retrouve, bien que de manière moins systématique, pour les éléments de réserves (solubles AL).

En revanche, les paramètres biologiques sont significativement plus faibles dans les sols conventionnels, aussi bien en termes de biomasse que d'activités.

### 3.1.2 Différenciation statistique

La *figure 2* expose les résultats obtenus par le test des scores factoriels appliqué à deux populations constituées d'observations provenant de sols biologiques et de sols conventionnels directement comparables (même type de sol; mêmes années de prélèvement; régions et cultures similaires).

Nous constatons que la répartition fréquentielle par mode cultural n'est pas aléatoire, ce qui confirme les différences quantitatives observées dans le *tableau 1*. Pratiquement, cela signifie que dans les 2/3 des cas environ, les sols biologiques sont différents des sols conventionnels, alors que dans 1/3 des cas environ, cette distinction n'est pas manifeste par le biais de l'analyse effectuée.

### 3.1.3 Equilibre fonctionnel des sols

L'analyse en composantes principales a été appliquée à la population des sols biologiques. La *figure 3* expose graphiquement les résultats obtenus. On y distingue trois groupes de paramètres significatifs:

- Le premier groupe met en situation voisine le complexe argilo-humique et les principaux paramètres biologiques.
- Le second est constitué des cations bivalents (Ca et Mg) ainsi que les paramètres synthétiques de la teneur en sels et du pH.
- Dans le troisième, on rencontre le phosphore, élément lié à la fertilisation exogène du sol.

Les deux premiers groupes reflètent typiquement les deux unités fonctionnelles des sols biologiques et se retrouvent systématiquement dans toute les situations étudiées. Dans ce sens, la situation décrite par la *figure 3* est caractéristique d'un équilibre stabilisé, proche d'un équilibre naturel.

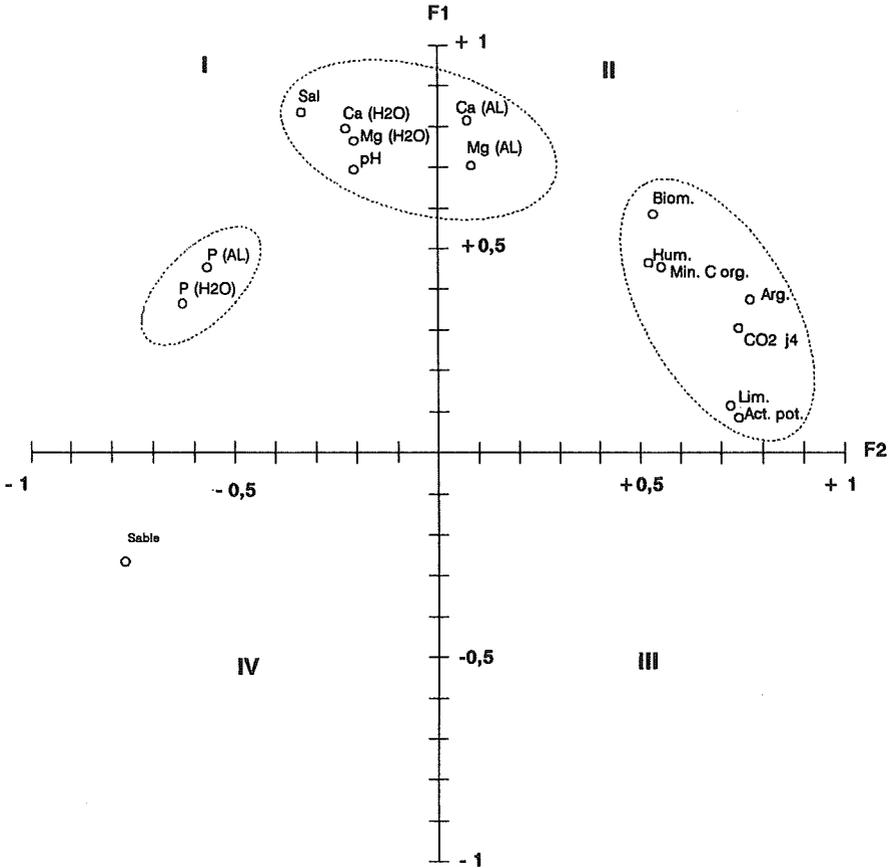
La présence du troisième groupe est plus aléatoire et ne constitue pas une unité fondamentale pour la compréhension du fonctionnement du sol. De cas en cas, le potassium apparaît également dans ce groupe déterminé essentiellement par la nature de la fertilisation agricole.

La *figure 4* présente l'équilibre obtenu dans les sols conventionnels homologues aux sols biologiques de la *figure 3*. Les principales différences suivantes peuvent être relevées:

- Le groupe de la salinité et des cations bivalents a pratiquement disparu. Seul subsiste le calcium-AL qui se mélange à certains paramètres liés au complexe argilo-humique.
- Les paramètres d'activité biologique, activité potentielle, dégagement de CO<sub>2</sub> après 4 jours, minéralisation du carbone organique se détachent des autres paramètres auxquels ils sont habituellement liés (biomasse-ATP, humus et argile) pour se regrouper avec l'azote nitrique qui semble ainsi conditionner l'activité biologique de ces sols.

L'image donnée par la *figure 4* est passablement altérée, si on la compare à celle de la *figure 3*. De plus, cette image n'est pas constante dans les sols conventionnels, ce qui indique que ces sols ne sont pas dans un état d'équilibre stabilisé.

*Fig. 3.* Analyse en composantes principales:  
Sols biologiques, minéraux, légers et pauvres en calcium (Type A) (108 observations)



o Variance expliquée > 50%

F1: Valeur propre du vecteur = 6,77

Somme des variances expliquées par F1 = 22,6%

F2: Valeur propre du vecteur 5,63

Somme des variances expliquées par F1 et F2 = 41,3%

F3: Valeur propre du vecteur = 2,99

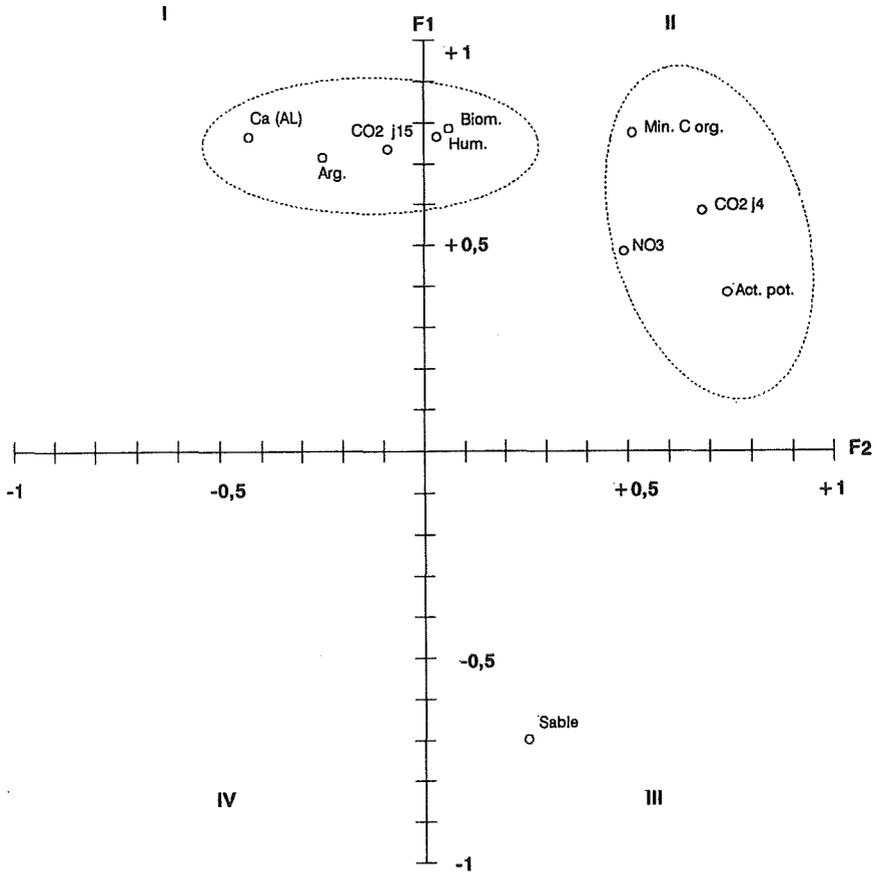
Somme des variances expliquées par F1, F2 et F3 = 51,3%

### 3.2 Principaux résultats du volet 2

De manière générale, les sols provenant des exploitations agricoles en conversion ne se distinguent pas significativement (test des scores factoriels) des sols provenant des

exploitations conventionnelles correspondantes. Il en va de même pour les différentes cultures étudiées. Dans tous les cas, l'image obtenue par l'analyse en composantes principales révèle un équilibre fonctionnel caractéristique des sols de type conventionnel, c'est-à-dire présentant un groupe de paramètres liés à la salinité partiellement altérée et se mélangeant avec les paramètres liés habituellement au groupe du complexe argilo-humique.

Fig. 4. Analyse en composantes principales:  
Sols conventionnels, minéraux, légers et pauvres en calcium (Type A) (71 observations)



o Variance expliquée > 50%

F1: Valeur propre du vecteur = 7,76

Somme des variances expliquées par F1 = 25,9%

F2: Valeur propre du vecteur 4,03

Somme des variances expliquées par F1 et F2 = 39,3%

F3: Valeur propre du vecteur = 3,33

Somme des variances expliquées par F1, F2 et F3 = 50,4%

### 3.2.1 Aspects évolutifs

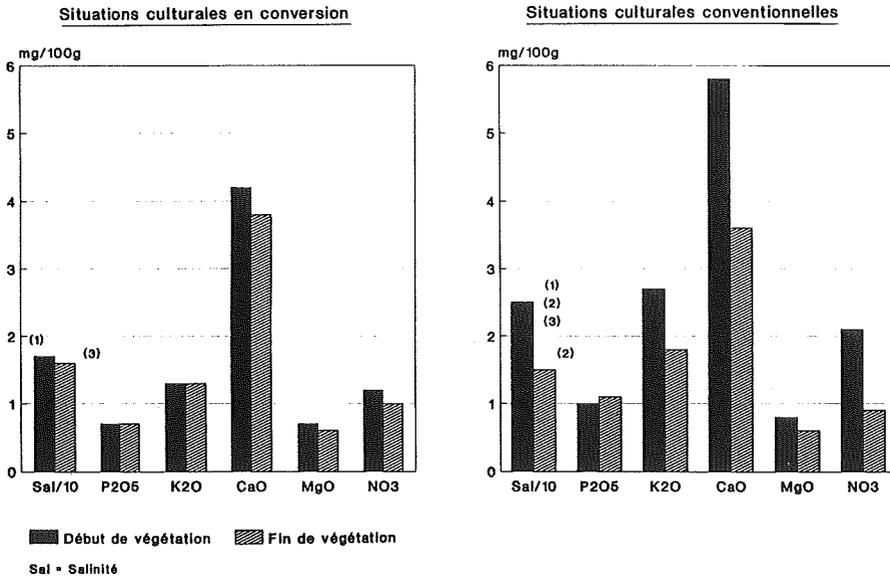
L'étude détaillée permet cependant de démontrer des différences significatives lorsque les résultats sont considérés en fonction de la période de végétation (*figures 5 et 6*):

- En début de végétation, la salinité et les paramètres hydrosolubles (*figure 5*) sont significativement plus faibles dans les situations culturales en conversion que dans les conventionnelles, alors qu'en fin de végétation, cette différence s'estompe entre les modes culturaux. Conjointement, on observe une diminution significative des teneurs entre le début et la fin de la végétation pour les sols conventionnels, ce qui n'est pas le cas pour les sols biologiques. Cette observation est à mettre en relation avec l'utilisation de fertilisants minéraux solubles introduits soit en arrière automne, soit au premier printemps en agriculture conventionnelle.
- La minéralisation du carbone organique, résultat synthétique de l'activité respiratoire (*figure 6*) est significativement plus élevée en début de végétation dans les situations en conversion que dans les situations conventionnelles: par contre, les biomasses-ATP ne révèlent aucune différence significative.

Les résultats, liés à ceux acquis dans les exploitations en croisières (*volet 1*), permettent de formuler une hypothèse du processus évolutif que subissent les sols au cours de la conversion.

Lors de la mise en œuvre des techniques culturales biologiques, l'abandon de l'utilisation des engrais minéraux solubles entraîne une diminution de la teneur en éléments

*Fig. 5.* Teneurs moyennes en éléments fertilisants solubles à l'eau dans les sols (cultures de blé, orge et pommes de terre confondues)



(1), (1), (3): Les colonnes possédant le même chiffre entre parenthèses sont significativement différentes au seuil de probabilité  $p = 0.01$ . Le test statistique n'a été effectué que sur le paramètre de synthèse salinité.

nutritifs dans la solution du sol qui se traduit par une salinité plus basse.

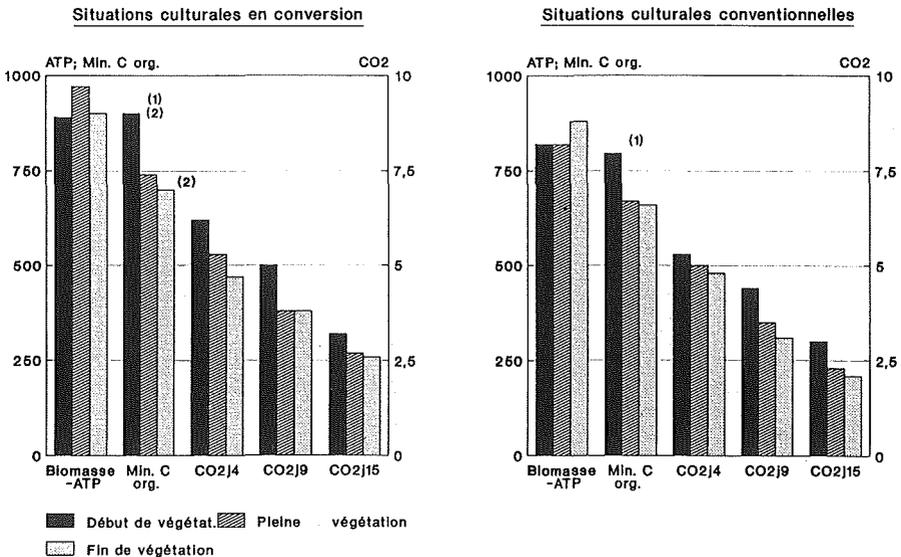
Lors du réveil de la végétation au printemps, alors que les cultures conventionnelles peuvent puiser les éléments nécessaires à leur croissance dans la solution du sol, les cultures biologiques doivent compter sur la mobilisation biologique pour subvenir à leurs besoins. L'activité biologique du sol est donc particulièrement importante à cette période, ce qui explique que la minéralisation du carbone organique y est significativement plus élevée. On comprend ainsi que l'apport d'engrais minéraux atténue le fonctionnement biologique du sol.

Au cours des années, la stimulation biologique printanière observée dans les sols des situations culturales en conversion finit par induire une réactivation générale de l'humus qui se traduit progressivement par une augmentation de la biomasse et de l'activité, pour aboutir finalement aux situations stabilisées des exploitations en croisières (volet I).

### 3.2.2 Durée probable de la conversion

Si, après 4 à 5 ans de pratiques culturales biologiques, l'équilibre des sols spécifiques à ce mode d'agriculture n'est pas encore atteint, on est en droit de se poser la question de la durée réelle de la conversion.

Fig. 6. Valeurs moyennes des caractéristiques biologiques des sols (cultures de blé, orge et pommes de terre confondues)

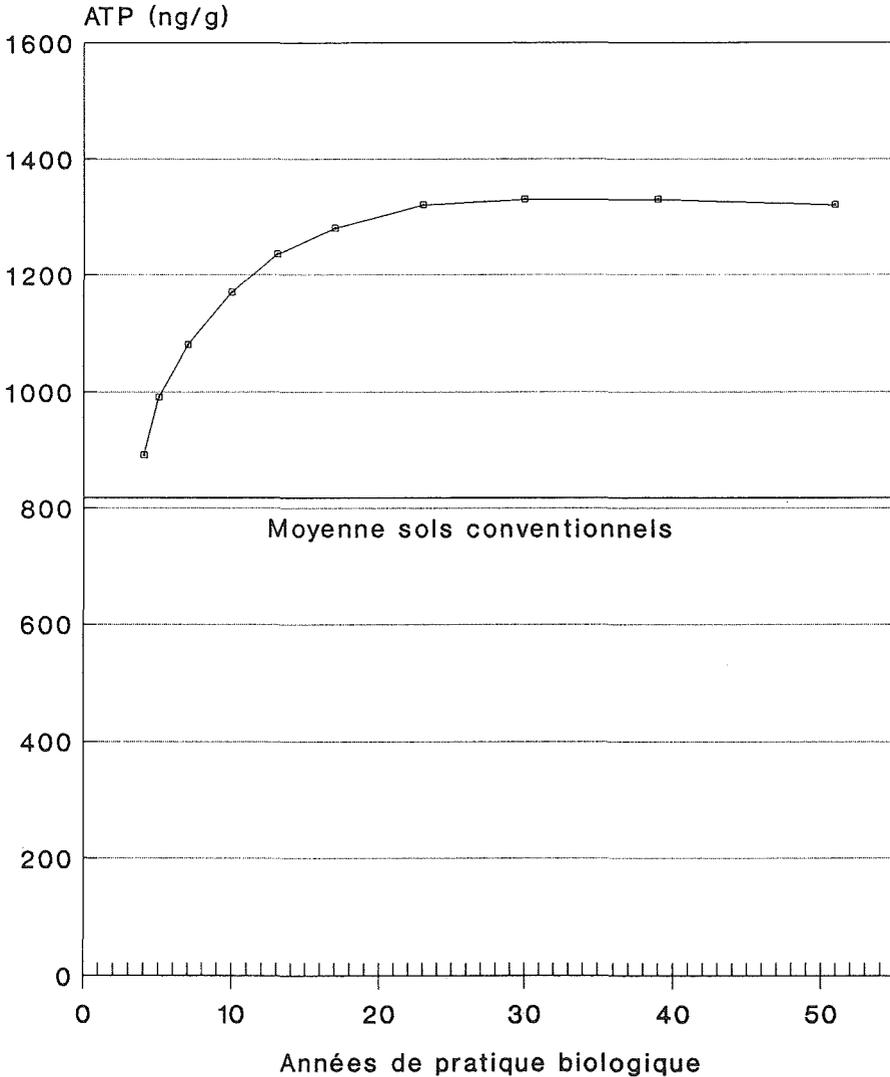


ATP: ng/g; Min. C org.: ug M.O./15j; CO2: ug CO2/g/h

(1), (2), (3): Les colonnes possédant le même chiffre entre parenthèses sont significativement différentes au seuil de probabilité  $p = 0.01$ . Le test statistique n'a été effectué que sur les paramètres de synthèse biomasse - ATP et minéralisation du C organique.

La figure 7 présente l'ajustement d'une courbe obtenue entre les années de pratique culturale biologique et la biomasse-ATP des sols. L'évolution régulière de cette courbe est ascendante pendant les huit premières années pour se stabiliser par la suite. Cette phase de stabilité (régime de croisière) n'est véritablement atteinte qu'après 20 ans environ. Ce laps de temps est largement plus long que ce qui est intuitivement admis.

Fig. 7. Ajustement d'une courbe entre le nombre d'années de pratique en mode biologique et la teneur en ATP des sols

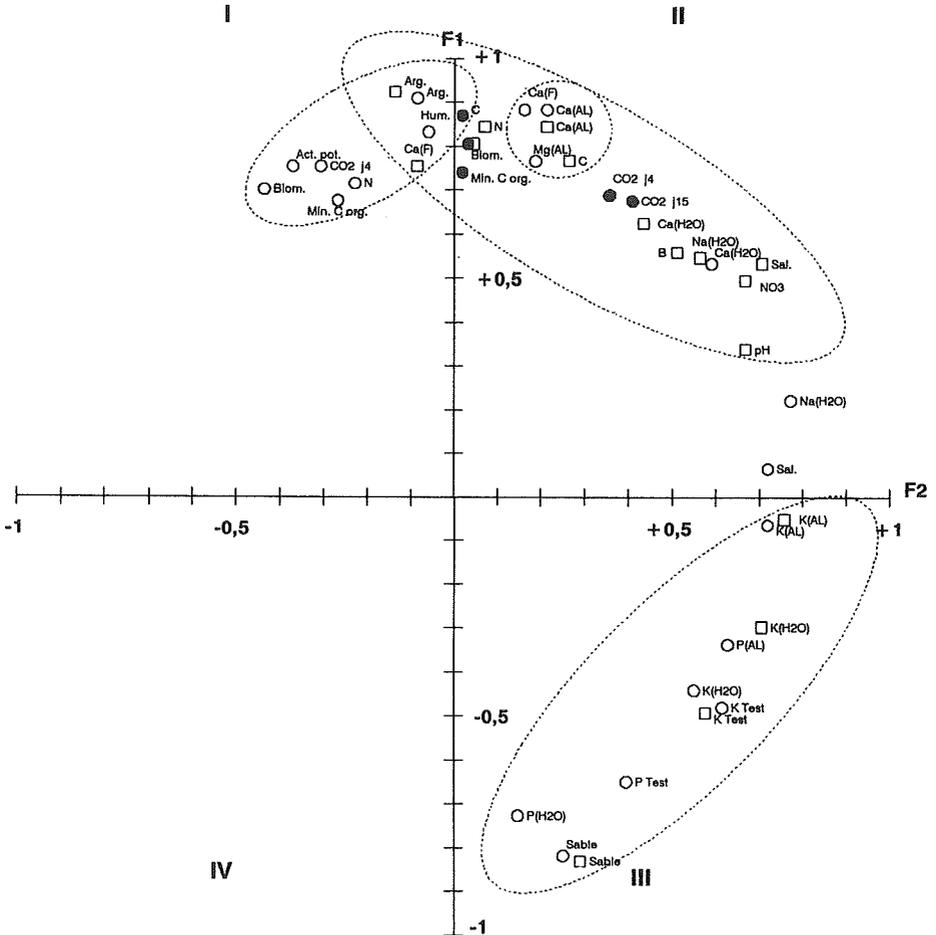


$r^2 = 0.3936$      $P = 0.01$

### 3.2.3 Importance de la prairie comme précédent culturel

La structure de l'essai a imposé une rotation précise et définie des différentes cultures étudiées. En particulier, le blé a suivi systématiquement la prairie temporaire. L'influence régénératrice de cette dernière a donc pu être mise en évidence par l'analyse en composantes principales effectuées sur les sols spécifiques à la culture de blé (figure 8).

Fig. 8. Analyse en composantes principales:  
Sols minéraux, cultivés en blé, modes culturaux confondus (25 observations)



F1: Valeur propre du vecteur = 25,07

Somme des variances expliquées par F1 = 30,2%

F2: Valeur propre du vecteur 12,89

Somme des variances expliquées par F1 et F2 = 45,7%

F3: Valeur propre du vecteur = 8,00

Somme des variances expliquées par F1, F2 et F3 = 55,4%

Légende: ○ début de végétation ● pleine végétation □ fin de végétation Variance expliquée > 50%

et ceci en fonction de la période de prélèvement:

- En début de végétation, le groupe des paramètres liés au complexe argilo-humique se détache du groupe lié aux cations. L'image fonctionnelle ainsi définie se rapproche sensiblement de celle observée dans les sols biologiques en croisière (*volet 1*).
- Pour les autres périodes de végétation, par contre, l'image fonctionnelle observée s'assimile à celle des sols conventionnels ainsi qu'à celle des autres cultures étudiées (pommes-de-terre et orge plus particulièrement).

Ce comportement particulier et unique ne peut être raisonnablement attribué qu'au précédent cultural, c'est-à-dire à la prairie temporaire. Il est plausible d'admettre que cet effet soit le résultat de l'importante masse racinaire laissée dans le sol par cette culture *après* sa destruction qui agit ainsi comme un amendement organique endogène. Celui-ci influence positivement, mais de manière très limitée dans le temps, l'équilibre fonctionnel des sols en début de végétation de la culture suivante.

### 3.3 Principaux résultats du volet 3

L'essai DOC met en jeu un grand nombre de situations différentes (8 procédés expérimentaux et 7 cultures) qui nécessitent l'accumulation de données analytiques sur de nombreuses années pour en assurer une valorisation statistique optimale.

La présente étude n'a porté que sur une seule année d'observation (1986), ce qui explique la signification limitée des résultats obtenus.

Néanmoins, les différents points suivants méritent d'être relevés:

- Le test des scores factoriels attribue une valeur discriminante aussi bien aux procédés expérimentaux (modes culturaux, niveaux de fumure) qu'aux cultures elles-mêmes (blé, orge et prairie).
- L'analyse en composante principale effectuée sur les procédés D (biologique-dynamique), confirme l'équilibre fonctionnel des sols biologiques déjà observés dans le volet 1.
- La réponse donnée par ce test statistique dans les sols conventionnels (procédés C) est moins évidente mais n'infirme pas ce qui a été présenté dans les autres volets.
- Le traitement statistique par culture révèle que la gestion du pool d'azote minéral du sol ( $\text{N-NO}_3$  et  $\text{N-NH}_4$ ) est la résultante de l'effet combiné de la culture et de la nature de la fertilisation qui lui est appliquée, en fonction de l'intensité des échanges qui s'effectuent au niveau de la rhizosphère.

## IV Conclusions

L'approche expérimentale des processus biologiques des sols, qui conditionnent et régularisent la circulation de la matière entre le milieu minéral et les plantes, est indispensable à la bonne compréhension des phénomènes abordés: aucune situation étudiée n'aurait trouvé d'explication cohérente sans l'aide des paramètres analytiques de caractérisation de la biomasse vivante et de l'activité respiratoire.

Dans ce sens, toute étude abordant analytiquement la notion de fertilité devrait obligatoirement appréhender le compartiment «vie du sol», au même titre qu'elle caractérise habituellement déjà son aspect physico-chimique.

## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Mitteilung zeigt die wichtigsten Ergebnisse einer Forschungsarbeit auf, die im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes «Boden» aufgeführt wurde. Grundsätzlich vertieft und vergleicht diese Studie das physikalisch-chemische und biologische Gleichgewicht von Böden die zwei verschiedenen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsverfahren, nämlich dem konventionellen und dem biologischen, ausgesetzt waren. Ausserdem will auch diese Mitteilung die verschiedenen Ursachen und Zusammenhänge hervorheben.

## SUMMARY

This communication is a digest of the main results of a research which was recently achieved for the Swiss national soil research program. Physico-chemical and biological status of soils cultivated under two different crops systems (traditional and biological husbandry) were analytically investigated and compared. An important objective of such a research was also to study the relationships between the enlightened phenomena.

## BIBLIOGRAPHIE

- GENDRE, F., *L'analyse statistique multivariée: introduction à son utilisation pratique.* E. Droz SA, Genève, 1976.
- MAIRE, N., Evaluation de la vie microbienne dans les sols par un système d'analyses biochimiques standardisé. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 491–500, 1987.
- MAIRE, N.; BESSON, J.-M.; SUTER, H.; HASINGER, G.; PALASTHY, A., La conversion des domaines agricoles en mode biologique: effet sur l'équilibre physico-chimique et biologique des sols. Programme national de recherche sol, Liebefeld-Berne, rapport no 43, 1990.

Schweiz. Landw. Fo.  
Recherche agronom. en Suisse 29 (1) 1990

## **Die Zulassung der Pflanzenbehandlungsmittel im Hinblick auf den umfassenden Bodenschutz, Istzustand und Ausblick**

Urs Niggli, Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil\*

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Eidg. Forschungsanstalten sind für die Prüfung und Bewilligung von Pflanzenschutzmitteln zuständig. Die Koordination dieser gesetzlichen Aufgabe liegt bei der Forschungsanstalt Wädenswil. Eine 1. provisorische Verkaufsbewilligung wird in der Regel nach 2 Jahren Prüfung erteilt, eine definitive, zeitlich unbeschränkte Bewilligung nach weiteren 1–2 Jahren. Für die Beurteilung von Nebenwirkungen auf die Umwelt arbeiten die Forschungsanstalten eng mit dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) zusammen. Die gesetzliche Grundlage der Prüfung der Nebenwirkungen von Pflanzenbehandlungsmitteln ist in der «Hilfsstoffverordnung» Art. 9, Absatz 2 mit dem einfachen Satz geregelt, dass eine Bewilligung dann erteilt werden kann, wenn «der Hilfsstoff zum vorgesehenen Gebrauch geeignet und der vorschriftsgemässe Gebrauch insbesondere *nicht wesentliche nachteilige Nebenwirkungen* zur Folge hat». Um bei der Beurteilung eines Pflanzenschutzmittels einem umfassenden Bodenschutz gerecht zu werden, müssten zahlreiche Parameter berücksichtigt werden. Wird eine neue Substanz zur Prüfung angemeldet, liegen aber erst relativ wenig «Eckdaten» vor, die den Behörden eine Risikoabschätzung ermöglichen. Diese Angaben beschränken sich auf umfangreiche Angaben zu den chemisch-physikalischen Eigenschaften des Stoffes, auf den Abbau und Metabolismus, die relative Mobilität in verschiedenen Böden unter Laborbedingungen und auf die Giftigkeit gegenüber einzelnen Bodenorganismen. Die unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführten Tests erlauben es, das Verhalten des Präparates ohne andere störende Einflüsse zu beurteilen. Sie haben aber den Nachteil, dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf Feldbedingungen übertragen werden können. Dies gilt besonders für die Mobilität und die Persistenz, aber auch für die Nebenwirkungen, wie an Hand einiger Beispiele gezeigt werden kann.

Unerwünschte Nebenwirkungen, sofern sie aufgrund der Firmendaten oder der eigenen Untersuchungen der Forschungsanstalten festgestellt werden, führen nicht unbedingt zu einer Verweigerung einer Bewilligung. Dies gilt vor allem bei Effekten auf Bodenflora und -fauna, während das Risiko einer möglichen Grundwassergefährdung in den letzten Jahren zu diversen Rückzügen von alten oder Nichtzulassung von neuen Wirkstoffen geführt hat. Vorteile und Nachteile eines Präparates werden jeweils gewichtet, wobei häufig agronomische Überlegungen den Ausschlag geben (welche Alternativen zu welchem Preis und zu welchem Aufwand stehen zur Verfügung?). Sind Präparate einmal bewilligt, ist ein Rückzug aus ökotoxikologischen Gründen eine langwierige Angelegenheit, wie einige alte Stoffgruppen mit z.T. bedenklichen Eigenschaften zeigen (Dinitrophenole und Derivate, Bipyridiliumderivate, seit mehr als 30 Jahren in Anwendung, erst seit 1990 stark eingeschränkt oder verboten).

\*) *Neue Adresse:* Forschungsinstitut für biologischen Landbau Oberwil

### **Welche Anforderungen werden in der Mittelprüfung an ein Pflanzenschutzmittel gestellt?**

Für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln ist in der Schweiz die Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil (FAW) federführend. Die Zuständigkeit erstreckt sich auf alle Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft (Feld-, Obst-, Wein- und Gemüsebau) im gärtnerischen Umfeld (Zierpflanzenbau), im Forst (forstliche Pflanzgärten, Holzlager) und im Kommunalbereich (Strassen, Bahnen, Wege, Plätze, Industrieanlagen). Die Prüfung der Gesuche wird in enger Zu-

sammenarbeit mit den Eidgenössischen Forschungsanstalten Changins, Reckenholz, Liebefeld und Tänikon durchgeführt, ebenso sind das Bundesamt für Gesundheitswesen, das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, und das Toxikologische Institut der ETH massgeblich in das Verfahren involviert.

Die gesetzliche Grundlage der Prüfung von Pflanzenbehandlungsmitteln ist in der «Hilfsstoffverordnung» Art. 9, Absatz 2 so geregelt, dass eine Bewilligung dann erteilt werden kann, wenn «der Hilfsstoff zum vorgesehenen Gebrauch geeignet und der vorschriftsgemässe Gebrauch insbesondere *nicht wesentliche nachteilige Nebenwirkungen* zur Folge hat». In Bezug auf die Beurteilung von Nebenwirkungen auf das Ökosystem, deren wichtigste Komponente der Boden und die langfristige Erhaltung dessen Fruchtbarkeit ist, verlangt die Forschungsanstalt Wädenswil vom Gesuchssteller Informationen über die in *Tabelle 1* zusammengestellten Aspekte.

*Tabelle 1:* Fragekatalog der Eidg. Forschungsanstalten an einen Gesuchssteller bei der Anmeldung eines Pflanzenschutzmittels (es sind nur in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit wichtige Kriterien erwähnt):

*Physikalisch-chemische Eigenschaften:*

- Dampfdruck
- Löslichkeit in Wasser
- Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln
- Fettlöslichkeit
- Verteilungskoeffizient in verschiedenen Lösungsmittelsystemen (n-Oktanol/Wasser)
- Stabilität
- Adsorption/Desorption am Boden
- Mobilität im Boden
- Hydrolyse

*Nebenwirkungen auf Kulturpflanzen und Folgekulturen:*

*Nebenwirkungen auf nützliche oder schädliche Organismen im Bereich der Anwendung:*

- direkte oder indirekte Beeinträchtigung nützlicher Organismen sowie der Funktionen von Bodenorganismen
- Einflüsse auf Flora und Fauna
- voraussehbare Interaktionen mit anderen Stoffen

*Metabolismus und Abbau:*

- Reaktionswege und Halbwertszeiten (Pflanze, Boden, ...)

*Ergebnisse von Rückstandsbestimmungen:*

- im Boden, im Grundwasser, ...

*Ökotoxikologische Charakterisierung:*

- Giftigkeit für Algen, nützliche Arthropoden, Anneliden, Mikroorganismen

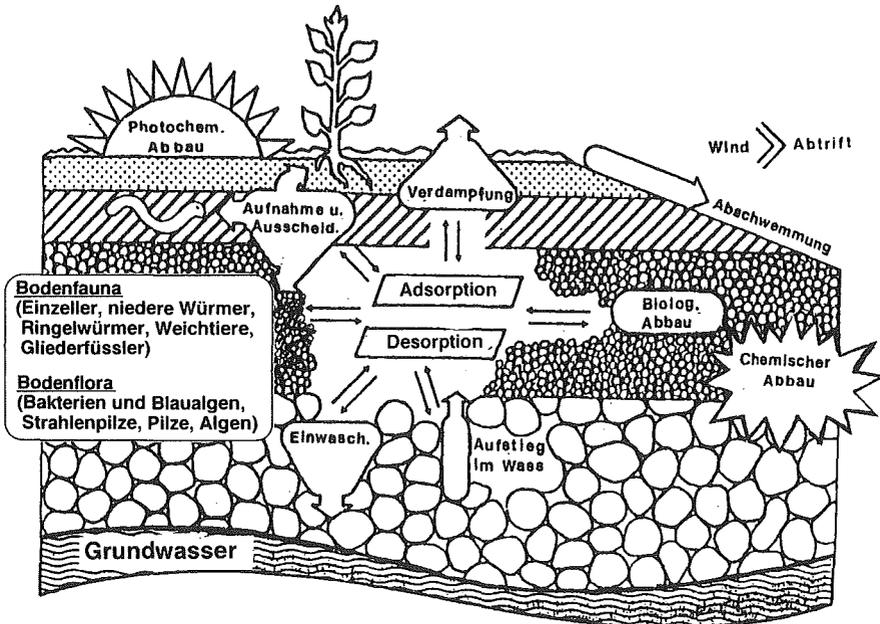
### Verhalten in der Umwelt:

- Charakterisierung betr. Grund- und Trinkwassergefährdung unter Berücksichtigung von Perkolation, Mobilität, Abbau, Anwendungsart und -häufigkeit und -zeit
- Verteilung in den Kompartimenten Boden, Wasser, Luft

### Exposition:

- Exposition der Umwelt (Boden, Gewässer, Luft)

Abb. 1. Verhalten und Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmittel im Boden (vereinfachte Darstellung der wichtigsten Untersuchungskriterien)



### Abbau und Mobilität

Um das Risiko einer Kontamination des Grundwassers und von Oberflächengewässer möglichst auszuschließen, steht bei der ökotoxikologischen Beurteilung die Mobilität und das Abbauverhalten eines Stoffes im Vordergrund (Abbildung 1). Arbeiten von LASKOWSKI et al. (1983) zeigen, dass die Halbwertszeiten von Pflanzenschutzmittel unter definierten Bedingungen im Labor in Abhängigkeit vom Bodentyp bereits beträchtlich streuen, so z.B. beim Glyphosate um den Faktor 19 (Tabelle 2). Unterschiedliche Temperatur-, Feuchtigkeitsbedingungen und Kulturmassnahmen vergrößern die Differenzen bei der Abbaugeschwindigkeit nochmals wesentlich. Nur eine umfangreiche Evaluation unter Labor- und Freilandbedingungen erlaubt deshalb eine realistische Einschätzung des Metabolismus eines Wirkstoffes im Boden.

Eine besondere Bedeutung erhält diese Problematik bei den Herbiziden, wo ein verlangsamer Abbau zu Nachbau-Einschränkungen führen kann. BEURET und NIGGLI

(1990) zeigten, dass der Abbau von Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffen (Getreideherbizide) trotz relativ kurzen Halbwertszeiten unter Praxisbedingungen unterschiedlich rasch verläuft und dass daraus bei gewissen Wirkstoffen unerwarteterweise Wachstumsdepressionen bei den Folgekulturen entstehen können.

Die Angaben über Mobilität und Abbaubarkeit sind aber auch für den engeren Bereich der Bodenfruchtbarkeit von Bedeutung, erlauben sie doch eine Abschätzung der Intensität und Dauer der Exposition: Stoffe, die im Boden extrem schnell mikrobiell veratmet werden (z.B. das Herbizid Glufosinate) oder Stoffe, die rasch fast vollständig immobilisiert sind (z.B. das Herbizid Paraquat als zweiwertiges Kation), können nur sehr kurze Zeit auf Bodenorganismen einwirken. Stoffe, die stark adsorbiert werden und wenig mobil sind (z.B. das Herbizid Pendimethalin), wirken sich nur in der sowieso stark gestörten Zone an der Bodenoberfläche aus. Persistente Substanzen, die in der Bodenwasserphase langsam in tiefere Schichten wandern und dabei noch toxische Metaboliten bilden (z.B. das Herbizid Dichlobenil), können dagegen die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig beeinflussen, falls eine solche Wirkung besteht.

Tab. 2. Der Abbau von ausgewählten Pflanzenschutzmitteln variiert bei konstanten Umweltbedingungen (im Labor) in Abhängigkeit von verschiedenen Bodentypen sehr stark (Untersuchungen von LASKOWSKI et al. 1983).

Variation in rate of degradation among surface soils for several pesticides.

Chemical	No. of soils	Range of observed differences among soils
Linuron	4	2X
Glyphosate	4	19X
Carbofuran	4	25X
Nitrilotriacetate	11	80X
Picloram	13	19X
Propyzamid	5	2X

Only experiments that expose soils to chemicals under identical conditions are cited

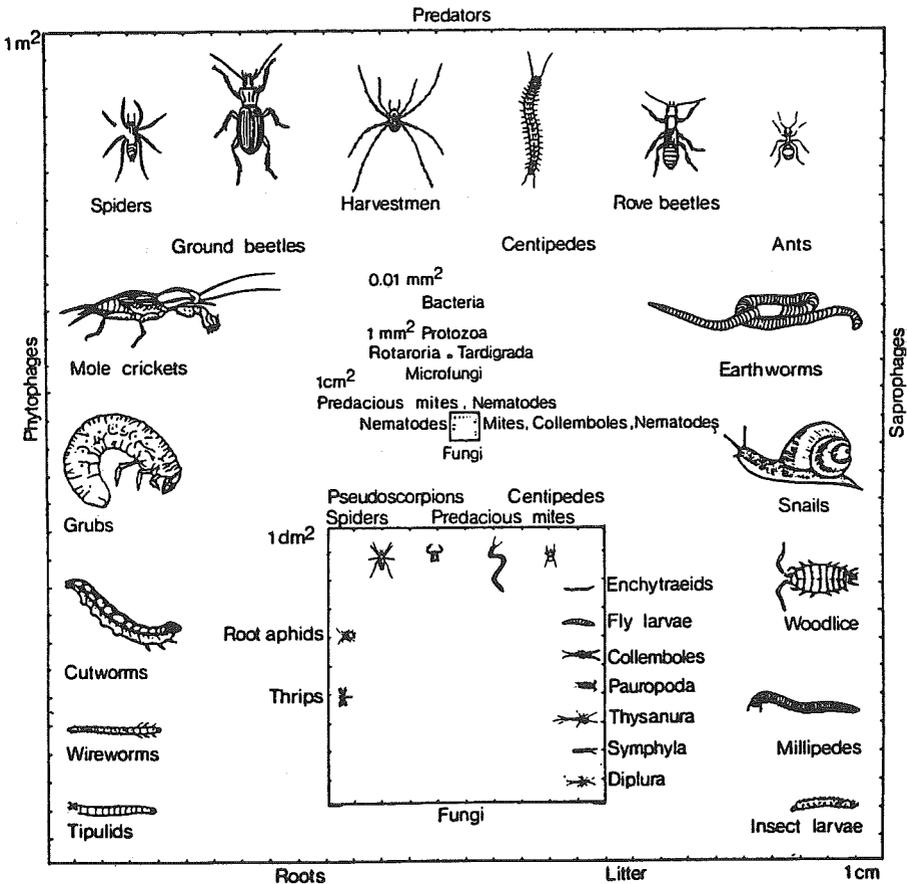
### Informationsdefizit in Bezug auf Auswirkungen auf Bodenlebewesen

Trotz einer grossen Gewichtung der Bodenproblematik sind die quantitativen und qualitativen Kenntnisse über die Auswirkungen neuer Substanzen auf die Biologie des Bodens (Flora und Fauna) zum Zeitpunkt ihrer Prüfung durch die Behörden bescheiden. Standard-Tests beziehen sich auf den Regenwurm (beziehungsweise dessen Vertreter *Tubifex tubifex* und *Eisenia foetida*) und auf die globale Aktivität der Mikroorganismen in behandelten Bodenproben (in der Regel Messung der Respiration, Ammonifikation und Nitrifikation). Selbst in der in *Abbildung 2* bereits stark vereinfachten Übersicht über die Bodenlebewesen nehmen sich diese Untersuchungsparameter bescheiden aus. Die Bodenfruchtbarkeit hängt aber, im Gegensatz zur kurzfristig durch Nährstoffe beeinflussbaren Ertragsfähigkeit, wesentlich von der Masse und Aktivität dieser in der Mittelprüfung vernachlässigten Organismen ab. Selbst wenn Risiken erkannt sind, werden oft agronomische, produktionstechnische und preisliche Vorteile eines Wirkstoffes höher eingestuft, wie BIERI und AMMON (1990) in Bezug auf den Regenwurm zeigten.

Im Vergleichsversuch DOK des *Forschungsinstitutes für biologischen Landbau* und der *Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene Liebefeld* wurde

in den konsequent pflanzenschutzmittelfreien biologischen Verfahren über mehrere Jahre in unterschiedlichen Kulturen eine deutlich höhere Regenwurm-Aktivität gemessen, als in den konventionellen Verfahren, bei annähernd gleich hoher Zufuhr von organischer Substanz (PÄRLI 1989). Im gleichen Versuch konnte PFIFFNER (1988) zeigen, dass die Aktivitätsdichte und die Artenvielfalt von räuberischen Arthropoden an der Bodenoberfläche (Carabiden, Staphyliniden und Araneae) in den biologisch bewirtschafteten Parzellen deutlich höher waren als in den konventionellen Verfahren. Die Hauptursache der Dezimierung der im Feldbau wichtiger bodengebundenen Nützlingsfauna sind direkte und indirekte Wirkungen der in der Fruchtfolge eingesetzten Pflanzenschutzmittel.

Abb. 2. Schematische Darstellung der Bodenlebewesen. Zur Beurteilung von neuem Pflanzenschutzmittel wird nur die Regenwurmtoxizität und die Abnahme der Aktivität der Mikroorganismen (Bodenatmung, Ammonifikation, Nitrifikation) berücksichtigt.



Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen auch POHL und MALKOMES (1990) in Bezug auf wichtige mikrobielle Parameter im Boden: vor allem für die Dehydrogenase-

aktivität wurden während der ganzen Vegetationsperiode deutlich höhere Werte gemessen, wenn in den Kulturen auf chemischen Pflanzenschutz verzichtet wurde. Im Küvetten-Biotest mit VA-Mycorrhiza-Pilzen stellte DEHN (1990) fest, dass die beiden Herbizide Propachlor und Alachlor aus der Gruppe der Säureamide das Mycelwachstum von unterschiedlichen Mycorrhizen-Stämmen unterschiedlich stark hemmen. NOWAK und HURLE (1990) zeigten, dass die Konzentration des Nährmediums im Biotest einen Einfluss auf die Hemmwirkung des Herbizides Afalon auf den Koloniedurchmesser des Bodenpilzes *Verticillium sp. hat*. Bei tieferen Konzentrationen (wie sie dem Nährstoffangebot des Bodens während der Vegetationszeit entsprechen), ist die Hemmung deutlich grösser.

Die wenigen zitierten neueren Untersuchungen zeigen, dass das Verhalten und die Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmittel im Boden nie abschliessend beurteilt werden können und dass erst umfangreiche und langjährige Untersuchungen eine klare Risikoabschätzung ermöglichen.

### **Schlussfolgerungen für die Mittelprüfung:**

Um den Anforderungen eines umfassenden Bodenschutzes in der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln gerecht zu werden, müssten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- keine zeitlich unbeschränkte Zulassung neuer Substanzen. Nachbeurteilung nach Vorliegen der meist zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen durch Industrie und öffentliche Forschung, die auf die Einführung neuer Substanzen in die Praxis folgen.
- klarere Definition, welche Nebenwirkungen in welchem Mass eine Bewilligung ausschliessen.
- fundierte Information der Beratung und Praxis über Verhalten und Nebenwirkungen von Pflanzenbehandlungsmitteln.
- routinemässige Durchführung von Langzeit-Versuchen durch die Forschungsanstalten über die Auswirkungen von ausgewählten Pflanzenbehandlungsmitteln auf relevanten Parameter im Boden.

### LITERATUR

- BEURET E. und NIGGLI U., 1990. Abbauverhalten verschiedener Sulfonylharnstoff-Herbizide unter Freilandbedingungen (Publikation in Vorbereitung).
- BIERI M. und AMMON H. U., 1990. Labor- und Freilandmethoden zur Prüfung der Regenwurmgefährdung durch Pestizide. *Landwirtschaft Schweiz* 3, 11–15.
- DEHN B., 1990. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil (Publikation in Vorbereitung).
- LASKOWSKI D. A., SWANN R. L., MCCALL P. J., and BIDLACK H. D., 1983. Soil degradation studies. *Residue Reviews* Vol. 85, 139–147.
- NOWAK A. und HURLE K., 1990. Abhängigkeit der Wirkung des Herbizides Afalon auf *Verticillium sp.* von Konzentration und pH des Nährmediums. *Z. PflKrank. PflSchutz, Sonderheft XII*, 367–371.
- PAERLI B., 1989. Regenwurmakktivität unter dem Einfluss verschiedener Landbaumethoden (biologisch-dynamisch, organisch-biologisch, konventionell). Semesterarbeit ETHZ (unveröffentlicht).

- PIFFNER L., 1988. Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf das Vorkommen von epigäischen Arthropoden in Winterweizenparzellen. Diplomarbeit ETHZ (unveröffentlicht).
- POHL K. und MALKOMES H.-P., 1990. Einfluss von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. Z. PflKrankh PflSchutz, Sonderheft XII, 379-388.

# Oekologische und ökonomische Auswirkungen des Bewirtschaftungssystems

F. Häni

Schweiz. Landw. Technikum, Ingenieurschule HTL, Zollikofen

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Laufe der letzten Jahrzehnte nahmen die Produktionskosten viel stärker zu als die Produktpreise. Um den Fehlbetrag auszugleichen wurden in der **konventionellen Landwirtschaft** mit hohem Mitteleinsatz Maximalerträge angestrebt («1. Weg»). Das hatte ökologisch nachteilige Konsequenzen: Verarmung der Agroökosysteme, Resistenzen gegen Pflanzenschutzmittel, Rückstände in Umwelt und Nahrung.

Seit einiger Zeit wird nach herkömmlichem, reduktionistischem Ansatz versucht, mit Einzellösungen die nachteiligen Folgen der Maximalertrags-Strategie zu mildern, beispielsweise durch den Einsatz umweltschonenderer Pflanzenschutzmittel («2. Weg»). Es bestehen auch verschiedene Lösungsansätze, die das gesamte Agroökosystem oder den landwirtschaftlichen Betrieb als Ganzes einbeziehen («3. Weg»). Das gemeinsame Ziel solcher umfassender Konzepte ist eine möglichst umweltschonende Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte hoher Qualität: Vorrangig ist die Schonung und Förderung der natürlichen Regulation und die Reduktion betriebsfremder Produktionsmittel. Die Selbststeuerung des Agroökosystems wird möglichst umfassend unterstützt, z. B. durch ökologische Ausgleichsflächen, eine krankheitsunterdrückende Fruchtfolge und schonende Bodenbearbeitung. Es existieren zwei Hauptrichtungen: (1) In der **integrierten Produktion** werden Pflanzenbehandlungsmittel nur eingesetzt, wenn im ganzen Agroökosystem keine andern wirtschaftlichen Lösungen möglich sind und die Schadschwelle überschritten ist, wobei die ökologisch und toxikologisch günstigeren Wirkstoffe bevorzugt werden. (2) Im **biologischen Landbau** wird möglichst konsequent auf synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet.

Im Rahmen eines Feldbauprojektes (genannt «Dritter Weg») zur Entwicklung umweltschonender Produktionssysteme auf Pilot-Betrieben wurden ökologische und ökonomische Kenngrößen ermittelt. Faunistische Analysen zeigten interessante Einflüsse verschiedener Einzelfaktoren, so beispielsweise eine positive Wirkung ökologischer Ausgleichsflächen und einer Restverunkrautung auf verschiedene Nützlinge. Für den Vergleich ganzer Bewirtschaftungssysteme waren der Zellulose-Abbautest und vor allem der Regenwurm-Formalintest aussagekräftiger.

**Zellulose-Abbau** in einem Zuckerrübenfeld während vier Wochen: In der integrierten Produktion (IP) 8,3 mg/cm<sup>2</sup> Filterpapier, in der konventionellen Produktion (KP) 1,9 mg/cm<sup>2</sup>.

**Durchschnittliche Anzahl Regenwürmer/m<sup>2</sup>**, 1987–1989: In der IP 125, in der KP 75, «ohne Pestizide» 116.

**Durchschnittliche Regenwurm-Biomasse/m<sup>2</sup>**, 1987 – 1989: Bei Weizen in der IP 112 g, in der KP 78 g, «ohne Pestizide» 115 g; bei Kartoffeln in der IP 96 g, in der KP 30 g.

**Die Menge eingesetzter Pflanzenbehandlungsmittel** dürfte ebenfalls ökologisch relevant sein: Im Durchschnitt aller Kulturen in der IP 1,2 Behandlungen/Jahr, in der KP 4,4 Behandlungen/Jahr (1988).

**Wirtschaftliche Vergleiche** am Beispiel Weizen, Durchschnitte von 1986 – 1989: In der IP 60,9 dt/ha, in der KP 63,9 dt/ha, «ohne Pestizide» 51 dt/ha. Direktkostenfreier Ertrag (DfE) in der KP Fr. 5358.–/ha (100%), in der IP 98,6% und «ohne Pestizide» 82,7%. Im DfE nicht berücksichtigt ist der höhere Arbeitsaufwand der Verfahren IP und «ohne Pestizide»: Zusätzliche Feldkontrollen, Probenahmen, mechanische Unkrautbekämpfung.

## Stichwörter

Integrierte Produktion, Ökologischer Landbau, «on farm research», Bewirtschaftungs-System, Ökosystem, Ökologischer Ausgleich, Bioindikator.

## 1. Einleitung

Der Landwirt befindet sich gegenüber der Natur in einer eigenartig zwiespältigen Lage. Auf der einen Seite nutzt er ihre Kräfte, auf der andern Seite ist er gezwungen, sich diesen zu widersetzen. Er schafft bewusst ökologische Ungleichgewichte, welche die Natur durch Selbstregulation ständig auszugleichen versucht. So gesehen, ist Landwirtschaft an sich «unnatürlich», obwohl sie ohne natürliche Grundlage nicht denkbar ist. Typisch für das 20. Jahrhundert ist die drastische Verschärfung dieses Gegensatzes (Dualismus) zwischen Natur und Technik.

Um der Kosten/Preis-Schere entgegenzuwirken und den Fehlbetrag beim Paritätslohnanspruch auszugleichen, um ökonomisch zu überleben, wurde der Landwirt angetrieben, die **Ertragssteigerung mit allen verfügbaren Mitteln** anzustreben («1. Weg»). Verschiedene dieser Mittel haben unerwünschte Nebenwirkungen. Ganz allgemein wird immer deutlicher, dass die Landwirtschaft sowohl Mitverursacherin als auch Opfer eines zunehmend gestörten Naturhaushaltes ist.

In dieser Situation sind heute viele Bauern bereit, neue Wege zu gehen.

Aber welche Wege? Viel wird von Ökologisierung gesprochen und man kann nur staunen, was darunter alles verstanden wird. Nachvollziehbar ist noch die Auffassung derer, die sich schon ökologisch wähnen, wenn sie in ihrem Garten die Schnecken vom Salat ablesen statt sie chemisch zu vernichten, obwohl aus der Sicht der Schnecken natürlich auch die Liquidation von Hand eine ökologische Katastrophe ist.– Unheimlich wird es dort, wo von anspruchsvollen kybernetischen und als ökologisch bezeichneten Modellen oder gar von der partiellen Neuschöpfung der Natur nichts weniger als die Rettung der Welt erwartet wird. Wäre da nicht immer noch die Haltung des Indianers zu bevorzugen, der den Baum um Vergebung bittet, bevor er ihn fällt? Der also nicht versucht, den Dualismus wegzudiskutieren (er fällt den Baum trotzdem), aber nur soviel nimmt, wie er tatsächlich braucht und der Natur ihren Eigenwert lässt. Ökologisierung sollte auch diesen grundsätzlichen Respekt vor allem Geschaffenen einschliessen, also über die Wissenschaft Ökologie im engeren Sinn hinausgehen. Sonst könnte diese sogar das Rüstzeug für eine noch raffiniertere Ausbeutung der Natur liefern.

## 2. Umweltschonende Bewirtschaftungssysteme

Seit einiger Zeit wird nach herkömmlichem, reduktionistischem Ansatz versucht, mit **Einzellösungen** die nachteiligen Folgen der Maximalertrags-Strategie zu mildern, beispielsweise durch den Einsatz umweltschonenderer Pflanzenschutzmittel («2. Weg»).

In der Praxis bestehen auch bereits verschiedene Lösungsansätze, die das gesamte Agroökosystem oder den landwirtschaftlichen Betrieb als Ganzes einbeziehen und damit eine möglichst **umfassende Ökologisierung** anstreben («3. Weg»), [17].

Ein zentrales gemeinsames Ziel solcher umfassender Konzepte ist eine möglichst umweltschonende Produktion von Nahrungsmitteln hoher Qualität: Tab. 1 ([19]). Vorrangig ist die Schonung und Förderung natürlicher Regulationsfaktoren. Die Selbstregulation des Agroökosystems wird umfassend unterstützt, z.B. durch ökologische Ausgleichsflächen, Sorten- bzw. Artenmischungen, eine krankheitsunterdrückende Fruchtfolge und eine schonende Bodenbearbeitung. Es existieren zwei Hauptrichtungen:

(1) In der integrierten Produktion (IP) werden Pflanzenbehandlungsmittel nur eingesetzt, wenn im ganzen Agroökosystem keine andern wirtschaftlichen Lösungen mög-

lich sind und die Schadschwelle überschritten ist, wobei die ökologisch und toxikologisch günstigeren Wirkstoffe bevorzugt werden.

(2) Im biologischen Landbau wird möglichst konsequent auf synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet.

Während im schweiz. Obst- und Weinbau schon seit längerer Zeit [9] und ergänzt durch neue Untersuchungen [12] recht detaillierte Kenntnisse über die ökologische Wirkung ganzer Produktionssysteme vorliegen, existieren aus dem Feldbau nur spärliche Angaben zum Gesamtsystem [3, 4, 16].

---

*Tab. 1. Umfassende Ökologisierung des landwirtschaftlichen Betriebes. Zentrale Massnahmen zur Erreichung der aufgeführten Ziele sind die Reduktion betriebsfremder Produktionsmittel (Pestizide, Dünger, Energie), eine ausgeglichene Nährstoffbilanz sowie die Bewertung und Auswahl der Verfahren nach ökologischen und toxikologischen Kriterien.*

---

### **3. Weg: Ökologische Ausrichtung des ganzen Betriebes**

Im Gegensatz zum 1. Weg (hoher «Input») und zum 2. Weg (an Einzelproblemen orientiert)

#### **Ziele**

1. Erzeugung qualitativ hochstehender landwirtschaftlicher Produkte.
  2. Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit und der natürlichen Regulationsmechanismen unter Einbezug des ganzen Agroökosystems.
  3. Schutz der Natur (Gewässer, Boden, Luft) mit ihrem Eigenwert.
  4. Sicherung eines genügenden Einkommens und einer befriedigenden sozialen Situation der Landwirte.
- 

### **3. Entwicklung der integrierten Produktion im Feldbau mit Hilfe von Pilotbetrieben (Projekt «Dritter Weg»)**

#### **3.1. Methoden**

Auf 3 Praxisbetrieben (sogenannten Pilotbetrieben, Tab. 2) wird ein definiertes, aber jährlich angepasstes Bewirtschaftungssystem für integrierte Produktion (IP) angewendet. In den Grundsätzen richtet sich diese Bewirtschaftung nach Kap. 2, in den Einzelheiten gelten Mindestanforderungen und Zielvorgaben [3].

Die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse werden mit konventionellen Betrieben verglichen (Buchhaltungsvergleiche seit 1981). Zusätzlich werden auf den Pilotbetrieben zur Erhebung ökonomischer und ökologischer Kenngrössen Vergleichsparzellen mit konventioneller Produktion (KP) und solche ohne Pestizideinsatz (O) angelegt: Abb. 1. Die Ergebnisse dieser Vergleiche und neue Erkenntnisse sowie Erfahrungen des Landwirts fliessen ständig in die weitere Planungsarbeit ein. Im Rahmen der defi-

Tab. 2. Pilotbetriebe des Projektes «Dritter Weg»

Es handelt sich um Praxisbetriebe, die möglichst konsequent nach den Zielsetzungen der integrierten Produktion bewirtschaftet werden (Kap. 2 und 3).

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Standort	Ipsach Talgebiet	Ipsach Talgebiet	Schlosswil Für Vieh: «Talzone» Für Getreide: «Übergangszone» 750 m.ü.M.
Niederschläge	450 m.ü.M. 850 – 900 mm	420 m.ü.M. 850 – 900 mm	1250 mm
Landw. Nutzfläche	16,2 ha	20,0 ha	9,7 ha
Fruchtfolge	Winterweizen Mais/Zuckerrüben Roggen (Winterweizen) Kartoffeln/Raps Winterweizen Kunstwiese Kunstwiese Kunstwiese	Winterweizen Raps Mais Winterweizen Zuckerrüben Hafer	W. Weizen/ Triticale Kartoffeln/Mais Hafer Wintergerste Kunstwiese Kunstwiese Kunstwiese Kunstwiese
Tierhaltung	19 Milchkühe, 1 – 2 Reitpferde	150 Mastschweineplätze	9 Milchkühe mit Aufzucht 8 Mutterschweine 1 Eber, 4 Mastschweine- plätze
Arbeitskräfte	Betriebsleiter (Gassner Hans), zeitweise Sohn, zeitweise Ehefrau, zeitweise Grosseltern	Betriebsleiter (Käser Martin), zeitweise Ehe- frau, zeitweise Vater	Betriebsleiter (Krähen- bühl Rudolf), zeitweise Ehefrau. Im Winter- halbjahr Nebenerwerb

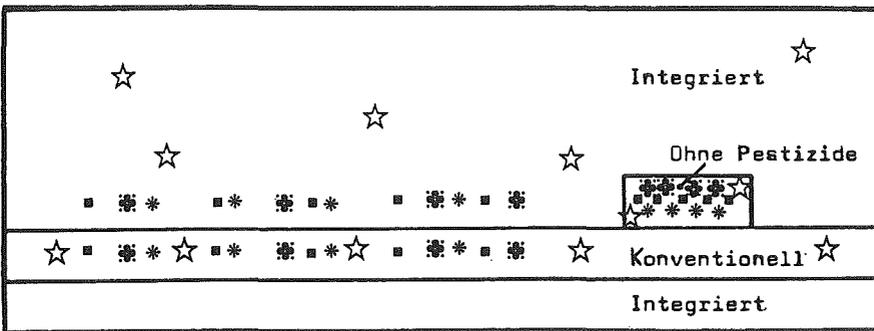


Abb. 1 Beispiel eines Versuchsfeldes auf einem Pilotbetrieb.

Auszählung der «Unkräuter», «Schädlinge», «Nützlinge», Krankheiten

■ Ertragsbestimmung (gepaarte Werte)

☼ Nachweis der Regenwürmer (je 1/4 m<sup>2</sup>) und Nematoden

\* Messung des Zelluloseabbaus

nierten Minimalanforderungen entscheidet der Landwirt über sämtliche Massnahmen. Bestimmte grundsätzliche Abklärungen werden auch auf Feldern ausserhalb der Pilotbetriebe durchgeführt.

### 3.2. Ökologische Kenngrössen

Die ökologische Gesamtbeurteilung eines Produktionssystems ist anspruchsvoll. Neben offensichtlichen Kriterien wie der Menge ausgebrachter Hilfsstoffe und den daraus resultierenden Rückständen im Boden, im Grundwasser oder in den Pflanzen können Bioindikatoren wesentliche Anhaltspunkte liefern. Mit Unterstützung zahlreicher Kollegen (siehe Verdankungen) durchgeführte Untersuchungen mit Barber-Fallen, mit einer modifizierten Berlese-Tullgren-Methode, mit Nematoden-Extraktionsgeräten, mit standardisierten Kescherfängen und Sauggeräten, usw. zeigten sehr interessante Einflüsse von ökologischen Ausgleichsflächen, Untersaaten, verschiedenen Fruchtfolgen und einer Restverunkrautung. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden: Die Unkrautflora im Weizen führte zum früheren Auftreten von Blattläusen, aber die ebenfalls geförderten Nützlinge bewirkten einen Populationszusammenbruch vor dem Erreichen der Schadenschwelle (Abb. 2 und 3). Gefördert

## Blattläuse in Winterweizen

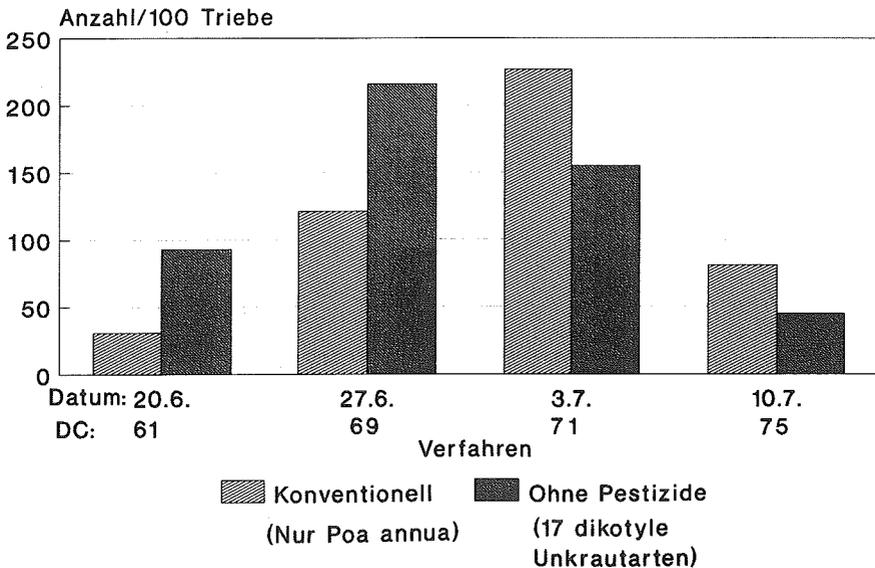


Abb. 2 Blattläuse (*Metopolophium dirhodum* und *Sitobion avenae*, am 10.7. nur noch *S. avenae*). An jedem Datum signifikante Unterschiede zwischen «Konventionell» und «Ohne Pestizide». DC: Dezimalcode des Weizenstadiums. Auftreten von Schwebfliegen in den gleichen Parzellen: siehe Abb. 3.

# Schwebfliegen in Winterweizen

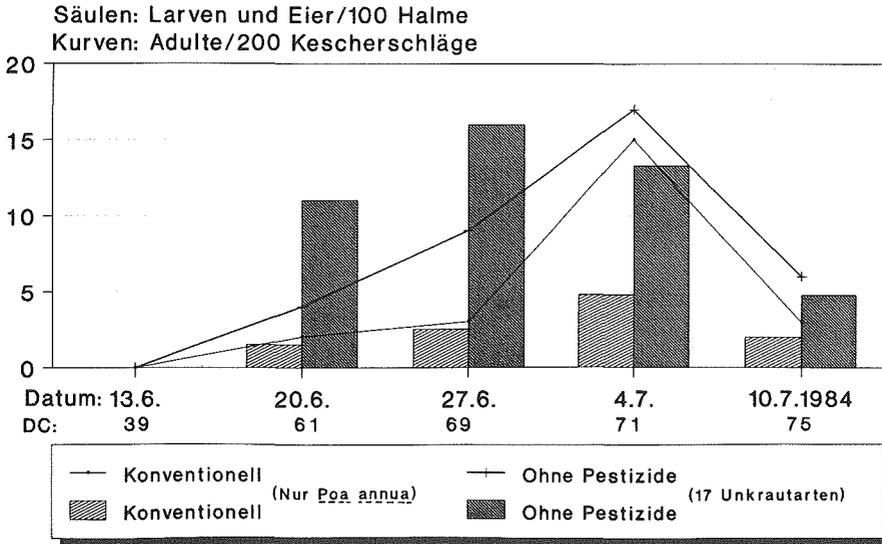


Abb. 3 Schwebfliegen (5 Arten, am häufigsten *Sphaerophoria scripta*). An jedem Datum signifikante Unterschiede zwischen «Konventionell» und «Ohne Pestizide». Auftreten von Blattläusen in den gleichen Parzellen: siehe Abb. 3

wurden Nützlinge wie Syrphiden, Staphyliniden, bestimmte Carabiden-Arten, parasitische Hymenopteren, Spinnen und Entomophytaceen. Der Einfluss von Hecken mit magerem Krautsaum war ähnlich: in angrenzenden Weizenfeldern traten Schädlinge wie Getreidehähnchen und Getreidehalmfliege und Nützlinge wie Staphyliniden, einige Carabiden-Arten, Syrphiden, Chrysopiden und parasitische Hymenopteren früher und/oder in höherer Dichte auf. Blühende Pflanzen erwiesen sich als attraktiv für Syrphiden und parasitische Hymenopteren (gute Übereinstimmung mit [8, 18, 21]).

Für den routinemässigen Vergleich der Anbausysteme stellten uns alle erwähnten Methoden vor schwierige Interpretationsprobleme. Es gab auch immer wieder Fälle, in denen die Wirkung des Gesamtsystems durch kurzfristig sich ändernde Einzelfaktoren überdeckt wurde. Manchmal traten scheinbar eindeutige Merkmale eines wünschbaren ökologischen Zustandes, z.B. eine erhöhte Vielfalt, ausgerechnet in den aus anderen Gründen nicht angestrebten Varianten (beispielsweise in einer Maismonokultur) auf [5]. Eine Reduktion pflanzenschädlicher Nematoden durch hohe Regenwurmdichten, wie von RÖSSNER berichtet [13, 14], konnten wir bisher nicht bestätigen, aber weitere Untersuchungen müssen folgen.

Als Bioindikator hat sich dagegen für den Vergleich der Produktionssysteme der Regenwurm-Formalintest bewährt [nach 11, modifiziert, vgl. 10]: Abb. 4 und 5. Interessante Ergebnisse liefert auch der Zellulose-Abbaustest nach W. Jäggi [6, modifiziert]: Abb. 6. Bei diesem Abbaustest kann die Bodenart einen grossen Einfluss haben. Da am Zellulose-Abbau viele Organismen beteiligt sind, ist die Interpretation schwierig.

Einfache Tests wie der Regenwurmtest, die nur einen relativ gut untersuchten Organismus berücksichtigen, erleichtern die Interpretation wesentlich.

Ökologisch relevant dürfte auch der drastische Unterschied im Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln sein: In der IP im Durchschnitt für Weizen 1,0 Behandlungen pro Jahr, in der KP 4,7 Behandlungen pro Jahr (1986 – 1989). Im Durchschnitt aller Kulturen sind es in der IP 1,2 und in der KP 4,4 Behandlungen pro Jahr (1988). Zudem werden in der IP-Variante geringere Düngermengen (Stickstoff) eingesetzt als in der KP-Variante.

## Regenwurmbesatz 1987-89

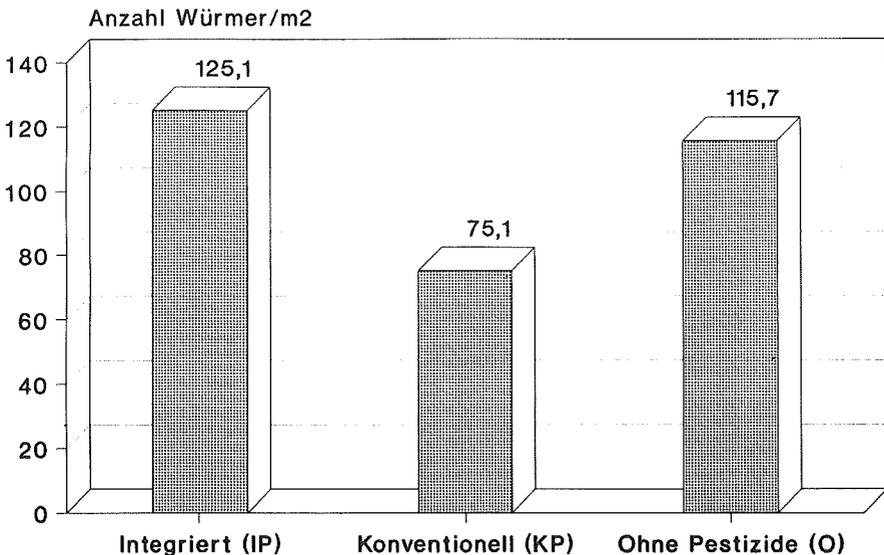


Abb. 4 Anzahl Regenwürmer (*Lumbricidae*) bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. Durchschnitte von 7 Direktvergleichen (3 mal Winterweizen, 2 mal Kartoffeln und 2 mal Mais) der Verfahren IP, KP und O zu je 4 Wiederholungen (Abb. 1) auf den Pilotbetrieben 1 und 3 (Tab. 2). Nur die Unterschiede zwischen IP und KP sowie zwischen O und KP sind signifikant ( $P < 0,01$ ).

### 3.3. Ökonomische Kenngrößen

Wenn ökologisch ausgerichtete Anbausysteme in der breiten Praxis Eingang finden sollen, müssen sie dem Landwirt ein ähnliches Einkommen ermöglichen wie der konventionelle Anbau. In einem ersten Schritt vergleichen wir deshalb die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse mit Betrieben ähnlicher Struktur (Buchhaltungsring, FAT-Zahlen). Die gesamtbetrieblichen Ergebnisse wie auch diejenigen einzelner Betriebs-

zweige entsprachen mindestens dem Durchschnitt der Vergleichsbetriebe, teilweise waren sie sogar deutlich besser [3, 4].

Bei Buchhaltungsergebnissen haben jedoch der Betrieb (Boden, Klima) und der Betriebsleiter einen grossen Einfluss. Deshalb wird die integrierte Produktion (IP) auf den Pilotbetrieben selber mit konventionellen Parzellen (KP) und solchen ohne Pestizide (O) verglichen. Tab. 3 und Abb. 7 und 8 zeigen, dass der Weizenenertrag in der KP nur unwesentlich höher liegt als in der IP, zudem sind die Direktkosten niedriger. Allerdings ist der Arbeitsaufwand in der IP und in O höher (zusätzliche Feldkontrollen, Probenahmen, Hackstriegeleinsatz). Genauere Analysen des Arbeitsaufwandes sind vorgesehen (gemeinsam mit der FAT Tänikon).

## Regenwurm-Biomasse 1987 - 1989

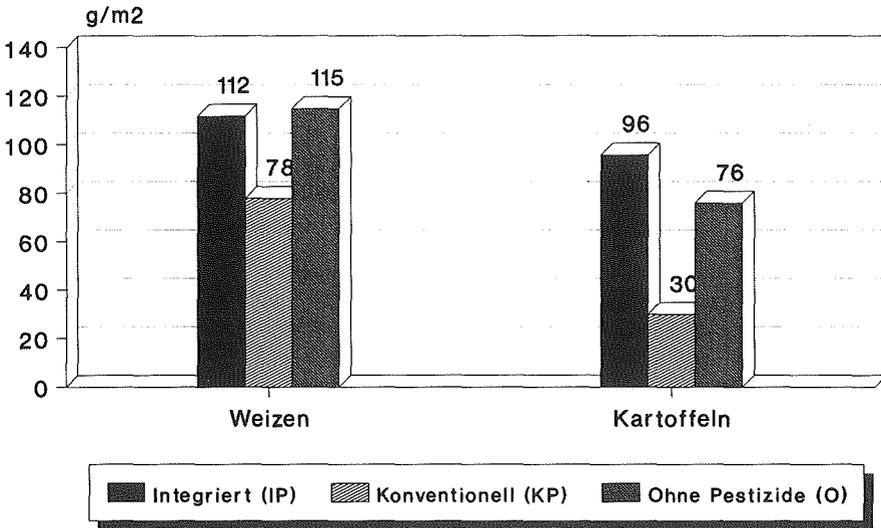


Abb. 5 Gewicht der Regenwürmer (*Lumbricidae*). Durchschnitte von je 2 Direktvergleichen der Verfahren IP, KP und O bei Weizen und Kartoffeln zu je 4 Wiederholungen (Abb. 1) auf den Pilotbetrieben 1 und 3. Bei beiden Kulturen sind nur die Unterschiede zwischen IP und KP sowie zwischen O und KP signifikant ( $P < 0,01$ ).

#### 4. Folgerungen und Ausblick

Besonders gemessen an den Regenwurm-Tests zeigten die umweltschonenden Produktionssysteme positive ökologische Wirkungen (neben anderen Kriterien wie beispielsweise geringere Mengen an Dünge- und Pflanzenbehandlungsmitteln). Es wäre sehr wünschenswert, die Wirkung des Bewirtschaftungssystems auf weitere ökologische Kenngrössen zu untersuchen. Aus unserer Sicht dürften sich dafür einfach zu untersuchende und zu interpretierende Bioindikatoren am besten eignen. – Die wirt-

# Zellulose - Abbau in Zuckerrüben

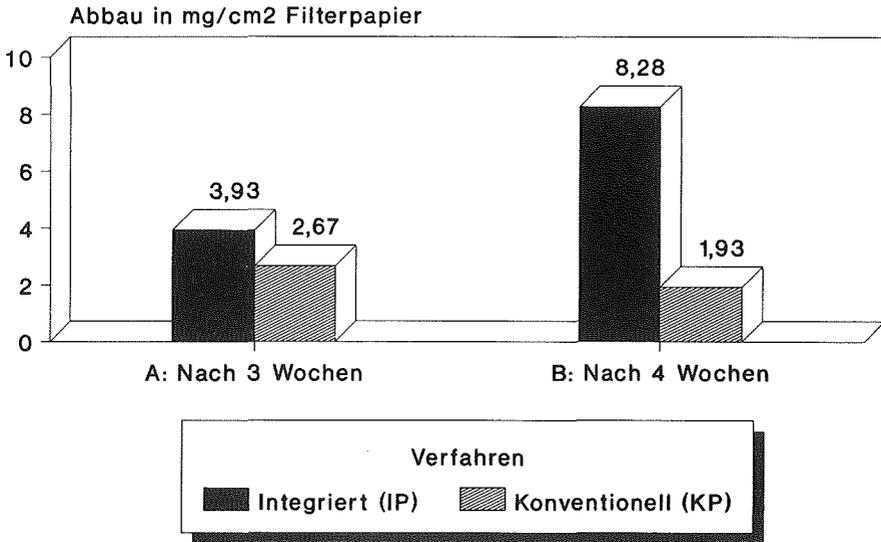


Abb. 6 Zelluloseabbau auf Pilotbetrieb 1 (Tab. 2), 1988. Am 20.4. (4 Tage nach der Zuckerrübensaart) wurden für die Abbaueiten A und B je 3 Wiederholungen zu 3 x 2 Filterpapieren (Ø 9 cm, ca. 1 g) in der obersten Bodenschicht ausgelegt (Bodenart: schwach humoser, sandiger Lehm). Nur bei Abbaueit B signifikante Unterschiede ( $P < 0,01$ ).

Tab. 3. Vergleich verschiedener Anbauverfahren von Winterweizen. Jahresdurchschnitte von 3 Pilotbetrieben (vgl. Tab. 2). Verfahren IP: Integrierte Produktion; KP: Konventionelle Produktion; O: Ohne Pestizide

	Naturalertrag			Ertrag			Direktkosten			Pflanzenschutzmittel			DfE			
	dt/ha	IP	KP	O	Fr./ha	IP	KP	O	Fr./ha	IP	KP	O	Fr./ha	IP	KP	O
1986	55,6	56,1	43,2	5782	5834	4493	1051	1317	834	175	439	0	4731	4517	3659	
1987	46,6	50,2	36,5	4986	5371	3906	832	1066	700	101	323	0	4154	4305	3206	
1988	67,5	73,3	58,6	6922	7538	6123	1050	1271	950	63	317	0	5875	6265	5173	
1989	73,8	75,8	65,6	7490	7686	6671	1113	1341	980	101	315	0	6377	6346	5690	
Durchschn.																
1986-89	60,9	63,9	51,0	6295	6607	5298	1012	1249	866	110	349	0	5248	5358	4432	

# Direktvergleiche auf Pilotbetrieben

## Ertrag Winterweizen 1986-89

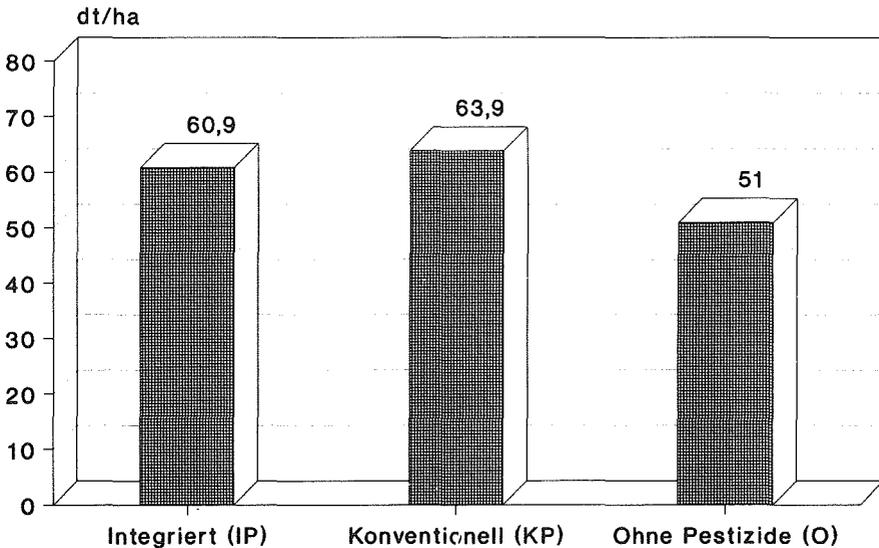


Abb. 7 Winterweizenerträge auf den 3 Pilotbetrieben (Tab. 2). Durchschnitte von 11 Direktvergleichen der Verfahren IP, KP und O zu je 5 Wiederholungen (Abb. 1).

schaftlichen Erhebungen zeigten ebenfalls ermutigende Ergebnisse für die umweltschonenden Varianten. Allerdings braucht es hier noch genauere Erhebungen des erhöhten Arbeitsaufwandes.

Erfreulicherweise gibt es in der Forschung, Beratung und Praxis zahlreiche Anstrengungen für eine umweltschonende Landwirtschaft. In verschiedenen Kantonen wurde ein Netz von Pilotbetrieben und Beratungsgruppen für integrierte Produktion aufgebaut und die Fortschritte in der Entwicklung und Einführung des biologischen Landbaus sind unverkennbar. Ebenfalls sind Ansätze zur dringend nötigen Koordination der verschiedenen Bemühungen feststellbar (beispielsweise beim Bundesamt für Landwirtschaft und beim Schweizerischen Bauernverband). Dagegen gibt es im schweizerischen Feldbau nach wie vor nur eine bescheidene Forschung zur Entwicklung umweltschonender Produktionssysteme auf Betriebsebene. Das ist erstaunlich, vor allem wenn man sieht, wie in verschiedenen Ländern Europas [20] und auch in den USA [15] die Systemforschung («Farming Systems Research») vorangetrieben wird. Es bleibt zu hoffen, dass diese Forschungslücken rasch geschlossen werden. Jedenfalls ist der Schweizer Landwirtschaft nicht zu wünschen, dass sie unter härteren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (EG 92 und GATT-Verhandlungen) ihren vielleicht einzigen wirklichen Trumpf – die umweltschonende Produktionsweise – aufs Spiel setzt oder diesbezüglich gegenüber EG-Ländern sogar ins Hintertreffen gerät.

# Direktvergleiche auf Pilotbetrieben

## Ertrag, Direktkosten und DfE bei WW

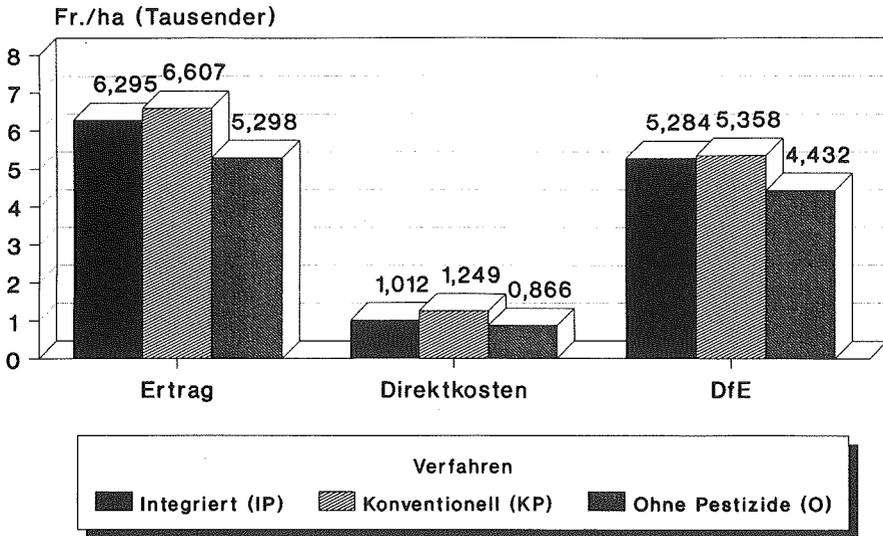


Abb. 8 Ertrag, Direktkosten und direktkostenfreier Ertrag (DfE) von Winterweizen (WW), 1986 – 1989, auf den 3 Pilotbetrieben (Tab. 2). Durchschnitts von 11 Direktvergleichen der Verfahren IP, KP und O zu je 5 Wiederholungen (Abb. 1).

Die postulierte stärkere Einbeziehung der Natur in die landwirtschaftliche Produktion ist nicht das einzige Lösungsmodell für die anstehenden Probleme. Im EG-Raum werden wegen der Überproduktion bedeutende Flächen der traditionellen landwirtschaftlichen Produktion entzogen [7] und z. B. in Naturschutzreservate überführt, wobei bisher die verminderte Produktion mindestens teilweise durch eine Intensivierung auf den verbleibenden Flächen wieder ausgeglichen wurde. – Sicher ist die Ausscheidung zusätzlicher Flächen für den Naturschutz wertvoll und sinnvoll. Wird jedoch dieses Vorgehen zum Prinzip erhoben, offenbart es seinen schizophrenen Charakter: Auf der einen Seite ökologisch «güte» (Naturschutz), auf der andern Seite «schlechte» Flächen (intensive Landwirtschaft).

Ein wirklich umfassender Bodenschutz im landwirtschaftlichen Bereich scheint nur unter Einbezug des gesamten Agroökosystems und des ganzen landwirtschaftlichen Betriebes möglich und sinnvoll zu sein («3. Weg»). Die Frage ist nur, ob dieses Modell sich in Zukunft durchsetzen wird. Es hat jedenfalls nur eine Chance, wenn die Leistungen der Landwirte (inklusive ökologische Sonderleistungen) entsprechend honoriert werden. Wie die Leistungs-Abgeltung erfolgen soll, ist eine politisch zu lösende Frage und verschiedene Möglichkeiten sind denkbar.

Der grössere Arbeitsaufwand für eine umweltschonende Produktion kann nur teilweise durch höhere Marktpreise (vor allem realisiert bei biologischen Produkten) ab-

gegolten werden. Um den verbleibenden Fehlbetrag auszugleichen und gleichzeitig den Anreiz zur weiteren Produktionssteigerung («1. Weg») zu vermindern, drängt sich eine stärkere Trennung von Preis- und Einkommenspolitik auf [vgl. 2]. Dies kann durch leistungs- und flächengebundene Ausgleichszahlungen geschehen. Um mit diesem Ansatz nicht nur eine Scheinlösung («2. Weg») zu erreichen und sofort neue Ungerechtigkeiten zu schaffen, sollten solche Zahlungen vor allem an gesamthaft umweltschonend produzierende Betriebe geleistet werden. Aus grundsätzlichen Überlegungen sind Ausgleichszahlungen für die Ausscheidung und Pflege ökologisch wertvoller Flächen nicht in erster Linie nach der Qualität (z. B. der Vielfalt) solcher Standorte abzustufen, sondern nach dem Pflegeaufwand und dem Ertragsverlust. Die «Qualität» ist nämlich nur zu einem kleinen Teil durch den Landwirt beeinflussbar. Wenn heute in diesem Zusammenhang häufig vom neuen Produktionszweig «Natur» gesprochen wird, wirft das ein Schlaglicht auf die dahinterstehende Geisteshaltung, die recht bedenklich anmutet. Natur können wir nicht produzieren, sondern bestenfalls bewahren und fördern. So wirkt auch der sicher gutgemeinte Buchtitel eines neuen und im übrigen sehr lesenswerten Buches, «*Natur aus Bauernhand*» [1], auf den ersten Blick sympathisch, bei näherer Betrachtung entpuppt er sich als Blasphemie.

Die Bauern selber sprechen kaum davon, Natur zu produzieren. Viele haben diesbezüglich vielmehr intuitiv ein Unbehagen und wehren sich dagegen, zu ausschliesslichen Landschaftsgärtnern abgestempelt zu werden. Sie möchten in erster Linie den Boden mit Kulturpflanzen «bebauen», also Bauern sein. Zahlreich sind diejenigen, die bereit sind, dabei noch mehr als bisher die Natur einzubeziehen, wenn sie die nötige Unterstützung von der Forschung und Beratung erhalten und wenn man ihnen den gerechten Lohn für ihre Gesamtleistung nicht vorenthält.

Die Voraussetzungen für die Schweizer Landwirtschaft, auch unter neuen gesamt-europäischen Rahmenbedingungen auf dem Inlandmarkt zu bestehen, sind günstig. Der über lange Zeit erarbeitete Ökologierungsgrad ist hoch und weitere Anpassungen sind möglich. Die Beachtung ökologischer Anliegen gewinnt bei den Konsumenten an Bedeutung. Auch in der Forschung kann auf gute Grundlagen aufgebaut werden.

Wünschbar wäre eine konsequente Nutzung dieser günstigen Voraussetzungen. Es ist zu hoffen, dass in nächster Zeit Rahmenbedingungen geschaffen werden, die den Schweizer Bauern auch in Zukunft eine ökologisch ausgerichtete Produktion ermöglichen und diese sogar fördern.

## Verdankung

M. Bieri (ETH Zürich), J. Derron (RAC Changins), R. Büchi, Ch. Högger, W. Jäggi, S. Keller (FAP Reckenholz), Ch. Keimer (Station phytosanitaire, Jussy-Genève), H. Suter (FIBL Oberwil), J. Zettel (Univ. Bern) danke ich für die Unterstützung bei den durchgeführten Untersuchungen, E. F. Boller (FAW Wädenswil), M. S. Wolfe (ETH Zürich), A. El Titi (Pflanzenschutzamt Stuttgart), P. Vereijken (CABO Wageningen) für die Beratung und Korrekturvorschläge.

## RESUME

*Conséquences écologiques et économiques du système d'exploitation*

Au cours des dernières décennies, les frais de production ont augmenté beaucoup plus fortement que les prix à la production. Afin de compenser le manque à gagner, **l'agriculture conventionnelle** a recherché des rendements maximaux en engageant de grands moyens (1<sup>ère</sup> voie). Ceci a eu des conséquences écologiques néfastes: appauvrissement des systèmes agroécologiques, résistances contre des produits antiparasitaires, résidus dans l'environnement et la nourriture.

Depuis quelques temps, on essaie d'atténuer les inconvénients de la stratégie du rendement maximum en appliquant des solutions ciblées, basées sur une approche traditionnelle, mais plus restrictive, comme l'emploi de produits antiparasitaires ménageant l'environnement (2<sup>ème</sup> voie). Il existe également divers concepts qui tiennent compte de l'ensemble de l'agro-écosystème ou de l'exploitation agricole comme une entité (3<sup>ème</sup> voie). L'objectif commun poursuivi par de tels concepts globaux est une production la moins polluante possible de denrées agricoles de haute qualité: en priorité on cherche à préserver et favoriser la régulation naturelle et à réduire l'emploi de moyens de production étrangers à l'exploitation. L'autorégulation de l'agro-écosystème est soutenue dans une mesure aussi large que possible, par exemple par des zones de compensation écologique, un assolement empêchant la propagation des maladies et un travail du sol effectué avec ménagements. Il existe deux directions principales: Premièrement, **la production intégrée** dans laquelle les produits de traitement des plantes ne sont utilisés que si, dans tout le système agroécologique, aucune autre solution économique n'est possible et que le seuil de tolérance est dépassé, les matières actives les plus avantageuses du point de vue écologique et toxicologique étant privilégiées. Deuxièmement, **l'agriculture biologique** qui renonce de façon aussi conséquente que possible à tout produit phytosanitaire synthétique.

Dans le cadre d'un projet de culture des champs (nommé «Troisième voie») en vue de développer des systèmes de production ménageant l'environnement sur des exploitations-pilote, on a déterminé certains critères écologiques et économiques. Des analyses générales de la faune ont montré d'intéressantes influences des divers facteurs isolés, comme un effet positif des zones de compensation écologique et d'un reste de mauvaises herbes sur divers auxiliaires. Pour comparer des systèmes d'exploitation entiers, le test de décomposition de la cellulose et avant tout le test à la formaline des vers de terre ont été révélateurs.

**Décomposition de la cellulose** dans un champ de betteraves à sucre pendant quatre semaines: en production intégrée (PI), 8,3 mg/cm<sup>2</sup> de papier filtre; en production conventionnelle (PC): 1,9 mg/cm<sup>2</sup>.

**Nombre moyen de vers de terre/m<sup>2</sup>**, 1987 – 1989: en PI, 125; en PC, 75; «sans pesticide», 116.

**Biomasse moyenne des vers de terre/m<sup>2</sup>**, 1987 – 1989: dans le blé en PI, 112 g; en PC, 78 g; «sans pesticide», 115 g; dans les pommes de terre en PI, 96 g; en PC, 30 g; «sans pesticide», 76 g.

**La quantité de produits phytosanitaires utilisée** devrait également avoir une signification importante du point de vue écologique. A la moyenne de toutes les cultures, on a procédé à 1,2 traitements/année en PI et à 4,4 traitements/année en PC (1988).

**Comparaisons économiques** à l'exemple du blé, moyennes de 1986 – 1989: en PI, 60,9 dt/ha, en PC, 63,9 dt/ha, «sans pesticide», 51 dt/ha. Marges brutes en PC, Fr. 5358.-/ha (100%); en PI, 98,6% et «sans pesticide», 82,7%. Le besoin en travail est plus élevé en PI et «sans pesticide». Ce sont par exemple des contrôles supplémentaires des champs, des prélèvements d'échantillons, la lutte mécanique contre les mauvaises herbes.

*Mots-clés*

production intégrée, agriculture écologique, «on farm research», système d'exploitation, écosystème, zone de compensation écologique, bioindicateur

## ABSTRACT

*Ecological and economic consequences of farming systems*

In the course of the last decades product costs have risen much more steeply than have returns. In order to compensate for this deficit, **conventional agriculture** strives for maximum yield through high input (the 1<sup>st</sup> way). This has ecological disadvantages: impoverishment of the agro-ecosystem; pesticide resistances; residues in the environment and food.

For some time conventional reductionist approaches have been looked for to reduce, by single solutions, the disadvantages of the maximum yield strategy. For example, environmentally safer pesticides were applied (the 2<sup>nd</sup> way). However, alternative solutions also exist which take into account the whole agro-ecosystem or agricultural enterprise (the 3<sup>rd</sup> way). The general objective of this type of comprehensive, holistic approach is the production, by means of environmentally sound methods, of agricultural products of high quality. Of prime importance is the care and promotion of natural regulation and the reduction of alien materials. As far as possible, self-regulation of the agro-ecosystem should be supported, for example through areas for ecological compensation (e.g. unmanured marginal biotopes), disease-reducing rotations and careful soil cultivation. There are two main holistic approaches: (1) In the **integrated farming system** plant treatment products are used only if the economic threshold has been passed and there is no other economic solution possible in the whole agro-ecosystem. The active substances are selected on ecological and toxicological criteria. (2) In **organic agriculture** synthetic pesticides are not used.

In the course of a research project (called the 3<sup>rd</sup> way) concerned with the development of environmentally favourable farming systems on arable and mixed pilot farms, ecological and economic criteria were determined. Analysis of the fauna showed interesting influences of different single factors, for example, a positive effect of unmanured biotopes adjacent to cultivated fields and of residual weeds on different beneficial insects. For comparisons in the whole farming system most significant were the cellulose decomposition test and, in particular, the earthworm formalin test.

**Cellulose decomposition** in a field of sugar beet in the course of four weeks: in the integrated farming system (IFS) 8.3 mg/cm<sup>2</sup> filter paper, in the conventional farming system (CFS), 1.9 mg/cm<sup>2</sup>.

**Average number of earthworms**, per square metre 1987–89: IFS 125; CFS 75; without pesticide 116.

**Average earthworm biomass**, per square metre, 1987–89: under wheat: in the IFS 112 g, in the CFS 78 g, without pesticide 115 g; under potatoes: in the IFS 96 g, in the CFS 30 g, without pesticide 76 g.

**The number of plant treatments applied is also of ecological relevance**: on average, for all crops in the IFS 1.2 per year; in the CFS 4.4 per year (1988).

**The economic comparison** for wheat averaged for 1986–89: in the IFS 60.9 dt/ha, in the CFS 63.9 dt/ha, without pesticide 51 dt/ha. The direct margin <sup>1)</sup> in the CFS is sFr. 5358 per ha (100%), in the IFS 98.6%, without pesticide 82.7%. The labour costs are higher in the IFS and without pesticide: extra field checking, sampling and mechanical weed control.

<sup>1)</sup> Financial yield minus direct costs comprising seed, fertilizer, pesticides, insurance.

*Key words*

Integrated farming; ecological farming; on farm research; farming systems; ecosystem; ecological compensation; bioindicator.

## LITERATUR

- 1 AMSTUTZ, M., DICK, M., HUFSCHEID, N.: Natur aus Bauernhand. Ein Leitfaden zur ökologischen Landschaftsgestaltung. FIBL, Oberwil, 93 S., 1990.
- 2 DIERCKS, R.: Alternativen im Landbau. Ulmer, Stuttgart, 379 S. <sup>2</sup>1986.
- 3 HÄNI, F.: The Third Way, a research project in ecologically orientated farming systems in Switzerland. OILB-SROP-Bullet. XII, 5, 51-66, 1989.
- 4 HÄNI, F., RAMSEIER, H.: Ein Praxisbeispiel bestätigt: Integrierter Anbau lohnt sich. UFA-Revue 9, 18-20, 1987.
- 5 HASINGER, G.: Vergleichende Bestandesaufnahme der Bodenarthropoden auf Parzellen mit 2-, 4- und 9-jähriger Maismonokultur. Diplomarbeit am Schweiz. Landw. Technikum, Zollikofen, 1985 (unpubliziert).
- 6 JÄGGI, W.: Bestimmung des Zellulose-Abbaus im Boden im Freilandversuch, FAP Reckenholz, 3 S., 1989 (unpubliziert).
- 7 KIECHLE, I. (ed.): Flächenstilllegung – Ein neuer Weg in der EG. Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 11 S., 1988.
- 8 KNAUER, N., SCHRÖDER, H.: Bedeutung von Äckern in Agrar-Ökosystemen. Reihe A, Heft 365, Landw. Verlag, Münster-Hiltrup, 3-30, 1988.
- 9 MATHYS, G., BAGGIOLONI, M.: Etude de la valeur pratique des méthodes de lutte intégrée dans les cultures fruitières. Agriculture romande VI (3), A, 27-50, 1967.
- 10 RAMSEIER, H.: Les vers de terre: bio-indicateurs de la fertilité du sol. Revue UFA 2, 47-49, 1989.
- 11 RAW, F.: Estimating earthworm population by using formalin. Nature 184, 1661-1662, 1959.
- 12 REMUND, U., NIGGLI, U., BOLLER, E. F.: Faunistische und botanische Erhebungen in einem Rebberg der Ostschweiz. Landwirtschaft Schweiz 2 (7), 393-408, 1989.
- 13 RÖSSNER, J.: Einfluss von Regenwürmern auf phytoparasitäre Nematoden. Nematologica 27, 340-358, 1981.
- 14 RÖSSNER, J.: Regenwürmer als mögliche natürliche Feinde von phytoparasitären Nematoden. 14. Tagung Arbeitskreis Nematologie, Deutsche Phytomed. Gesellschaft, S. 5, Würzburg 1986.
- 15 SCHROTH, M. N., PESEK, J. (CHAIRMAN) et al.: Alternative agriculture. National Academy Press, Washington D. C., 448 S., 1989.
- 16 SCHWARZ, A.: Regenwurmerhebungen und Arthropodenaktivität 1988/89. Kant. Zentralstelle für Pflanzenschutz, Salez, 9 S., 1990 (unpubliziert).
- 17 Schweiz. Gesellschaft für Phytomedizin (div. Autoren): Analyse von 19 Anbaurichtlinien, 35 S., 1989.
- 18 STECHMANN, D. H., ZWÖLFER, H.: Die Bedeutung von Hecken für Nutzarthropoden in Agrarökosystemen. Reihe A, Heft 365, Landw. Verlag, Münster-Hiltrup, 31-55, 1988.
- 19 SUTER, H. et al.: Ökologisierung der Landwirtschaft – Ein Leitfaden. Konzeptstudie im Auftrag der Schweiz. Gesellschaft für Umweltschutz und der Schweiz. Stiftung zur Förderung des biologischen Landbaus, 321 S., 1989.
- 20 VEREIKEN, P., ROYLE, D. J. (eds.) et al.: Current status of integrated farming systems research in Western Europe. OILB-SROP-Bullet. XII (5), 76 S., 1989.
- 21 WELLING, M. et al.: Förderung von Nutzinsekten durch Wildkräuter im Feld und im Feldrain als vorbeugende Pflanzenschutzmassnahme. Reihe A, Heft 365, Landw. Verlag, Münster-Hiltrup, 56-82, 1988.

# Die Bodenfruchtbarkeit und deren Beeinflussung durch den Menschen

## Nachwort

Ein Hauptziel, das mit der gemeinsamen Tagung der drei Organisationen verbunden war, bestand darin, dem Begriff der Bodenfruchtbarkeit in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise näher zu kommen. Es sollte vor allem sichtbar werden, dass die Bodenfruchtbarkeit das Zusammenwirken verschiedener Funktionen des Bodens aus den Bereichen der Bodenphysik, -chemie und -biologie sowie der Vegetation umfasst. Mit der Tagung war letztlich auch die Hoffnung verbunden, das vermittelte Wissen finde in der Praxis eine optimale Umsetzung.

Ohne die Erfüllung der längerfristigen Zielsetzung vorweg nehmen zu wollen, darf gesagt werden, dass es fürs erste gelungen ist, Fachleute aus den verschiedensten Disziplinen zusammen zu bringen (Pedologen, Herbologen, Biologen, Chemiker u.a.). «Boden» ist heute ein Thema, indem gegen 300 Teilnehmer der Einladung für die Tagung gefolgt sind. Besonders hervorzuheben ist die Aussage mehrerer Referenten, die auf die Bedeutung biologischer Messungen zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit hingewiesen haben. Allerdings erkannte man auch gerade in diesem Zusammenhang wesentliche Wissenslücken bezüglich Wahl der Methoden und Bedingungen, unter denen sie durchzuführen sind.

Es liegt wohl an der starken Beachtung, die man Umweltbelastungen heute beimisst, dass der Grossteil der Vorträge sich mit der Bedrohung der Bodenfruchtbarkeit als Folge anthropogener Einwirkungen befasste. Dadurch dürfte die Auseinandersetzung mit landwirtschaftlichen Anbausystemen zur Erhaltung bzw. Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit zu kurz gekommen sein. Als weitere Lücke ist zu erwähnen, dass leider kein Referent für die Problematik der Waldböden gewonnen werden konnte.

Auch wenn der Begriff der Bodenfruchtbarkeit noch immer schwer zu fassen ist und weiterhin ein grosser Forschungsbedarf besteht, darf uns dies nicht dazu verleiten, die Umsetzungsarbeit mit dem Argument «man wisse ja sowieso viel zu wenig» zu verzögern. An positiven Gegenbeispielen zu einer solchen Haltung seien die Herausgabe einer provisorischen Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit durch die landwirtschaftlichen Forschungsanstalten Wädenswil, Liebefeld, Reckenholz und Changins, unter Mitwirkung der kantonalen Bodenschutzfachstellen und des BUWAL, oder der Aufbau eines Koordinationsdienstes für naturnahe Landwirtschaft am Bundesamt für Landwirtschaft genannt.

Rudolf Häberli  
Nationales Forschungsprogramm «Boden»

Jürg Burkhard  
Schweiz. Gesellschaft für Phytomedizin

Heinz Häni  
Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz

BGS: Jahresbericht 19891. Tagungen und Exkursionen1.1 Jahrestagung und Generalversammlung

Die Jahrestagung und GV fanden am 2./3. März 1989 am Schweizerischen Landw. Technikum in Zollikofen statt. Die Tagung stand unter dem Motto "Bodenanalytik" (10 Referate / 7 Poster). Die beiden Hauptvorträge wurden von Prof. Stahr (Universität Hohenheim, Stuttgart) und Prof. Fiedler (Technische Universität Dresden) gehalten. Die Tagung, die von 115 Teilnehmern besucht wurde, vermittelte über methodische Entwicklungen (inkl. Bodenphysik), Fragen der Mobilität von Nährstoffen und Spurenelementen, Probleme der Probenahme, Homogenität und Kontamination ein recht umfassendes Bild aktueller bodenanalytischer Aspekte.

Die GV stimmte den Wahlvorschlägen des Vorstandes zu:

- Heinz Häni, FAC Liebefeld (Präsident)
- Jean-Pascal Dubois, EPFL (Vizepräsident)
- Peter Lüscher, WSL Birmensdorf (Beisitzer)
- Luc-François Bonnard, FAP Reckenholz (Sekretär)
- Alfred Kaufmann, Jegenstorf (Kassier)

1.2 Jahresexkursion

Die Exkursion führte am 1./2.9. 89 ins Grimselgebiet (65 Teilnehmer). Für einmal standen mehr geologische als pedologische Aspekte im Vordergrund (Besuch des Felslabors der NAGRA). Einen besonderen Höhepunkt bildete die Besichtigung der Kristallklüft. Im Zusammenhang mit der geplanten Kraftwerkserweiterung der KWO spielten Diskussionen um die UVP eine zentrale Rolle. Bodenkundler dürften künftig vermehrt zu solchen Gutachtertätigkeiten beigezogen werden.

2. Publikationen

- BGS-Bulletin Nr. 13 mit Publikationen der Jahrestagung vom 2./3. März in Zollikofen (Redaktion: M. Müller, Juris Druck, Zürich, 180 Seiten)
- BGS-Dokument Nr. 4: Lysimeterdaten von schweizerischen Messstationen, Arbeitsgruppe Lysimeter der BGS, Juris Druck, Zürich, 123 Seiten (Auflage 600)

3. Dokumentationsstelle

Die Dokumentationsstelle wurde von der WSL Birmensdorf an die Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale (Länggasse 79, 3052 Zollikofen)

verlegt. Der Versand, die Erstellung und der Vertrieb von Drucksachen läuft seit anfangs 90 über die Lehrmittelzentrale. Sie stellt der BGS auch Archivraum zur Verfügung. Im SVIAL-Bulletin können Buchbesprechungen von BGS-Publikationen erscheinen. Peter Lüscher sei für die langjährige Betreuung der Dokumentationsstelle in der WSL Birmensdorf bestens gedankt.

#### 4. Information

Die Arbeitsgruppe "Bodenschutz" hat am 18. Mai 1989 in Bern eine Fachtagung zum Thema "Zusammenarbeit beim Vollzug des Bodenschutzes" durchgeführt. Diese Tagung stiess auf grosses Interesse, indem sich Behörden sowie private Labors und Büros gleichermaßen angesprochen fühlten.

Die Arbeitsgruppe "Bodenschutz" plant eine weitere Fachtagung zum Thema "Kompost" (Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen Kompostanwendung und Bodenfruchtbarkeit).

#### 5. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde

Eine Anfrage des Präsidenten der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Prof Kuntze), ob die Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde unseren Mitgliedern im persönlichen Abonnement abgegeben werden könnte, wurde vom Vorstand aus folgen Gründen negativ beantwortet:

- Wir können unseren Mitgliedern keine Pflichtlektüre zumuten.
- Spätestens an der GV würden wir an der Kostenfrage scheitern (Erhöhung des Jahresbeitrages in der Grössenordnung von SFr. 30.-- bis 50.-- ist kaum durchzubringen).
- Bei uns in der Schweiz sind auch die sprachlichen Aspekte zu berücksichtigen, gibt es doch eine bedeutende Zahl von Autoren, die in französischer Sprache publizieren.

#### 6. SANW

Turnusgemäss musste für die SANW auf Ende 89 ein Fragebogen über das Mehrjahresprogramm (1992-95) ausgefüllt werden.

#### 7. Fruchtfolgeflächen

Als Folge unverständlicher Bundesgerichtsentscheide wird sich die BGS dieser Thematik auch in Zukunft nicht ganz entziehen können.

#### 8. Spende

Die FAC hat der BGS Fr. 1000.-- zugesichert, die zur Deckung von BGS-Aktivitäten angefordert werden können. Besten Dank für die gross-

zügige Geste.

#### 9. Administrative Tätigkeit

1989 fanden vier Vorstandssitzungen statt, ergänzt durch ein gemeinsames Treffen der Vorstandsmitglieder mit den Präsidenten der Arbeitsgruppen und dem Redaktor der BGS.

Die Mitgliederzahl hat den Stand von 314 erreicht. Dies entspricht einer erfreulichen Zunahme von 51 gegenüber dem letzten Jahresbericht. Stark zugenommen haben vor allem die Kollektivmitglieder, was eine Folge der Fachtagung vom Mai 89 sein dürfte.

Im Namen aller Mitglieder danke ich dem Vorstand und dem Redaktor sowie den Präsidenten der Arbeitsgruppen und den Rechnungsrevisoren für die geleistete Arbeit.

Ein weiterer Dank gilt allen Mitgliedern, die durch Initiative und Mitwirken zum guten Gelingen der verschiedenen Veranstaltungen des vergangenen Jahres beigetragen haben.

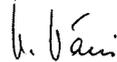
#### 10. Ausblick

Die Jahresexkursion 1990 wird am 14./15. September zusammen mit französischen Pedologen im Alpengebiet (Martigny, Chamonix) stattfinden.

Bodenschutzprobleme dürften auch in den nächsten Jahren zentrale Themen unserer Gesellschaft sein. Gerade auch im Zusammenhang mit der Revision des USG (Teil Bodenschutz) sind Erfahrungen und Kenntnisse von Bodenkundlern gefragt.

Liebefeld, 1. März 1990

Heinz Häni



Präsident

## Rapport d'activité du groupe lysimètre

Le groupe de travail "lysimètres" composé d'une quinzaine de membres s'est réuni trois fois au cours de l'année 89.

Celle-ci a été marquée par la sortie de presse de la publication "Lysimeterdaten von Schweizerischen Messtationen" annoncée de longue date. On y trouve entre autres;

- une présentation des principales installations lysimétriques suisses,
- un passage en revue de différentes méthodes de mesures hydriques et sources d'erreurs potentielles,
- un annuaire des paramètres hydriques (Evapotranspiration, précipitations et percolation) relevés sur quatre stations.

La visite de l'Institut de Géographie de l'Université de Berne, ainsi que du SMA à Zürich ont permis au membres du groupe de se familiariser avec les méthodes de prévision météorologique et de transmission de données satellites. Un exposé du prof. P.Germann a mis en évidence l'utilité de lysimètres dans l'étude de phénomènes de drainage rapide dans le sol.

Pour les années à venir, le groupe se propose;

- de continuer à servir de plateau d'échange de connaissances et de coordination entre les différents utilisateurs de lysimètres,
- de rassembler des données pouvant faire l'objet d'une nouvelle publication englobant les principales activités de recherche lysimétrique en Suisse; agrométéorologie, physique et chimie du sol,
- de traiter de divers problèmes rencontrés lors de l'utilisation de lysimètres; remplissage, méthodes de mesure, systèmes de référence,...etc...

Le président

P-F. Lavanchy

## KLASSIFIKATION DER BÖDEN DER SCHWEIZ

Heute werden in der Schweiz, je nach Problemstellung, Sprachregion und nicht zuletzt je nach Autor verschiedene Methoden der Bodenklassifikation angewendet:

•Das französische Bodenklassifikationssystem (nach Duchaufour; z.B. ETH-Lausanne),  
 •Die Bodenklassifikation der BRD (nach DBG bzw. AG Bodenkunde; z.B. UNI-Basel; ETH-Zürich diverse Ing. Büros). •Die U.S. Soil Taxonomy (Agriculture Handbook No. 436; z.B. Forschung; diverse Hochschulen). •Die Kartieranleitung der FAP-Reckenholz ist in der Schweiz flächenmässig die mit Abstand am meisten angewendete Methode. Eine "Schweizerische Bodenklassifikation" (z.B. eine durch die BGS empfohlene) ist zur Zeit nicht vorhanden.

Die BGS Arbeitsgruppe (AG) für "Bodenklassifikation und -nomenklatur" ist seit ihrer Gründung im Jahre 1977 bemüht, einen Beitrag zur einheitlichen "Schweizerischen Bodenklassifikation" zu leisten; In einer ersten Arbeitsperiode (1977 bis 1982) wurden die Horizont-Symbole und Bodenprofilsignaturen vereinheitlicht. In einer zweiten Arbeitsphase (1983 bis 1985) setzten wir uns mit den diagnostischen Horizonten der "Soil Taxonomy" auseinander. Wegen der intensiven Mitwirkung von mehreren Mitgliedern der AG bei der Vorbereitung und Durchführung der ISSS-Exkursion wurde unsere Tätigkeit bezüglich der Bodenklassifikation praktisch lahmgelegt. Nach der Wiederaufnahme der Arbeit im Jahre 1987 wurden im wesentlichen die folgenden Varianten für eine einheitliche Bodenklassifikation in der Schweiz überprüft:

1. Die Entwicklung eines neuen Bodenklassifikationssystems.
2. Die Übernahme eines bereits vorhandenen ausländischen (international verbreiteten) Bodenklassifikationssystems.
3. Die Überbearbeitung der Bodenkartieranleitung der FAP-Reckenholz.

Die erste Variante wurde von Anfang an als unrealistisch und nicht zeitgemäss angesehen und deswegen verworfen. Die zweite Variante wurde eingehend diskutiert, wobei die Bodenklassifikationen der Nachbarstaaten, die FAO Bodenklassifikation und vor allem die U.S. Soil Taxonomy im Vordergrund standen. Obwohl, angesichts der weltweiten Vereinheitlichungsbestrebungen auf allen Gebieten der Wissenschaft, die zweite Variante langfristig die wahrscheinlich beste Lösung wäre, wurde sie ebenfalls verworfen. Die AG ist der Meinung, dass sich zukünftig ein internationales Bodenklassifikationssystem (z.B. Soil Taxonomy; EG Klassifikation) weltweit zumindest in der Wissenschaft durchsetzen wird. Die nationale Bodenklassifikationen werden jedoch, vor allem bei den Praktikern, noch lange Zeit ihre Berechtigung finden. Die AG hat beschlossen die dritte Variante zu verfolgen.

Die Kartieranleitung der FAP-Reckenholz ist gedanklich von der Bodensystematik nach Pallmann abgeleitet. Sie wurde als interne FAP Bodenklassifikation im wesentlichen durch Frei und seine Mitarbeiter seit ca. 1959 vor allem für die Bodenkartierung entwickelt. Diese Klassifikation wurde bis heute nicht zusammenfassend publiziert, zahlreiche partielle Publikationen sind jedoch erschienen (z.B. Legende zur Bodenkarte der Schweiz 1:25000).

Nun hat die FAP mit der Unterstützung der AG die Bodenkartieranleitung überarbeitet und eine erste Fassung, als sog. **"Klassifikation der Böden der Schweiz"** zusammengestellt. Nach der Vernehmlassung durch die Mitglieder der BGS ist es vorgesehen, die Endfassung als BGS Dokument Nr. 5 zu publizieren. **Die erste Fassung steht ab ca. mitte Mai allen interessierten Mitgliedern zur Stellnahme.** Für nähere Auskünfte stehen die Mitglieder der AG am 1. März 1990 nach der GV in Neuenburg zur Verfügung (offene Sitzung der AG). Die erste Fassung kann schriftlich bei Herrn Dr. K. Peyer (FAP-Reckenholz, 8046 Zürich) bestellt werden. Vor allem aus finanziellen Gründen (Kopierkosten) sollen jedoch nur **Mitglieder, die einen aktiven Beitrag leisten wollen, diese Bestellung vornehmen.** Die Endfassung wird als BGS Dokument für alle Mitglieder verfügbar sein.

*J. Presler*

AG BODENSCHUTZ TAETIGKEITSBERICHT 1989

---

Die Arbeitsgruppe hat sich, wie anfangs Jahr im BGS-Bulletin angekündigt, in ihren Aktivitäten neu orientiert.

Am 18. Mai 1989 wurde in Bern eine erste Fachtagung zum Thema "Zusammenarbeit beim Vollzug des Bodenschutzes" durchgeführt. Dies hat sicher eine weitere Oeffnung bewirkt, wie die Neuankmeldungen zur Mitgliedschaft bestätigen.

Innerhalb der Arbeitsgruppe haben sich im Laufe des Jahres zwei sehr aktive Untergruppen gebildet, die bereits mehrmals zusammengekommen sind. Es handelt sich einerseits um die Arbeitsgruppe "Erosion", andererseits um die Arbeitsgruppe "Bodenbiologie". In beiden Untergruppen ist durch eine Kontaktperson die Information über Termine, welche im Kalenderblatt erscheinen, sichergestellt, sodass interessierten BGS-Mitgliedern jederzeit die Möglichkeit zu tätiger Mitarbeit offensteht.

Die Untergruppen sind bestrebt, über ihre Arbeit wie folgt zu informieren:

Gruppe Erosion : Erarbeitung eines "Methoden-Handbuches", Veröffentlichung evt. in Form eines BGS-Dokumentes.

Gruppe Bodenbiologie: - Methoden zur Erfassung der Wurmpopulation, insbesondere Verfeinerung der Austreibeverfahren (Thielemann)  
- Bestimmungskurs Regenwürmer, vorgesehen im Laufe des kommenden Jahres (voraussichtlich Frühjahr)

Es bleibt abzuklären, wie weit eine gewisse Unterstützung finanzieller Art, z.B. Druckkosten z.L. BGS, Grundlagenerarbeitung z.L. BUWAL, möglich ist und die Realisierung erwähnter Vorhaben tragen hilft.

Am 7. November 1989 trifft sich die AG in Olten und lässt sich von den Untergruppen über den Stand ihrer Arbeit orientieren. Weitere Themen dieser letzten Arbeitssitzung 1989 sind:

- Auswertung der Umfragen zur Fachtagung vom 18.5.1989
- Diskussion über evt. weitere Aktivitäten im ähnlichen Rahmen
- Neuorganisation der Arbeitsgruppe Bodenschutz, d.h. "Redimensionierung" auf einen aktiven Kern.

Erklärtes Ziel der Arbeitsgruppe wird weiterhin bleiben, den Bodenschutz als interdisziplinäre Aufgabe bewusst zu machen und zu pflegen.

## RAPPORT ANNUEL

### Groupe de travail Texture et structure

L'activité du groupe s'est concrétisée cette année par la publication sous une forme encore provisoire d'un test tactile pour l'estimation de la composition granulométrique. Ce texte est soumis aux membres en 1990, il deviendra une méthode officielle lorsque toutes les remarques auront été prises en compte. Par ailleurs, nous avons entrepris les premières démarches en vue de la préparation d'une collection de terres de références pour le test tactile.

L'évaluation de la fertilité du sol par le test à la bêche ou le profil cultural s'est poursuivie. Les travaux sont un peu moins avancés que pour le test tactile, mais la même procédure de consultation est prévue. Comme cette activité se base principalement sur des observations de terrain, il sera utile de compléter le texte par du matériel photographique, vidéo,...

La stabilité structurale du sol continue à intéresser le groupe. Un article décrivant notre essai comparatif de 1989 est en voie de rédaction.

### Programme 90-93

- Dernières améliorations à la méthode du test tactile
- Préparation d'une collection de terres de référence pour le test tactile
- Préparation d'une méthode d'utilisation du test à la bêche
- Etude sur l'appréciation au champ de la stabilité structurale, débouchant sur une méthode précise. Publication des résultats du test comparatif en laboratoire
- Mise à jour de la collection de méthodes en physique de sols.



