

VBB-Bulletin Nr. 10 / November 2006

1. Jahresbericht der Präsidentin	1
2. Tätigkeiten der Projektgruppen	4
2.1. Projektgruppe Wissensaustausch und Öffentlichkeitsarbeit.....	4
2.2. Projektgruppe Mikrobiologie.....	4
2.3. Projektgruppe Mykorrhiza	4
2.4. Projektgruppe Fauna.....	5
2.5. Projektgruppe Langzeitbeobachtung	5
3. Ausgewählte Projekte der VBB.....	6
3.1. Pilotprojekt „Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften“ (LAZBO) - Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen	6
3.2. Kurz- und langfristige Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln in einer Fruchtfolge auf die biologische Bodenqualität	8
3.3. Bodenbiologie nach 10 Jahren Direktsaat und Pflug	11
4. Forum	16
4.1. Molekularbiologische Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität im Boden	16

1. Jahresbericht der Präsidentin

*Françoise Okopnik, Abt. für Umwelt, Sektion
Boden und Wasser, Aarau*

Im vergangenen Jahr wurden in der Schweiz einmal mehr 26'490'240 Quadratmeter Boden verbaut. In derselben Zeit wurde auf der unüberbauten Fläche die Gründigkeit des Bodens um durchschnittlich einen Mikrometer erhöht, wenn denn nicht durch Erosion zwei Millimeter abgetragen worden wären. Es werden auch jedes Jahr ein paar Materialentnahmestellen rekultiviert und einzelne ungenutzte Gebäudeflächen und Flurwege rückgebaut und rekultiviert.

Neben dem Verlust an gewachsenem Boden und damit dem totalen Verlust der Bodenfrucht-

barkeit ist diese auch durch Schadstoffe und mechanische Belastungen gefährdet.

Die Gefährdung der Fruchtbarkeit des Bodens durch Schadstoffe ist ins Bewusstsein der breiteren Bevölkerung gedrungen, ist doch letztendlich der Mensch selbst davon betroffen. Die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit durch mechanische Belastungen wird jeden Herbst und Frühling augenfällig, wenn in Folge von Bodenverdichtungen das Wasser nicht mehr abfließen kann und grosse Wasserlachen auf den Äckern liegen. Biologische Beeinträchtigungen des Bodens sind weniger sichtbar. In welchem Mass gentechnisch veränderte, pathogene oder invasive Organismen die Bodenfruchtbarkeit gefährden ist Gegenstand intensiver Forschung. Umso wichtiger ist es, zu erkennen, welches ein biologisch unbelasteter Zustand des Bodens ist. Die Arbeitsgruppe VBB arbeitet intensiv an Referenzwertbereichen für unbelastete Böden. Noch konnten sie für keinen der biologischen Parameter festgelegt werden, da noch nicht einmal die Hauptfrage, welche Methoden als Standard anerkannt werden können und zu gleichen Aussagen führen, beantwortet werden konnte.

Trotzdem hat ein weiterer Kanton bodenbiologische Parameter ins Untersuchungsprogramm seines KABOs aufgenommen. Der Kanton Aargau startete 2005 mit einem Pilotlauf auf fünf Standorten. Das Labor der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau übernahm die Referenzmethode "Basalatmung" in sein Programm. So sind es nun drei Kantone (Bern, Fribourg und Aargau), welche bodenbiologische Langzeituntersuchungen durchführen.

Auch 2005 führte die VBB zwei ganztägige Sitzungen mit Gästen aus dem Hochschulbereich durch. Geneviève Défago berichtete an der einen über "Krankheitsunterdrückende Böden und ihre Anwendung für die Biokontrolle von bodenbürtigen Pflanzenpathogenen". An der zweiten hielt Franco Widmer (Forschungsanstalt

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART) einen Vortrag über "Molekularbiologische Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität im Boden" (siehe Forum in diesem Bulletin).

Zum 10-Jahresjubiläum ging die Arbeitsgruppe VBB auf eine "Schulreise". Im Naturhistorischen Museum Bern fand eine Pilzausstellung statt. Die lebensechten Kunststoffabgüsse der Modellbaufirma L. L. Wechsler aus Bremen begeisterten alle. Am Nachmittag stand ein lehrreicher Ausflug ins Pilzreservat «La Chanéaz», Montagny-les-Monts, FR an. Ich danke an dieser Stelle Claudia Maurer-Troxler und Simon Egli für die hervorragende Organisation des Ausflugs.

Wertvolle Arbeit wurde auch in den Arbeitsgruppen geleistet. In der Gruppe Öffentlichkeitsarbeit wurden Planer und Architektinnen als neue Zielgruppe ausgemacht. Weiter wurde das Projekt "Von Bauern – für Bauern" betreut, das gute Fortschritte machte. Die Gruppe Mikrobiologie koordinierte ein Projekt zur Frage der Auswirkungen von freigesetzten Mikroorganismen auf die Bodenlebewesen. Die Arbeitsgruppe Mykorrhiza führte eine Pilotuntersuchung mit der Referenzmethode "Mykorrhizainfektionspotential (MIP)" durch. Die Gruppe Langzeitbeobachtung nahm sich einerseits des Themas Waldbodenversauerung an, andererseits betreute sie weiterhin das Projekt LAZBO.

Die Arbeitsgruppe VBB ermöglicht seit 10 Jahren einen regen Austausch zwischen Vollzug und Forschung. Die Gruppe konnte verschiedenste Projekte erfolgreich lancieren und abschliessen. Neue Themen warten darauf bearbeitet zu werden. In diesem Sinn hoffe ich auf weitere Jahre erfolgreicher Zusammenarbeit.

Impressum VBB-Bulletin Nr. 10/2006

Herausgeberin

VBB (Arbeitsgruppe Vollzug BodenBiologie)

Die kantonalen Bodenschutzfachstellen und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) haben die Arbeitsgruppe VBB 1995 gegründet. Diese widmet sich Fragen zur Bodenbiologie im Hinblick auf den Vollzug des Bodenschutzes und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nach der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBö).

Vorsitzende seit 2005

Françoise Okopnik
Abt. für Umwelt
Sektion Boden und Wasser
Entfelderstrasse 22
Buchenhof
CH – 5001 Aarau
Tel. 062 835 34 08
E-mail: francoise.okopnik@ag.ch

Sekretariat und Bezug

Dr. Paul Mäder
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstrasse
Postfach
CH – 5070 Frick
Tel. 062 865 72 32
Fax. 062 865 72 73
E-Mail: paul.maeder@fibl.org

Das Bulletin ist auch auf Internet verfügbar:

www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fq_boden/themen/bodenbiologie/index.html

Name und Arbeitsinhalt der Projektgruppe	Mitglieder	Kontaktperson
Wissensaustausch und Öffentlichkeitsarbeit		
<ul style="list-style-type: none"> - Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit für den Bodenschutz - Erfahrungs- und Wissensaustausch 	R. Bono (BL) J. Burri (LU) C. Maurer-Troxler (BE) F. Okopnik (AG) C. Kündig (BE) R. von Arx (BAFU) G. von Rohr (SO) T. Wegelin (ZH)	Dr. Roland von Arx BAFU CH-3003 Bern Tel. 031 322 93 37 roland.vonarx@bafu.admin.ch
Mikrobiologie		
<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeiten und validieren von Probenahmestrategien (Wiese, Acker, Wald) - Auswahl, Standardisierung und Validierung von Methoden - Dokumentation der räumlichen und zeitlichen Variabilität - Pilotstudien zur Erfassung von konkreten Belastungen 	W. Heller (ACW) A. Fliessbach (FiBL) E. Laczkó (Solvit) P. Mäder (FiBL) H.-R. Oberholzer (ART)	Dr. Hans-Rudolf Oberholzer Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Reckenholzstrasse 191 CH-8046 Zürich Tel. 01 377 72 97 hansrudolf.oberholzer@art.admin.ch
Mykorrhiza		
<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeiten und validieren von Standardmethoden zur Beschreibung des Mykorrhiza-Zustandes von Böden 	S. Egli (WSL) J. Jansa (ETH) C. Maurer-Troxler (BE) P. Mäder (FiBL)	Dr. Simon Egli WSL Zürcherstrasse 111 CH-8903 Birmensdorf Tel. 01 739 22 71 simon.egli@wsl.ch
Fauna		
<ul style="list-style-type: none"> - Methoden zur Erfassung der Bodentiere evaluieren, standardisieren und in Fallstudien testen Gruppe ist sistiert	S. Keller (ART) C. Maurer-Troxler (BE) L. Pfiffner (FiBL)	Dr. Claudia Maurer-Troxler Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli CH-3052 Zollikofen Tel. 031 910 53 33 claudia.maurer@vol.be.ch
Langzeitbeobachtung		
<ul style="list-style-type: none"> - Koordination von bodenbiologischen Untersuchungen in KABO's - Pilotuntersuchungen zur Langzeitbeobachtung (Zusammenarbeit mit ART-Projekt) 	H. Brunner (ART) U. Gasser (ZH) C. Maurer-Troxler (BE) H.-R. Oberholzer (ART) F. Okopnik (AG) G. Schmid (SG) P. Schwab (ART)	Dr. Claudia Maurer-Troxler Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli CH-3052 Zollikofen Tel. 031 910 53 33 claudia.maurer@vol.be.ch

2. Tätigkeiten der Projektgruppen

2.1. Projektgruppe Wissensaustausch und Öffentlichkeitsarbeit

Roland von Arx, BAFU

Die über das Internet zugängliche Plattform "KMSoil" dient seit etwa 2 Jahren dem Wissensaustausch der Bodenschutzfachstellen. Die Projektgruppe hat die Erfahrungen ausgewertet, damit die Plattform laufend den Bedürfnissen angepasst und optimiert werden kann.

Die Webseite "Regenwurm.ch" steht seit 2001 Eltern und Kindern verschiedenen Alters, die sich dem Thema Regenwurm und Boden auf unterhaltsame Weise nähern möchten zur Verfügung und wird rege benutzt. Gegenwärtig aktualisiert und ergänzt die Projektgruppe die Webseite und will damit einen Beitrag zu einer noch besseren Verständlichkeit und Wertsteigerung leisten.

Das Projekt "Von Bauern für Bauern" will mit Hilfe von Videos Erfahrungen von Bäuerinnen und Bauern über die Erhaltung oder Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit vermitteln. Die Hauptphase des Projekts startete im Jahr 2004 und beinhaltet die Konzeption und Produktion von fünf Videomodulen:

1. Vom Pflug zur pfluglosen Bodenbearbeitung
2. Mulchsaat
3. Streifenfrässaat
4. Direktsaat
5. Bodenpflege mit Kompost und Gründüngung

Das Projekt stützt sich auf eine sehr breite Trägerschaft: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Fachstellen für Bodenschutz sowie für Landwirtschaft der Kantone und des Fürstentums Lichtenstein, Sophie und Karl Binding Stiftung, IP Suisse und Bio Suisse, Schweizerischer Bauernverband (SBV), Schweizerischer Verband für Landtechnik (SVLT) und AGRIDEA.

Die Filmarbeiten für drei Module konnten dank guter Witterungsbedingungen 2005 abgeschlossen werden. Die Aufnahmen für die restlichen zwei Module wurden im Frühjahr 2006 durchgeführt.

Der zweite Teil der Hauptphase – der Einsatz der Videomodule in bäuerlichen Netzwerken -

startete Mitte 2006. Es gilt die Videos in landwirtschaftlichen Organisationen und bei landwirtschaftlichen Anlässen in geeigneter Weise einzubringen und so Lernprozesse auszulösen. Nach Projektabschluss soll der Ansatz "von Bauern für Bauern" allgemein bekannt und für andere Themenbereiche einsetzbar sein.

Mit ihren Projekten hat die Gruppe bisher einen breiten Adressatenkreis angesprochen. Handlungsbedarf sieht sie noch im Bauwesen bei Architekten, Planern und Bauführern. Sie prüft daher eine gemeinsame Informationsaktion mit dem SIA. Bodenschutzanliegen könnten mit der überarbeiteten SIA Norm 318 anlässlich von Berufs-*Apéros* vorgestellt werden.

2.2. Projektgruppe Mikrobiologie

*Hans-Rudolf Oberholzer,
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-
Tänikon ART*

Im Berichtsjahr koordinierten wir im Rahmen der Projektgruppe ein Projekt zu Fragen der Auswirkungen von eingeführten Organismen auf die Bodenbiozönose und ihre Funktionen. An der ART wurden mikrobiologische Untersuchungen in einem Feldversuch durchgeführt, in welchem so genannte "Effektive Mikroorganismen" ausgebracht wurden. Das FiBL untersuchte die Auswirkungen der Freisetzung von *Pseudomonaden* (*Pseudomonas* Bakterienpräparat), welches zur biologischen Kontrolle von bodenbürtigen Krankheiten zur Anwendung kommt. Das Projekt wird 2007 mit Methodenempfehlungen zur Erfassung von Nebenwirkungen von freigelassenen Organismen im Boden abgeschlossen. Wegen eingeschränkter Arbeitskapazitäten konnten wir keine darüber hinausgehenden Themen bearbeiten.

2.3. Projektgruppe Mykorrhiza

Simon Egli, WSL Birmensdorf

Im Frühjahr 2005 wurde der Pilotversuch "MIP" (Mykorrhizainfektionspotential) gestartet. Das Ziel war, die Eignung dieser bodenbiologischen Standardmethode in der Dauerbeobachtung zu testen. Sechs Kantone beteiligten sich an der Studie und stellten total 20 Böden zur Verfügung, vorwiegend aus dem KaBo- oder NaBo-Netz. Die Auswertung des Versuchs zeigt, dass

die einzelnen Böden sich zum Teil deutlich voneinander im Mykorrhizainfektionspotential unterscheiden. Die Besiedlung der Wurzeln liegt im schlechtesten Fall bei 35% und im besten Fall bei 91%. Leider fehlen für die vorliegende Messgrösse die Referenzwertbereiche noch weitgehend. Eine Interpretation der Resultate ist daher im Moment noch schwierig. Wir werden nun in einem nächsten Schritt die erhaltenen MIP-Resultate mit weiteren auf der Fläche erhobenen Bodendaten vergleichen. Zusätzlich benötigen wir selbstverständlich weitere MIP-Resultate, um Referenzwertbereiche für diese Messgrösse definieren zu können. Wir möchten in diesem Sinne die Kantone dazu ermuntern, die Methode im Vollzug anzuwenden.

2.4. Projektgruppe Fauna

*Claudia Maurer-Troxler,
Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons
Bern*

In dieser Gruppe gab es 2005 keine weiteren Aktivitäten; die Arbeitsgruppe wird aus Kapazitätsgründen bis auf weiteres sistiert.

2.5. Projektgruppe Langzeitbeobachtung

*Claudia Maurer-Troxler, Amt für Landwirtschaft
und Natur des Kantons Bern
Peter Schwab,
Projektleitung LAZBO, FB14.2 (NABO) ART*

Die Arbeitsgruppe Langzeitbeobachtung beschäftigt sich mit drei Projekten:

- Einsatz von biologischen und physikalischen Parametern in der Langzeitbeobachtung (LAZBO)
- Einsatz von biologischen Parametern in der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO-Bio)
- Waldböden

Um die zur Zeit fehlenden methodischen Grundlagen für eine Langzeitbeobachtung physikalischer und biologischer Bodeneigenschaften zu erarbeiten, wurde an der Forschungsanstalt Reckenholz-Tänikon ART im Rahmen des Arbeitsprogramms 2000-2003 das Pilotprojekt **“Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften“** (LAZBO) initiiert. Der Zeitraum des gesamten Projektes umfasst sechs Jahre, beginnend im Jahr 2001. Im Rahmen der ersten Projektphase

(2001-2003), dem LAZBO-Pilotprojekt, wurde die Eignung verfügbarer Beprobungs- und Bestimmungsmethoden physikalischer und biologischer Bodeneigenschaften für die Langzeitbeobachtung untersucht und beurteilt.

Der Schlussbericht für die erste Projektphase ist seit Mai 2006 auf www.nabo.admin.ch publiziert und ist in folgende Teile gegliedert:

- Kurzfassung
- Teil 1: Einleitung und Grundlagen
- Teil 2: Bodenphysikalische Untersuchungen
- Teil 3: Bodenbiologische Untersuchungen
- Teil 4: Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick.

An die erste Projektphase schliesst sich die LAZBO-Testphase (2003-2006) an, in der sowohl die bisherigen Ergebnisse überprüft werden, als auch der bereits vorhandene Datensatz durch die Erfassung der physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften in drei zusätzlichen Erhebungsjahren erweitert wird. Basierend auf diesem erweiterten Datenbestand kann das methodische Vorgehen zur Beurteilung der zeitlichen Veränderung dieser Bodeneigenschaften im Rahmen einer Langzeitbeobachtung erarbeitet werden.

Im Projekt NABO-Bio werden bis 2006 an 60 ausgewählten NABO-Standorten die beiden mikrobiologischen Parameter Bodenatmung und Biomasse SIR bestimmt.

Im Projekt "Waldböden" werten die Kantone AG, BE, SG und ZH gemeinsam ihre KABO-Waldbodendaten aus. Das angestrebte Faktenblatt soll einerseits einen kantonsspezifischen Teil enthalten – je nach Kanton wurden andere Parameter und Daten erhoben – und einem gemeinsamen Teil, der insbesondere das Thema Bodenversauerung beinhaltet. Ein weiterer wichtiger Inhalt des gemeinsamen Teils wird das weitere Vorgehen sein: In Zukunft wollen sich die vier Kantone bezüglich Parameter- und Standortwahl absprechen. Vor allem im Bereich Parameterwahl wird sich die Gruppe mit den Fachleuten vom WSL und IAP beraten.

3. Ausgewählte Projekte der VBB

3.1. Pilotprojekt "Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften" (LAZBO) - Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen

*Hans-Rudolf Oberholzer, Susanne Scheid,
Peter Schwab*

*Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-
Tänikon ART*

Reckenholzstrasse 191

CH-8046 Zürich

Tel. 01 377 72 97

hansrudolf.oberholzer@art.admin.ch

Die bereits bestehende Langzeitbeobachtung im Rahmen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) beschränkt sich in erster Linie auf chemische Bodenbelastungen durch anorganische und organische Schadstoffe. Gründe dafür sind einerseits die früheren gesetzlichen Vorgaben (VSBo, 1986), die sich nur auf chemische Schadstoffe bezogen, andererseits der Mangel an validierten Methoden und praktischen Erfahrungen für die Bestimmung bodenphysikalischer und -biologischer Parameter über lange Zeiträume. Mit der Revision des Umweltschutzgesetzes (USG, 1983) und der neuen Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö, 1998) wurde die Langzeitbeobachtung physikalischer und biologischer Bodeneigenschaften auch zur gesetzlichen Aufgabe. Das ART-Pilotprojekt mit dem Titel "Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften (LAZBO)" (FAL-Projekt-Nummer 00.14.2.2) ist eine Machbarkeitsstudie zur Abklärung der Eignung von bodenphysikalischen und -biologischen Untersuchungen zur Langzeitbeobachtung und wurde im Zeitraum 2001-2003 durchgeführt.

Für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen wurden jeweils im Frühjahr je drei Acker- und Grünlandstandorte auf einer Fläche von 10 x 10 m entsprechend der NABO-Vorgehensweise beprobt. Pro Fläche wurden vier Mischproben (entspricht einer Beobachtung) entnommen. Jede Mischprobe wurde jeweils in 4facher Wiederholung im Labor bestimmt (entspricht einer Bestimmung). Als Parameter wurden diejenigen ausgewählt, die als Basisparameter sowohl von der Arbeitsgruppe "Vollzug Bodenbiologie" (VBB) der Schweiz als auch im europäischen Ausland empfohlen werden: mikro-

bielle Biomasse (BM), bestimmt mit den Methoden "Substratinduzierte Respiration" (SIR) und "Chloroform-Fumigations-Extraktion" (FE), Bodenatmung (Basalatmung) sowie N-Mineralisierung im aeroben Brutversuch. Die Validierung der Parameter und jeweiligen Bestimmungsmethoden erfolgte anhand von Kriterien, die ein Bodenüberwachungssystem erfüllen muss: (1) Referenzstabilität, (2) Präzision der Bestimmung, (3) Präzision der Erhebung, (4) zeitliche Veränderung von Bodeneigenschaften im Feld sowie (5) Relevanz. Für die Beurteilung der Referenzstabilität und der zeitlichen Veränderung bodenmikrobiologischer Eigenschaften wurden die Ergebnisse von frischen Proben mit jenen der tiefgekühlten Rückstellproben verglichen, die nach der Aufbereitung bei -20°C tiefgekühlt und zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Auftauen gemessen wurden.

Die Ergebnisse für die Referenzstabilität unterscheiden sich je nach bodenmikrobiologischem Parameter. Verglichen mit der mikrobiellen Biomasse BM (SIR), bei der die Abweichungen des Mittelwertes einer Beobachtung (Mischprobe) pro Jahr vom Mittelwert der drei Jahre im Maximum 5% betragen, kann die Referenzstabilität der Bodenatmung mit maximal 10% Abweichung als relativ gut bezeichnet werden. Gleiches gilt für die N-Mineralisierung. Hingegen kann die Referenzstabilität für den bodenmikrobiologischen Parameter mikrobielle Biomasse BM-C/N (FE) nicht abschliessend beurteilt werden, da die entsprechenden Untersuchungsergebnisse widersprüchlich sind. Die Ergebnisse zeigen, dass eine regelmässige Bestimmung von stabilen Referenzproben in zeitlich kurzen Abständen aufgrund der Erfahrungen im LAZBO-Pilotprojekt empfehlenswert ist. Der Referenzstabilität von Bestimmungsmethoden muss in der Langzeitbeobachtung grosse Beachtung geschenkt werden.

Die Präzision der Bestimmung ist für die untersuchten bodenmikrobiologischen Parameter gut. Bis auf den Parameter N-Mineralisierung liegen die Variationskoeffizienten der 4fachen Wiederholung einer Bestimmung pro Beobachtung (Mischprobe) im Labor unter 5%. Für den Parameter N-Mineralisierung wurde ein Variationskoeffizient von 8% ermittelt. Die Streuung dieser Variationskoeffizienten, als ein weiteres Mass zur Beurteilung der Präzision einer Methode, zeigt, dass 75% aller Variationskoeffizienten unter 5% liegen. Nur sehr wenige Beobachtungen weisen einen Variationskoeffizienten von

grösser als 10% auf. Der Vergleich zwischen frischen und tiefgekühlten Proben zeigt ein zunehmendes Auftreten hoher Variationskoeffizienten, wenn die Proben gefroren und wieder aufgetaut werden. Daher sollte wenn möglich auf das Tiefgefrieren verzichtet werden.

Die Ergebnisse zur Präzision der Erhebung lassen, verglichen mit der Präzision der Bestimmung, grundsätzlich eine höhere Variabilität zwischen den vier Beobachtungen (Mischproben) erkennen. Der Vergleich "frischer" mit "tiefgekühlten" Proben zeigt auch hier, dass die Variationskoeffizienten der "tiefgekühlten" Proben grösser sind. Eine Ausnahme bildet der bodenmikrobiologische Parameter mikrobielle Biomasse BM (SIR), der sowohl für die "frischen" als auch für die "tiefgekühlten" Proben eine durchschnittliche Streuung von kleiner als 5% aufweist. Die Ergebnisse zeigen, dass anhand der vier Beobachtungen sowie der ausgewählten bodenmikrobiologischen Parameter eine präzise Beschreibung der untersuchten Fläche möglich ist. Im Hinblick auf eine Optimierung des Aufwandes ist ohne wesentliche Einbussen in der Präzision der Erhebung eine Kombination von drei Beobachtungen (Mischprobe) und drei bzw. zwei Wiederholungen einer Bestimmung pro Beobachtung (Mischprobe) im Labor möglich.

Hinsichtlich der zeitlichen Veränderung von Bodeneigenschaften im Feld zeigen die Ergebnisse, dass sich bei einem Vergleich der Ergebnisse zwischen den verschiedenen Methoden und den bodenmikrobiologischen Parametern wenig Übereinstimmungen bzw. kaum Gesetzmässigkeiten feststellen lassen. Eine Ausnahme bildet die mikrobielle Biomasse BM (SIR), für die eine relativ gute Übereinstimmung der Verläufe der Kurven über die Zeit bei allen untersuchten Standorten erkennbar ist. Bei den anderen bodenmikrobiologischen Parametern zeigen die Verläufe der Kurven eine geringe Übereinstimmung und sind dementsprechend von vielen zufälligen Abweichungen bzw. Veränderungen geprägt, die möglicherweise durch zu wenig bekannte Faktoren bei der Probenaufbereitung verursacht werden.

Für eine Beurteilung der gemessenen Werte bzw. deren Veränderungen im Zeitverlauf ist der Vergleich mit einem zu erwartenden Referenzwert ein wichtiges Kriterium. Im Moment liegt nur für den bodenmikrobiologischen Parameter mikrobielle Biomasse BM (SIR) ein Referenz-

wertmodell vor, das es ermöglicht, die Ergebnisse nicht als absolute Messgrössen anzugeben, sondern relativ zu einem standorttypischen Referenzwert. Die Auswertung der Daten für die mikrobielle Biomasse BM (SIR) mit Hilfe des Referenzwertmodells zeigt lediglich auf einem Ackerstandort eine zeitlich relevante Veränderung zwischen den jährlichen Erhebungen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der bodenmikrobiologische Parameter mikrobielle Biomasse BM (SIR) sich in Bezug auf alle untersuchten Kriterien für die Langzeitbeobachtung eignet. Die anderen Parameter weisen jeweils für einzelne Kriterien Nachteile auf und können momentan noch nicht generell für eine Langzeitbeobachtung empfohlen werden.

Folgende Ziele wurden mit dem LAZBO-Pilotprojekt erreicht:

- Die Präzision und Richtigkeit der Bestimmungsmethoden für die ausgewählten bodenmikrobiologischen Parameter konnte abgeschätzt werden und es zeigte sich, dass diese grundsätzlich quantifizierbar sind.
- Die entworfene und getestete Probenahme-, Lagerungs- und Analysestrategie ermöglicht referenzstabile Untersuchungen von mindestens drei Jahren.
- Der Einfluss von Probenahme, Lagerung und Aufbereitung auf die Messgrössen lässt sich durch Eichmessungen kontrollieren und durch Standardisierung des Vorgehens minimieren.
- Statistische Modelle zur Zeitreihenanalyse wurden eingeführt, mit denen die mittleren Standortwerte und das Grundrauschen physikalischer und mikrobiologischer Bodeneigenschaften über längere Zeiträume erfasst werden können.
- Die Praktikabilität und der Aufwand für die bodenmikrobiologischen Erhebungen konnten, basierend auf drei Erhebungsjahren, quantifiziert werden.

Das LAZBO-Pilotprojekt zeigte, dass sich mikrobiologische Bodeneigenschaften mit geeigneten Bestimmungsmethoden sowie einem Probenahmeplan über längere Zeiträume präzise und stabil bestimmen lassen. Das LAZBO-Pilotprojekt und die sich anschliessende Testphase (2004-2006) werden die methodischen Grundlagen für eine Langzeitbeobachtung mikrobiologischer Bodeneigenschaften ("NABObio")

liefern. Die Langzeitbeobachtung bodenmikrobiologischer Parameter liefert als Überwachungssystem einen entscheidenden Beitrag, um die Auswirkungen von chemischen, physikalischen und biologischen Belastungen auf den Boden zu erfassen. Im Hinblick auf ein Konzept zur Langzeitbeobachtung und deren Planung muss jedoch zunächst diskutiert werden, welche Bodeneigenschaften bzw. -funktionen beobachtet werden sollen, resp. welche Ziele NABO hat. Mögliche Ziele könnten sein (1) Beobachtung des Einflusses diffuser Belastungen, (2) Beobachtung von Standorten mit vermuteten konkreten (starken) spezifisch chemischen oder spezifisch physikalischen Belastungen oder (3) Beobachtung des Einflusses landwirtschaftlicher (forstwirtschaftlicher) Nutzung oder sogar der Nutzung von Naherholungsräumen. In Abhängigkeit von der entsprechenden Zielsetzung wird die Auswahl von Standorten und bodenmikrobiologischen Parametern, insbesondere auch von Begleitparametern und allenfalls parallel notwendigen chemischen oder physikalischen Parametern (pH-Wert, Corg, Körnung), die sinnvollerweise zu erheben sind, unterschiedlich ausfallen.

Über diesen Aspekten steht die Vorstellung, dass eine zukünftige Langzeitbeobachtung bodenmikrobiologischer Parameter nicht nur das bestehende Nationale Bodenbeobachtungsprogramm ergänzen und damit eine wichtige Lücke im gesamtheitlichen Ansatz der Schweizerischen Umweltschutzgesetzgebung füllen sollte, sondern damit drängende Probleme des biologischen Bodenschutzes in einer Art angegangen würden, die über die Schweiz hinaus Signalwirkung haben könnte.

Die vollständigen Berichte des LAZBO-Pilotprojektes (Bibliographie Nr. 142-146) sind bei www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_boden/nabo/bibliographie/index.html als pdf-Datei verfügbar.

3.2. Kurz- und langfristige Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln in einer Fruchtfolge auf die biologische Bodenqualität

Andreas Fließbach und Paul Mäder
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse
CH-5070 Frick
Tel. 062 865 72 25
andreas.fliessbach@fibl.org

Pestizide werden in der Landwirtschaft eingesetzt um die Kulturen vor Krankheiten und Schädlingen zu schützen (protektiver Einsatz) oder diese zu bekämpfen (kurativer Einsatz). Ausserdem werden Pestizide eingesetzt um Unkräuter selektiv zu eliminieren und auch um die Kulturpflanze gegen Ende der Vegetationsphase abzutöten. Die in der Schweiz eingesetzten Mengen an Pestiziden haben zwischen 1987 und 2004 um 43% abgenommen (Quelle: Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie). Dies liegt zum einen an den geringeren Aufwandmengen der modernen Pestizide, zum anderen an der gezielten Anwendung im Rahmen der integrierten Produktion (IP).

Die möglichen Belastungen von Pestiziden gegenüber Bodenorganismen sind Teil der Untersuchungen, die der Hersteller im Rahmen des Registrierungsprozesses durchzuführen hat. Hierbei werden aber in der Regel nur die Auswirkungen einzelner Produkte oder Wirkstoffe überprüft – nicht ihre Wirkung in Kombination oder in Spritzfolgen. Standard-Tests zur Überprüfung der Nebenwirkungen von Pestiziden sind für definierte Organismen (Regenwürmer, Algen, Vögel, Fische) verfügbar und eingeführt (OECD 1993), aber nur bei Pestiziden mit Gefahrenpotenzial werden im Registrierungsprozess Untersuchungen zur Einschränkung ihrer Anwendung gefordert. Das Risiko von Wechselwirkungen und kombinatorischen Effekten bleibt meistens unberücksichtigt.

Untersuchungen über kumulative oder kombinierte Pestizideffekte auf Nicht-Zielorganismen sind daher rar. Ausgehend von einer Studie unter kontrollierten Bedingungen, bei der die Effekte von zwei Spritzfolgen im Kartoffelbau untersucht wurden (Fließbach et al., 2003; Fließbach and Mäder, 2004), wurde im Jahr 2002 ein Feldversuch auf einer Ackerfläche eines landwirtschaftlichen Betriebes angelegt, der seit acht Jahren biologisch wirtschaftete (Abb. 1).

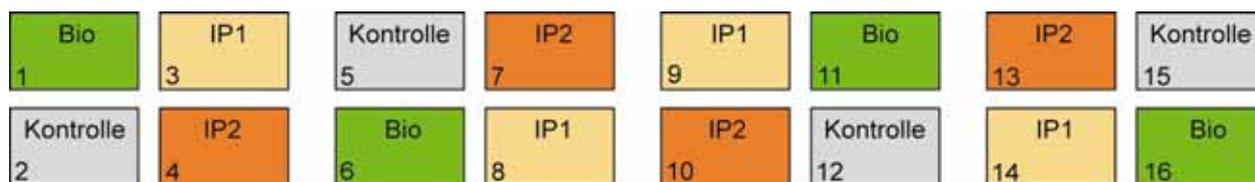


Abb. 1. Anordnung der Parzellen im Pestizidversuch in Full-Reuenthal

Auf dieser vom Versuchsansteller gepachteten Fläche wurde ein Versuch mit 16 Parzellen angelegt, der sich aus vier Spritzverfahren (unbehandelte Kontrolle, Biologisch (Bio), Integriert reduziert (IP1), Integriert intensiv (IP2)) in vierfacher Wiederholung zusammensetzte. Im ersten Jahr wurden Kartoffeln angebaut, gefolgt von Winterweizen, Raps, Klee gras als Zwischenfrucht und Silomais. Düngung und Bodenbearbeitung erfolgten betriebstypisch und wurden nicht differenziert. 10 und 100 Tage nach der letzten Spritzung innerhalb einer Kultur oder Saison wurden Bodenproben aus 0 - 10 cm und 10 - 20 cm gezogen und auf die mikrobielle Biomasse, Basalatmung, Dehydrogenaseaktivität und die mit Biolog™ Ecoplates ermittelten Substratnutzungsmuster untersucht.

Tab. 1: Menge der Wirkstoffe aus den Pestiziden und die Häufigkeit ihrer Anwendung in den drei behandelten Verfahren des Pestizidversuchs in Full-Reuenthal

Kultur	Anwendung	Bio	IP1	IP2
Kartoffel	kg ha ⁻¹	3.7	13.2	18.2
	Häufigkeit	9	12	12
Winterweizen	kg ha ⁻¹	0.0	2.4	2.5
	Häufigkeit	0	2	3
Winterraps	kg ha ⁻¹	0.0	1.4	2.6
	Häufigkeit	0	3	8
Silomais	kg ha ⁻¹	0.0	0.6	1.0
	Häufigkeit	0	1	1
Fruchtfolge	kg ha ⁻¹	3.7	17.6	24.3
	Häufigkeit	9	18	24

Die Zusammensetzung der Spritzfolgen in den Kulturen wurde mit Fachleuchten der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und LBL-Lindau abgesprochen und festgelegt. Die Bio-Spritzfolge – hier wurde zu Kartoffeln Kupfer gespritzt – war nur im ersten Jahr anders als die der Kontrolle. IP1 und IP2 unterschieden sich in der Kultur Kartoffel nur durch das Abbrennmittel – Basta in IP1 und Dinoseb in IP2. In den folgenden Kulturen war IP1 einer „Extenso“ Variante ähnlich und IP2 enthielt alle empfohlenen Pestizide. Für die Bereitstellung kleiner Produktmengen für unsere

Versuchszwecke sind wir den Herstellerfirmen dankbar. Kartoffel war die Kultur mit der grössten Menge und Häufigkeit der Anwendung von Pestiziden, gefolgt von Raps, Winterweizen und Silomais (Tab. 1).

Beim Verlauf des mikrobiellen Biomasse-Kohlenstoffs (C_{mic}) sind deutlich die saisonalen Schwankungen zu erkennen, die abhängig sind von den klimatischen Verhältnissen sowie vom Vegetationsverlauf und den jeweiligen Kulturmassnahmen. Häufig war C_{mic} in der unteren Bodenschicht tiefer als oben, aber bei der ersten Probe unter Silomais war der Oberboden sehr trocken und zeigte geringere Werte als der Unterboden (Abb. 2). An keinem der Termine waren signifikante Verfahrenseffekte auf C_{mic} festzustellen, aber der Effekt der Tiefenstufe war immer signifikant. 10 Tage nach der Applikation von Dinoseb zu Kartoffeln war C_{mic} jedoch um 12% geringer als in der Kontrolle und 10 Tage nach Sulcotrione Applikation in Mais um 22%. Ähnliche Abweichungen von der Kontrolle kamen auch beim mikrobiell gebundenen Stickstoff (N_{mic}) vor. Auch hier waren keine signifikanten Verfahrenseffekte festzustellen, aber die der Tiefenstufe waren signifikant. Im Klimakammerversuch mit Kartoffeln, der die gleiche Spritzfolge wie im Feldversuch hatte, war der Kurzzeiteffekt nach Dinoseb-Anwendung signifikant und erheblich stärker (Fließbach und Mäder, 2004). Unter Feldbedingungen scheinen die Effekte der Pestizide durch die Umwelt stärker gepuffert zu werden als unter Klimakammerbedingungen, was mit den Wetterverhältnissen und stärkerer Lichteinstrahlung zusammenhängen mag. Auch für die Dehydrogenaseaktivität und die Basalatmung waren keine Verfahrenseffekte signifikant, während die Tiefenstufe und die saisonalen Effekte meistens Signifikanzen zeigten.

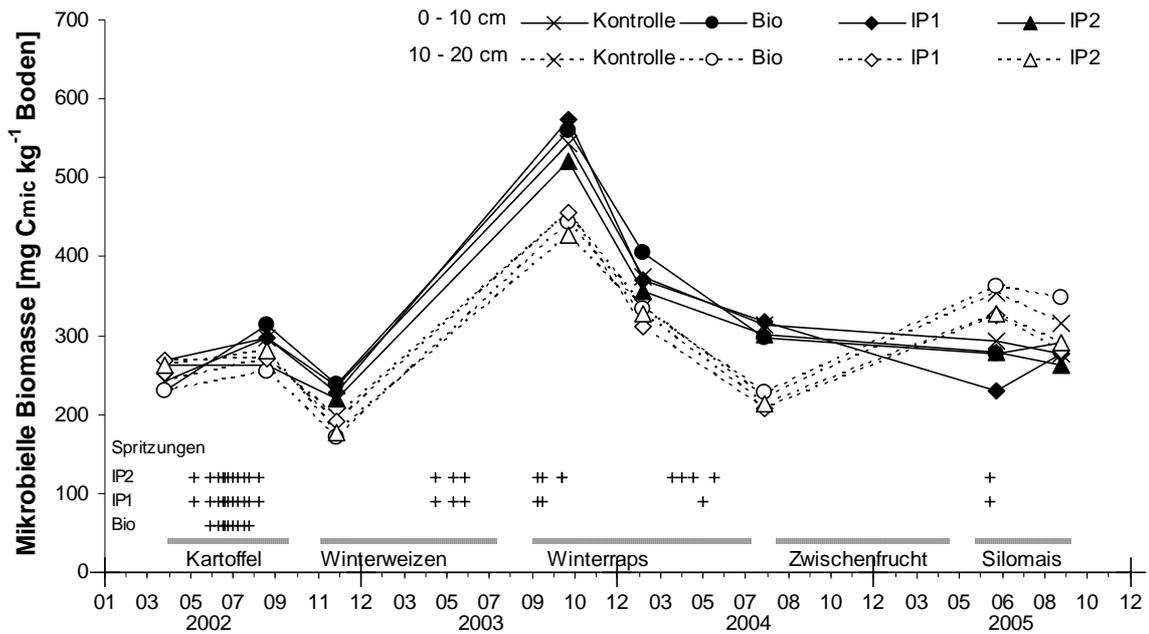


Abb. 2. Mikrobielle Biomasse in den Verfahren und Tiefenstufen des Pestizidversuchs in Full-Reuenthal

Die Substratnutzungsmuster hingegen, die mit Biolog ecoplates ermittelt wurden, wiesen auch im Feldversuch an zwei Terminen Unterschiede zwischen den Verfahren auf. 10 Tage nach der letzten Spritzung in Kartoffeln war die IP2-Variante von Bio und IP1 unterscheidbar und 10 Tage nach der letzten Spritzung im Raps unterschied sich das Substratnutzungsmuster der Bio-Variante von der von IP1 und IP2. Dies deutet auf einen direkten oder indirekten Einfluss der Pflanzenschutzmassnahmen auf die mikrobielle Gemeinschaft hin (Abb. 3).

Das in Kartoffeln zum Abbrennen verwendete Pestizid Dinoseb hatte schon im Klimakammerversuch eine starke Wirkung nach 21 Tagen, die nach 135 Tagen immer noch messbar war. Im Feld trat in der gleichen Variante lediglich ein Kurzeffekt auf und nach 100 Tagen war nur noch ein Tiefenstufen-Effekt festzustellen. Vor dieser Probenahme wurde allerdings gepflügt und Weizen eingesät, was in der Klimakammerstudie natürlich nicht vorkam. Durch die Bodenbearbeitung wurde die Zonierung des Bodens durcheinander gebracht und ausserdem pflanzliche Rückstände eingearbeitet. Dies hat zwar keine Vermehrung der mikrobiellen Biomasse bewirkt, aber doch zumindest die möglicherweise noch vorhandenen Pestizidrückstände im Boden verdünnt und ihren Abbau vielleicht verbessert.

Zu beachten ist ausserdem, dass die Pestizide zwar eine Direktwirkung auf die Bodenorganismen haben können, diese aber durch die erhöhte Beikrautvegetation in den unbehandelten Varianten Bio und Kontrolle auch überschätzt werden können. Die applizierten Herbizide haben in IP1 und IP2 sehr gut gewirkt und in den Varianten Bio und Kontrolle war lediglich mechanische Unkrautregulierung und das Jäten von Hand möglich, was bei Kartoffeln und Mais durchführbar war, bei Raps und Weizen jedoch wegen des engen Pflanzenbestands erschwert wurde.

Aus den Ergebnissen dieses vierjährigen Feldversuchs lässt sich schlussfolgern, dass die Methoden zur bodenbiologischen Bewertung keine starken Effekte der ausgebrachten Pestizide anzeigen. Interessant ist aber, dass Tendenzen zu geringeren Werten und Abweichungen von der Kontrolle nur in den IP-Varianten auftraten. Einmal mehr bestätigt sich, dass zur Bewertung von Pestizid-Nebenwirkungen auch Methoden zur Bewertung der mikrobiellen Gemeinschaft herangezogen werden sollten, zu denen auch die Substratnutzungsmuster gehören. Mit anderen Methoden der molekularen Ökologie (DNA und PLFA fingerprints) wären solche Veränderungen mit noch höherer Präzision ermittelbar.

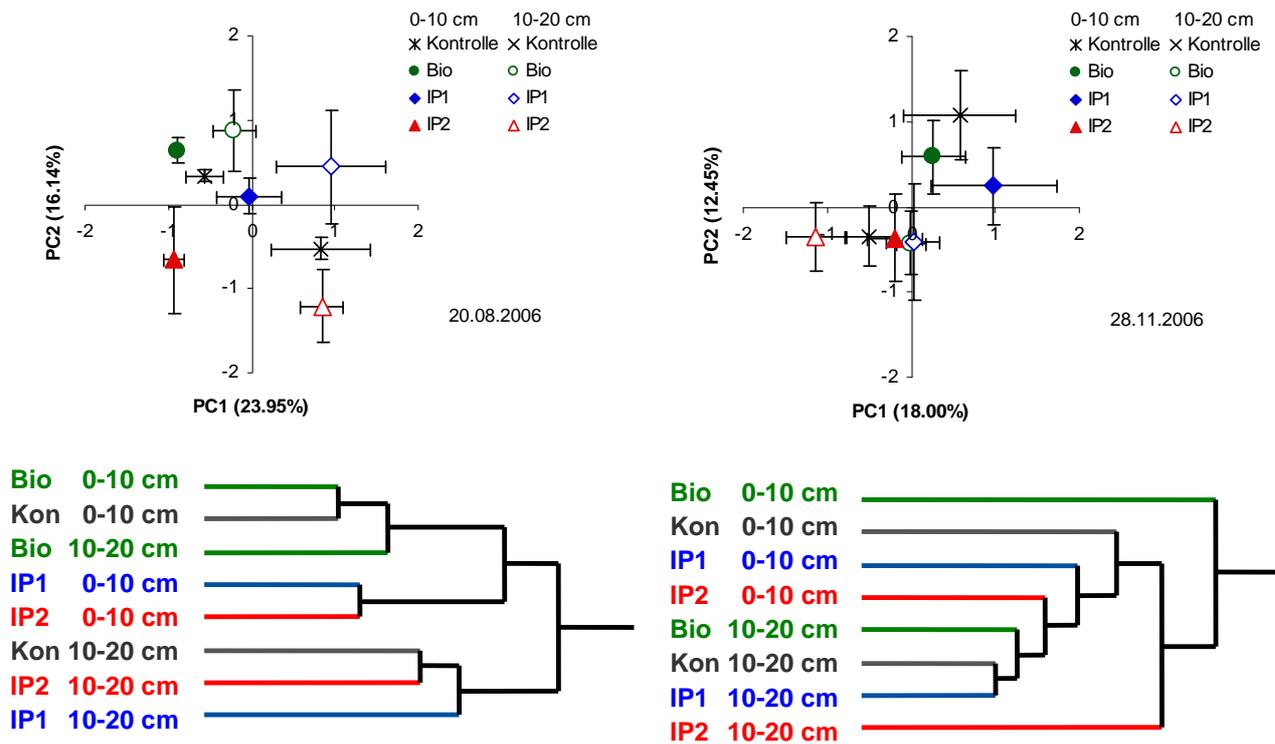


Abb. 3. Ergebnisse aus der Hauptkomponenten- und der Clusteranalyse zur Unterscheidung der Effekte von Verfahren und Tiefenstufe an den beiden Terminen nach der letzten Spritzung zu Kartoffeln (n=4)

Literatur

Fließbach A, Buchleither S, Peng S and Mäder P 2003 Kurzfristige und langfristige Auswirkungen von zwei Spritzfolgen im Kartoffelbau auf biologische Parameter der Bodenfruchtbarkeit. VBB-Bulletin 7, 7-10.

Fließbach A and Mäder P 2004 Short- and long-term effects on soil microorganisms of two potato pesticide spraying sequences with either glufosinate or dinoseb as defoliants. Biol. Fert. Soils 40, 268-276.
OECD 1993 Guidelines for the testing of chemicals, Paris.

3.3. Bodenbiologie nach 10 Jahren Direktsaat und Pflug

Claudia Maurer-Troxler, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen

Tel. 031 910 53 33

claudia.maurer@vol.be.ch

Hans-Rudolf Oberholzer, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART CH-8046 Zürich

Tel. 01 377 72 97

hansrudolf.oberholzer@art.admin.ch

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in der Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht sicherzustellen (USG 1983) sowie die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Mit dem Ziel, sowohl die Vorteile als auch die Nachteile des Direktsaatsystems gegenüber

dem Pflugsystem aufzuzeigen bzw. zu lösen, werden auf der Dauerbeobachtungsfläche "Oberacker" am Inforama Rütli in Zollikofen seit 10 Jahren das Pflug- mit dem Direktsaatsystem verglichen. Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeparzellen auf einem schwach humosen, sandigen Lehm werden je zur Hälfte direkt bestellt bzw. gepflügt. Neben agronomischen, chemischen und physikalischen Erhebungen werden seit 1998/99 die Regenwurmpopulationen sowie die mikrobielle Biomasse und die Bodenatmung mittels Referenzmethoden der Eidg. Landw. Forschungsanstalten bestimmt.

Mit dem Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung ändern sich die Voraussetzungen für bodenbiologische Prozesse. Die grossen Mengen an Pflanzenrückständen werden nicht mehr maschinell eingearbeitet, sondern verbleiben vorerst auf der Bodenoberfläche. Um die Vermehrung problematischer Krankheitserreger zu

vermindern, ist ein schneller Abbau des organischen Materials nötig. Die Pflanzenreste müssen von einer der Situation angepassten Regenwurmpopulation in den Boden eingearbeitet und anschliessend von einer aktiven Mikroorganismengemeinschaft zersetzt werden. Insbesondere das Direktsaatsystem ist auf ein solchermaßen aktives Bodenleben angewiesen.

Regenwurmpopulation

Sowohl im Direktsaat- als auch im Pflugsystem variieren die Regenwurmbiomassen auf allen sechs Parzellen (Abb. 4). Je nach Kulturenfolge wurden die Parzellen in unterschiedlichem Ausmass physikalisch beansprucht, in den sechs Pflugparzellen waren es im Durchschnitt 37% mehr Überfahrten. Auf den Parzellen V und VI erfolgte die geringste, auf der Parzelle II – mit zweimal Kartoffeln in der Fruchtfolge – die

höchste Anzahl an Überfahrten und den damit im Pflugsystem verbundenen Bodenbearbeitungseingriffen. Dies beeinflusst die Regenwurm-Biomassen. Die bezüglich Bodenbearbeitungseingriffen am geringsten belasteten Parzellen V und VI wiesen schon bei der Erstbeprobung im Direktsaatsystem sehr hohe und im Pflugsystem relativ hohe Biomasse-Werte auf. Bei den physikalisch stärker beanspruchten Parzellen I bis IV hingegen wurden viel weniger Regenwürmer extrahiert, diese Parzellen verzeichneten aber einen Anstieg der Regenwurmpopulationen in beiden Bearbeitungssystemen mit zunehmender zeitlicher Distanz zum letztmaligen Kartoffelanbau. Infolge des grossen Nahrungsangebotes durch die regelmässige Zufuhr von organischem Material aus Strohdüngung und/oder Zwischenbegrünung vermehrten sich die Regenwürmer auch im Pflugsystem.

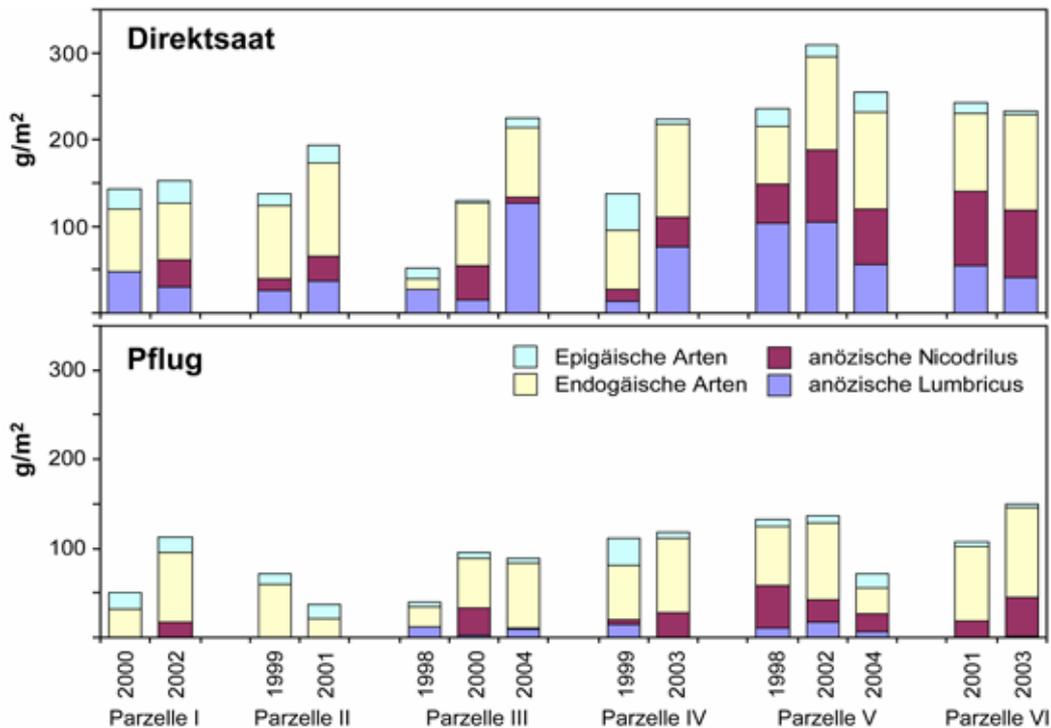


Abb. 4. Regenwurm-Biomasse im Direktsaat- und Pflugsystem 1998 – 2004. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen

Bereits Chervet et al. (2001) stellten im gleichen Versuch einen Zusammenhang zwischen dem Anteil an Hackfrüchten in der Fruchtfolge und der Regenwurmbiomasse fest. Abbildung 5 zeigt die Regenwurmpopulation 1, 3 und 7 Jahre nach dem letztmals erfolgten Kartoffelanbau sowie als Vergleichswert das Resultat derjenigen Parzellen, die seit Versuchsbeginn nie mit Kartoffeln

bebaut wurden. Ein Jahr nach Kartoffeln finden sich in beiden Anbausystemen nur etwa halb so viele Regenwürmer wie nach siebenjähriger Distanz zum letzten Kartoffelanbaujahr. Der Anteil der Tiefgräber (anözische Gruppen) ist insbesondere im Pflugsystem sehr gering. Die Arten der beiden anözischen Gruppen erholen sich unter Direktsaat schnell und vor allem die

Art *Lumbricus terrestris* (Abb. 6) erreicht nach sieben Jahren sehr hohe Werte. In den Parzellen ohne Kartoffeln sind die beiden Tiefgräber-Gruppen in etwa gleich stark vertreten. Im Pflugsystem hingegen erholt sich die Regenwurmpopulation nur langsam, deren Gesamtbiomasse beträgt auch nach sieben Jahren nur die Hälfte derjenigen des Direktsaat-systems. Der Anteil Tiefgräber bleibt gering und die drainagewirksamste Art *L. terrestris* fehlt fast vollständig. Vor allem im Sommer ist dadurch bei Starkniederschlagsereignissen die Infiltration im Pflugsystem stark eingeschränkt.

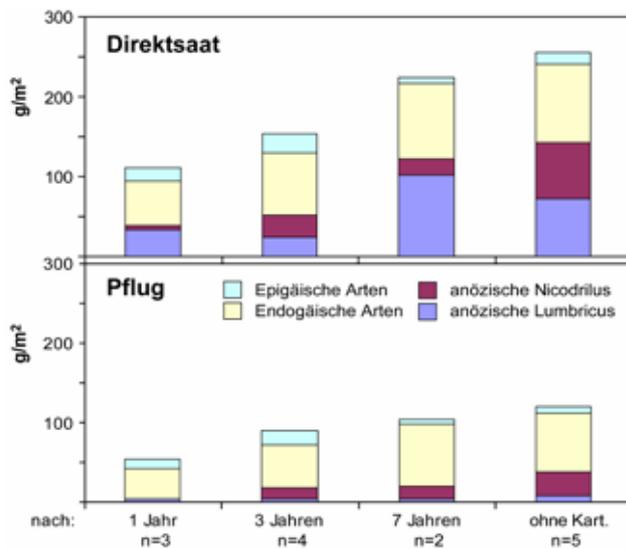


Abb. 5: Regenwurm-Biomasse im Direktsaat- und Pflugsystem 1, 3 und 7 Jahre nach Kartoffelanbau sowie ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollkofen

Der Mittelwert der Regenwurm-Biomassen aller Direktsaat-Parzellen ist mit durchschnittlich 190 g/m^2 über die 7 Jahre doppelt so hoch wie derjenige der Pflug-Parzellen mit 94 g/m^2 . Ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge liegen die Werte mit 255 g/m^2 im Direktsaat- bzw. mit 120 g/m^2 im Pflugsystem deutlich über dem Mittelwert des jeweiligen Bodenbearbeitungssystems. Die Regenwurmpopulationen im Direktsaat-System sind in derselben Grössenordnung wie diejenigen von Wiesen im Kanton Bern (Kantonale Bodenbeobachtung KABO Bern, Bodenbericht, Autorenkollektiv AUL, 2003) als auch in den Referenzwertbereichen von Dauerwiesen des

Schweizerischen Mittellandes (Stähli et al., 1997). Durch den langjährigen Verzicht auf den Pflug nähern sich somit die Regenwurmpopulationen von Ackerflächen denjenigen von Naturwiesen an. Wird eine Fruchtfolge ohne Kartoffeln gewählt, sind die Regenwurmpopulationen von Ackerflächen unter Direktsaat-Bedingungen mit denjenigen von langjährigen Wiesen praktisch gleichzusetzen.



Abb 6: Insbesondere die auch im Sommer aktive Art *Lumbricus terrestris* garantiert mit ihren stets offenen Gängen eine gute Infiltration, was das Erosionsrisiko markant reduziert

Anteilmässig bilden im Pflugsystem die "endogäischen Arten" die dominante Gruppe, im Direktsaatsystem ist es die Gruppe "anözische Lumbricus" mit der Art *L. terrestris*. Die wendende Pflugarbeit, gefolgt von der Saatbettbereitung mit einem zapfwellengetriebenen Gerät, scheint vor allem die grossen Regenwürmer durch mechanisches Verletzen sowie Zerstören ihrer Gänge empfindlich zu reduzieren.

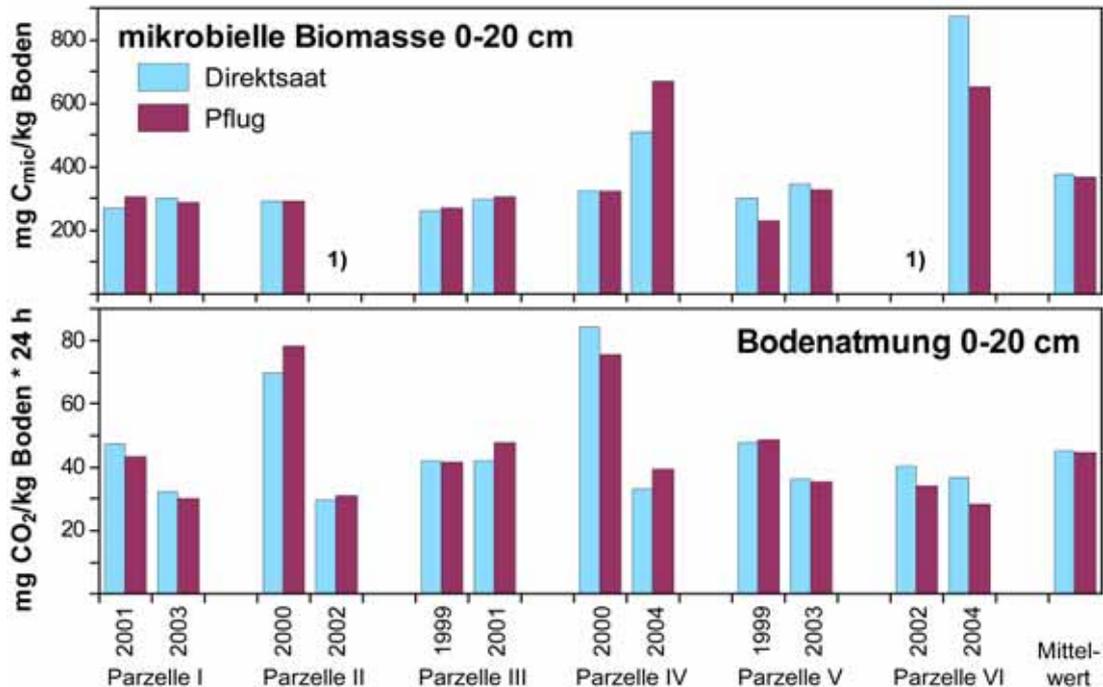


Abb. 7. Mikrobielle Biomasse und Bodenatmung in 0-20 cm Bodentiefe im Direktsaat- und Pflugsystem 1999-2004. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker, Rütli-Zollikofen

¹⁾ aus methodischen Gründen für die Auswertung nicht berücksichtigt

Mikrobiologische Parameter

Die beiden Bodennutzungssysteme unterscheiden sich im Durchschnitt aller Bestimmungen (6 Fruchtfolgeparzellen, 2 Bodenschichten, 2 Zeitpunkte) weder bezüglich mikrobieller Biomasse noch in Bezug auf die Bodenatmung (Abb. 7). Die durchschnittlichen Werte der Schicht 0-20 cm liegen für die Biomassen im Direktsaatverfahren bei $378 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1} \text{ Boden}$, im Pflugverfahren bei $367 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1} \text{ Boden}$, diejenigen für die Atmung bei $45.2 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ bzw. bei $44.6 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

In beiden Anbausystemen nehmen die mikrobielle Biomasse und Atmung in der Regel mit zunehmender Bodentiefe ab, wobei die Abnahme im Pflugsystem wegen der Durchmischung der Schichten durch die Bodenbearbeitung tendenziell kleiner ist als im Direktsaat-system.

Die geringen Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen bezüglich des Durchschnitts über die Schicht 0-20 cm bzw. der beiden untersuchten Tiefenstufen 0-10 und 10-20 cm können mehrere Gründe haben. Die letzte wendende Bodenbearbeitung auf den Pflugparzellen fand

einhalb Jahre vor der Probenahme statt, wodurch sich auch auf den gepflügten Parzellen bereits eine leichte Differenzierung in den Bodenschichten einstellen konnte. In eher leichten Böden wie dem untersuchten ist auch beim Direktsaatssystem generell keine ausgeprägte Zonierung zu erwarten. Grosse Unterschiede in der Regenwurmpopulation, nicht aber an mikrobieller Biomasse und Atmung, wurden auch von Jäggi *et al.* (2002) beschrieben. Im vorliegenden Fall kann – trotz vergleichbarer Menge an Pflanzenrückständen – im Direktsaat-system eine höhere Regenwurmbiomasse erhalten werden. Inwieweit hier ein effizienterer Nährstoffumsatz vorliegen könnte, wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Erste Hinweise in diese Richtung zeigen die mit zunehmender Versuchsdauer festgestellten höheren Erträge (Chervet *et al.*, 2005). Möglicherweise könnten Phytopathogene wie Fusarien durch rasches Zersetzen der Ernterückstände bei Direktsaat eingeschränkt werden. Insbesondere bei langjähriger Anwendung dieses Anbausystems wäre eine Änderung in der Zusammensetzung der Mikroorganismengemeinschaft mit einem höheren Anteil Fusarien-Antagonisten vorstellbar. Nachgewiesener-

massen werden Fusskrankheiten wie Halmbruch und Schwarzbeinigkeit bei Direktsaatbedingungen vergleichsweise reduziert (Anken et al., 2004).

Schlussfolgerungen

Intensität und Anzahl Bodenbearbeitungseingriffe vor allem durch Pflug und beim Kartoffelanbau bestimmen zu einem wesentlichen Teil die Grösse und Zusammensetzung der Regenwurmpopulation. Nach 10 Jahren Direktsaat ohne Kartoffeln in der Fruchtfolge sind die Werte für Gesamtbiomasse und Anteil Tiefgräber doppelt so hoch wie im Pflugsystem und denjenigen einer Dauerwiese praktisch gleichzusetzen. Sieben Jahre nach dem letztmaligen Anbau von Kartoffeln hat sich sowohl im Direktsaat- als auch im Pflugsystem die Regenwurmpopulation stark vergrössert: sie liegt im Pflugsystem aber markant tiefer als im Direktsaatsystem, wo sich ein hoher Anteil Tiefgräber und insbesondere die Art *L. terrestris* findet.

In beiden Anbausystemen fallen an der Oberfläche grosse Mengen Ernterückstände an. In den Pflugparzellen wird dieses organische Material mechanisch durch Bodenbearbeitung eingemischt, abgestorbene Pflanzenreste werden eingearbeitet und sind häufig in der Nachfolgekultur auf der Pflugsohle sichtbar. In den Direktsaatparzellen erfolgt die Einmischung in den Boden biologisch durch eine grosse Regenwurmpopulation. Zusammen mit den Mikroorganismen wird das gesamte anfallende Material innerhalb eines Jahres umgesetzt.

Die ausführliche Publikation findet man unter demselben Titel auf Deutsch in der "Agrarforschung 12(10): 460-465, 2005" und auf Französisch in der "Revue d'Agriculture 38 (2): 89-94, 2006".

Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., Perhacova, K., 2004: Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil & Till. Res.* 78, 171-183.
Autorenkollektiv AUL, 2003: Bodenbericht 2003. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 51 S.
Chervet, A., Maurer, C., Sturny, W.G., Müller, M., 2001: Direktsaat im Praxisvergleich, Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.
Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W.G., Tschannen, S., 2005: Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung* 12 (5), 184-189.
FAL Zürich-Reckenholz, IUL Liebefeld-Bern, RAC Changins, FAW Wädenswil, 1997: Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2. Zürich-Reckenholz.

Jäggi W., Weisskopf P., Oberholzer H.-R., Zihlmann U., 2002: Die Regenwürmer zweier Ackerböden. *Agrarforschung* 9 (10), 446-451.
Stähli R., Suter E., Cuendet G., 1997: Die Regenwurm-Fauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes. Synthesebericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 291. BUWAL, Bern.

4. Forum

4.1. Molekularbiologische Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Diversität im Boden

Franco Widmer

Molekulare Ökologie

Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Reckenholzstrasse 191

CH-8046 Zürich

Tel. 044 377 73 76

franco.widmer@art.admin.ch

Übersicht und Organisation

Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) ist eine der drei Forschungsanstalten des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und befasst sich hauptsächlich mit Fragen der nachhaltigen Landwirtschaft. Ökologische Fragestellungen bilden einen wichtigen Teil dieser Arbeit. Der Supportbereich Molekulare Ökologie bearbeitet ökologische Fragestellungen mit Hilfe von molekulargenetischen Methoden in den Bereichen der mikrobiellen Bodenökologie, der biologischen Schädlingsbekämpfung, der Pflanzendiversität sowie der Züchtung von Futterpflanzen. Die Forschungsarbeiten werden teilweise mit finanziellen Mitteln des BLW (Etat-Stellen und ordentliche Beiträge) unterstützt, andererseits müssen aber auch intensiv Drittmittel akquiriert werden (Projekte finanziert durch SNF, BAFU, COST, ISCB, etc.), um die Forschungsfragen zu bearbeiten. Durch die drittfinitzierten Projekte werden Doktoranden, Post-Doktoranden, sowie Praktikanten unterstützt, welche wesentlich zu unserer Forschungstätigkeit beitragen. Unsere vier Etat-Stellen werden in der Regel durch 6 bis 8 drittfinitzierte Anstellungen ergänzt. Diese Unterstützung ist unabdingbar, um unseren Forschungsauftrag zu bewältigen.

Die Infrastruktur von ART, sowie die Laboratorien der Molekularen Ökologie sind sehr gut ausgerüstet. Dies erlaubt uns international beachtete Forschungsergebnisse zu erzielen. Im Folgenden sollen die Forschungsgebiete mit Relevanz zu Fragestellungen der mikrobiellen Bodenökologie und Bodenqualität näher beschrieben werden, wobei nicht vergessen werden soll, dass dieser Bereich nur einen Teil unserer Aktivitäten widerspiegelt.

Mikroorganismen im Boden

Mikroorganismen spielen im Boden eine zentrale Rolle, weil sie für allgemeine Nährstoffkreisläufe und wichtige Prozesse, wie die biologische Stickstofffixierung, Schadstoffabbau, die Nährstoffaufnahme durch Pflanzen und den Schutz vor Krankheitserregern mindestens mitverantwortlich sind. Viele Mikroorganismen, welche für diese Prozesse wichtig sind, wurden aus der Umwelt isoliert und detailliert beschrieben. Erst der Einsatz von genetischer Analytik hat jedoch gezeigt, dass diese kultivierten und beschriebenen Mikroorganismen nur die Spitze des Eisbergs darstellen. Die Anzahl und Vielfalt der Mikroorganismen und ihrer möglichen Funktionen im Boden ist überwältigend. So leben in einem Kubikzentimeter Boden bis zu 10 Milliarden Mikroorganismen (Tab. 2), die zu mehreren tausend unterschiedlichen Gruppen (Gattungen und Arten) gehören. Genetische Analysen haben ebenfalls ergeben, dass die Vielfalt und Bedeutung von Mikroorganismen in der Biosphäre weitgehend unterschätzt wurde.

Tab. 2: Anzahl und Diversität von Mikroorganismen in unterschiedlichen Böden (nach Torsvik *et al.* 2002).

Boden	Mikroorganismen [Zellen/cm ³]	genetische Gruppen [Genotypen/cm ³]
Wald	4.8 x 10 ⁹	6000
Grasland	1.8 x 10 ¹⁰	3500 - 8800
Acker	2.1 x 10 ¹⁰	140 - 350

Detaillierte Untersuchungen haben gezeigt, dass die Mikroorganismen den weitaus grössten Teil der Lebewesen auf unserem Planeten darstellen, was sich im "Lebensbaum" eindrücklich zeigen lässt (Abb. 8; Pace, 1997). Die Domänen der Archaeen und Bakterien bilden zusammen die Prokaryonten, welche ausschliesslich Mikroorganismen darstellen. Diese unterscheiden sich unter anderem durch den fehlenden Zellkern von den Eukaryonten, welche Protozoen, Algen, Pilze sowie auch höhere Organismen beinhalten. Abbildung 8 macht deutlich, dass die Mikroorganismen den "Lebensbaum" klar dominieren und eine beeindruckende Vielfalt darstellen.

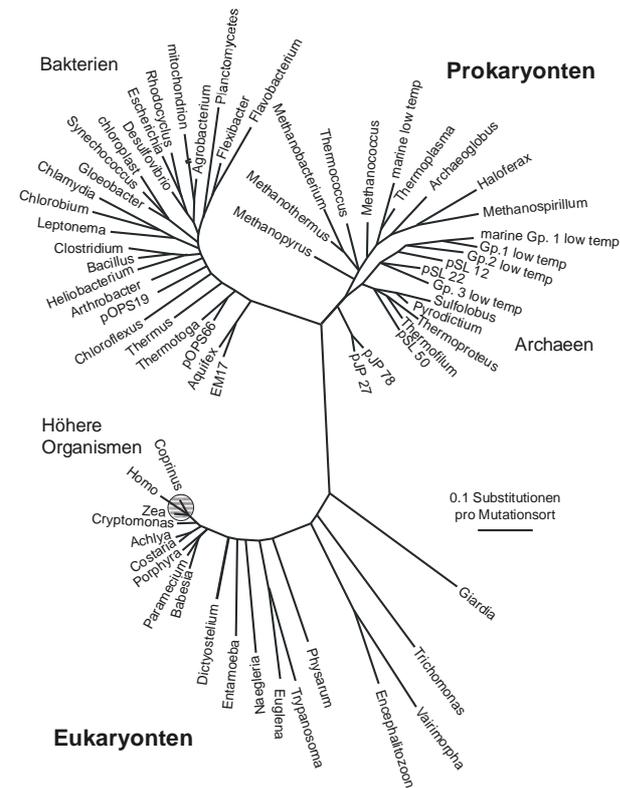


Abb. 8: Der "Lebensbaum". Basierend auf Sequenzen des Gens, welches für die kleine Untereinheit der ribosomalen RNA kodiert, wurde die stammesgeschichtliche Beziehung von Prokaryonten (Bakterien und Archaeen) und der Eukaryonten rekonstruiert. Daraus wird ersichtlich, dass der Lebensbaum von Mikroorganismen dominiert wird und die höheren Organismen nur einen kleinen Teil davon ausmachen (nach Pace, 1997).

Die meisten dieser Gruppen sind heute noch nicht oder nur mit grossem Aufwand kultivierbar, was dazu geführt hat, dass bisher nur ein kleiner Teil davon, man schätzt ca. 1%, kultiviert und detailliert beschrieben worden ist. Erst der Einsatz molekulargenetischer Methoden ermöglichte das Erkennen und die Beschreibung dieser Vielfalt. Dazu wird die Erbsubstanz der Mikroorganismen z. B. direkt aus einer Bodenprobe extrahiert. Anschliessend können bestimmte Markergene mittels der Polymerase-Kettenreaktion (engl. PCR) isoliert und analysiert werden. Zum einen kann die genetische Vielfalt mittels so genannter genetischer Profile dargestellt und verglichen werden (Abb. 9), zum anderen können aber auch die DNA-Sequenzen der isolierten Markergene entschlüsselt und

miteinander verglichen werden (siehe z.B. Abb. 8). Ein häufig verwendetes Markergen ist das Gen, welches für die kleine Untereinheit der ribosomalen RNA, d.h. einen Teil des Proteinsyntheseapparates, kodiert. Dieses Gen kommt in allen zellulären Organismen vor und eignet sich vorzüglich für Verwandtschafts- oder eben phylogenetische Studien. Der "Lebensbaum", der in Abbildung 8 dargestellt ist, beruht auf einem Vergleich der Ähnlichkeiten des ribosomalen RNA Gens (ein so genanntes phylogenetisches Markergen) und zeigt schematisch den so ermittelten Stammbaum des Lebens auf der Erde.

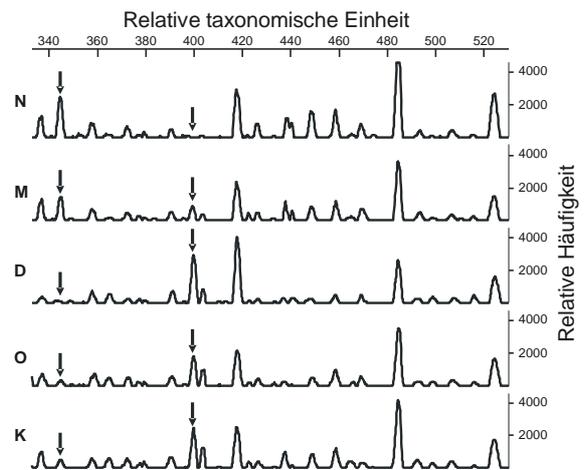


Abb. 9: Ausschnitt von genetischen Profilen der Bakteriengemeinschaften in den Böden des DOK-Versuches, der 1978 angelegt wurde, um biodynamischen (D), organischen (O) und konventionellen (K) Landbau miteinander zu vergleichen. Neben diesen Verfahren gibt es noch ungedüngte (N) und rein mineralisch gedüngte (M) Kontrollen. Die Pfeile deuten auf Signale, die auf eine unterschiedliche Häufigkeit von Bakterien in den Böden der verschiedenen Verfahren schliessen lassen.

Neben diesen verwandtschaftsbezogenen oder phylogenetischen Markergenen gibt es aber auch so genannte funktionelle Markergene, welche für eine bestimmte Funktion der Mikroorganismen wichtig sind. So sind zum Beispiel Stickstoff-fixierende Mikroorganismen in ganz unterschiedlichen verwandtschaftlichen Gruppen zu finden und deshalb mit den phylogenetischen Markergenen nicht als funktionelle Gruppe nachweisbar. Man kann aber diese funktionelle Gruppe anhand von funktionellen Markergenen nachweisen und so zum Beispiel erkennen, ob

und welche Stickstofffixierer in einer Bodenprobe vorhanden sind.

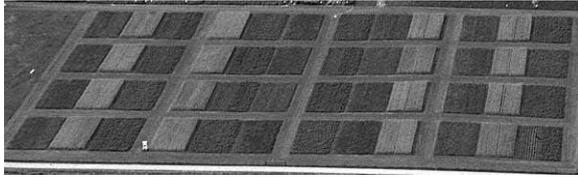


Abb. 10: Der DOK-Versuch in Therwil, BL, wurde 1978 angelegt, um biodynamischen (D), organischen (O) und konventionellen (K) Landbau miteinander zu vergleichen. Parallel werden drei Kulturen angebaut und jedes Verfahren in vier Wiederholungen geführt. (Foto J. Hättenschwiler, IUL)

Welcher dieser Ansätze verfolgt wird, hängt von der zu bearbeitenden Fragestellung ab. Sollen zum Beispiel generell Unterschiede zwischen Bodenproben oder unbekannte Auswirkungen auf den Boden untersucht werden, so empfiehlt es sich allgemeine phylogenetische Markergen-Nachweise zu verwenden, welche ganze Domänen, z.B. Archaeen, Bakterien oder Eukaryonten, erfassen (Widmer *et al.*, 2001). Sollen aber bestimmte Gruppen, wie z.B. die Gattung *Pseudomonas* in einem Boden untersucht werden, so wird ein spezifischer phylogenetischer Markergen-Nachweis eingesetzt (Widmer *et al.*, 1998). Will man hingegen untersuchen, wie sich eine funktionelle Gruppe (z.B. die frei lebenden Stickstoff-Fixierer) in einem Boden zusammensetzt oder verändert, so werden Nachweise für funktionelle Markergene eingesetzt (Widmer *et al.*, 1999). All diese Ansätze haben deutlich gemacht, dass wir heute die mikrobiellen Populationsstrukturen und Funktionen im Boden erst zu einem kleinen Teil verstehen. Trotz der verbesserten analytischen Methoden ist es aber immer noch schwierig, diese immense Vielfalt an Mikroorganismen und deren mögliche Funktionen zu verstehen. Es wird deshalb versucht, spezifische Unterschiede in verschiedenen Systemen zu suchen und die Ursachen sowie die möglichen Auswirkungen dieser Unterschiede zu verstehen. Im Folgenden soll dieser Ansatz, wie er bei der Molekularen Ökologie von ART eingesetzt wird, an ein paar Beispielen verdeutlicht werden.

Molekulare mikrobielle Ökologie in landwirtschaftlichen Böden

Vergleichende Untersuchungen von mikrobiellen Gemeinschaften haben gezeigt, dass in Wald-

und Graslandböden eine deutlich grössere Vielfalt an Mikroorganismen lebt als in Ackerböden (Tab. 2). Die genauen Ursachen und möglichen Konsequenzen für die Landwirtschaft sind aber noch weitgehend unbekannt. Ist die reduzierte Mikroorganismen-Vielfalt in Landwirtschaftsböden eine unproblematische und systembezogene Folgeerscheinung dieser speziellen Bodennutzung, oder könnte man durch spezifische Massnahmen die Mikroorganismen-Vielfalt gezielt optimieren, um damit die Funktionalität des Bodens zu verbessern? Um diesen Fragen nachzugehen, wird bei ART untersucht, welchen Einfluss verschiedene Anbausysteme auf die Vielfalt der Mikroorganismen im Boden haben.

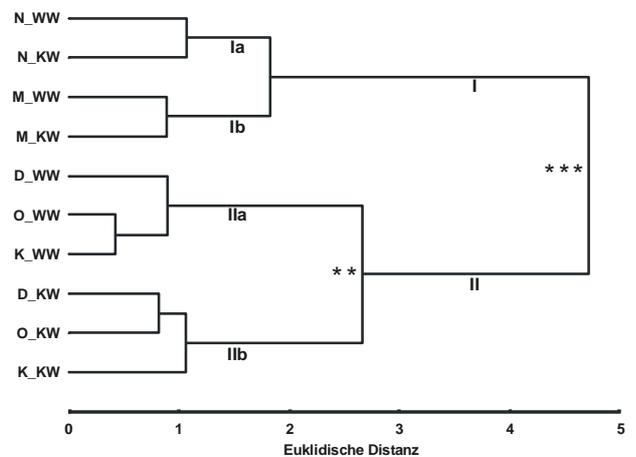


Abb. 11: Clusteranalyse, welche auf dem Vergleich von genetischen Profilen der Bakterienflora in den Böden des DOK-Versuches beruht. Effekte der Verfahren (D, O, K, M und N) sowie der Kulturen Winterweizen (WW) und Kunstwiese (KW) wurden miteinander verglichen. Signifikante Unterschiede sind mit Sternen gekennzeichnet. Die DOK Verfahren trennen sich deutlich von den Kontrollen (M und N) ab, was auf die Gabe von Hofdüngern zurückzuführen ist (Cluster I vs. II). Des Weiteren wird auch deutlich, dass der Effekt der Kulturen stärker ist als derjenige der DOK Verfahren (Cluster IIa vs. IIb). (nach Widmer *et al.*, 2006)

Der DOK-Versuch in Therwil (BL) bildet dafür ein ideales Modellsystem, da hier seit 1978 der dynamisch-biologische (D), der organisch-biologische (O) und der konventionelle (K) Landbau miteinander verglichen werden (Abb. 10). Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Ausbringen von Gülle und Mist den grössten Einfluss auf die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaften im Boden hat, dass aber auch die angebaute Kultur einen wichtigen

Faktor darstellt. Die unterschiedlichen Anbausysteme (D, O und K) scheinen aber einen geringeren Einfluss zu haben (Abb. 11; Widmer *et al.*, 2006a; Hartmann *et al.*, 2006). Welche dieser Einflüsse positiv oder negativ sind, kann im Moment noch nicht mit Sicherheit bestimmt werden, wird aber einen Fokus zukünftiger Forschung bilden. Unsere ersten Resultate zeigen jedoch deutlich, dass bestimmte Anbaumaßnahmen einen Einfluss auf die Populationen der Mikroorganismen im Boden haben. In den kommenden Jahren werden wir spezifische funktionelle und phylogenetische Gruppen untersuchen, um die Auswirkungen landwirtschaftlicher Verfahren auf den Boden besser verstehen und weiter optimieren zu können.

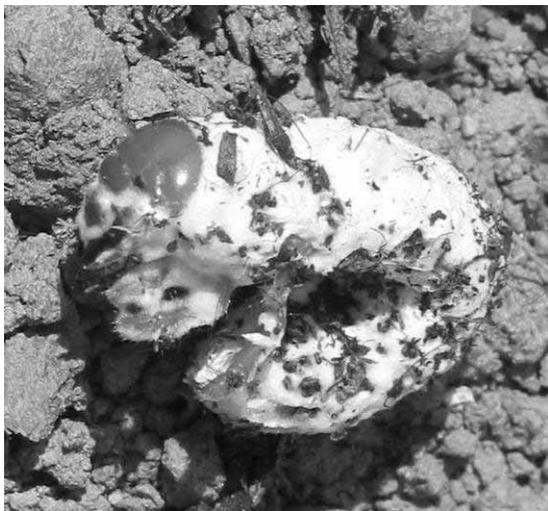


Abb. 12: Ein Maikäfer-Engerling, der von *Beauveria brongniartii* befallen und abgetötet wurde. Dieser natürlich vorkommende Pilz wird in der Schweiz seit 1991 zur biologischen Bekämpfung des Maikäfer-Engerlings eingesetzt. (Foto J. Enkerli, ART)

Ähnliche Ansätze wie zur Beschreibung der Auswirkungen im DOK-Versuch werden auch angewendet, um Auswirkungen von Schwermetallbelastungen (Hartmann *et al.*, 2005; Widmer *et al.*, 2006b), Bodenlagerung (Pesaro *et al.*, 2004), gentechnisch veränderten Pflanzen oder Pflanzenschutzmitteln zu untersuchen. Auch in diesen Fällen kennt man die möglicherweise betroffenen Mikroorganismen nicht und muss deshalb in einem Screening für allgemeine phylogenetische Marker die Vielzahl der Organismen abbilden und nach Veränderungen in den Populationsstrukturen suchen.

Insektenpathogene Pilze in der biologischen Schädlingsbekämpfung

Insektenpathogene Pilze werden zur biologischen Kontrolle von Schadinsekten eingesetzt. Bei ART wurde zum Beispiel ein Produkt entwickelt, welches auf dem einheimischen Pilz *Beauveria brongniartii* beruht, der spezifisch den Engerling des Maikäfers infizieren und somit Engerlingsschäden im Grasland und Obstbau kontrollieren kann (Abb. 12; Keller, 2004). Obwohl es sich dabei um einen natürlichen Antagonisten des Maikäfers handelt und das Verfahren seit 1991 erfolgreich und kommerziell eingesetzt wird, sind Begleituntersuchungen zu Wirksamkeit, Stabilität, Verbleib, sowie zu möglichen Nebeneffekten in der Umwelt erforderlich. Zu diesem Zweck wurden spezifische molekulargenetische Methoden entwickelt, um den eingesetzten Pilzstamm zu identifizieren und seinen Verbleib in der Umwelt zu verfolgen (Enkerli *et al.*, 2001). Mit diesen Methoden konnte gezeigt werden, dass der ausgebrachte Pilz auch 15 Jahre nach der Applikation noch im Feld nachweisbar ist und sich in bestehende Populationen von *Beauveria brongniartii* integriert (Enkerli *et al.*, 2004).

Zurzeit sind Untersuchungen zu möglichen Nebeneffekten im Gange, bei denen es hauptsächlich darum geht, die Interaktion des Pilzes mit der endogenen Bodenpilz-Gemeinschaft zu erforschen. Ähnliche Untersuchungsansätze werden auch für andere insektenpathogene Pilze (z.B. *Metarhizium anisopliae*) entwickelt, mit denen möglicherweise weitere Schadinsekten, wie Drahtwürmer oder der Junikäfer, kontrolliert werden können (Enkerli *et al.*, 2005).

Wie oben beschrieben, sind nicht alle Mikroorganismen kultivierbar. Dies trifft zum Teil auch für insektenpathogene Pilze zu und erschwert deren Einsatz in der biologischen Kontrolle. Ein solches Beispiel stellt *Pandora neoaphidis* dar, ebenfalls ein einheimischer Pilz, der spezifisch Blattläuse befällt. Dieser Pilz ist sehr schwierig zu kultivieren, was eine Formulierung zur gezielten Applikation verunmöglicht. Es wird deshalb untersucht, ob durch gezielte Massnahmen, wie z.B. das Anlegen von ungepflügten Ackerrandstreifen oder natürlichen Flächen, dieser Pilz direkt im ökologischen System gefördert werden kann.

Gegenwärtig ist über das Verhalten und den Lebensraum dieses Pilzes relativ wenig bekannt, nicht zuletzt weil er so schwierig zu kultivieren ist. Deshalb hat sich auch hier der molekulargenetische Ansatz angeboten, um Vorkommen und Verbreitung dieses Pilzes zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein spezifischer phylogenetischer Nachweis entwickelt, welcher es erlaubt die bevorzugten Habitate dieses Pilzes in der Umwelt zu suchen.

Schlussfolgerungen

Mikroorganismen kommen in Böden in einer unglaublichen Vielfalt vor und führen wichtige Funktionen aus. Neben chemischen und physikalischen können auch diese biologischen Bodeneigenschaften Informationen über den Zustand eines Bodens liefern. Wir müssen aber lernen diese Information zu lesen und zu verstehen, um sie für die Bodenqualitätsbeurteilung nutzen zu können. Ein verbessertes Verständnis der Bodenmikrobiologie wird es auch erlauben, die Funktionen bestimmter Mikroorganismen gezielt zu nutzen oder zu fördern und verschiedenste Prozesse, wie z.B. die biologische Kontrolle oder Regulation von Schädlingen, zu unterstützen.

Referenzen

- Enkerli J., F. Widmer, C. Gessler, S. Keller (2001). Strain-specific microsatellite markers in the entomopathogenic fungus *Beauveria brongniartii*. *Mycological Research* 105: 1079-1087
- Enkerli J., F. Widmer, S. Keller (2004). Long-term persistence of *Beauveria brongniartii* strains applied as biocontrol agents against European cockchafer larvae in Switzerland. *Biological Control* 29: 115-123
- Enkerli J., R. Kölliker, S. Keller, F. Widmer (2005). Isolation and characterization of microsatellite markers from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Molecular Ecology Notes* 5: 384-386
- Hartmann M., B. Frey, R. Kölliker, F. Widmer (2005). Semi-automated genetic analyses of soil microbial communities: comparison of T-RFLP and RISA based on descriptive and discriminative statistical approaches. *Journal of Microbiological Methods* 61: 349-360
- Hartmann M., A. Fließbach, H.-R. Oberholzer, F. Widmer (2006). Ranking the magnitude of crop and farming system effects on soil microbial biomass and genetic structure of bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*
- Keller S. (2004). Bekämpfung von Maikäfer-Engerlingen mit dem Pilz *Beauveria brongniartii* in der Schweiz. *Laimburg Journal* 1: 158-164
- Pace N. (1997). A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science* 276: 734-740
- Pesaro M., G. Nicollier, J. Zeyer, F. Widmer (2004). Impact of soil drying-rewetting stress on soil microbial communities and activities and on degradation of two crop protection products. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 2577-2587
- Torsvik V., L. Øvreås, T. F. Thingstad (2002). Viewpoint: prokaryotic diversity - magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science* 296: 1064 - 1066
- Widmer F., R. J. Seidler, P. M. Gillevet, L. S. Watrud, G. D. Di Giovanni (1998). A highly selective PCR protocol for detecting 16S rRNA genes of the Genus *Pseudomonas* (sensu stricto) in environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 2545-2553
- Widmer F., B. T. Shaffer, L. A. Porteous, R. J. Seidler (1999). Analysis of nifH Gene pool complexity in soil and litter at a Douglas fir forest site in the Oregon Cascade mountain range. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 373-380
- Widmer F., A. Fließbach, E. Laczko, J. Schulze-Aurich, J. Zeyer (2001). Assessing soil biological characteristics: a comparison of bulk soil DNA-, PLFA-, and community Biolog™-analyses. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 1029-1036
- Widmer F., F. Rasche, M. Hartmann, A. Fließbach (2006a). Community structures and substrate utilization of bacteria in soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment. *Applied Soil Ecology* 33: 294-307
- Widmer F., M. Hartmann, B. Frey, R. Kölliker (2006b). A novel strategy to extract specific phylogenetic sequence information from community T-RFLP. *Journal of Microbiological Methods* 66: 512-520