

# HOTSPOT

Biodiversität im Boden



**HOTSPOT**  
Zeitschrift des Forum Biodiversität Schweiz  
32|2015

**Herausgeber**

Forum Biodiversität Schweiz, Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT), Laupenstrasse 7, Postfach, CH-3001 Bern, Tel. +41 (0)31 306 93 40, biodiversity@scnat.ch, www.biodiversity.ch.

Das Forum Biodiversität Schweiz fördert den Wissensaustausch zwischen Biodiversitätsforschung, Verwaltung, Praxis, Politik und Gesellschaft. Die Zeitschrift HOTSPOT ist eines der Instrumente für diesen Austausch. Sie wird zweimal jährlich in einer deutschen und einer französischen Ausgabe publiziert. Die nächste Ausgabe von HOTSPOT erscheint im Frühling 2016 zum Thema Biodiversität in Gärten.

Um das Wissen über Biodiversität allen Interessierten zugänglich zu machen, möchten wir den HOTSPOT gratis abgeben. Wir freuen uns über Unterstützungsbeiträge. HOTSPOT-Spendenkonto: PC 30-204040-6 (IBAN CH91 0900 0000 3020 4040 6).

**Redaktion:** Dr. Gregor Klaus, Jodok Guntern, Danièle Martinoli, Maiann Suhner, Dr. Daniela Pauli.

**Übersetzung ins Deutsche:** Jakob Baumgartner (S. 5–7, 24, 28)

**Gestaltung/Satz:** Esther Schreier, Basel.

**Druck:** Print Media Works, Schopfheim im Wiesental (D). Papier: Circle matt 115 g/m<sup>2</sup>, 100% Recycling.

**Auflage:** 3300 Ex. deutsch, 1100 Ex. französisch.

**Fotos Titelseite:** Oben: Kartoffelanbau in Braunerde bei Zimmerwald BE; Foto © Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet). Mitte: Spargelanbau; Foto Beat Ernst, Basel. Unten: Schalenamöbe *Diffflugia pyriformis*; Foto Edward Mitchell.

© Forum Biodiversität Schweiz, Bern, September 2015.

Manuskripte unterliegen der redaktionellen Bearbeitung. Die Beiträge der Autorinnen und Autoren müssen nicht mit der Meinung des Forum Biodiversität Schweiz übereinstimmen. Nachdruck nur mit schriftlicher Erlaubnis der Redaktion gestattet.

# Editorial



Wussten Sie, dass mehr als die Hälfte der Biomasse weltweit von Mikroorganismen gestellt wird? Der immense Reichtum an Bakterien, mikroskopisch kleinen Pilzen, Algen und Protozoen lässt die Bedeutung der Bodenbiodiversität für die Natur und den Menschen erahnen. Fruchtbare Böden, sauberes Trinkwasser, die Speicherung von CO<sub>2</sub>, die Versorgung mit Lebensmitteln und Medikamenten: All dies ist nur möglich durch die biologische Vielfalt im Boden, der dünnen Haut, die unsere Erde umhüllt.

Bodenorganismen beteiligen sich an vielen Stoffkreisläufen und leisten ihren Beitrag zu den Bodenfunktionen. Doch dieser Beitrag ist nicht immer offensichtlich: Der Boden zeigt sich dem Betrachter in der Regel nur von seiner zweidimensionalen Seite; selten sind Einblicke in die dritte Dimension möglich. Aber gerade darin präsentiert sich der Boden von seiner reizvollsten Seite. Neben den bekannten Regenwürmern und Asseln leben unzählige Organismen im Boden, die häufig von Auge nicht sichtbar sind. Denken Sie an die Pilze und Bakterien, die im Verborgenen ihrer Arbeit nachgehen. Aber nicht nur aufgrund der Dunkelheit ist der Boden noch weitgehend eine Black Box, wie wir im vorliegenden HOTSPOT erfahren. Erfreulich ist, dass sich die Möglichkeiten, die Kleinstorganismen zu untersuchen und zu bestimmen, in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt haben. Mit den neuesten Sequenzierungs-Technologien lassen sich heute komplexe mikrobielle Gemeinschaften im Boden mit hoher Auflösung erfassen.

Die biologische Aktivität im Boden schwankt im Jahresverlauf und ist stark von der Landnutzung und Witterung – insbesondere der Niederschlagsmenge und der Temperatur – abhängig. Kurzfristige Eingriffe überlagern langfristige Effekte. Es ist deshalb von grösster Bedeutung, mittels Feldexperimenten und Monitoring-Programmen den Zustand und die Entwicklung zu erfassen und die ablaufenden Prozesse zu verstehen, um Empfehlungen für die nachhaltige Förderung der Bodenfruchtbarkeit und damit der Bodenbiodiversität geben zu können. Die Erhaltung der Bodenbiodiversität ist überlebenswichtig.

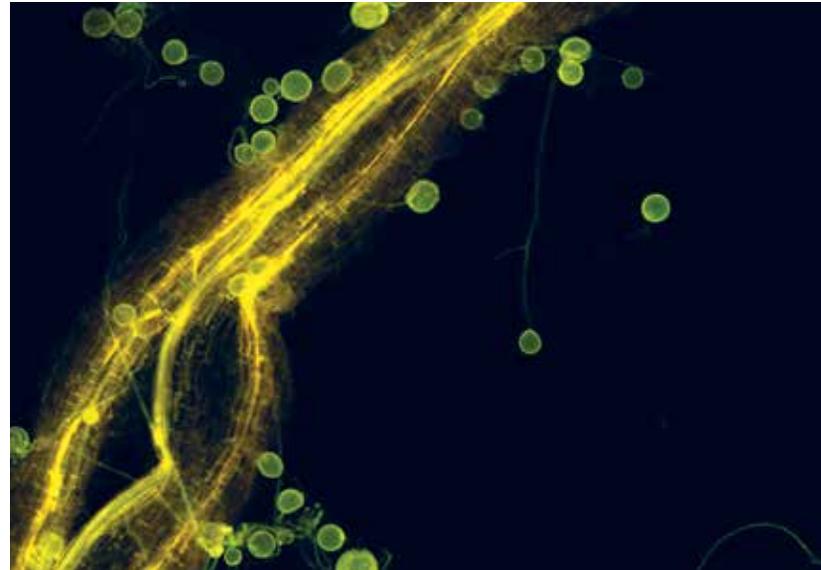
In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viele neue Erkenntnisse bei der vorliegenden Lektüre.

Dr. Reto Giulio Meuli  
Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz

# Biodiversität im Boden

## Brennpunkt

- 04** **Leitartikel: Die guten Geister im Untergrund**  
Gregor Klaus
- 05** **«Eine Erhöhung der Ausgaben für die Bodenforschung um das Hundertfache liesse sich rechtfertigen»**  
Ein Gespräch mit den Bodenspezialisten Jean-Michel Gobat und Edward Mitchell von der Universität Neuenburg
- 08** **Welche landwirtschaftlichen Anbausysteme fördern das Bodenleben?**  
Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Jochen Mayer, Fritz Oehl, Lukas Pfiffner, Martin Hartmann und Franco Widmer
- 10** **Bodenorganismen mögen es ruhig**  
Maïke Krauss, Alfred Berner, Andreas Fliessbach, Lukas Pfiffner und Paul Mäder
- 12** **Im Kreislauf behalten: Die Rolle der Bodenmikroorganismen in der Phosphordynamik**  
Else K. Bünemann und Sabine A. Ragot
- 14** **«Die Erforschung der Bodenbiodiversität ist mein Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft»**  
Ein Besuch bei Marcel van der Heijden am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich
- 16** **Grossflächige Untersuchungen der Bodenbiodiversität sind endlich realisierbar**  
Beat Frey, Franco Widmer und Martin Hartmann
- 18** **Wie geht es den Böden in der Schweiz? Bodenbiologische Untersuchungen der Nationalen Bodenbeobachtung NABO**  
Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer, Beat Frey, Hans-Rudolf Oberholzer, Raquel Campos-Herrera und Reto G. Meuli
- 22** **Schaffung magerer Standorte und Förderung gefährdeter Arten durch Bodenabtrag**  
Pascale Weber



80 Prozent aller Landpflanzen leben in einer Symbiose mit Pilzen. Diese Lebensgemeinschaft wird als Mykorrhiza bezeichnet («verpilzte Wurzel»). Im Bild leuchtet die Wurzel gelb, der Pilz grün. Foto Jan Jansa

## Rubriken

- 24** **Bundesamt für Umwelt BAFU**  
Der Bund im internationalen Jahr des Bodens  
Elena Havlicek
- 25** **Forum Biodiversität Schweiz**  
Wiesenmeisterschaften – Biodiversität im Rampenlicht  
Jodok Guntern und Eva Spehn
- 26** **Bundesamt für Landwirtschaft BLW**  
Vielfältige Landsorten weiterentwickeln  
Barbara und Hans Oppliger
- 28** **Die Karte zur Biodiversität**  
Regenwürmer regenerieren verdichtete Böden  
Yvan Capowiez

# Leitartikel

## Die guten Geister im Untergrund

Gregor Klaus

Auf einer Trockenwiese im Jura haben Forschende auf einer Fläche von 20 auf 20 Zentimetern 34 Pflanzenarten gezählt – ein selbst für Kalkmagerrasen rekordverdächtiger Wert. Verglichen mit der Artenvielfalt unter der Erdoberfläche muss die oberirdische Vielfalt aber fast schon als armselig bezeichnet werden: In nur einem Gramm Boden leben mehrere Tausend Arten, darunter Bakterien, Pilze, Fadenwürmer, Algen, Milben, Springschwänze, Ringelwürmer, Regenwürmer, Tausendfüsser, Käfer, Spinnen und Schnecken. Die Anzahl bakterieller Zellen, Einzeller und mehrzelliger Individuen ist gewaltig: In jedem Krümel Erde tummeln sich weitaus mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde.

In Anbetracht der schier unendlichen Weite im dreidimensionalen Lebensraum Boden erstaunen diese Zahlen eigentlich wenig (> S. 5ff). Der Boden ist keine kompakte, einheitliche Schicht «Dreck» zwischen der Pflanzendecke und dem festen Gestein, sondern ein filigranes Gerüst aus Humus und Mineralien, gegliedert in verschiedene Schichten. Die Zwischenräume sind mit Wasser oder Luft gefüllt und Lebensraum der Bodenorganismen. Die bewohnbare Fläche einer einzigen Hand voll toniger Erde ist mit rund einem Quadratkilometer überwältigend. Das Gewicht aller Bodenlebewesen in diesem unterirdischen Labyrinth unter einer Hektare Land kann bis zu 15 Tonnen betragen. Dies entspricht dem Gewicht von etwa 20 Kühen.

### Bodenlebewesen als Motor der Bodenfunktionen

Unter unseren Füßen pulsiert ein ungeheuer reiches und vielfältiges Leben. Doch während Satelliten in millimetergenau festgelegten Umlaufbahnen aus über 500 Kilometern Höhe die Erdoberfläche in immer kleinere Quadrate auflösen, ist der Boden weitgehend eine unbekannte Welt.

Trotz intensiver bodenbiologischer Forschung wissen wir erstaunlich wenig über die ökologischen Zusammenhänge im Boden. Nur langsam kommt Licht ins Dunkel. Im ersten Scheinwerferlicht präsentiert sich eine faszinierende und hochkomplexe Lebensge-

meinschaft. Erste Resultate aus dem Nationalen Forschungsprogramm NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» zeigen beispielsweise, dass die verschiedenen Pflanzenarten über spezifische Schutzschilder aus Bakterien verfügen, die einen Cocktail aus giftigen Substanzen produzieren, die gegen schädliche Pilze und sogar gegen Insekten wirken. Die Bakterien unterdrücken aber nicht nur ganz direkt Krankheitserreger und Fressfeinde; sie regen auch die Verteidigungsmechanismen der Pflanzen gegen bestimmte Krankheiten an. In einem anderen Projekt konnten Forschende zeigen, dass verletzte Maiswurzeln chemische Hilferufe aussenden, um die Feinde ihrer Feinde anzulocken. Die herbeigerufenen Fadenwürmer können schädliche Insekten vernichten.

Es wird immer deutlicher, wie eng das oberirdische Leben mit den Bodenorganismen verflochten ist. Letztendlich bestimmen die winzigen Organismen darüber, was auf der Erdoberfläche wächst (> S. 14f). Ein gesunder Boden erfüllt lebenswichtige und unersetzliche Funktionen für uns Menschen. Zwei der wichtigsten Bodenfunktionen werden vom Bodenleben gesteuert: Die Produktion von Nahrungsmitteln und Holz sowie die Regulation der Stoffflüsse. Die Bodenorganismen ...

- > bauen pflanzliche und tierische Reststoffe ab,
- > speichern und mobilisieren Nährstoffe (> S. 12f und 14f),
- > fixieren Luftstickstoff,
- > fördern die chemische Verwitterung und damit die Nährstoffnachlieferung aus den Gesteinen,
- > speichern Kohlenstoff und bauen ihn in die Bodenmatrix ein,
- > reduzieren die Freisetzung von klimaschädlichem Lachgas (> S. 14f),
- > bauen giftige Stoffe wie Pestizide ab und halten damit das Grundwasser sauber,
- > schützen die Pflanzenwurzeln vor Austrocknung und Krankheitserregern,
- > stabilisieren die Bodenaggregate durch Schleimstoffe und senken damit das Erosionsrisiko,
- > sorgen durch ihre Ab- und Umbautätigkeit

für günstige bodenphysikalische Bedingungen (> S. 16f und 28),

- > erhöhen die Wasserspeicherkapazität des Bodens und reduzieren so das Hochwasser- und Dürrierisiko.

Die Mikroorganismen sind auch eine wertvolle Ressource für Medikamente. Tausende von Bodenproben werden jedes Jahr nach neuen, Antibiotikum produzierenden Organismen untersucht. Vor der Entdeckung des Penicillins, das von einem Schimmelpilz produziert wird, der vorwiegend in den oberen Bodenschichten lebt, waren ein Drittel aller Todesfälle auf bakterielle Infektionen zurückzuführen; heute sind es weniger als ein Prozent.

### Neue Technologien – neue Forschungsfragen

Angesichts dieser Leistungen ist es nur logisch, dass Bodenorganismen auch in landwirtschaftlichen Ökosystemen eine Schlüsselrolle spielen. Zu einer nachhaltigen Landwirtschaft gehört deshalb die gezielte Stärkung der Bodenökosysteme (> S. 10f und 14f). Im Rahmen eines weltweit einzigartigen Langzeit-Feldversuchs konnten Schweizer Forschende nachweisen, dass sich verschiedene Landbausysteme unterschiedlich auf das Bodenleben auswirken (> S. 8f).

In den kommenden Jahren sind grosse Fortschritte beim Verständnis der Bodenbiodiversität zu erwarten. Die Erforschung der ökologischen Zusammenhänge hat sich zum einen intensiviert, zum anderen ermöglichen es neuste Sequenzierungs-Technologien zum ersten Mal, komplexe mikrobielle Gemeinschaften im Boden mit hoher Auflösung zu erfassen (> S. 16f). Es ist erfreulich, dass die Nationale Bodenbeobachtung NABO die neuen Technologien bereits in ihr Programm aufgenommen hat (> S. 18ff).

Dr. Gregor Klaus ist Redaktor von HOTSPOT und freier Wissenschaftsjournalist.

Kontakt: gregor.klaus@eblcom.ch

# «Eine Erhöhung der Ausgaben für die Bodenforschung um das Hundertfache liesse sich rechtfertigen»

**Was wissen wir eigentlich über die Biodiversität in den Böden? Wie lässt sich die überlebenswichtige Ressource Boden wirksam schützen? Ein Gespräch mit den Bodenspezialisten Prof. Jean-Michel Gobat und Prof. Edward Mitchell von der Universität Neuchâtel.**

**HOTSPOT:** Was hat Sie dazu bewogen, sich wissenschaftlich mit dem Boden zu befassen?

**Jean-Michel Gobat:** Nach meinem Diplom in Biologie machte ich eine Dissertation über Moore. Bald wurde mir klar, dass ich mich dazu auch mit den Dingen befassen musste, die man nicht sieht. So näherte ich mich auto-

didaktisch der Pedologie. Nach einer Zeit als Oberassistent für Pflanzenökologie richtete ich an der Universität Neuenburg ein Bodenlabor ein. Ich untersuchte die Moore am Südufer des Neuenburgersees und die Schweizer Auen. Heute kenne ich die Böden des Kantons Neuenburg bestens. In einem Umkreis von 25 Kilometern findet man hier 80 Prozent der Schweizer Bodentypen. Meine Studienobjekte im Feld sind einige Zentimeter bis eine Hektare gross. In diesem Punkt unterscheide ich mich von Edward.

**Edward Mitchell:** Ich besuchte alle Lehrveranstaltungen in Pedologie von Jean-Michel. Er hat mich mit seiner Leidenschaft für Hochmoore angesteckt. Für meine Masterarbeit studierte ich die Schalenamöben. Diese leben in Moosen und sind sesshaft – anders als die Pollen, die weit verfrachtet werden. Nach dem

Tod werden ihre Überreste im Sediment konserviert. Sie liefern viele interessante Informationen. So eignen sie sich zum Beispiel als Indikatoren für indirekte menschliche Eingriffe in ein Hochmoor. Später richtete ich mein Augenmerk – ebenfalls autodidaktisch – auf die Protisten. Das ist eine Gruppe von ein- bis wenigzelligen, mikroskopisch kleinen Lebewesen. Heute lehre ich «Protistologie» und Bodenbiologie an der Universität Neuenburg.

**HOTSPOT:** Wieso ist der Boden immer noch eine «terra incognita»?

**Gobat:** Er ist auf den ersten Blick kein reizvolles Studienobjekt – eine verborgene, schwer zu beobachtende Welt. Zudem entspricht das, was im Labor passiert, nicht zwingend den tatsächlichen Vorgängen im Boden. Der Schock, den der Wechsel vom natürlichen Boden in

Diese geringmächtige Kalkbraunerde ist ein wenig entwickelter Boden, dessen brauner Horizont noch reich an Calciumcarbonaten ist. Gorges de l'Areuse, NE, 3.4.2007. Foto J.-M. Gobat



Dieser Rohhumus-Karbonatgesteinslithosol besteht aus einer dicken, sehr sauren Schicht organischen Materials auf mächtigen Kalksteinblöcken. Creux du Van, NE, 12. 6. 2013. Foto J.-M. Gobat.



Pseudovergleyte Podsole entstehen bei einer leichten Vernässung. Sie weisen einen gebleichten, an Eisen und Aluminium verarmten, und einen darunter folgenden, rötlichen Horizont, in dem sich diese Metalle akkumuliert haben, auf. Forêt de Fontainebleau, France, 7. 9. 2006. Foto J.-M. Gobat.



eine künstliche Kultur mit sich bringt, kann bewirken, dass ein Bakterium sein Verhalten ändert. Von der Naturwissenschaft ist die Pedologie noch nicht lange als eigene Disziplin anerkannt. Doch die Kenntnisse über die Biologie und die Entwicklung der Böden wachsen und verfeinern sich stetig.

**Mitchell:** Die Biodiversität der Böden wird stark unterschätzt. Dank neuer Instrumente wie leistungsfähigeren Mikroskopen oder molekularbiologischen Methoden (> S. 14f und 16f) realisieren wir heute, dass es sich bei Organismen, die wir bislang einer einzigen Art zugeordnet haben, in Wirklichkeit um hunderte, wenn nicht tausende von verschiedenen Arten handelt, die unterschiedliche Positionen im biologischen Stammbaum besetzen – eine schwindelerregende Erkenntnis.

**HOTSPOT: Welches sind die wichtigsten neueren Forschungsergebnisse?**

**Mitchell:** Die Bodenorganismen sind essentiell. Sie bauen das organische Material ab und setzen Nährstoffe für die Pflanzen frei. Mit Hilfe der Protisten können wir das Wissen über die mikrobielle Ökologie vertiefen und Veränderungen erkennen, die der Boden in der Vergangenheit erfahren hat. Auch lassen sich anhand der Protisten Belastungen durch Schadstoffe wie Pestizide und Blei erkennen. Hierzulande gibt es schätzungsweise eine halbe Million Protistenarten, weltweit sind es 10 bis 20 Millionen. Höchstwahrscheinlich dominieren Parasiten die Artenwelt. Wir haben eine Amöbe namens *Hyalosphenia papilio* erforscht – eine Chimäre, Pflanze und Tier zugleich. Sie besiedelt Torfmoose in Hochmooren. Wir fanden heraus, dass unter diesem Namen bis anhin ein Dutzend Arten zusammengefasst wurden, die sich in ihrer Ökologie unterscheiden und keineswegs kosmopolitisch leben. Die Protisten zeigen sehr gut die Lücken in unserem Wissen über die Biodiversität.

**Gobat:** Von meiner Seite gibt es keine spektakulären Neuigkeiten, wohl aber ein laufend verbessertes Wissen über die frühen Phasen der Bodenbildung und die Rolle der Bodenlebewesen in diesem Prozess. Die neuen Erkenntnisse in eine immer engere Beziehung zueinander zu setzen, führt zu spannenden Entdeckungen. Es zeigt sich beispielsweise, dass es eine unermessliche Zahl verschiedener Böden gibt. Ganz grob unterscheidet die Pedologie weltweit 100 bis 200 Bodentypen, doch auf einer kleinen Waldfläche lassen sich hierzulande bereits vier bis fünf Typen finden. Je nach Bodenmächtigkeit können in ein und demselben Typ unterschiedliche Organismen leben. Die Biodiversität eines Bodens hängt ab vom Klima, der Topografie, der Vegetation, der Geologie, dem pH-Wert, dem Sauerstoffgehalt und anderen Faktoren.

**HOTSPOT: Wie verteilen sich die Organismen im Boden, und in welcher Beziehung stehen sie zueinander? Warum sind einige Arten seltener als andere?**

**Gobat:** Die biologische Aktivität konzentriert sich auf die obere, 20 Zentimeter mächtige Bodenschicht, wobei in den obersten fünf Zentimetern die Biodiversität am höchsten ist. Natürlich spielt dabei auch der Bodentyp eine



Jean-Michel Gobat. Foto Maiann Suhner

Rolle. Im Hochmoor fehlen zum Beispiel die Regenwürmer und andere Vertreter der Makrofauna. Wo es für sie schwierig wird, kann die Mesofauna – das sind zwischen 0,3 und 1 Millimeter grosse Organismen – ihre Rolle teilweise übernehmen. Die ökologischen Beziehungen zwischen den Organismen reichen von Indifferenz über Prädation und Parasitismus bis zur Symbiose. Seltene Arten sind oft an seltene Bodentypen gebunden, etwa an Permafrostböden.

**Mitchell:** Es ist schwierig und gefährlich, Schlüsse aus der Seltenheit bestimmter Arten zu ziehen, denn die heute verfügbaren Daten sind sehr unterschiedlich. Hochmoorböden sind offensichtlich nicht sehr artenreich, doch sind die hier ansässigen Arten selten, weil sie einen überaus speziellen Lebensraum besiedeln. Sicher ist zudem, dass in unseren Böden auch gebietsfremde Arten anwesend sind, beispielsweise mehrere invasive Plattwürmer aus Australien, Neuseeland und von anderen pazifischen Inseln, die Prädatoren von Mollusken und Regenwürmern sind.

**HOTSPOT: Gibt es in der Schweiz auch bedrohte oder verschwundene Bodentypen?**

**Gobat:** Durch die Lage der Schweiz in einem klimatischen und geologischen Grenzraum ist die Bodenvielfalt bei uns besonders hoch. Es finden sich rund 60 verschiedene Bodentypen. Steigt man im Wallis von Sierre hinauf auf den 3018 Meter hohen Touno im Val d'Anniviers, quert man bezüglich Bodentypen Europa von Süden nach Norden. Leider sind die hiesigen Böden diffusen Schadstoffeinträgen ausgesetzt und fast ausnahmslos vom Menschen beeinflusst. Doch auch ein stark verschmutzter Boden existiert immer noch als solcher. Die schleichende Zerstörung ist nicht sichtbar, aber die Bodenfunktionen sind beeinträchtigt. Zum Teil lassen sich geschädigte Böden revitalisieren, doch in vielen Fällen kann man nichts tun. Bei Industrieböden, die mit Schwermetallen kontaminiert sind, bleibt nur Schadensbe-

grenzung: Verhindern, dass weiterhin Gifte in sie gelangen.

**Mitchell:** In Hinblick auf die Biodiversität ist der Stickstoffeintrag die grösste Belastung (> S. 22f). Er betrifft alle Flächen und verändert die Zusammensetzung der Organismen überall gleichermassen. Gravierend sind auch die Bodenverdichtung durch immer schwerere Landwirtschafts- und Forstmaschinen sowie die Erosion. Um auf die Hochmoore zurückzukommen: Sie wurden in der Schweiz auf über 90 Prozent der Fläche in Agrarland, Wald, Siedlungsraum, Flughäfen und so weiter umgewandelt. Mit der Zerstörung dieser Böden wurden ihre charakteristischen Organismen vernichtet und der gespeicherte Kohlenstoff freigesetzt. Zugleich ging dabei ein Archiv für immer verloren, das eine Rekonstruktion der Klimaentwicklung, der menschlichen Tätigkeiten und der Schadstoffeinträge in den vergangenen Jahrhunderten ermöglicht hätte.

**HOTSPOT: Existiert eine Liste der schützenswerten Böden oder ein Inventar der Bodenorganismen?**

**Gobat:** Eine Liste der bedrohten oder schützenswerten Böden gibt es nicht. Die Schweiz hat nicht ein einziges spezifisches Gesetz für den Bodenschutz erlassen, aber verschiedene Gesetze wie etwa über die Raumplanung, die Landwirtschaft und den Umweltschutz nehmen Bezug auf den Boden. Das Ziel war, möglichst viele Akteure zu einem achtsamen Umgang mit ihm zu verpflichten. Manche dieser



Edward Mitchell. Foto Maiann Suhner

Gesetze und Verordnungen bieten eine gute Basis für den Bodenschutz, denn der Boden wird darin sowohl als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion wie auch der Ökosysteme betrachtet. Leider klafft zwischen Theorie und Praxis oft eine Lücke. Aus meiner Sicht geht es heute vorrangig darum, die Bodenfunktionen und die Abfolge der Bodenhorizonte zu erhalten. In der Landwirtschaft ist der pfluglose Ackerbau ein wegweisender Ansatz (> S. 10f).

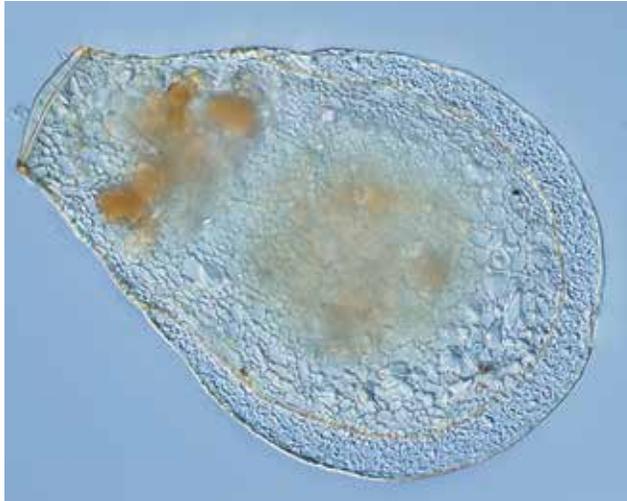
**Mitchell:** Die Biodiversität der Böden zu inventarisieren ist ein langwieriges Unterfangen. Neue Methoden der DNS-Sequenzierung machen es möglich. Aber man muss die Ergebnisse richtig interpretieren und die gefundenen

Sequenzen mit den bereits vorhandenen Daten vergleichen können. Letztere sind indes unvollständig und mit vielen Fehlern behaftet. Mehr denn je gilt es daher, Taxonomen auszubilden. Sind die Inventare erstellt, muss ein Monitoring installiert werden. Doch die Methoden entwickeln sich rasant. Wie kann man sicherstellen, dass sich die heutigen Ergebnisse mit denen in einigen Jahren vergleichen lassen?

**HOTSPOT: Welche Hoffnungen und Wünsche haben sie bezüglich des Bodens?**

**Gobat:** Der Wille, mit dem Bodenschutz in der Schweiz vorwärts zu machen, wie dies in den Nachbarländern getan wird, ist vorhanden. Ich würde mir wünschen, dass das Bewusstsein über die fundamentale Bedeutung des Bodens wächst und man eine Vision für dessen Schutz und Nutzung auf lange Sicht entwickelt. Wir müssen unsere Anstrengungen zur Sensibilisierung der Bevölkerung verdoppeln. Dabei können wir das Interesse der Kinder für die Natur nutzen: Der Boden ist für sie ein spannendes Thema.

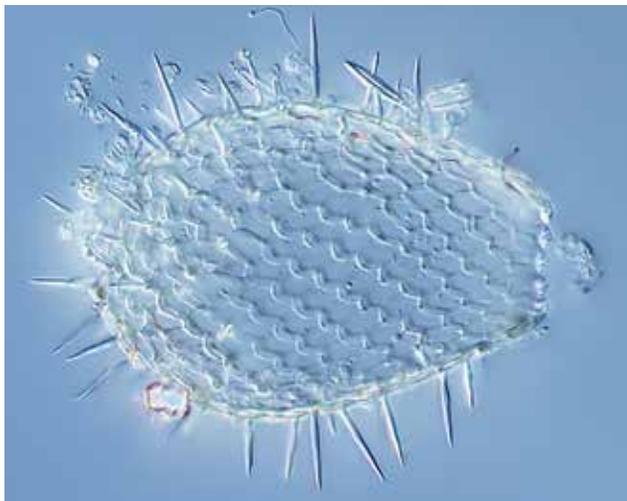
**Mitchell:** «Wir wissen mehr über die Bewegung der Himmelskörper als über den Boden unter unseren Füßen». Diese Leonardo da Vinci zugeschriebene, rund 500 Jahre alte Aussage bleibt aktuell. Vor ein bis zwei Jahrhunderten wurde in den drei grossen Bereichen der Naturwissenschaft – Astronomie, Physik und Biologie – mit vergleichbaren Mitteln gearbeitet. Seither haben sich die beiden ersten Disziplinen stark entwickelt, und sie verfügen über gigantische Mittel wie Satelliten oder den Teilchenbeschleuniger «Large Hadron Collider» (LHC) im CERN. In der Biologie hingegen ist das Mikroskop das Basisinstrument geblieben. Dies muss sich ändern. Eine Erhöhung der Ausgaben für die Bodenforschung um das Hundertfache liesse sich rechtfertigen, denn der Boden ernährt uns. Ihn zu pflegen und zu bewahren ist überlebenswichtig.



Von oben: *Nebela carinata*, eine Schalenamöbe, lebt in Schlenken von Hochmooren. Sie ist eine gefürchtete Räuberin. Ihre Schale besteht aus siliciumhaltigen Verbindungen, die sie von ihrer Beute aufnimmt.



Die Schalenamöbe *Hyalosphenia papilio* ist typisch für saure Flachmoore mit Torfmoosen und feuchte, flache Stellen in Hochmooren. Sie weist einen mixotrophen Metabolismus auf, d.h. Algen in ihrem Inneren geben ihr die Möglichkeit, Photosynthese zu betreiben. Sie kann aber auch andere Protisten und Mehrzeller wie Rotiferen erbeuten.



Bei *Euglypha cf. ciliata* handelt es sich um einen Artenkomplex, bei dem die verschiedenen Arten spezifische Lebensraumsprüche aufweisen. Sie ernähren sich von Bakterien und wahrscheinlich auch von Pilzen und Protisten.



*Diffugia leidy* lebt ebenfalls in Hochmoorschlenken. Sie frisst eine Vielzahl anderer Mikroorganismen. Ihre Schale besteht aus mineralischen oder biogenen Elementen, die sie aus ihrer Umwelt bezieht, unter anderem von Diatomeen. Fotos Edward Mitchell

Interview: **Cornélia Mühlberger de Preux**, Umweltjournalistin, Lausanne; **Jodok Guntern** und **Maiann Suhner**, Redaktion HOTSPOT

## Welche landwirtschaftlichen Anbausysteme fördern das Bodenleben?

**In einem weltweit einmaligen Langzeit-Feldexperiment in der Nähe von Basel werden seit 1978 biologische und konventionelle Anbauweisen in einer 7-jährigen Fruchtfolge miteinander verglichen. Die Landbausysteme wirken sich unterschiedlich auf das Bodenleben aus. Vor allem die biologischen Verfahren fördern die Menge, die Aktivität und die Diversität von Bodenlebewesen. Mit der Entwicklung neuer Methoden sind weitere Erkenntnisgewinne möglich geworden.** *Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Jochen Mayer, Fritz Oehl, Lukas Pfiffner, Martin Hartmann und Franco Widmer*

*Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Jochen Mayer, Fritz Oehl, Lukas Pfiffner, Martin Hartmann und Franco Widmer*

Wie wirkt sich die Anbauintensität (Düngung, Pestizideinsatz) auf die Bodenbiodiversität aus? Im DOK-Versuch bei Therwil BL, der von der Forschungsanstalt Agroscope und dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL betrieben wird, werden auf 96 Einzelparzellen die folgenden Landbausysteme auf einer homogenen Ausgangsfläche verglichen:

**D – Biologisch-dynamisch:** Mistkompost, mechanische Unkrautregulierung, Pflanzenextrakte und biodynamische Präparate

**O – Organisch-biologisch:** Rottemist, Gesteinsmehl, Kalimagnesia, mechanische Unkrautregulierung, Pflanzenextrakte und Kupfer

**K – Konventionell** (organisch und mineralisch; seit 1992 Bewirtschaftung nach den Anforderungen des ökologischen Leistungsnachweises ÖLN): Stapelmist, Mineraldünger (N, P, K), mechanische Unkrautregulierung und Herbizide, Fungizide und Insektizide, Wachstumsregulierer

**M – Konventionell** (nur mineralisch; seit 1992 ÖLN): Mineraldünger (N, P, K), mechanische Unkrautregulierung und Herbizide, Fungizide und Insektizide, Wachstumsregulierer

**N – Ungedüngte Kontrolle:** Keine Düngung, biodynamische Feldpräparate

Die Anbausysteme D, O und K werden mit Hofdünger von 1,4 Grossvieheinheiten pro Hektar in fester und flüssiger Form gedüngt. Sie erhalten gemäss den Richtlinien der jeweiligen Produktionsrichtung die erlaubten Mineralstoffe, synthetischen Dünger und Pflanzenschutzmittel. Im konventionellen mineralischen Verfahren (M) werden nur synthetische Dünger und Pestizide eingesetzt. Ein ungedüngtes Verfahren (N) dient als Kontrolle.

Die Bioverfahren (D und O) wiesen im Durchschnitt etwa 20 Prozent geringere Erträge auf als die konventionellen Verfahren (K und M) (Mäder et al. 2002).

### Reiches und vielfältiges Bodenleben in Bio-Böden

Erste bodenbiologische Messungen wurden in den frühen 1990er-Jahren durchgeführt. Dabei wurden die Vielfalt und Dichte an Regenwürmern, Nützlingen (Laufkäfer, Kurzflügler, Spinnen, später auch andere Bodentiere wie Nematoden, Kleinringelwürmer, Blattläuse) und Mykorrhiza-Pilzen erhoben sowie die mikrobielle Biomasse und spezielle biologische Aktivitäten anhand von enzymatischen Tests bestimmt. Die Regenwürmer waren zu dieser Zeit erheblich von den damals noch im konventionellen Landbau zugelassenen und sehr toxischen Pestiziden beeinträchtigt. Die biologischen Verfahren wiesen die höchste Regenwurmbiomasse und Anzahl Individuen auf. Die Biomasse der Regenwürmer war um 30 bis 40 Prozent, ihre Anzahl um 50 bis 80 Prozent höher als im konventionellen Verfahren. Gegenüber dem rein mineralisch gedüngten Verfahren waren die Unterschiede noch grösser. Agrarökologisch wichtige vertikal grabende Arten kamen in den beiden konventionellen Verfahren K und M in geringerer Anzahl vor als in den biologischen Verfahren D und O, wie dies auch später auf Praxisbetrieben bestätigt werden konnte (Pfiffner und Luka 2007). Nach dem Verbot der bedenklichsten Pestizide und der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) als Voraussetzung für den Bezug von Direktzahlungen im Jahr 1992 konnten sich die Populationen teilweise erholen (Birkhofer et al. 2008, Jossi et al. 2007, Pfiffner und Mäder 1997).

Die Laufkäfer waren in den beiden biologischen Anbausystemen artenreicher und zahlreicher als in den Verfahren K und M (Pfiffner und Niggli 1996). Sieben stark gefährdete Grosslaufkäfer und mikroklimatisch anspruchsvolle Arten kamen ausschliesslich in Bio-Parzellen vor, andere in grösserer Anzahl als in den konventionellen Verfahren. Dies ist nicht überraschend, da einige Pestizide diese Gliedertiere direkt töten können und auch ihr Beuteangebot reduzieren. Die vielfältige Begleitflora und die geringere Bestandesdichte in den biologischen Verfahren verbesserten den Lebensraum für viele Arten dieser Gliedertiere. Dieses Phänomen des anbauspezifischen Artenvorkommens wurde später in On-farm Vergleichsversuchen von extensiv bewirtschafteten Getreideflächen (IP-Extensio) mit Biogetreideflächen bestätigt (Pfiffner und Luka 2003). Zudem wurden in den biologischen Verfahren bis zu zwei Mal höhere Prädatorendichten und tiefere Blattlausdichten festgestellt, was auf erhöhte Ökosystemleistungen im Bereich der natürlichen Schädlingsregulierung hindeutet (Birkhofer et al. 2008).

Die Sporen der arbuskulären Mykorrhizapilze (> S. 14) waren in den Bioverfahren häufiger und vielfältiger als in den konventionellen Verfahren. Die Mykorrhiza-Arten verhielten sich jedoch unterschiedlich: Arten der Gattung *Glomus* waren in allen Verfahren gleich häufig vertreten, während die der beiden Gattungen *Acaulospora* und *Scutellospora* in den Bioverfahren häufiger auftraten (Oehl et al. 2004).

### Hofdünger ernähren Mikroorganismen

Die Untersuchungen zur Bodenmikrobiologie basierten in den 1990er-Jahren auf dem sogenannten «Black-box»-Prinzip, bei dem Methoden, um Arten zu unterscheiden, weitgehend

fehlten, und die Bodenmikroorganismen als eine Gesamtheit betrachtet wurden. Die erste Methode zur Ermittlung der mikrobiellen Biomasse war die Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode. Diese Methode wurde 1995 zum ersten Mal im DOK-Versuch eingesetzt und zeigte in den biologisch bewirtschafteten Böden eine um bis zu 40 Prozent erhöhte mikrobielle Biomasse im Vergleich zu den nicht-biologischen Verfahren. Ähnliche Differenzen zeigten sich mit anderen Techniken.

Die drei Agrar-Systeme mit Hofdünger unterschieden sich nicht in jedem Jahr, jedoch war immer die Reihenfolge D > O > K erkennbar. Die Hofdüngervarianten zeigten stets eine deutlich höhere mikrobielle Biomasse als die Mineraldünger-Variante (Fliessbach et al. 2007). Mikrobielle Aktivitäten beinhalten neben dem Abbau der Erntereste auch die damit verbundene Mineralisierung von Nährstoffen für das Pflanzenwachstum. Die Atmung der Mikroorganismen ist ein Indikator für ihre Aktivität. Bezogen auf die mikrobielle Biomasse ist der sogenannte  $qCO_2$  ein Indikator für den Energiebedarf der Mikroben zum Unterhalt ihres Stoffwechsels in ihrer spezifischen Umwelt.

Techniken nur mittels Kultivierung auf speziellen Wachstumsmedien (Agarplatten) möglich. Diese erfassen aber nur einen Bruchteil der im Boden vorhandenen Mikroorganismen. Eine der ersten molekularen Techniken beruht auf der Identifikation von Phospholipid-Fettsäuren (PLFA), die funktionale Bestandteile der Zellmembran sind und eine Unterscheidung von Organismengruppen erlauben. Im Laufe der 1990er-Jahre kamen dann die ersten molekulargenetischen Methoden zum Einsatz, mit welchen die Diversität aufgrund der Erbsubstanz (DNS) ermittelt wird. Erste methodische Arbeiten begannen 1998 mit dem Vergleich dreier methodischer Ansätze: PLFA, DNS, und Substratnutzungstests (BIOLOG), die zeigten, dass jeder methodische Ansatz andere Unterscheidungen ermöglichte.

Im DOK-Versuch angewendet ergaben sich Hinweise, dass die Mikroflora in organisch und nichtorganisch gedüngten Böden sich deutlich unterscheiden (Widmer et al. 2006). Es folgten weitere Untersuchungen der Bodenmikroflora im Jahr 2006 mit PLFA und DNS-Techniken (Esperschütz et al. 2007, Hartmann et al. 2006), die ebenfalls den Effekt der organischen

bauverfahren auf das Bodenleben erkennen. Diese Effekte wurden von kurzfristigen Einflüssen wie Bodenbearbeitung, Düngung und den jeweils angebauten Kulturen überlagert. Förderliche Effekte von Anbausystemen, beispielsweise für Regenwürmer, können durch eine falsch terminierte Bodenbearbeitung vereitelt werden (> S. 28). Nützliche Gliedertiere können durch Kulturmassnahmen (z.B. Herbizid- und Insektizideinsatz) direkt oder indirekt beeinträchtigt werden. Die meisten hetero- und oligotrophen Bodenorganismen werden durch die Zufuhr von organischen Substanzen, die aus der Vegetation oder der organischen Düngung stammen, ernährt und gefördert. Fehlen sie, verhungern die Bodenorganismen und ihre Menge und Aktivität gehen zurück.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot



Luftbild des DOK-Versuchs im April 2014. Foto SRF Schweizer Radio und Fernsehen

Die Bioverfahren zeigten besonders im Vergleich zum mineralisch gedüngten Verfahren geringere Werte, was mit einer verbesserten Nutzungseffizienz der in organischen C-Quellen vorhandenen Energie interpretiert wird. Oft wurden Unterschiede im  $qCO_2$  auch mit einer erhöhten Diversität der Mikroben erklärt, ausgehend von dem Konzept, dass komplexe Lebensgemeinschaften die vorhandenen Ressourcen gemeinsam effizienter zum Aufbau von Biomasse umsetzen als einfacher strukturierte Gemeinschaften (Fliessbach et al. 2007).

#### Neue Untersuchungsmethoden

Die Bestimmung der mikrobiellen Diversität war bis zur Einführung von molekularen

Düngung zeigten. Die PLFA-Analysen zeigten ausserdem eine Unterscheidung der beiden Bioverfahren D und O vom konventionellen Verfahren K an. Eine jüngst erschienene Publikation mit den neusten hochauflösenden, molekulargenetischen Methoden (Hartmann et al. 2014) zeigt, dass sich die Mikroflora aller Verfahren unterscheiden und sich insbesondere durch den Einsatz der qualitativ unterschiedlichen Hofdünger in unterschiedliche Richtungen entwickelt haben (> S. 16f).

#### Kurzfristige Eingriffe überlagern langfristige Effekte

Schlussfolgernd lassen die bodenbiologischen Untersuchungen langfristige Effekte der Land-

**Dr. Andreas Fliessbach** ist seit 20 Jahren als Bodenökologe am FiBL tätig. Neben seinen Arbeiten im Rahmen des DOK-Versuchs hat er sich mit den Auswirkungen von Schwermetallen und Pestiziden auf Bodenmikroben befasst. Zurzeit leitet er Projekte zum Aufbau der Bodenfruchtbarkeit.

**Dr. Paul Mäder** leitet seit 1987 den DOK-Versuch von Seiten des FiBL, wo er dem Departement für Bodenkunde vorsteht. Seine Arbeit fokussiert auf den Vergleich von Agrarsystemen.

**Dr. Jochen Mayer** ist seit 2007 mit der Leitung des DOK-Versuchs seitens Agroscope betraut. Seine Arbeiten zu Boden-Wurzel-Interaktionen, den Kohlenstoff- und Stickstoff-Flüssen im Wurzelraum und zu Langzeiteffekten biologischer und konventioneller Landwirtschaft haben ihren Schwerpunkt im DOK-Versuch.

**Dr. Fritz Oehl** ist seit 20 Jahren in der Schweiz als Bodenökologe tätig, davon seit sieben Jahren bei Agroscope. Neben seinen Arbeiten zur Nährstoffverfügbarkeit hat er sich vor allem mit der Biodiversität von arbuskulären Mykorrhizapilzen in Böden diverser Anbausysteme beschäftigt.

**Dr. Lukas Pfiffner** ist leitender Wissenschaftler am FiBL und betreut Projekte zur agrarökologischen Systemoptimierung im Fokus funktioneller Biodiversität in verschiedenen Kultursystemen.

**Dr. Martin Hartmann** arbeitet am Eidgenössischen Forschungsinstitut WSL in Birmensdorf (ZH). Er ist mikrobieller Ökologe und spezialisiert auf die Erforschung des Mikrobioms mit den neusten molekulargenetischen Technologien.

**Dr. Franco Widmer** leitet die Forschungsgruppe «Molekulare Ökologie» bei Agroscope. Er ist ausgebildeter Biochemiker und Zellbiologe und hat sich auf die molekulargenetische Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften in der Umwelt spezialisiert.

**Kontakt:** [andreas.fliessbach@fibl.org](mailto:andreas.fliessbach@fibl.org)

# Bodenorganismen mögen es ruhig

**Im Ackerbau sitzt man in Sachen Bodenbearbeitung zwischen zwei Stühlen. Zum einen bringt eine intensive Bodenbearbeitung zumindest kurzfristig oft agronomische Vorteile, zum anderen birgt sie ein hohes Erosionsrisiko und beeinträchtigt das Bodenleben stark. Es gilt, einen Mittelweg zu finden, der eine nachhaltige und bodenschonende Bewirtschaftung ermöglicht, ohne die momentane landwirtschaftliche Produktivität zu reduzieren.** *Maike Krauss, Alfred Berner, Andreas Fliessbach, Lukas Pfiffner und Paul Mäder*

Im Ackerbau spielt die Bodenbearbeitung zur Vorbereitung eines Saatbetts und zur Beikrautregulierung eine grosse Rolle. Mit der Industrialisierung schritt die Entwicklung von Traktoren und Maschinen rasch voran, so dass die Bearbeitung heutzutage sehr intensiv ist und die Pflugtiefe bei etwa 20 bis 30 Zentimetern liegt. Der Oberboden wird dabei regelmässig vollständig gewendet. Die Folgen bei unsachgemässer Ausführung wirken sich vor allem in Form einer Unterbodenverdichtung aus, während das Erosionsrisiko durch die ungeschützte Oberfläche hoch ist. Weltweit geht man davon aus, dass innerhalb von nur drei Jahrzehnten etwa ein Drittel der Ackerfläche durch Erosion verloren gegangen ist. Als Antwort darauf wurden sogenannte Direktsaatssysteme (Englisch: no-till) mit chemischer Beikrautkontrolle und speziellen Maschinen entwickelt, wo Samen direkt in einen Saatschlitz abgelegt werden. Da der Boden nicht mehr gewendet wird, reichert sich Humus an der Oberfläche an, verbessert dort die Bodenstruktur und ermöglicht eine bessere Wasseraufnahme. Direktsaatssysteme sind daher vor allem in Südamerika, den USA, Kanada, Australien und Spanien verbreitet, wo die Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft ein limitierender Faktor ist.

## Zahlreiche Feldversuche

In der Schweiz kommen Direktsaatverfahren auf circa fünf Prozent der Ackerflächen zum Einsatz. Nach wie vor ist der Pflug vorherrschend. Ein Umdenken findet aber auf verschiedenen Ebenen statt. Da in Direktsaatssystemen die ersten herbizidresistenten Problemkräuter («Superweeds») entstehen und der langfristige Einsatz von Herbiziden zudem gefährlich sein könnte für die menschliche Gesundheit und die Umwelt, arbeiten Forscher an der Reduktion des Herbizideinsatzes in Direktsaatssystemen. In der Schweiz gibt es dazu unter anderem den Dauerversuch Oberacker am Inforama Rütli (Kt. BE), bei dem die Direktsaat mit dem Pflugeinsatz verglichen wird.

Einen anderen Ansatz verfolgt die sogenannte «reduzierte Bodenbearbeitung». Dies können sowohl die Reduktion der Pflugtiefe sein als auch nicht-wendende und flach arbeitende Maschinen. Ziel ist es, den Boden schonend zu bearbeiten und die positiven Auswirkungen der mechanischen Beikrautkontrolle und des Einarbeitens von Hofdüngern zu nutzen, die negativen Auswirkungen jedoch zu minimieren. Diesen Ansatz verfolgen das Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL in den

Versuchen in Frick (Kt. AG, seit 2003, Bio) und Aesch (Kt. BL, seit 2010, Bio) und Agroscope an den Standorten Changins (Kt. VD, seit 1997, konventionell) und Reckenholz (Kt. ZH, FAST-Versuch, seit 2009, Bio und konventionell). Am FiBL werden zudem herbizidfreie Anbausysteme mit reduzierter Bodenbearbeitung auf Praxisbetrieben weiterentwickelt sowie im Rahmen eines Ressourceneffizienzprogramms des Kantons Bern auf Bodenveränderungen hin untersucht. Es werden auch erste Versuche mit Direktsaatssystemen mit Hilfe von dicht wachsenden Gründüngungen, die mit einer Messerwalze umgeknickt werden, durchgeführt. Der Bund fördert solche umweltfreundlichen Produktionsformen wie Mulchsaaten und Direktsaatverfahren im Rahmen des Ressourceneffizienzprogramms der Agrarpolitik AP 2014–2017.

Die Direktsaat ist im Biolandbau eine gute Option für einzelne Kulturen. Die Bodenbearbeitung wird bei diesem Anbausystem aber weiter wichtig bleiben, um Kunstwiesen innerhalb einer Fruchtfolge umbrechen zu können, Beikräuter zu kontrollieren und die Stickstoffmineralisierung im Frühjahr anzukurbeln. Warum also dieser Aufwand, wenn der Pflug doch ganze Arbeit leistet und einfach einzusetzen ist?

## Reduzierte Bodenbearbeitung erhöht das Bodenleben

Es wurde schon angedeutet, dass sich bei einer Bearbeitungsreduktion Humus in den oberen Bodenschichten anreichert und eine Stratifizierung ähnlich eines Grünlandes entsteht. Die darauf folgende Verbesserung der Bodenstruktur und des Wasserhaushaltes wurde praktisch in allen Versuchen gefunden (Gadermaier et al. 2012, Maltas et al. 2013, Chervet et al. 2006, Krauss et al. 2010, Fontana et al. 2015). Regenwürmer profitieren stark von einer Bearbeitungsreduktion, da sie selbst und ihre Gänge weniger Schaden nehmen und mehr Nahrung im Oberboden angereichert wird (> S. 28) (van Capelle et al. 2012). Im Versuch bei Frick wurden bei reduzierter Bearbeitung vermehrt junge Regenwürmer und viermal mehr Regenwurmkokons gefunden (Kuntz et al. 2013). Im Versuch Oberacker wurde zudem von einer Zunahme von anözischen Regenwürmern (Vertikalgraber) und einer erhöhten Regenwurmbiomasse im Direktsaatssystem berichtet (Maurer-Troxler et al. 2005).



Der Bodenbearbeitungsversuch in Frick kurz vor der Maissaat im Jahr 2015 (FiBL). Linke Bildhälfte: Reduziert bearbeitet mit Resten der vorigen Gründüngung an der Bodenoberfläche. Rechts: Gepflügt. Foto FiBL

Auf der Ebene der Mikroorganismen wiesen reduziert bearbeitete Böden in den ersten zehn Zentimetern nach rund zehn Jahren eine um bis zu 46 Prozent höhere mikrobielle Biomasse (Bakterien, Pilze, Protozoen) im Vergleich zum Pflugverfahren auf (Gadermaier et al. 2012, Kuntz et al. 2013). Dabei verschob sich die mikrobielle Zusammensetzung in Richtung der Pilze (Kuntz et al. 2013). Untersuchungen im Rahmen des Projektes TILMAN-ORG an mehreren Standorten in Europa lassen ebenfalls den Schluss zu, dass die Bodenbearbeitung einen deutlichen Einfluss auf die genetische und strukturelle Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulationen in der obersten Bodenschicht ausübt (Fliessbach et al. 2014).

Wurzelpilze spielen bei der Nährstoffaufnahme und der Bildung von stabilen Bodenaggregaten eine zentrale Rolle (> S. 14f). Die Sporendichte und der Artenreichtum der Mykorrhiznahmen bei reduzierter Bodenbearbeitung im Frick-Versuch deutlich zu, wie morphologische Untersuchungen an Mykorrhiza-Sporen gezeigt haben (Säle et al. 2015). Molekularbiologische Untersuchungen haben überdies zu Tage gefördert, dass nicht nur die Vielfalt der Arten erhöht ist, sondern auch die intraspezifische Biodiversität einer im Acker oft vorkommenden Art (Börstler et al. 2010).

Gekoppelt an die mikrobielle Biomasse ist de-

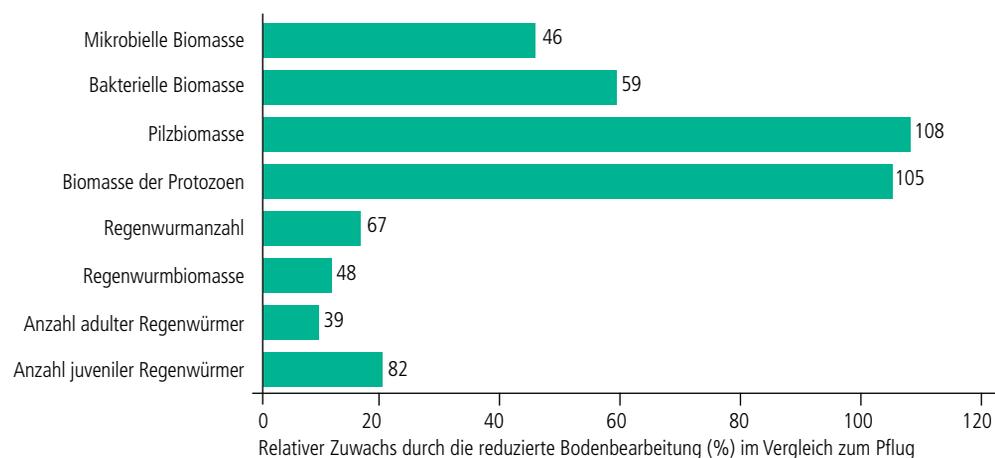
ren Aktivität. So wurde z.B. im Frick-Versuch im Oberboden des reduzierten Systems eine höhere mikrobielle Aktivität beobachtet (Gadermaier et al. 2012, Krauss in Vorbereitung). Hinsichtlich der Organismen an der Bodenoberfläche wurde berichtet, dass Käfer (Kromp, 1999) und Spinnen (Thorbeck und Bilde 2004) durch eine Bodenbearbeitung direkt getötet oder geschädigt werden. Ob der Lebensraum Acker schnell wieder besiedelt wird, hängt von den an der Oberfläche verbleibenden Pflanzenresten und Beikräutern ab, die als Schutz und Nahrung dienen. Käfer sind beispielsweise in reduzierten Bodenbearbeitungssystemen langfristig häufiger vertreten (Kromp 1999). In reduzierten Systemen wurde nicht nur eine höhere Beikrautdeckung, sondern auch eine Verschiebung in Richtung mehrjähriger Kräuter beobachtet (Armengot et al. 2015).

#### Weitere Forschung notwendig

Zusammenfassend wirken sich die Humusakkumulation und die erhöhte Pflanzenbiomasse an der Bodenoberfläche in reduzierten Systemen (inklusive Direktsaat) positiv auf das Leben unter und über der Bodenoberfläche aus. Pflügen erzeugt durch den starken Eingriff dagegen eine regelmässige Störung des gesamten Oberbodens. Aus der Sicht des Ressourcenschutzes und der Nachhaltigkeit ist

eine Bodenbearbeitungsreduktion daher sehr begrüssenswert. Da sie allerdings auch mit höheren agronomischen Risiken behaftet ist, zusätzliches Wissen und Erfahrung benötigt und Investitionen für Spezialmaschinen erfordert, braucht es von Seiten der Forschung, Beratung und Bildung weitere Anstrengungen.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot



Relativer Zuwachs bei mikrobiellen Gemeinschaften und Regenwürmern im reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren des Frick-Versuches im Vergleich zum Pflug (0–10 cm, aus Kuntz et al. 2013).

Die Autorin und die Autoren arbeiten am Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL in Frick.

**Maïke Krauss** ist Geoökologin. Der Schwerpunkt ihrer Dissertation liegt auf der Klimawirkung von reduzierten Bodenbearbeitungssystemen speziell unter Biobedingungen.

**Dipl. Ing. Agr. ETHZ Alfred Berner** ist interessiert an Fragen der organischen Düngung im Kontext reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren. Er leitet seit 2002 Feldversuche in Frick und in Aesch.

**Dr. Andreas Fliessbach** ist Bodenbiologe und richtet sein Interesse auf den Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsmassnahmen auf Mikroorganismen. Er leitet zahlreiche internationale Projekte zur Systemoptimierung durch verbessertes Management der organischen Substanz sowie durch verbesserte Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung.

**Dr. Lukas Pfiffner** ist Entomologe und befasst sich mit dem Habitatmanagement in optimierten landwirtschaftlichen Anbausystemen zur Erhöhung der funktionellen Biodiversität.

**Dr. Paul Mäder** ist Leiter des Departments Boden. Die Forschungsgruppe befasst sich mit landwirtschaftlichen Langzeitversuchen. Paul Mäder leitete das Projekt TILMAN-ORG ([tilman-org.net](http://tilman-org.net)) zur reduzierten Bodenbearbeitung im biologischen Landbau und ist involviert in ein EU Horizon 2020-Projekt zur Frage der Erfassung der Bodenqualität (ISQAPER).

**Kontakt:** [maïke.krauss@fibl.org](mailto:maïke.krauss@fibl.org)

# Im Kreislauf behalten: Die Rolle der Bodenmikroorganismen in der Phosphordynamik

**Mikroorganismen können verschiedene Phosphorformen aus dem Boden aufnehmen. Damit spielen sie im Phosphorkreislauf eine wichtige Rolle. Ohne Mikroorganismen würde nur die Phosphoraufnahme durch die Pflanzen der ständig fortschreitenden Bindung von Phosphor im Boden durch Sorptionsprozesse entgegenwirken. Die Fähigkeit der Mikroorganismen, Phosphor zu speichern und zu mobilisieren, könnte in der Landwirtschaft genutzt werden.** *Else K. Bünemann und Sabine A. Ragot*

Alle Lebewesen brauchen Phosphor für die Erbsubstanz, die Energieversorgung der Zellen und die Zellmembranen. Pflanzen reagieren auf Phosphormangel mit einem deutlich verringerten Wachstum und einer typischen Anthocyanfärbung. Auch wenn die Gesamtmenge an Phosphor im Boden relativ hoch ist, kann Phosphormangel auftreten. Das liegt daran, dass nur ein sehr kleiner Teil des Phosphors im Boden als Phosphat im Bodenwasser gelöst vorliegt und von Pflanzen aufgenommen werden kann. Dieses gelöste Phosphatreservoir wird durch Diffusion von Phosphat an der Festphase des Bodens wieder aufgefüllt. Grundsätzlich ist Phosphat im Boden aber sehr unbeweglich, da es an Eisen- und Aluminiumoxiden sorbiert oder mit Kalzium ausgefällt wird. Die wichtigste Anpassung der Pflanze an tiefe Phosphorverfügbarkeit ist deshalb, den Boden mit einem möglichst ausgedehnten und feinen Wurzelsystem zu durchdringen. Eine Erweiterung des Wurzelsystems kann auch durch Mykorrhiza-Pilze erreicht werden (> S. 14f).

Neben solchen symbiontischen Organismen gibt es im Boden saprophytische Bakterien und Pilze, die in der Lage sind, schwer verfügbare Phosphorformen im Boden zu mobilisieren, wovon letztlich auch andere Organismen profitieren können. Dabei geht es einerseits um die Mineralisierung von organisch gebundenem Phosphor zu Phosphat, und andererseits um das Auflösen von Phosphormineralen wie Apatit. Die relative Bedeutung solcher mikrobieller Prozesse im Phosphorkreislauf im System Boden-Pflanze ist bislang kaum quantifiziert worden, weil es methodisch schwierig ist, die biologischen Prozesse vor dem Hintergrund der allgegenwärtigen physikalisch-chemischen Prozesse (Sorptions/Desorption sowie Ausfällung/Lösung) überhaupt zu messen. Zudem ist nur sehr wenig über die Hauptakteure bekannt, also darüber, welche Mikroorganismen bestimmte Phosphorformen verfügbar machen können.

Genau hier setzt unsere Forschung an. Wir versuchen, Antworten auf folgende Fragen zu finden: Wie können die Umsatzraten von organisch gebundenem Phosphor im Boden gemessen werden? Und welche (Gruppen von) Mikroorganismen sind besonders aktiv bei der Mineralisierung von organisch gebundenem Phosphor? Beide Bereiche sind eng mit der Entwicklung von neuen Methoden ver-

knüpft. Im Folgenden präsentieren wir – als Beispiel für die Funktionen von Mikroorganismen in den Nährstoffflüssen im Boden – die wichtigsten Ergebnisse unserer Forschungsarbeiten der letzten Jahre.

## Grosser Phosphorumsatz in der mikrobiellen Biomasse

Je nach Bodentyp und Landnutzung können 20 bis 80 Prozent des gesamten Phosphors im Oberboden in organischer Form vorliegen. Eine Aufteilung in «toten organischen Phosphor» und «Phosphor in der mikrobiellen Biomasse» ist dabei sinnvoll, wobei der mikrobiell gebundene Phosphor in den meisten Böden deutlich weniger als zehn Prozent vom gesamten organischen Phosphor ausmacht. Dennoch kann er als eine treibende Kraft in der Phosphordynamik im Boden bezeichnet werden. Das liegt daran, dass Mikroorganismen in kurzer Zeit viel Phosphor aufnehmen und ihre Strategien bei Phosphormangel auch gezielt ändern können. Unter solchen Bedingungen wird nicht nur die Effizienz der Phosphataufnahme erhöht, sondern es werden auch vermehrt Enzyme ausgeschieden, die organisch gebundenen Phosphor spalten können, so dass Phosphat frei wird (siehe Grafik). In einem Düngungsversuch von Agroscope auf einer artenreichen Fromentalwiese bei Regensdorf/Watt ZH haben wir zunächst die Raten der biologischen Prozesse «Mineralisierung» und «Immobilisierung» gegenüber den Raten der physikalisch-chemischen Prozesse bestimmt (Bünemann et al. 2012). Dazu wurde ein relativ kurzlebige radioaktives Isotop von Phosphor ( $^{33}\text{P}$ ) zum Boden hinzugegeben und seine Verteilung in der Bodenlösung, in der mikrobiellen Biomasse und an der Festphase des Bodens über wenige Wochen verfolgt. Im Boden von Parzellen, die 18 Jahre lang nicht mit Phosphor gedüngt worden waren, beobachteten wir eine unglaublich schnelle mikrobielle Phosphoraufnahme, so dass nach einem Tag 45 Prozent des zugegebenen  $^{33}\text{P}$  in den Mikroorganismen zu finden waren. Auf langjährig gedüngten Parzellen waren es immerhin noch 30 Prozent. Das zeigt, wie konkurrenzfähig Mikroorganismen gegenüber der abiotischen Festlegung von Phosphor durch die Festphase des Bodens sein können.

Allerdings stellt diese mikrobielle Phosphoraufnahme auch eine Konkurrenz für die Pflanzen dar, denn mikrobieller Phosphor ist nicht

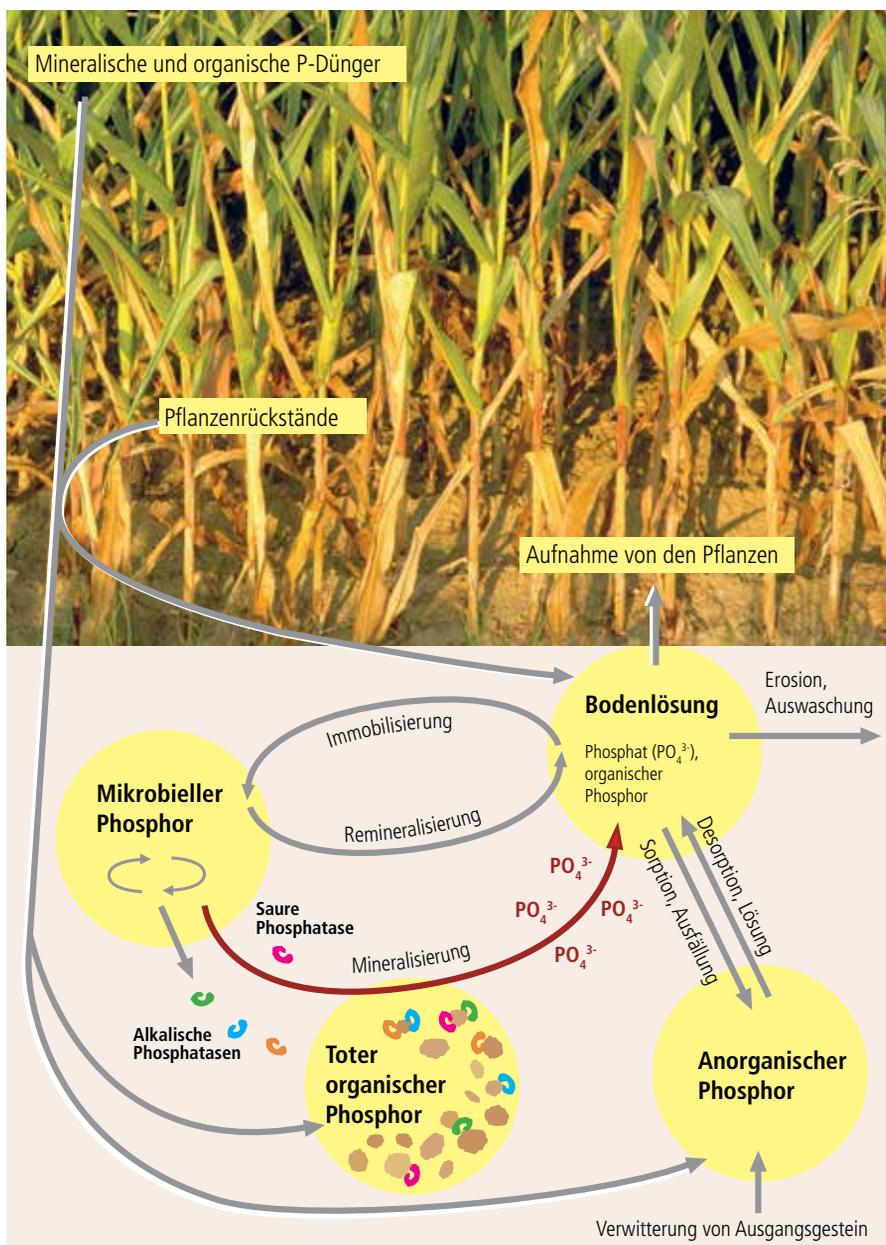
pflanzenverfügbar und muss erst durch Remineralisierung frei werden. Das kann beispielsweise durch ein Dezimieren der mikrobiellen Population durch Organismen wie Amöben und Nematoden geschehen, die höher in der Nahrungskette angesiedelt sind. Auch klimatische Schwankungen können eine Rolle spielen. Bei starker Austrocknung und rascher Wiederbefeuchtung des Bodens können die mikrobiellen Zellen kollabieren. Für den Boden aus Regensdorf/Watt konnten wir zeigen, dass der dabei freigesetzte Phosphor tatsächlich pflanzenverfügbar wird (Bünemann et al. 2013). Im Feld sind die Schwankungen im Wassergehalt des Bodens unter hiesigen Bedingungen zwar selten so extrem; dennoch ist die Menge an Phosphor, die jährlich durch die mikrobielle Biomasse fließt, grösser als die Aufnahme durch die Pflanzen (Liebisch et al. 2014).

### Welche Mikroorganismen können Phosphor abspalten?

Die Mineralisierung von totem organischem Phosphor war in der Studie von Bünemann et al. (2012) geringer als die direkten mikrobiel-

len Flüsse der Immobilisierung und Remineralisierung. In anderen Böden und Ökosystemen kann dieser Fluss aber sehr bedeutend sein. Deshalb sind wir daran interessiert zu wissen, welche Mikroorganismen Enzyme ausscheiden, die organischen Phosphor hydrolysieren können. Für den Stickstoffkreislauf gibt es bereits etablierte molekularbiologische Methoden, um die Diversität etwa von  $N_2$ -fixierenden oder nitrifizierenden Bakterien im Boden zu erkunden. Dabei werden sogenannte «funktionelle Gene», die für ein bestimmtes Enzym kodieren, mit Hilfe von Primern gezielt aus der gesamten, aus dem Boden extrahierten Erbsubstanz vervielfacht und können anschliessend sequenziert werden. Über den Vergleich mit Datenbanken wie denen des Nationalen Zentrums für Biotechnologieinformation (NCBI) in den USA sind dann Rückschlüsse möglich, in welchen Mikroorganismen diese funktionellen Gene vorkommen. Für den Phosphorkreislauf sind vor allem die saure Phosphatase und drei verschiedene alkalische Phosphatasen von Interesse (siehe Grafik). Bislang gab es nur sehr vorläufige Primer für die alkalische

Phosphatase PhoD. In unserer Arbeit gelang es nun, die Qualität der Primer für PhoD deutlich zu verbessern und zum ersten Mal auch Primer für die alkalische Phosphatase PhoX und die saure Phosphatase acpA zu entwickeln. Mit Hilfe dieser Primer haben wir untersucht, welche Mikroorganismen im Boden des Graslandversuchs in Regensdorf/Watt besonders häufig Träger der Gene für alkalische und saure Phosphatase sind. Vorläufige Ergebnisse für die alkalische Phosphatase PhoD zeigen, dass dieses Gen vor allem in Actinobakterien und Rhizobien vorkommt. Diese mikrobiellen Gruppen sind auch bekannt als Kohlenstoffabbauer und  $N_2$ -Fixierer. Wir konnten auch zeigen, dass der Boden-pH für spezielle Mikroorganismen selektiert und dass P-Düngung eine negative Wirkung auf die Diversität dieser Mikroorganismen hat. Gegenwärtig setzen wir diese Untersuchungen auch für die anderen genannten Gene und für eine grössere Auswahl von Böden unter Acker, Wiese und Wald sowohl in der Schweiz als auch in Australien fort. Davon erhoffen wir uns ein umfassenderes Bild über die Hauptakteure bei der Mineralisierung von organischem Phosphor im Boden.



### Fähigkeit der Mikroorganismen nutzen

In unseren Breiten machen Böden mit ausgeprägtem Phosphormangel nur einen Bruchteil aller Flächen aus. In tropischen Breiten mit stark verwitterten Böden sieht das ganz anders aus. Auch unter solchen Bedingungen können die Mikroorganismen im Boden jedoch ausreichend Phosphor mobilisieren, wenn sie durch Kohlenstoff- und Stickstoffgaben zum Wachstum angeregt werden (Ehlers et al. 2010). Im Feld gilt es daher, die organische Substanz im Boden zu fördern. So könnte man die Fähigkeit der Mikroorganismen, Phosphor zu mobilisieren, nutzen. Wichtige Voraussetzung dafür wäre, dass man die oft bodenspezifischen mikrobiellen Mobilisierungsmechanismen kennt.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot

Die Phosphordynamik im Boden. Der Schwerpunkt liegt auf den mikrobiellen Prozessen in der Umsetzung organisch gebundenen Phosphors. Foto Beat Ernst, Basel. Quelle: E.K. Bünemann und S.A. Ragot

**PD Dr. Else K. Bünemann** arbeitet in der Gruppe Pflanzenernährung an der ETH Zürich. Sie forscht seit 15 Jahren zu mikrobiellen Prozessen in Nährstoffumsetzungen im Boden.

**Sabine A. Ragot** forscht im Rahmen ihrer Dissertation in der Gruppe Pflanzenernährung an der ETH Zürich an der Entwicklung molekularbiologischer Methoden, um die Hauptakteure in der Mineralisierung von organischem Phosphor unter den Bakterien im Boden zu identifizieren.

**Kontakt:** [else.buenemann@usys.ethz.ch](mailto:else.buenemann@usys.ethz.ch)

## «Die Erforschung der Bodenbiodiversität ist mein Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft»

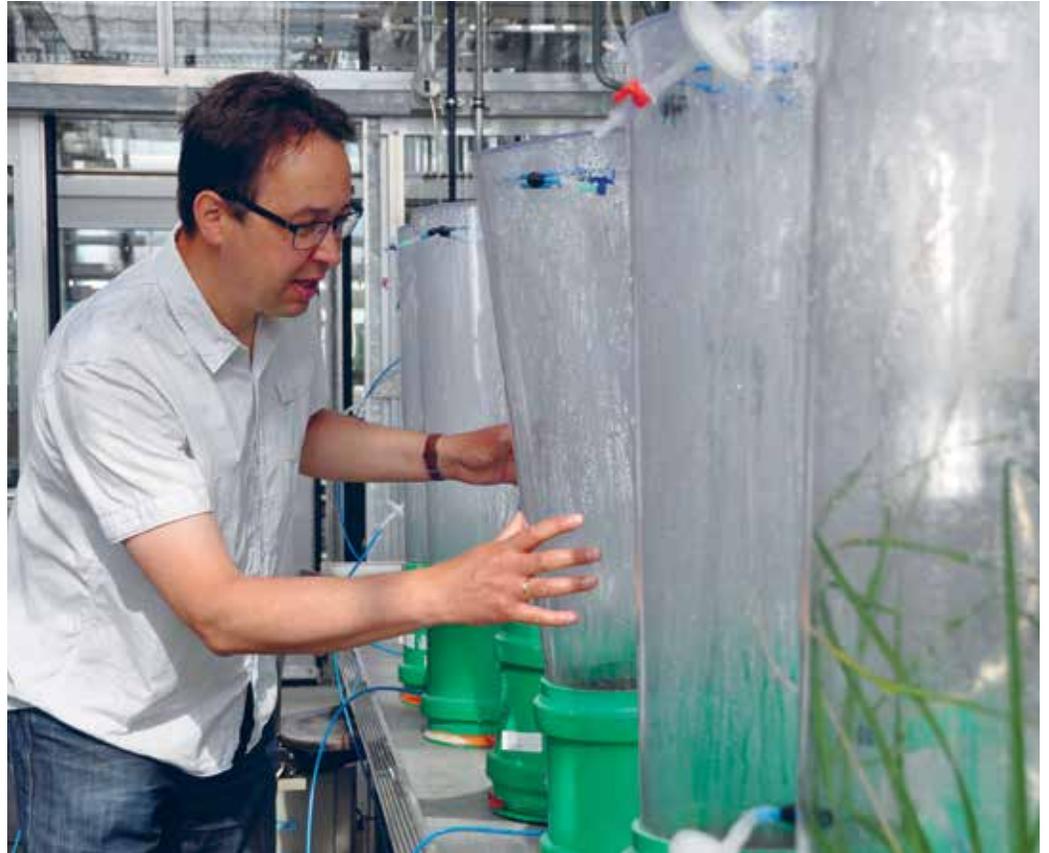
**Wie untersuchen Wissenschaftler die Bedeutung der Bodenbiodiversität? Und mit welchen Resultaten? Ein Besuch bei Marcel van der Heijden, Leiter der Forschungsgruppe Pflanzen-Boden-Interaktionen am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich und Professor an den Universitäten Zürich und Utrecht.**

Die Grünfläche im Eingangsbereich der Forschungsanstalt Agroscope bei Zürich ist bunt. Mitarbeiter und Besucher freuen sich an der artenreichen Blumenwiese. Auf den Bänken sitzen um 10 Uhr Forscherinnen und Forscher, trinken Kaffee, diskutieren und beobachten die Natur. Der Blick von Marcel van der Heijden bleibt aber nicht an den Schmetterlingen und Blüten hängen, sondern reicht tief ins Erdreich. Seit bald 20 Jahren erforscht er die Symbiose zwischen Pilzen und Wurzeln im Boden, die als Mykorrhiza («verpilzte Wurzel») bezeichnet wird. Die Pilze reichen mit ihren feinen Fäden in die kleinsten Bodenporen, gelangen dort an Nährstoffe, die für Pflanzenwurzeln unzugänglich sind, und geben diese teilweise an die Pflanzen weiter. Bezahlen lassen sich die Pilze mit Zucker, den sie nicht selbst herstellen können.

**Marcel van der Heijden:** Diese Wiese würde ohne Mykorrhiza-Pilze völlig anders aussehen. Es gäbe kaum bunt blühende Kräuter. Die Gräser würden dagegen weiterwachsen. Mit ihren feinen Wurzeln sind sie nicht unbedingt auf die Mykorrhiza angewiesen; sie erreichen auch ohne Hilfe die hintersten Ecken des Bodens. Die meisten Kräuter dagegen wachsen ohne Mykorrhiza nur kümmerlich und können der Konkurrenz durch die Gräser nicht standhalten.

**HOTSPOT: Wie viele Arten von Mykorrhiza-Pilzen leben im Boden dieser Wiese?**

**van der Heijden:** Im Grasland dominieren die arbuskulären Mykorrhiza, die mit ihren fadenförmigen Zellen in die Rindenzellen der Pflanzenwurzeln eindringen. 80 Prozent aller Landpflanzen sind eine Lebensgemeinschaft mit diesen Wurzelpilzen eingegangen. Allerdings sind die arbuskulären Mykorrhiza wenig wirtsspezifisch. Die Artenvielfalt ist deshalb im Gegensatz zu den anderen Mykorrhiza-Typen nicht so gross. Ich schätze, dass in dieser Wiese etwa 15 Arten vorkommen.



Prof. Dr. Marcel van der Heijden. Foto Gregor Klaus

Eine einzige Art kann mit vielen Pflanzenarten zusammenleben und bildet dabei ein riesiges unterirdisches Netzwerk von miteinander verbundenen Pflanzenwurzeln.

**HOTSPOT: Wie bestimmt man die Artenvielfalt bei den Wurzelpilzen im Boden?**

**van der Heijden:** Die Methoden haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Früher musste man Pilzsporen isolieren. Mittlerweile bestimmen wir die DNS im Boden und vergleichen die Sequenzen. Das Problem hierbei ist, dass bei vielen Pilzen, Bakterien und anderen Mikroorganismen die Abgrenzung einer Art oft schwierig ist. Wenn das Erbgut zu mindestens 97 Prozent gleich ist, dann sprechen die meisten Forschenden heutzutage von der gleichen «Art». Ist es weniger, handelt es sich um zwei verschiedene Spezies. Trotz der methodischen Fortschritte ist der Boden aber immer noch eine Black Box. Grundlegende Fragen sind nicht geklärt. Mein Ziel ist es, ein bisschen Licht ins Dunkel zu bringen.

Daran arbeitet Marcel van der Heijden schon seit seiner Dissertation, die er im Rahmen des Integrierten Projekts Biodiversität des Nationalfonds zwischen 1996 und 1999 durchgeführt hat. Damals kreierte er zusammen mit seinen Kollegen im Gewächshaus kleine Kalkmagerrasen und impfte den sterilisierten Boden mit unterschiedlich vielen Mykorrhiza-Arten. Die Effekte auf die oberirdische Biodiversität waren extrem. Sobald auch nur eine Mykorrhiza-Art anwesend war, stieg die Artenvielfalt der Kräuter rapide an. Marcel van der Heijden und seine Kollegen hatten damit gezeigt, dass das Bodenleben fundamental wichtig ist für die oberirdische Biodiversität. Prompt gelang ihnen eine Premiumpublikation: Sie konnten die Forschungsergebnisse in der renommierten Fachzeitschrift NATURE veröffentlichen (van der Heijden et al. 1998). Die Publikation wird immer noch über 100 Mal im Jahr in anderen Fachartikeln zitiert. Was hatte zu diesem Erfolg beigetragen?

**van der Heijden:** Ich war Ende der 1990er-Jahre zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Die Biodiversitätsforschung hatte sich nach dem Erdgipfel von Rio deutlich intensiviert. Es war ein regelrechter Hype. Mit dem Biodiversitätspro-

jekt bot sich mir die einzigartige Möglichkeit, Pionierarbeit zu leisten. Wir waren eine motivierte Forschungsgruppe, und das Modellsystem – der artenreiche Kalkmagerrasen – war optimal gewählt: In einem anderen Lebensraum hätten wir wahrscheinlich nicht so schöne Resultate erzielt.

**HOTSPOT: Mit euren Studien habt ihr das Verständnis der Biodiversität im Boden wesentlich vorangetrieben. Hat der Hype angehalten?**

**van der Heijden:** Nach wie vor ist die Erforschung der Bodenbiodiversität eine der grössten Herausforderungen für die Biologie. Uns kommt zugute, dass die Methoden zur Bestimmung der Arten im Untergrund einfacher und bezahlbar werden. Politik und Gesellschaft messen dem Thema zudem eine immer grössere Bedeutung zu.

*Marcel van der Heijden hat mittlerweile seine Forschungstätigkeiten und Experimente auf weitere Organismengruppen ausgeweitet. Im Gewächshaus von Agroscope Reckenholz zeigt van der Heijden den Aufbau eines kürzlich beendeten Versuchs. An der Tür hängt unübersehbar ein Schild: «Bitte nicht giessen!». Im Raum dahinter stehen zwei Reihen mit 50 Zentimeter hohen Glaszylindern. Die Scheiben sind beschlagen, überall hängen Schläuche und Ventile.*

**van der Heijden:** Wir haben die Glaszylinder mit sterilem Substrat gefüllt und darin ein künstliches Ökosystem geschaffen. Dazu wurde das Substrat mit unterschiedlich artenreichen Bodengemeinschaften geimpft und mit je zehn Pflanzenarten bepflanzt. Die Glaszylinder sind vollkommen geschlossene Systeme. Um eine Verunreinigung mit Organismen von aussen zu vermeiden, wurde sowohl das Wasser als auch die Luft, die in das System gelangen, gefiltert. Die Resultate aus diesem Versuch, welche letztes Jahr in der angesehenen Fachzeitschrift PNAS der Akademie der Wissenschaften der USA veröffentlicht wurden, haben viel Aufmerksamkeit erregt (Wagg et al. 2014). Viele Forschungsgruppen wollen das Experiment nachbauen.

**HOTSPOT: Und was erregte die Aufmerksamkeit?**

**van der Heijden:** Je höher die Vielfalt der Bodenorganismen ist, desto besser funktioniert das System Boden. Und zwar oberirdisch wie unterirdisch. Alle Bodenfunktionen waren betroffen: Viel Biodiversität im Boden bedeutet: Mehr Biodiversität an Pflanzen über dem Bo-

den, mehr Kohlenstoffspeicherung im Boden, ein besserer Abbau von abgestorbenem Pflanzenmaterial, bessere Nährstoffverfügbarkeit. Die Bodenlebewesen spielen eine Schlüsselrolle in landwirtschaftlichen Ökosystemen. Auch der Ausstoss von Lachgas aus dem Boden war in artenreichen Systemen um über einen Drittel reduziert. Lachgas ist ein wichtiger Faktor in der Klimadebatte, weil es ein hochpotentes Treibhausgas ist und zur Klimaerwärmung beiträgt. Es wurde schon lange vermutet, dass Bodenbiodiversität für Ökosysteme eine wichtige Rolle spielt, es wurde aber bis jetzt experimentell noch nicht bestätigt.

*Ein aktuelles Experiment der Forschungsgruppe um Marcel van der Heijden findet unter freiem Himmel statt. Genauer gesagt auf einem Flachdach. Mit Boden gefüllte, 80 Zentimeter hohe Gefässe wurden in dem Dach versenkt. Das Geschoss darunter ist kein Wohnraum, sondern Auffangzentrale für das versickernde Bodenwasser. Überall die mittlerweile vertrauten Schläuche und Ventile. Das Sickerwasser wird aufgefangen und die Zusammensetzung analysiert. In den 60 Zentimeter breiten Töpfen wächst Weizen. Wie im Gewächshaus variiert die Bodenbiodiversität in den Miniäckern.*

**van der Heijden:** Die vorläufigen Ergebnisse aus diesem Versuch haben uns besonders überrascht. In den artenreichsten Töpfen wurden – hochgerechnet auf eine Hektare – 70 Kilogramm Stickstoff weniger ausgewaschen als in den Töpfen, die fast kein Bodenleben enthielten. Das heisst: Die Erhaltung eines reichen Bodenlebens ist ein wichtiger Beitrag zum Gewässerschutz. Ohne Bodenleben wären die Bäche, Flüsse, Seen und Meere noch viel stärker der Überdüngung ausgesetzt. Gleichzeitig haben wir festgestellt, dass die Erträge bei reichhaltigem Bodenleben höher ausfallen als bei einem an Mikroorganismen verarmten Boden.

**HOTSPOT: Was beeinträchtigt die Bodenlebewesen im Landwirtschaftsland?**

**van der Heijden:** Negative Einflussfaktoren im Ackerland sind eine fehlende Fruchtfolge, die Verwendung von bestimmten Pestiziden, zu häufiges Pflügen und Bodenerosion. In Europa gibt es immer mehr Bauern, die sagen: Mein Boden lebt nicht mehr richtig!

**HOTSPOT: In welchem Zustand befinden sich die Schweizer Äcker?**

**van der Heijden:** Dank der Fruchtfolge, der kleinstrukturierten Schweizer Landwirtschaft und den vielen Betrieben, die Tierhaltung und

Pflanzenbau verknüpfen, sieht es insgesamt besser aus als in anderen europäischen Ländern. Der Einfluss der Agrarpolitik auf das Bodenleben war positiv, vor allem Dank den obligatorischen Fruchtfolgen. Hierzulande ist der Unterschied zwischen biologischem Landbau und konventionellem Anbau beim Bodenleben nicht so gross wie zum Beispiel in den Niederlanden (> S. 8f und 10f).

**HOTSPOT: Wie kann man die Situation noch verbessern?**

**van der Heijden:** Hauptziel meiner Forschung ist es, einen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft zu leisten. Dazu gehört die gezielte Stärkung der Bodenökosysteme. Wir haben bis jetzt gezeigt, wie fundamental wichtig die Bodenlebewesen sind. Jetzt gehen wir einen Schritt weiter und fragen uns: Wie funktionieren die Bodenökosysteme im Detail? Wie lässt sich die Diversität nützlicher Bodenmikroorganismen für die Landwirtschaft nutzbar machen, und wie kann man das durch landwirtschaftliche Massnahmen wie Fruchtfolge, Zwischenkulturen, minimale Bodenbearbeitung und Biolandbau fördern? Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» erhöhen wir zurzeit gezielt die Menge an Mykorrhiza-Pilzen in acht verschiedenen Äckern verteilt über die ganze Schweiz. Wir wollen wissen, ob die Erträge durch diese Massnahme beeinflusst werden. Ich glaube, dass das Bewusstsein über die Bedeutung der Mikroorganismen im Boden und die Notwendigkeit, zu ihnen Sorge zu tragen, in Zukunft stark steigen wird. Denn der Einsatz von Energie wird teurer, und der Phosphordünger immer knapper. Die Bodenbiodiversität hingegen hilft den Pflanzen kostenlos, Nährstoffe wie Phosphor (> S. 12f) und Stickstoff effizient aus dem Boden aufzunehmen.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot

**Interview:** Gregor Klaus,  
Redaktion HOTSPOT

# Grossflächige Untersuchungen der Bodenbiodiversität sind endlich realisierbar

**Neueste Sequenzierungs-Technologien ermöglichen es erstmals, komplexe mikrobielle Gemeinschaften im Boden zu erfassen. Die dadurch festgestellten Veränderungen der Artenvielfalt zeigen deutlich, welchen starken Einfluss menschliche Aktivitäten auf die Bodenmikroorganismen ausüben können.** *Beat Frey, Franco Widmer und Martin Hartmann*



Bodenorganismen reagieren auf menschliche Tätigkeiten mit Veränderungen ihrer Vielfalt und gelten deshalb als exzellente Frühwarnsysteme bei Störungen. Gefahren drohen den Böden von verschiedener Seite. Die grössten Risikofaktoren für Böden sind physikalische Veränderungen wie Erosion, Humusverlust und Verdichtung sowie chemische Veränderungen durch externe Einträge von Schadstoffen, Pflanzenschutzmitteln und Dünger (siehe Kasten).

Die mikrobielle Diversität in Böden ist höchst komplex und übertrifft die Diversität von Pflanzen und Tieren bei weitem. Bakterien bilden die häufigste Gruppe von Mikroorganismen in Böden. Es wird geschätzt, dass in einem Gramm Boden zwischen 2000 und 18 000 bakterielle Arten und bis zu 10 Milliarden bakterielle Zellen leben. Aufgrund dieser immensen Komplexität waren Untersuchungen der Bodenmikroorganismen lange Zeit nur sehr eingeschränkt möglich, da nur ein geringer Anteil dieser Organismen im Labor kultivierbar ist.

In den letzten Jahren sind aber enorme Fortschritte auf dem Gebiet der DNS-Sequenzierung, das heisst der Entschlüsselung des Erbguts, gemacht worden. Die Entwicklung sogenannter «Next-Generation Sequencing» (NGS)-Technologien ermöglicht zum ersten Mal, die hochdiversen mikrobiellen Gemeinschaften zu erfassen. Aufgrund der aus Boden extrahierten DNS und deren Sequenzierung können wir heute die Wirkungen von menschlichen Aktivitäten auf die Zusammensetzung

der mikrobiellen Lebensgemeinschaften im Boden eindeutig nachweisen (Hartmann et al. 2014, Hartmann et al. 2015). Im Folgenden soll dieser Ansatz, wie er in der Forschungsgruppe «Rhizosphären-Prozesse» an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL und in der Forschungsgruppe «Molekulare Ökologie» bei Agroscope eingesetzt wird, an zwei Beispielen verdeutlicht werden.

## **Bodenverdichtung im Wald**

Zur effizienten Bewirtschaftung des Waldes sind Maschinen unentbehrlich. Doch seit der Jahrtausendwende kommen im Schweizer Wald zunehmend schwerere Forstmaschinen zum Einsatz. Damit steigt das Risiko von Bodenschäden, insbesondere einer Bodenverdichtung. In verdichteten Böden sind das Volumen und die Vernetzung der Porenräume verringert. Wir sind der Frage nachgegangen, wie sich Waldböden und die darin lebenden Organismen unter der mechanischen Belastung verändern. Eine Schlüsselfrage war, ab welcher Belastung der Boden langfristig geschädigt ist.

Für die Untersuchung führten wir im thurgauischen Ermatingen und in Heiteren bei Bern je ein Befahrungsexperiment durch. Mit dem gezielten Anlegen von Fahrspuren in einem kontinuierlich ansteigenden Bodenfeuchte-Gradienten konnte eine stetig zunehmende Deformation der Bodenstruktur erzeugt werden. Direkt vor und in den vier Jahren nach den Versuchen wurden wiederholt Bodenproben in und neben den Fahrspuren genommen

Foto: Befahrungsexperiment mit schweren Forstmaschinen. Besonders bei nasser Witterung kann der Waldboden sehr stark verdichtet werden. Foto Roger Köchli, WSL

(Frey et al. 2011, Hartmann et al. 2014). Im Labor wurde aus den Bodenproben DNS extrahiert und mit modernen Methoden analysiert. Insgesamt konnten anhand von Gensequenzen auf den beiden Untersuchungsflächen rund 7000 Bakterien- und 2500 Pilzarten unterschieden werden. Die Studie zeigte, dass die Folgen der Bodenbelastung für die darin lebenden Pilze und Bakterien und damit für die Baumverjüngung beträchtlich sind. Mechanische Bodenbelastungen begünstigen an sauerstoffarme Verhältnisse angepasste Bakterienarten, was zur Bildung von klimaschädlichem Lachgas und Methan führt. Bei sehr starker Verdichtung verschwinden nicht nur die aeroben Bakterien, die Sauerstoff zum Überleben benötigen, sondern auch die für das Baumwachstum so wichtigen Mykorrhiza-Pilze, die in Lebensgemeinschaften mit Baumwurzeln leben.

Nach vier Jahren hatten sich einige Bakterienarten wieder erholt, andere Bakterien sowie die meisten Pilze leiden aber weiterhin unter der Verdichtung. Man geht sogar davon aus, dass Jahrzehnte vergehen werden, bis sich Böden nach starken Belastungen wieder vollständig erholen (> S. 28). Mit Hilfe der neuen Erkenntnisse können Richtlinien für die Waldarbeit festgelegt werden.

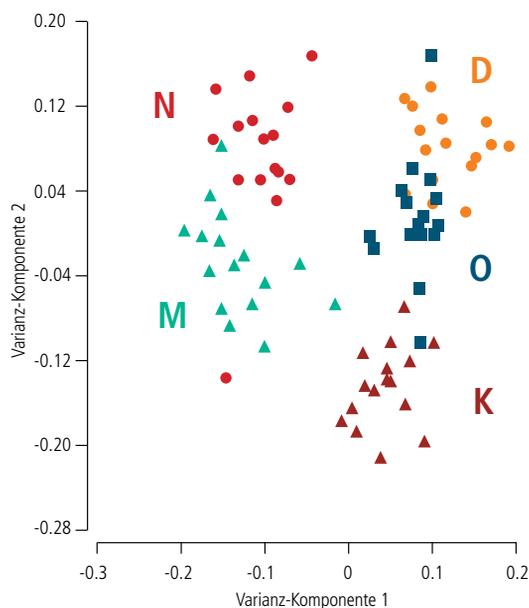
#### Landwirtschaftliche Anbausysteme

Neben mechanischen Belastungen durch die Bodenbearbeitung gelten vor allem die Einträge von Dünger und Pflanzenschutzmitteln weltweit als die grössten Risikofaktoren für die landwirtschaftlichen Ökosysteme. Es ist von essentieller Bedeutung, dass der Einsatz von Düngern und Pestiziden moderat und gezielt erfolgt, um Agrarflächen nachhaltig zu nutzen. Es ist jedoch immer noch weitgehend unklar, wie diese Anbaufaktoren die Bodenmikroorganismen und deren Funktionen (z.B. Nährstoffkreislauf, Schädlingskontrolle) beeinflussen.

Der DOK-Versuch vergleicht seit 1978 verschiedene konventionelle und biologische Anbausysteme (> S. 8f; Widmer et al. 2006). Mittels der neuen hochauflösenden NGS-Technologien konnte kürzlich zum ersten Mal gezeigt werden, dass alle Anbausysteme prinzipiell unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften beherbergen (siehe Grafik; Hartmann et al. 2015). Systeme, welche jahrzehntelang Hofdünger erhielten, zeigten allerdings ähnelnde mikrobielle Gemeinschaften wie ausschliesslich mineralisch gedüngte Systeme. Der moderate Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in diesem Versuch übte einen vergleichsweise kleinen Einfluss aus. Auf den Parzellen, die Hofdünger erhielten, wurden Mikroorganismen gefunden, welche unter anderem Funktionen beim Abbau von organischem Material übernehmen und damit für die Verfügbarmachung von Nährstoffen und die Bodenfruchtbarkeit von Bedeutung sind.

Im internationalen Vergleich zeichnet sich die Schweizer Landwirtschaft durch eine geringere Spezialisierung und eine gemischtbetriebliche Organisation aus, welche Tierhaltung und

Pflanzenbau verknüpft und damit auf Hofdünger wie Gülle und Mist setzt. Dies scheint für die Diversität von Bodenlebewesen förderlich zu sein, wurden doch in den Parzellen, welche nur mineralischen Dünger erhielten, die wenigsten Arten gefunden. Solche rein mineralisch gedüngten Anbausysteme sind in vielen Ländern immer noch Standard. Wenn jedoch die Böden des biologischen Landbaus als Massstab für eine diverse und funktionierende Bodenmikrobiologie genommen werden, dann sind die gemäss ökologischem Leistungsnachweis (ÖLN) mit Hofdünger bewirtschafteten Böden diesem Standard trotz zusätzlicher Mineraldüngung und moderatem Pestizideinsatz sehr nahe.



#### Bedrohte Bodenorganismen

In der Roten Liste der gefährdeten Grosspilze der Schweiz von 2007 wird auf die Gefährdung der Mykorrhiza-Pilze in Wäldern des Mittellandes durch Nährstoffeinträge aus der Luft hingewiesen. Das gilt insbesondere für den Eintrag von Stickstoff. In den 1980er-Jahren wurde in stark stickstoffbelasteten Gebieten in den Niederlanden ein drastischer Rückgang einzelner Mykorrhiza-Pilzarten festgestellt. Ein Stickstoffdüngungsexperiment in den Wäldern der Freiburger Voralpen kam zum gleichen Ergebnis: Mykorrhiza-Pilze produzierten bei hohen Stickstoffgaben sofort viel weniger Fruchtkörper; nach einigen Jahren verschwanden sie ganz. Ein Langzeittrend im Pilzreservat La Chanéaz (Kt. FR) hat gezeigt, dass zwischen 1975 und 2006 der Anteil an Mykorrhiza-Pilzen, gemessen an den Fruchtkörpern, um fast 20 Prozent abgenommen hat. So erstaunt es wenig, dass sich auf der Roten Liste der gefährdeten Arten anteilmässig mehr Mykorrhiza-Pilze als biomasseabbauende (saprobe) Arten finden. **Beatrice Senn und Simon Egli**

Grafik: Unterschiedliche Anbausysteme fördern unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften. Jeder Datenpunkt repräsentiert die mikrobielle Gemeinschaft einer Bodenprobe; einander nähere gelegene Datenpunkte haben ähnelnde Gemeinschaften. Die Böden der fünf Anbausysteme (> S. 8) weisen unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften auf. D: biologisch-dynamisch, O: organisch-biologisch, K: konventionell ÖLN, M: konventionell-mineralisch, N: ungedüngte Kontrolle.

Quelle: Hartmann et al. 2015

#### Neue Technologien als Chance

Die neuen molekulargenetischen Methoden bieten die Möglichkeit, den Erfolg von Bewirtschaftungsmassnahmen zu messen und beispielsweise die Förderung von nützlichen Mikroorganismen zu dokumentieren. Vor allem die NGS-Technologie kombiniert einen hohen Durchsatz an Messungen mit einer bislang unvergleichbaren analytischen Auflösung hochkomplexer biologischer Gemeinschaften. Diese Eigenschaften sind essentielle Voraussetzungen, um ein biologisch komplexes Ökosystem wie den Boden grossflächig in Zeit und Raum zu erfassen und zu überwachen. Monitoring-Programme wie das Nationale Bodenbeobachtungs-Netzwerk (NABO) (> S. 18) oder das Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM) können nun diese Technologie nutzen, um erstmals nicht nur die physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Bodens zu untersuchen, sondern auch ein vertieftes Verständnis der Bodenbiodiversität zu erlangen.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot

**Dr. Beat Frey** arbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Er forscht seit über 25 Jahren im Bereich der Bodenmikrobiologie und leitet die Gruppe «Rhizosphären-Prozesse». Seit 2013 ist er Dozent für Bodenbiologie an der ETH Zürich.

**Dr. Franco Widmer** leitet die Forschungsgruppe «Molekulare Ökologie» am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich. Er ist ausgebildeter Biochemiker und Zellbiologe und hat sich auf die molekulargenetische Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften in der Umwelt spezialisiert.

**Dr. Martin Hartmann** arbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Er ist mikrobieller Ökologe und spezialisiert auf die Erforschung des Mikrobioms mit den neuesten molekulargenetischen Technologien.

**PD Dr. Beatrice Senn-Irlet** arbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL und beschäftigt sich mit der Diversität der Pilze. Sie leitet das nationale Daten- und Informationszentrum für Pilze, wo Grundlagen für den Artenschutz der Pilze erarbeitet werden.

**Dr. Simon Egli** arbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Er leitet seit über 30 Jahren die Forschungsgruppe «Mykorrhiza» mit Schwerpunkt auf der funktionalen Bedeutung von Waldpilzen unter sich ändernden Umweltbedingungen.

**Kontakt:** [beat.frey@wsl.ch](mailto:beat.frey@wsl.ch)

# Wie geht es den Böden in der Schweiz? Biologische Untersuchungen der Nationalen Bodenbeobachtung NABO

**Viele Bodenfunktionen sind abhängig von den im Boden lebenden Organismen. Um frühzeitig Hinweise auf schädliche Veränderungen im System Boden zu erhalten, hat die Nationale Bodenbeobachtung NABO seit 2012 bodenbiologische Parameter routinemässig in ihr Messprogramm aufgenommen.** *Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer, Beat Frey, Hans-Rudolf Oberholzer, Raquel Campos-Herrera und Reto G. Meuli*

Der Boden bildet die Grundlage für fast alle Lebensräume und erbringt wichtige Ökosystemleistungen. Dazu gehören unter anderem die biologische Stickstoffbindung, der Abbau von organischem Material, die Nahrungsmittelproduktion und die Wasserfilterung. Die meisten dieser Bodenfunktionen stehen mit den Bodenlebewesen in direktem Zusammenhang. Gutes Trinkwasser und gesunde Nahrungsmittel sind also direkt abhängig von gesunden Böden und den darin lebenden Organismen. Es drängen sich deshalb folgende Fragen auf: Wie geht es den Böden in der Schweiz? Ist die Bodenfruchtbarkeit langfristig gewährleistet?

Seit bald 30 Jahren ist die Nationale Bodenbeobachtung NABO bestrebt, Antworten auf diese Fragen zu liefern. Die NABO überwacht an über 100 Standorten im landesweiten Referenzmessnetz die Belastung des Bodens mit anorganischen und organischen Schadstoffen (> Karte S. 20). Das Messnetz wird von den Bundesämtern für Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW) gemeinsam betrieben und basiert auf dem Umweltschutzgesetz (USG, 1983) und der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, 1998). Zentraler Punkt der VBBo ist der langfristige Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Diese kann jedoch nicht nur durch chemische oder physikalische Belastungen eingeschränkt werden, sondern wird auch von den im Boden lebenden Organismen massgebend beeinflusst. Dabei spielen neben der Menge der Bodenlebewesen vor allem auch deren Vielfalt und Funktionen eine wichtige Rolle.

## **Bodenbiologische Parameter in der NABO**

Bodenlebewesen reagieren sensibel auf Veränderungen in ihrer Umwelt und können frühzeitig Hinweise auf unerwünschte Veränderungen im Boden liefern. Es ist deshalb für

die NABO von grossem Interesse, bodenbiologische Untersuchungen in ihr Messprogramm aufzunehmen. Gesetzlich ist der Auftrag an die NABO in dieser Hinsicht mit Artikel 2a der VBBo gegeben, nämlich Aussagen über die standorttypischen Lebensgemeinschaften machen zu können. Weiter verlangt die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS), dass «die Überwachung der Veränderung von Ökosystemen, Arten und der genetischen Vielfalt (...) bis 2020 sichergestellt» sein muss (Strategisches Ziel 10, BAFU 2012).

Doch welche Organismen findet man in einem Boden? Der Regenwurm, der wohl bekannteste Vertreter der Bodenmakrofauna, fällt durch seine Grösse auf und ist bereits relativ gut erforscht (> S. 28). Daneben existiert aber noch weit mehr Leben im Boden (> S. 5ff und 14f). Bis heute ist diese Welt weitgehend ein Mysterium. Als erster Schritt hinein in diesen unbekannt Kosmos der Bodenmikroorganismen hat die NABO im Frühjahr 2012 in Zusammenarbeit mit Agroscope und der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL damit begonnen, an 30 ausgewählten NABO-Standorten (> Karte S. 20, Fotos S. 21) mittels Flächenmischproben die bodenmikrobiologischen Parameter «Mikrobielle Biomasse» (bestimmt mit den Methoden Fumigation-Extraktion und substratinduzierte Respiration), «Basalatemung» und «DNS-Menge» zu messen. Für die Interpretation dieser Messwerte wurden wichtige Begleitparameter wie das Raumgewicht der Feinerde, der pH-Wert und der Kohlenstoff/Stickstoff-Gehalt bestimmt. Erste Resultate zeigen, dass Ackerbaustandorte für alle aufgenommenen Messgrössen tendenziell tiefere Werte aufweisen als Grasland- und Waldstandorte. Weiter zeigen die verschiedenen Messungen der mikrobiellen Biomasse signifikante

lineare Zusammenhänge auf, was die gute Qualität der Messungen unterstreicht.

Im Frühjahr 2015 wurden die Standorte zum vierten Mal beprobt. Diese Zeitreihe von bodenbiologischen Messwerten an Standorten eines Bodendauerbeobachtungsgramms ist ein weiterer Schritt hin zu mehr Informationen über die standorttypischen Werte von mikro- und molekularbiologischen Summenparametern. Standorttypische Werte sind die Grundlage dafür, um festgestellte Veränderungen über die Zeit überhaupt einordnen zu können. Sind die gemessenen Werte im normalen bzw. gesunden Bereich oder besteht Grund zur Sorge? Die Vergleichswerte der Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter der Arbeitsgruppe «Vollzug Bodenbiologie» liefern dazu wertvolle Entscheidungshilfen (VBB 2009). Zudem ermöglichen die langjährig aufgenommenen Metadaten (z.B. Bewirtschaftungsdaten, Fruchtfolge) an den Standorten des NABO-Messnetzes eine breit abgestützte Auswertung der bodenbiologischen Messwerte und sind eine wichtige Interpretationsgrundlage.

Saure Braunerde auf der Alp Vorder Eggli im bernischen Saanen. Könnten wir in den Boden eintauchen wie in einen See – wir hätten eine faszinierende Welt vor Augen. Ein Wechselspiel aus verschiedenen Farben und speziellen Lebensformen würde uns umgeben. Doch der Boden ist nur schwer zugänglich, obwohl er so nahe ist: Wir leben, wohnen und laufen auf ihm. Seine Oberfläche liegt zudem meist unter einem Pflanzenkleid oder einer Laubdecke verborgen. So spielt der Boden in unserem Bewusstsein kaum eine Rolle, und seine Bedeutung für das Leben auf der Erde wird völlig unterschätzt. Foto © Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet)



### Zusätzliche quantitative Untersuchungen

Nachdem bekannt ist, wieviel mikrobielle Biomasse an den NABO-Standorten vorhanden ist, interessiert auch die Frage, welche Organismen sich darin befinden. Deshalb werden im bodenbiologischen Messprogramm der NABO die klassischen mikrobiologischen Bestimmungsmethoden durch die sich rasch entwickelnde molekulargenetische Analytik ergänzt. In einem vom BAFU finanzierten Projekt soll nun mittels DNS-Sequenzanalysen die Zusammensetzung der Pilz- und Bakteriengemeinschaften der 30 NABO-Standorte ermittelt werden (z.B. mit NGS-Technologien, > S. 16f). Diese auf der Entschlüsselung der Erbsubstanz basierenden Methoden eröffnen neue Möglichkeiten in der Erforschung der Diversität von Bodenorganismen und deren Funktionen und weisen für die Bodendauerbeobachtung ein grosses Potenzial auf. In Bezug auf die eingangs erwähnten Ökosystemleistungen können Aussagen über Bakterien gemacht werden, die beispielsweise für den Stickstoffkreislauf relevant sind. Es kann gezielt nach Pilzen und Bakterien gesucht werden, die Hinweise auf verdichtete Bodenverhältnisse geben (Hartmann et al. 2013). Im DOK-Versuch (> S. 8f) konnte gezeigt werden, dass Bewirtschaftungssysteme mit unterschiedlichen Düngertypen die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften beeinflussen (> S. 16f). Es wurde auch ein enger Zusammenhang zwischen der Diversität und Zusammensetzung von Mykorrhiza-Pilzen, den Bodeneigenschaften und der Bewirtschaftungsintensität festgestellt. Veränderungen in der Zusammensetzung von Mykorrhiza-Pilzen können Hinweise auf die Veränderung der Bodenqualität geben (Oehl et al. 2010).

Im Frühjahr 2014 wurden erstmals zwei zusätzliche Mischproben an jedem der 30 NABO-Standorte entnommen, um auch Untersuchungen an grösseren Bodenorganismen durchzuführen. Im Rahmen des NFP 68-Projekts «Einsatz von Fadenwürmern im Kampf gegen schädliche Bodeninsekten» konnten so an den 30 NABO-Standorten Lebensgemeinschaften von Nematoden mit molekulargenetischen Methoden bestimmt werden. Ziel dieser Studie ist es, die biotischen und abiotischen Faktoren zu bestimmen, die das Vorkommen von Nematoden in Schweizer Böden bestimmen. Erste Resultate zeigen, dass die Nutzung sowohl die Menge als auch die Zusammensetzung dieser Organismengruppe beeinflusst.

Mit den wiederholten Messungen der NABO können einerseits die Resultate validiert und andererseits auch die standorttypischen Werte bzw. Lebensgemeinschaften besser eingegrenzt werden. Dabei stellt die molekulargenetische Analytik für die Erfüllung des Auftrages, der durch die VBBo und die Strategie Biodiversität Schweiz gegeben ist, ein zentrales Instrument dar.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot



Das NABO-Messnetz. An 30 Standorten werden seit 2012 auch bodenbiologische Untersuchungen (NABObio) durchgeführt (als Quadrate dargestellt). © NABO 2015, © swisstopo 2015

- NABO Referenzmessnetz
- ◆ NABObio (Ackerbau)
- ◆ NABObio (Grasland)
- ◆ NABObio (Wald)

### Zusammenarbeit BDM – NABO

Lange Zeit fehlte eine flächenrepräsentative Bodenerhebung aus dem vegetationsbedeckten Teil der Schweiz. In einem Gemeinschaftsprojekt der NABO mit dem Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM) wird diese Lücke geschlossen. Während die NABO eine grosse und gitternetzartige Stichprobe erhält, profitiert das BDM im Gegenzug von Informationen über die Bodenqualität und -beschaffenheit am jeweiligen Standort.

Die Ergänzung des NABO-Referenznetzes mit einer Rasteruntersuchung stellt eine für gesamtschweizerische Auswertungen dringend erforderliche Erweiterung dar. Die gemeinsame Beprobung verschiedener Umweltkompartimente, deren Ergebnisse einen gegenseitigen Mehrwert für die Interpretation der jeweiligen Resultate erbringen, ermöglicht einen sehr hohen synergetischen Nutzen bei gleichzeitig relativ geringen Zusatzkosten.

Innerhalb von fünf Jahren werden im Rahmen des BDM-Indikators Z9 «Artenvielfalt in Lebensräumen» auf einem regulären Raster von 4×6 Kilometer Maschenweite insgesamt knapp 1200 Standorte beprobt. Die bisher auf Gefässpflan-

zen und Moose ausgelegte Aufnahme wird durch eine Bodenprobenahme ergänzt. An jedem Standort werden vier Proben mit einem Durchmesser von fünf Zentimetern aus 0 bis 20 Zentimeter Tiefe entnommen und im Labor der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) getrocknet, gesiebt, in einer Datenbank erfasst und zur Archivierung bereitgestellt. Damit steht erstmals ein schweizweit einheitlich erhobenes Bodenprobenkollektiv zur Verfügung. Die gleichzeitige Aufnahme der pflanzlichen Artenvielfalt ermöglicht es, die Pflanzengesellschaften und die wichtigsten Bodenparameter wie pH-Wert, Kohlenstoffgehalt und Lagerungsdichte in Beziehung zu setzen. Aufgrund der grossen Grundgesamtheit und der flächenrepräsentativen Erhebung weist dieses Kollektiv ein enormes Potenzial für regionale und gesamtschweizerische Auswertungen auf und kann für verschiedene Indikatorensysteme verwendet werden. Darüber hinaus schliesst dieses Projekt eine grosse Lücke im BDM. Die archivierten Feinerdeproben und das separat erfasste Skelettmaterial (Kies und Steine) stehen zudem für neue Fragestellungen zur Verfügung.  
**Reto Giulio Meuli**



Oben: Probenahme auf einer gekennzeichneten NABObio-Fläche (10×10 m).

Unten: Bei jedem der NABObio-Standorte werden mit einem Hohlmeissel-Bohrgerät (Durchmesser 2,5 cm) drei bzw. vier Flächenmischproben à 25 Einstiche (0–20 cm) entnommen. Fotos Anna-Sofia Hug

**Anna-Sofia Hug** arbeitet bei der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich. Sie ist Geografin und leitet die bodenbiologischen Untersuchungen im Dauerbeobachtungsprogramm der NABO.

**Dr. Andreas Gubler** arbeitet bei der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich. Er ist Umweltnaturwissenschaftler; sein Arbeitsschwerpunkt liegt in der Auswertung von Monitoringdaten.

**Dr. Franco Widmer** leitet die Forschungsgruppe «Molekulare Ökologie» am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich. Er ist ausgebildeter Biochemiker und Zellbiologe und hat sich auf die molekulargenetische Charakterisierung von mikrobiellen Gemeinschaften in der Umwelt spezialisiert.

**Dr. Beat Frey** arbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Er forscht seit über 25 Jahren im Bereich der Bodenmikrobiologie und leitet die Gruppe «Rhizosphären-Prozesse». Seit 2013 ist er Dozent für Bodenbiologie an der ETH Zürich.

**Hans-Rudolf Oberholzer** arbeitet in der Gruppe Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH und ist zuständig für Bodenmikrobiologie.

**Dr. Raquel Campos-Herrera** arbeitet gegenwärtig als Postdoc an der Universität Neuchâtel in einem Projekt des NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (Leiter Prof. Ted Turlings). Seit 14 Jahren erforscht sie entomopathogene Nematoden und deren Anwendung in der biologischen Schädlingsbekämpfung.

**Dr. Reto G. Meuli** ist ausgebildeter Geograf mit Spezialisierung auf Bodenkunde und leitet seit 2008 die Forschungsgruppe «Nationale Bodenbeobachtung (NABO)» am Agroscope Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH in Zürich.

**Kontakt:** anna.hug@agroscope.admin.ch

### Das Agroscope-Forschungsprogramm «Mikrobielle Biodiversität»

Mikroorganismen kommen überall in der Biosphäre vor und üben viele wichtige Funktionen aus. Weil die meisten von ihnen nicht direkt wahrnehmbar sind, wurde bis jetzt nur ein kleiner Teil von ihnen beschrieben; noch viel weniger werden gezielt in der Land- und Ernährungswirtschaft genutzt. Erst in jüngster Zeit, und mit dem Aufkommen neuester Technologien, um die Erbsubstanz zu entschlüsseln (DNS-Sequenzierung), ist es gelungen, die unglaubliche Vielfalt dieser mikrobiellen Welt zu erfassen und zu untersuchen. Agroscope hat das Defizit und das riesige Potenzial der Mikroorganismen erkannt und 2014 das Forschungsprogramm «Mikrobielle Biodiversität» geschaffen, in dem während vier Jahren diese Thematik bearbeitet werden soll. Es umfasst vier Arbeitspakete, in welchen spezifische Themengebiete bearbeitet werden. Drei davon fokussieren auf die Systeme Boden, Pflanze und fermentierte Milchprodukte, in welchen die gesamte mikrobielle Gemeinschaft, das sogenannte Mikrobiom, erforscht wird. Das vierte Arbeitspaket befasst sich mit der sich schnell entwickelnden mikrobiellen Genomik und der Bearbeitung und Analyse der grossen anfallenden Datenmengen (Bioinformatik).

Agroscope verfolgt mit diesem Forschungsprogramm das Ziel, die mikrobielle Biodiversität gezielt für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft sowie für qualitativ hochwertige und sichere Landwirtschaftserzeugnisse zu nutzen. Da Mikroorganismen sowohl Freund als auch Feind des Menschen sein können, gilt es auch hier, die richtigen Allianzen zu schmieden.

**Franco Widmer**

#### Weitere Information:

[www.agroscope.ch/mikrobielle-biodiversitaet](http://www.agroscope.ch/mikrobielle-biodiversitaet)

# Schaffung magerer Standorte und Förderung gefährdeter Arten durch Bodenabtrag

**Um seltene und gefährdete Arten in langfristig überlebensfähigen Populationen zu erhalten, besteht im Kanton Zürich ein ausgewiesener Bedarf für die Wiederherstellung von mageren Standorten. Im Gegensatz zu einer Ausmagerung, die über den gesteigerten Austrag von Biomasse erfolgt, führt ein Oberbodenabtrag grundsätzlich rasch zu sehr guten Ergebnissen. Was der Oberbodenabtrag für die Biodiversität im Boden bedeutet, soll in einem Forschungsprojekt evaluiert werden.**

*Pascale Weber*

Magere Standorte bieten einen Lebensraum für vielfältige Lebensgemeinschaften. Viele seltene Pflanzenarten und damit auch Tierarten kommen aufgrund ihrer arttypischen Eigenschaften nur auf mageren Standorten vor; auf wüchsigeren Standorten werden sie durch konkurrenzstärkere Arten verdrängt. Im 19. und 20. Jahrhundert führten zwei Hauptentwicklungen zu einem weitgehenden Verschwinden von mageren Lebensräumen in der durch den Menschen gestalteten Landschaft: die Intensivierung der Landwirtschaft und das Unterbinden der natürlichen Bodendynamik. Die Intensivierung der Landwirtschaft und damit einhergehend das grossflächige Ausbringen von Dünger brachten einen einschneidenden Verlust an nährstoffarmen Flächen mit sich, welcher durch zunehmende Stickstoffeinträge aus der Luft noch verstärkt wurde. Die Abnahme der Magerwiesen im Kanton Zürich macht den Verlust an nährstoffarmen Lebensräumen über die letzten 100 Jahre deutlich: Seit Ende des 19. Jahrhunderts hat die Magerwiesenfläche von 30 000 Hektaren auf 200 Hektaren abgenommen (Umweltbericht Kanton Zürich 2008) (> S. 25). Das ist eine Abnahme von über 99 Prozent (siehe Grafik). Parallel zur Abnahme der mageren Lebensräume wurden dynamische Prozesse, welche häufig eine Störung von Böden mit sich brachten, mehr und mehr verhindert. Entlang von kanalisiertem Flüssen und an befestigten Hängen entstanden keine Rohboden- und Pionierflächen mehr. Das Zulassen und Fördern von dynamischen Prozessen gehört deshalb im Na-

turschutz in vielen Ökosystemen als prägender Faktor dazu (Bönsel und Matthes 2007). Nur mit dieser Massnahme lassen sich diejenigen Arten und Lebensgemeinschaften längerfristig erhalten, welche an Störungen angepasst sind. So können beispielsweise die Erosion eines Flussufers oder Hangrutschungen zugelassen werden, wenn aus Sicherheitsgründen nichts dagegen spricht. Pionierstandorte werden gezielt durch mechanische Störung des Bodens respektive durch einen Bodenneuaufbau erzeugt.

Die wenigen verbliebenen, heute noch mageren Lebensräume im Kanton Zürich stehen weiter unter Druck, sei es, weil diese Flächen für Siedlungs- oder Infrastrukturbauten benötigt werden, oder auch, weil auf ihnen Fruchtfolgeflächen, die an anderen Orten beansprucht wurden, kompensiert werden. Schliesslich fallen magere Offenlandlebensräume in Grenzertragslagen durch Nutzungsaufgabe der natürlichen Wiederbewaldung zum Opfer.

Heute sind im Kanton Zürich mehr als zwei Drittel aller Pflanzenarten, welche auf nährstoffarmen Standorten angewiesen sind, bedroht; rund 50 Arten sind bereits ausgestorben. Vor diesem Hintergrund besteht eine hohe Dringlichkeit, die noch bestehenden Magerstandorte zu erhalten und ehemals magere Lebensräume wieder herzustellen oder neue zu schaffen.

## **Bedarf an mageren Lebensräumen im Kanton Zürich**

Gemäss dem 10-Jahres-Bericht zum Naturschutzgesamtkonzept des Kantons Zürich (Fachstelle Naturschutz 2006) soll die Fläche an Magerwiesen (im engeren Sinn) innert zehn Jahren von weniger als 200 Hektaren Restfläche auf mindestens 800 Hektaren ausgedehnt werden. Die Massnahmen im Rahmen des ökologischen Ausgleichs in der Landwirtschaft gehen zwar in die richtige Richtung, reichen jedoch bei weitem nicht aus, um mageren Standorte im erforderlichen Umfang und in der benötigten Qualität wiederherzustellen. Eine Extensivierung von vormalig gedüngten Wiesen ist auf einem grossen Teil der Standorte nämlich nicht zielführend. Erfahrungen mit der Ausmagerung von Böden über den Austrag von Biomasse durch jährlich mehrmaliges Mähen zeigen, dass bei solchen Standorten über mehrere Jahrzehnte kaum ein Extensivierungseffekt ersichtlich ist: Biomasse und Lückigkeit entsprechen bei weitem nicht den Werten einer Magerwiese, und es stellen sich kaum gefährdete Arten ein.

## **Bodenabtrag als zielführende Massnahme**

Es werden also erfolgsversprechende und zugleich kosteneffiziente Methoden gesucht, welche geeignet sind, innert einer Frist von wenigen Jahren nährstoffarme Standorte wiederherzustellen oder neu zu schaffen. Bisherige wissenschaftliche Studien (z.B. Schütz et al. 2000) und die Erfolgskontrolle der Projekte mit Bodenabtrag zur Schaffung von Ried- und Magerwiesen im Kanton Zürich (Fachstelle Naturschutz 2005) zeigen, dass ein Bodenabtrag grundsätzlich sehr gute und sichere Ergebnisse hervorbringt:

- > Die Zielvegetation feuchter bis trockener Magerwiesen kann sich in den meisten Fällen innerhalb weniger Jahre gut etablieren.
- > Sehr seltene und bedrohte Pflanzenarten können innerhalb weniger Jahre stark gefördert werden. In einzelnen Fällen können regional verschwundene, aus Naturschutzsicht besonders wichtige Arten aus der Samenbank des freigelegten Bodenhorizonts wieder auftreten.
- > Die Artenvielfalt von Pflanzen und Kleintieren wird stark erhöht.
- > Die standorttypische Kleintierfauna mit seltenen und bedrohten Arten besiedelt meist in kurzer Zeit die neuen Gebiete, d.h. sie wird durch den Bodenabtrag indirekt gefördert.
- > Die Flächen sind wenig produktiv und deshalb pflegeleicht. Sie benötigen langfristig wenig Unterhalt, was ökonomisch interessant und faunistisch von grosser Bedeutung ist.

Wie sich die unterirdische Fauna, Pilze und Mikroorganismen im Boden nach einem Bodenabtrag entwickeln, wurde bis anhin wenig bis gar nicht überprüft. Derzeit ist deshalb ein Forschungsprojekt in Planung, welches dazu beitragen soll, diese Wissenslücke zu schliessen (siehe Kasten). Auch sollen Vergleiche von ausgemagerten Flächen mit benachbarten Bodenabtragsflächen durchgeführt werden. In Anbetracht der anthropogenen Einflüsse auf den Boden durch Düngung, verhinderte Bodendynamik und Überbauung lassen sich wenig wüchsige Standorte als Grundlage für vielfältige Artengemeinschaften wohl nur durch die Anwendung verschiedener Methoden und durch vereinte Anstrengungen aller involvierten Stakeholder längerfristig erhalten und flächenmässig im nötigen Umfang und in der nötigen Zeit wieder ausdehnen. Ob an einem bestimmten Standort zur Schaffung na-



Abnahme artenreicher Wiesen im Kanton Zürich zwischen 1878 und 2006.

Quelle: Umweltbericht Kanton Zürich 2008



Oben: Direktbegrünung nach Bodenabtrag im Itzikerriet, Grüningen ZH. Unten: Oberbodenabtrag im Pünt, Grüningen ZH. Fotos Daniel Kreiner

turschützerisch wertvoller Biotope Boden abgetragen werden soll, muss unter Abwägung verschiedener Interessen entschieden werden. Fundierte vorgängige Abklärungen, eine gute Information aller Beteiligten, eine sorgfältige Ausführung sowie eine sachgerechte Pflege der neu gestalteten Flächen sind sicherzustellen.

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot

**Dr. Pascale Weber** ist stellvertretende Bereichsleiterin Arten- und Biotopschutz bei der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich. Sie leitet unter anderem konzeptionelle und umsetzungsorientierte Projekte in den Bereichen Wiederherstellung von mageren Lebensräumen und Biodiversität im Wald. Bis 2013 forschte sie an der Eidg. Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf.

**Kontakt:** [pascale.weber@bd.zh.ch](mailto:pascale.weber@bd.zh.ch)

### Marktplatz für Forschungsfragen

Das Forum Biodiversität pflegt den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen Forschenden und Entscheidungsträgern in Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Der «Marktplatz für Forschungsfragen» ist ein weiteres und neues Instrument, das den Austausch zwischen Forschung und Praxis fördern soll. Damit sollen einerseits Fragen aus der Praxis an Forschungsinstitutionen vermittelt, andererseits bestehende Forschungsergebnisse der Praxis zugänglich gemacht werden. Im Anschluss an eine Umfrage bei den kantonalen Fachstellen Natur- und Landschaftsschutz konnte eine erste Serie von Forschungsfragen an die Universitäten, an die Eidgenössische Forschungsanstalt WSL und an die Fachhochschule ZHAW vermittelt werden. Eine Studie zur Entwicklung der Bodenbiodiversität bei verschiedenen Methoden der Ausmagerung und des Oberbodenabtrags, initiiert von der Fachstelle Naturschutz Zürich, gelangte beispielsweise dadurch an die WSL. Die abgeschlossenen Arbeiten werden auf der Internetseite des «Marktplatz für Forschungsfragen», die auf der Homepage der KBNL (Konferenz der Beauftragten für Natur- und Landschaftsschutz) angesiedelt ist, aufgeschaltet und somit auch an-

deren Kantonen zugänglich gemacht.

Das Interesse der Kantone wie auch der Forschungspartner für eine bessere Vernetzung scheint gross zu sein. Insbesondere bei Studenten sind praxisbezogene Bachelor- und Masterarbeiten gefragt, und auf den Fachstellen liegt ein grosser Fundus an Fragestellungen brach. Allerdings eignen sich nicht alle Fragen aus der Praxis für die Wissenschaft. Die Forschung stellt klare Bedingungen an die Machbarkeit einer Studie: Die Fragestellung muss mit wissenschaftlichen Methoden zu beantworten und für eine Publizierung in einem wissenschaftlichen Journal verwendbar sein. Zudem muss die Frage in den Themenbereich eines Instituts passen; eine minimale Finanzierung sollte gewährleistet werden können. Von der Aufgleisung der Frage bis zu deren Beantwortung braucht es mindestens ein Jahr; komplexere Fragen bedingen oft mehrjährige Forschungsprojekte. «Wenn's brennt» sind deshalb nicht die Hochschulen, sondern ein Auftrag an ein Fachbüro der richtige Weg. **MaiannSuhner, Forum Biodiversität Schweiz**

**Weitere Informationen:**  
[www.kbnl.ch/de/6000.asp](http://www.kbnl.ch/de/6000.asp)



## Der Bund im internationalen Jahr des Bodens

**Im Dezember 2013 erklärte die UNO-Generalversammlung das Jahr 2015 zum internationalen Jahr des Bodens. Die Kampagne bietet auch in der Schweiz eine ausgezeichnete Gelegenheit, Informationen zu den verschiedenen Aspekten des Bodens und dessen Funktionen zu vermitteln. Die Veranstaltungen verteilen sich über das ganze Jahr. Monatlich publizierte Faktenblätter bringen Überraschendes und Faszinierendes über die Bodenorganismen zutage und offenbaren die Schönheit und Nützlichkeit dieser verborgenen Welt.** *Elena Havlicek*

Aufgrund der Multifunktionalität der Böden haben sich in der Schweiz verschiedene Bundesämter, darunter auch das BAFU, sowie Verbände, Organisationen und wissenschaftliche Institutionen zusammengeschlossen, um im internationalen Jahr des Bodens 2015 die Kernbotschaften der Kampagne zu formulieren und die Aktivitäten zu koordinieren. Das Grundanliegen ist, die Bevölkerung für die hohe Bedeutung der Böden für die Nahrungsmittelsicherheit und das Funktionieren der Ökosysteme zu sensibilisieren.

### Publikumsbroschüre «Bodenschätze»

Eine Publikation vom Bund und dem Nationalen Forschungsprogramm «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» NFP 68 in vier Sprachen (deutsch, französisch, italienisch und englisch) erläutert das Wesen der Böden und ihre Funktionen. Diese werden anhand konkreter Beispiele wie des in Basel funktionierenden Systems der Abwasserreinigung illustriert, wo man das Schmutzwasser durch den reinigenden Waldboden leitet.

**Bestellung/Download:** [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Dokumentation > Publikationen des BAFU

### Faktenblätter Bodenlebewesen

Jeweils am 5. jedes Monats stellen das BAFU und das NFP 68 einen bestimmten Bodenorganismus vor. Neben allgemein bekannten Arten wie dem Regenwurm werden in den Faktenblättern auch Lebewesen vorgestellt, die nur wenige Menschen kennen – zum Beispiel die Amöben, die als gefräßige Prädatoren die Lebensgemeinschaft der Mikroorganismen im Boden regulieren, oder die Nematoden, die bei der Schädlingsbekämpfung in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Die Faktenblätter sind verständlich geschrieben und richten sich an die breite Öffentlichkeit – sind aber stets auf dem neusten Stand der Wissenschaft. Im Dezember werden die gesammelten Faktenblätter in Form einer Broschüre erscheinen, die dann in Naturmuseen, Informationszentren von Naturparks und an anderen Orten, wo sich potenziell interessierte Leute einfinden, angeboten werden.

**Download Faktenblätter:** [www.boden2015.ch](http://www.boden2015.ch) > Aktuell > Faktenblätter

### Fotowettbewerb

In Zusammenarbeit mit privaten Partnern wurde Anfang Juni ein Fotowettbewerb lanciert. Amateure und Profis jeden Alters können ihre Bodenbilder hochladen auf «[www.boden2015.ch](http://www.boden2015.ch)». Eine Jury präsentiert jeweils Ende Monat die besten Fotos auf der Website und erkürt an einer Veranstaltung im Dezember die Gewinnerinnen und Gewinner. Die zehn besten erhalten als Preis eine Digitalkamera, die von einem Sponsor gestiftet wird.



### Weitere Informationen

- > [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) > Themen > Boden > Dossiers
- > [www.boden2015.ch](http://www.boden2015.ch) informiert über die Schweizer Aktivitäten und Events im Rahmen des internationalen Jahrs des Bodens, insbesondere über diejenigen, die an ein breites Publikum gerichtet sind.

**Dr. Elena Havlicek** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Sektion Boden beim BAFU und für den Bodenschutz bei UVP-pflichtigen Projekten, für die Bodenbiologie und die Bodenbiodiversität zuständig. Daneben lehrt sie am Institut für Biologie an der Universität Neuchâtel. Im internationalen Jahr des Bodens 2015 koordiniert sie die Aktivitäten des Bundes.

**Kontakt:** [elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

## Wiesenmeisterschaften – Biodiversität im Rampenlicht

**2015 ist Halbzeit der UN-Dekade der Biodiversität. Zu diesem Anlass stellen die IG Kulturlandschaft, der Schweizer Bauernverband und das Forum Biodiversität zusammen mit regionalen Organisatoren artenreiche Wiesen ins Rampenlicht. In fünf Regionen der Schweiz wurden die prachtvollsten Wiesen gesucht und die jeweiligen Bewirtschafter an öffentlichen Preisverleihungen ausgezeichnet. Mit den Wiesenmeisterschaften wird einerseits auf die Bedeutung artenreicher Wiesen aufmerksam gemacht und andererseits den Bewirtschaftenden Anerkennung für ihre ökologischen Leistungen ausgesprochen. *Jodok Guntern***

Im Grasland Schweiz sind von artenreichen Wiesen nur noch fragmentierte Restflächen übrig geblieben. Das betrifft sowohl die früher allgegenwärtigen Trockenwiesen und -weiden (Lachat et al. 2010) sowie Fromentalwiesen (leicht gedüngten Blumenwiesen), die bis in die 1950er-Jahre die wichtigsten Futterwiesen der Landwirtschaft waren (Bosshard 2015). Diese Lebensraumsinseln werden heute von der Landwirtschaft erhalten und gepflegt. Die Bevölkerung ist sich allerdings oft nicht bewusst, welche Leistungen der Bäuerinnen und Bauern hinter dem farbigen Anblick einer Blumenwiese stehen. Den meisten Schweizerinnen und Schweizern sind auch die vielfältigen Existenz- und Nutzwerte artenreicher Wiesen nur ungenügend bekannt.

Weltweit gesehen gehören einige Wiesentypen mit bis zu 90 Pflanzenarten pro Quadratmeter zu den artenreichsten Lebensräumen (Wilson et al. 2012). In Schweizer Magerwiesen finden sich zum Teil mehr als 60 Pflanzenarten auf wenigen Quadratmetern. Eine Vielzahl anderer Organismen steht mit der pflanzlichen Vielfalt in Wechselwirkung. Diese Prozesse

sind auch die Grundlage für die Ökosystemleistungen artenreicher Wiesen und ihrer Biodiversität, von denen wir Menschen profitieren – rohfaserreiches Tierfutter, geschmackvoller Honig, Bestäubungsleistungen, genetische Ressourcen, Erosionsschutz, Reinigung von Wasser, ästhetischer Wert und andere.

Ziel der Wiesenmeisterschaften ist es, das Bewusstsein für diese Aspekte und für die Notwendigkeit der Förderung artenreicher Wiesen zu schärfen. Die Wiesenmeisterschaften 2015 wurden auf nationaler Ebene vom Fonds Landschaft Schweiz, vom Bundesamt für Landwirtschaft, vom Bundesamt für Umwelt, der Gust und Lyn Guhl-Stiftung, der Stiftung Temperatio, der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, der Stiftung Dr. h.c. Erich Nelson, der Fondation Petersberg pro planta et natura sowie der Stiftung zur internationalen Erhaltung der Pflanzenvielfalt finanziell unterstützt. In den Regionen beteiligten sich zusätzliche Organisationen. Die Gewinnerinnen und Gewinner 2015 sind auf der untenstehenden Website zu finden.

**2016 werden in weiteren Regionen die artenreichsten Wiesen gesucht. Möchten Sie mit Ihrer Organisation Wiesenmeisterschaften durchführen oder mehr darüber wissen? Melden Sie sich bei der IG Kulturlandschaft, der Organisatorin der Wiesenmeisterschaften.**

**Weitere Informationen:**  
[www.wiesenmeisterschaften.ch](http://www.wiesenmeisterschaften.ch)

**Literatur:** [www.biodiversity.ch](http://www.biodiversity.ch) > Publikationen > Hotspot

**Jodok Guntern** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Forum Biodiversität Schweiz. Er ist zuständig für Biodiversität im Landwirtschaftsgebiet.

**Dr. Eva Spehn** ist ebenfalls wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Forum Biodiversität Schweiz und verantwortlich für die internationale Zusammenarbeit.

**Kontakt:** [jodok.guntern@scnat.ch](mailto:jodok.guntern@scnat.ch)

Begehung einer artenreichen Wiese gemeinsam mit den Bewirtschaftern in der Ostschweiz.

Foto Martin Zimmermann

### Das regionale paneuropäische Assessment des Weltbiodiversitätsrat IPBES wird von der Schweiz aus koordiniert

Der Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) will – ähnlich wie IPCC für das Klima – wissenschaftliche Erkenntnisse für die Politik aufbereiten. Das regionale Assessment zu Biodiversität und Ökosystemleistungen des gesamten paneuropäischen Raums (Europa und Zentralasien), mit dem IPBES nun startet, wird sehr stark in der Schweiz verankert sein: Einer der drei Co-Chairs, die den Bericht wissenschaftlich leiten werden, ist Prof. Markus Fischer von der Universität Bern und Präsident des Forum Biodiversität Schweiz. Zudem wurden fünf weitere Experten aus der Schweiz in führende Positionen gewählt. Dem Forum Biodiversität ist es sogar gelungen, mit Unterstützung des BAFU und IPBES das Sekretariat des regionalen Assessments an die Universität Bern zu holen, wo nun drei neue Stellen besetzt wurden. Diese werden die Koordination und Organisation des regionalen Berichts, der 2018 erscheinen soll, übernehmen. Aus diesem Grund fand das erste Autorentreffen in Engelberg statt, wo sich 120 Experten aus der gesamten Region vom 31. August bis 4. September trafen, um die Struktur und den Inhalt der einzelnen Kapitel festzulegen. *Eva Spehn*





## Vielfältige Landsorten weiterentwickeln

**Die grosse Vielfalt an Landsorten ist einer der kostbarsten Schätze der Menschheit. Sie dient als Basis für die langfristige Ernährung der Weltbevölkerung. Erst in den letzten Jahren ist diese Erkenntnis ins Bewusstsein der Entscheidungsträger gedrungen. Landsorten bedeuten Leben – Leben aber bedeutet Bewegung. Für Kulturpflanzen heisst das, sich dynamisch an wechselnde Rahmenbedingungen anzupassen. Dass dies nötig ist, zeigt das Beispiel Rheintaler Ribelmals. Barbara und Hans Oppliger**

Traditionelle Landsorten haben sich im Laufe von Jahrhunderten an ihre Region angepasst. Im Laufe der Zeit können sich die Umweltbedingungen aber dermassen ändern, dass sich die Pflanzen, wenn sie nur noch in Genbanken erhalten werden, nicht mehr an die neuen Gegebenheiten anpassen können. So enthalten die Böden im Rheintal heute viel mehr Nährstoffe als vor 50 Jahren. Ein Teil davon wird heute aus der Atmosphäre durch den Niederschlag zugeführt. Eine weitere Herausforderung ist die zunehmende Klimaerwärmung, welche den Rheintaler Ribelmals einem viel stärkeren Infektionsdruck durch Pilzkrankheiten wie Fusarien-Fäulepilze aussetzt. Das wärmere Klima ermöglicht seit einigen Jahren auch *Helminthosporium*-Blattpilzen, welche bis vor 20 Jahren nur südlich der Alpen vorkamen, in unsern Breitengraden zu überwindern. Der Ribelmals hat dagegen noch keine Resistenzen entwickelt. Eine dritte Herausforderung erleben Kulturpflanzen aufgrund der strenger werdenden Lebensmittelgesetzgebung: Heute können auch kleinste Mengen an Pilzrückständen dazu führen, dass sie nicht mehr lebensmittelkonform sind.

### Grosse genetische Vielfalt

Seit Jahrzehnten basiert die kommerzielle Maiszüchtung weltweit ausschliesslich auf Hybrid-Züchtungstechniken. Diese Sorten weisen eine genetisch äussert schmale Basis auf; jede Pflanze hat das gleiche genetische Muster. Landsorten sind jedoch genetisch sehr vielfältig: Jede Pflanze hat eine einmalige genetische Zusammensetzung. Dies ist vergleichbar mit der menschlichen Bevölkerung: Jede und jeder hat einen einmaligen genetischen Fingerabdruck.

Landsorten werden auch «Populationsorten» genannt. Bei der Verbesserung beziehungsweise Anpassung einer Landsorte an die heutigen Rahmenbedingungen muss deshalb sehr sorgfältig vorgegangen werden, damit die grosse genetische Vielfalt erhalten bleibt und auch der Charakter der Landsorte nicht verloren geht. Das Wertvolle an alten Landsorten ist ja nicht nur die grosse genetische Vielfalt zwischen den verschiedenen Sorten und Herkünften, sondern auch die Diversität innerhalb derselben Sorte.

### Der Verein Rheintaler Ribelmals

Der Maisanbau gehört zum Rheintal wie die Olma-Bratwurst zu St. Gallen. Weitläufige Maisfelder sind ein für die Region typisches Bild. Hier entstand das traditionsreiche Maisgericht «Ribel» mit einer über 300-jährigen Geschichte. Mais bildete über Jahrhunderte das Grundnahrungsmittel des Rheintals, da andere Getreidearten aufgrund des grossen Pilzdruckes im feuchtwarmen Klima keine guten Erträge hervorbrachten. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts geriet der Ribel allerdings fast in Vergessenheit. Mit der Gründung des Vereins Rheintaler Ribelmals wurde 1998 eine Institution geschaffen, die dieses Kulturerbe langfristig bewahrt. Heute werden im Rheintal neben grossflächigem Futtermais wieder jährlich mehr als 30 Hektaren Rheintaler Ribelmals und über 40 Hektaren Polentamais angebaut. Rheintaler Ribelmals wurde im Jahr 2000 als zweites Produkt der Schweiz in das Nationale Register der Produkte mit geschützter Ursprungsbezeichnung AOP eingetragen. Er darf deshalb heute ausschliesslich im Rheintal angebaut und verarbeitet werden.

**Weitere Informationen:** [www.ribelmals.ch](http://www.ribelmals.ch)

### Populationen für die Zukunft fit machen

Der Verein Rheintaler Ribelmals (siehe Kasten) wandte in den ersten zwölf Jahren in seiner Maispopulation die Erhaltungstechnik der «Massenselektion» an, das heisst, dass jedes Jahr im Saatgutvermehrungsfeld die schönsten Kolben von den schönsten und gesunden Pflanzen von Hand als Ausgangsmaterial für die weitere Vermehrung ausgelesen wurden. Bei dieser Technik können aber jeweils nur die dominanten Eigenschaften mütterlicherseits beurteilt werden, was bedingt, dass die Verbesserungsschritte sehr langsam vorgenommen werden und viele Generationen nur sehr kleine Verbesserungsschritte hervorbringen. Deshalb startete der Verein Rheintaler Ribelmals zusammen mit dem Lehrstuhl für Biodiversität und Pflanzenzüchtung an der Universität Hohenheim in Deutschland vor sechs Jahren ein Züchtungsprogramm, bei welchem verschiedene Verbesserungstechniken angewendet und miteinander verglichen werden. Dieses Programm will herausfinden, welche Techniken zur «Fit-Machung» von genetisch vielfältigen Populationsorten empfehlenswert sind.

### Die optimale Selektionsmethode

Der Verein Rheintaler Ribelmals vergleicht seit dem Jahr 2010 die Selektionsmethode «Halbgeschwisterselektion» mit «Vollgeschwisterselektion» und misst alle drei Jahre den Erfolg seiner Populationsorten im praktischen Feldanbau. Dabei wird darauf geachtet, dass jeder Verbesserungsschritt mit mehr als 500 Einzelpflanzen begonnen wird, um die genetische Basis genügend breit zu erhalten. Bei den beiden Techniken werden die Nachkommen einer Pflanze als Familien ausgesät, bonitiert und beurteilt. Für die Ausspflanzung der nächsten



Generation wird dann auf das Ursprungssaatgut der besseren Familien zurückgegriffen. Neben der «Halbgeschwisterselektion» und der «Vollgeschwisterselektion» wird zurzeit in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung und Biodiversität an der Universität Hohenheim geprüft, ob die «Haploidenselektionsmethode» zur Rettung von bedrohten Landsorten geeignet ist. Dabei werden vorübergehend Pflanzen mit einem einfachen Chromosomensatz gezüchtet, bei welchen dann alle Eigenschaften, auch die rezessiven, sichtbar werden. Dadurch werden insbesondere Schwächen, Anfälligkeiten auf Krankheiten und Letalfaktoren sichtbar gemacht, welche unter Umständen bei diploiden Pflanzen als rezessive Eigenschaften versteckt vorhanden sind.

Weltweit und insbesondere in Zentral- und Südamerika gibt es bis heute noch Tausende verschiedener Mais-Landsorten. Wenn von jeder dieser Sorten nur ein paar Kolben in die Genbank eingelagert und, wie heute vorgesehen, alle 50 Jahre ausgesät werden, dann können sich diese Sorten nicht zusammen mit den sich ändernden Rahmenbedingungen weiterentwickeln, sondern sie bleiben im wahrsten Sinne des Wortes stehen. Es besteht die Gefahr, dass sie völlig unbrauchbar werden. Dies bedeutet ihren Untergang. Gelingt es am Beispiel vom Rheintaler Ribelmais, geeignete Verbesserungstechniken für Mais-Populationssorten zu entwickeln, könnten sie auch auf andere Populationssorten angewendet werden und dazu beitragen, dass Landsorten auch in Zukunft konkurrenzfähig bleiben.

#### Finanzhilfe für die Weiterentwicklung von alten Sorten oder Landsorten

Im Rahmen des «Nationalen Aktionsplans zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der pflanzengenetischen Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft» (NAP-PGREL) kann das BLW neue Projekte finanziell unterstützen, die die PGREL wieder nutzbar machen wollen. Insbesondere für die züchterische Bearbeitung oder Weiterentwicklung von Sorten für den Nischenmarkt sind noch freie Mittel vorhanden. Bedingung für die Förderung ist, dass ein möglichst hoher Anteil an Eigen- und Drittmitteln eingebracht wird. Anträge mit Projektstart für 2016 können noch bis zum 15. Oktober 2015 eingereicht werden.

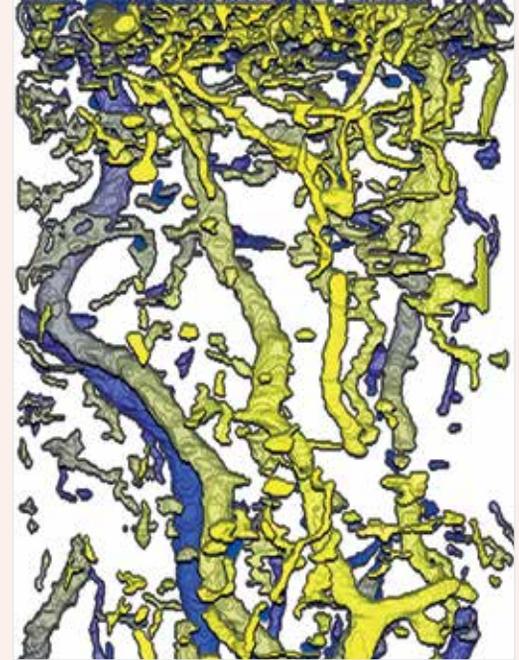
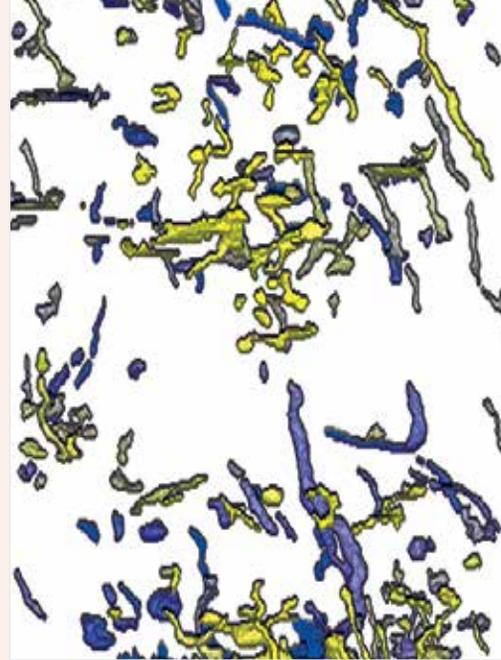
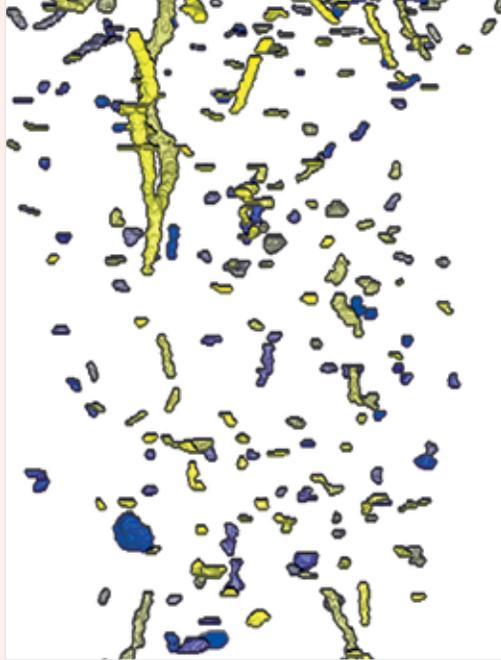
**Weitere Informationen** zum NAP-PGREL und zur Projekteingabe finden Sie unter: [www.blw.admin.ch](http://www.blw.admin.ch) > Themen > Pflanzensorten, Züchtung, Genressourcen > Pflanzengenetische Ressourcen > NAP-PGREL



Oben links: Der Rheintaler Ribelmais ist eine genetisch vielfältige Population. Fachleute beurteilen die genetischen Unterschiede beispielsweise bezüglich der Anfälligkeit auf Blattkrankheiten (Helminthosporium). Oben rechts: Die Prüfung der Nachkommen des Rheintaler Ribelmaises ist sehr aufwändig: Hunderte von Einzelparzellen müssen separat ausgesät, bonitiert, geerntet und beurteilt werden. Unten: Das Erzeugen von Vollgeschwistern erfordert viel und exakte Handarbeit. Fotos Barbara und Hans Oppliger

**Barbara und Hans Oppliger** haben beide Agronomie studiert, arbeiten am Landwirtschaftlichen Zentrum St. Gallen (LZSG) und sind Mitinhaber der Firma RhyTOP GmbH. Sie haben verschiedenste Projekte, die im Rahmen des Nationalen Aktionsplans NAP-PGREL gefördert wurden (und immer noch werden) betreut und fachlich unterstützt. Hans Oppliger ist zudem Geschäftsführer des Vereins Rheintaler Ribelmais.  
**Kontakt:** [hans.oppliger@lzsg.ch](mailto:hans.oppliger@lzsg.ch)

# Regenwürmer regenerieren verdichtete Böden



Entwicklung der Regenwurmgänge im Boden eines Weizenfeldes nach kontrollierter Verdichtung (1, 8 und 24 Monate; Originalgrösse jedes Bildausschnittes: 16×40 cm). Zur dreidimensionalen Darstellung sind die Gänge im Vordergrund gelb, diejenigen im Hintergrund blau eingefärbt.

Quelle: Yvan Capowiez

**D**ie Techniken der verminderten Bodenbearbeitung oder des pfluglosen Ackerbaus kommen in Europa auch auf grossflächigen Kulturen mehr und mehr zum Einsatz. Bei diesen alternativen Systemen stellt sich indessen die Frage nach der Regenerationsfähigkeit von Böden, die durch das Befahren mit Landwirtschaftsmaschinen bei hoher Bodenfeuchte verdichtet wurden. Biologische Akteure wie Pflanzenwurzeln oder die Makrofauna spielen dabei eine wichtige Rolle. Wie bedeutend diese Organismen dabei wirklich sind, und wie rasch sie ihre Wirkung erzielen, liegt aber weitgehend im Dunkeln.

Um diese Prozesse besser zu verstehen, wurde der Boden eines Weizenfeldes durch Befahren mit einem Traktor und einem Anhänger mit einem Gesamtgewicht von acht Tonnen bei einer Bodenfeuchte von 25 Prozent kontrolliert verdichtet. Einen Monat, acht Monate und 24 Monate später wurden den Böden unter der Fahrspur (behandelte Flächen) bzw. ausserhalb davon (Kontrollflächen) Bodenprofile entnommen. In diesen wurde anschliessend das Netz der Regenwurmgänge mithilfe eines

in der Medizin gebräuchlichen Röntgenapparates untersucht.

Einen Monat nach der Verdichtung zeigte sich, dass das Gangnetz durch das Befahren nahezu vollständig zerstört worden ist. Nach acht Monaten hatte sich das Gangnetz teilweise wieder neu gebildet, doch war dessen vertikale Durchgängigkeit immer noch schwach ausgebildet. Die Regeneration dauerte 24 Monate: Ab diesem Zeitpunkt zeigten sich zwischen behandelten Flächen und Kontrollflächen keine Unterschiede mehr. Wir können daraus schliessen, dass die Regenwürmer eine aktive Rolle bei der Regeneration verdichteter Böden spielen, hierfür aber rund zwei Jahre benötigen. Yvan Capowiez



Der Regenwurm ist ein wichtiger Baumeister unserer Böden. Foto Thomas Alföldi



**Yvan Capowiez** forscht am «Institut national de la recherche agronomique» (INRA) in Avignon (F). Er hat sich viele Jahre mit dem Verhalten der Regenwürmer und deren Rolle für die Bodenfruchtbarkeit beschäftigt. Seit kurzem untersucht er die Artengemeinschaft der Spinnen in Kulturböden.

**Kontakt:** capowiez@avignon.inra.fr