

VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 19, 2020

Die Spielregeln des Bodens

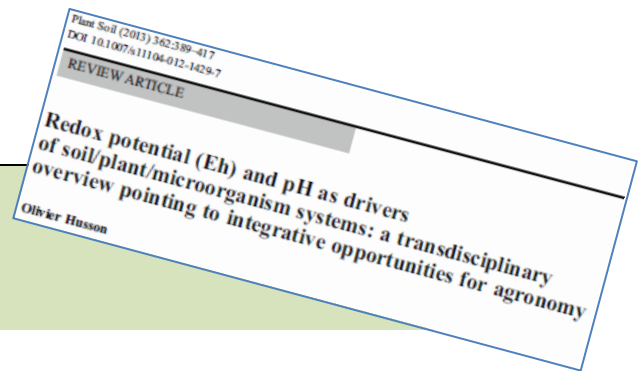
Inhalt

1. Editorial	2
2. Ausgewählte Projekte der VBBio	3
2.1 Inventar bodenbiologischer VBBio und NABO Projekte	3
2.2 Der lange Weg zu einem Referenzwert für Humus	4
2.3 Sammlung bodenbiologischer Studien an Schweizer Standorten	5
3. Forum Bodenbiologie in der Praxis	6
3.1 Entwicklung eines Monitorings von PSM-Rückständen im Boden.....	6
3.2 Konzept für ein Langzeit-Biomonitoring von Pflanzenschutzmittelrückständen im Rahmen der Monitoringmassnahme des Schweizerischen Aktionsplans für Pflanzenschutzmittel.....	7
3.3 Mikrobielle Diversität im Boden: Das Projekt MiDiBo-2 – den mikroskopisch kleinen Lebewesen im Boden auf der Spur	9
3.4 Referenzwerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz: Welche Bodenqualität und welche biologische Bodenqualität.....	12

1. Editorial

Clément Levasseur

Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg
Landwirtschaftliches Beratungszentrum
Route de Grangeneuve 27, CH-1725 Posieux
clement.levasseur@fr.ch



Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten des 20. Jahrhunderts haben sich mit dem Redoxpotenzial beschäftigt. Albert Szent Gyorgyi, Träger des Nobelpreises für Medizin im Jahr 1937, schrieb: "Was das Leben belebt, ist ein kleiner elektrischer Strom, der von der Sonne erzeugt wird". Diese Arbeit wurde kürzlich von Olivier Husson wieder aufgegriffen und auf den spezifischen Fall des Bodens angewandt. Diese Arbeit eröffnet zahlreiche Perspektiven und die ersten Ergebnisse sind faszinierend: Eine zu intensive und häufige Bodenbearbeitung und der unvernünftige Einsatz von synthetischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln – meist oxidierend – tragen zur Überoxidation landwirtschaftlicher Böden bei.

Diese Überoxidation beeinflusst die Bodenbiologie und Pflanzengesundheit und begünstigt bestimmte Gruppen von Lebewesen (Nützlinge, Schädlinge oder Pathogene). Mehr denn je werden wir uns bewusst, dass der Boden eine empfindliche und komplexe Umwelt ist. Die Wechselwirkungen zwischen Chemie, Physik und Bodenbiologie sind zahlreich, und diese Themen sind eng miteinander verflochten.

Dieses Bulletin stellt den Stand der bodenbiologischen Forschung in der Schweiz vor. Es enthält eine Liste der verschiedenen Forschungsprojekte zur Bodenbiologie auf Bun-

desebene, einen Leitfaden zu einem Referenzwert für Humus und eine Präsentation zur Lancierung einer Sammlung grauer Literatur zu diesem Thema.

Zwei Projekte mit sehr unterschiedlichen, aber sich ergänzenden Ansätzen zielen auf die Überwachung von Rückständen von Pflanzenschutzmitteln in Schweizer Böden ab. Das Projekt MiDiBio, das sich nun in seiner zweiten Phase befindet, hat es ermöglicht, bakterielle Gemeinschaften in Bezug auf Landnutzung und biogeografische Bedingungen zu charakterisieren, was den wichtigen Zusammenhang zwischen biotischen und abiotischen Faktoren im Boden bestätigt. Schließlich wurde kürzlich ein vielversprechendes Promotionsprojekt begonnen, welches zum Ziel hat die biologische Aktivität des Bodens in Bezug auf seine Porosität, Struktur und seinen Gehalt an organischer Substanz zu untersuchen. Wir hoffen, dass zukünftige Ergebnisse zu praktischen Empfehlungen führen werden.

Dank dieser und aller anderen abgeschlossenen und zukünftigen Arbeiten streben wir eine Verbesserung unserer Kenntnisse der Bodenbiologie an, um einen möglichst vollständigen Überblick zu erhalten, ohne Details und Feinheiten zu vernachlässigen. Auf diese Weise hoffen wir über die praktischen Instrumente zu verfügen, um die kostbare Ressource Boden bestmöglich zu schützen.

Clément Levasseur
Président BioSA

2. Ausgewählte Projekte der VBBio

2.1 Inventar bodenbiologischer VBBio und NABO Projekte

Anna Hug

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope / Nationale Bodenbeobachtung NABO
Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich
anna.hug@agroscope.admin.ch

Claudia Maurer

Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern
Amt für Landwirtschaft und Natur, Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion
Fachstelle Boden
Rütti 5, 3052 Zollikofen
claudia.maurer@be.ch

Projekt	Ziel	Zeitraumen	Leitung	Mitarbeit	Art des VBBio-Engagements
KABObio	bodenmikrobiologisches Monitoring der KABOs - FEM, BA - ATP Monitoring Regenwürmer	Laufend			Vollzug Monitoring Kantone, Analytik Agroscope
		seit 2004	AG, BE, GR	Florian Walder Agroscope	
		seit 1990	FR	Nicolas Maire Sol-Conseil	
	seit 1994	BE			
NABObio	Bodenbiologisches Monitoring der NABO	Jährlich seit 2012	Anna Hug, NABO	Franco Widmer, Florian Walder Agroscope	Monitoring Bund, BAFU + BLW
NABObio-KABObio	Herleitung bodenbiologischer Indikatoren mit mikrobiologischen Daten (SIR, FEM, BA)	Abschluss Mitte 2020	Anna Hug, Andreas Gubler NABO	AG, BE, GR	Zusammenarbeit NABO und KABO
NABO-KABO Standortevaluation	Wie können sich NABO- und KABO-Standorte bei gemeinsamen Forschungsprojekten im Bereich der Molekularbiologie optimal ergänzen?	Start voraussichtlich Jan. 2020	Anna Hug, Andreas Gubler NABO	KABOs, Kantone	Zusammenarbeit NABO und KABO und weitere kantonale Standorte
BDMsoil	DNA-Extraktion und Sequenzierung 255 BDM-Standorte	Publikation Bakterien 2020 Auswertung Pilze geplant	Reto Meuli NABO	Franco Widmer, Agroscope	NABO und Forschung
MiDiBo 1	Molekularbiologische Untersuchungen an MIP-Standorten	Abgeschlossen, Publikation 2020	Franco Widmer Agroscope	Florian Gschwend, Agroscope	Forschung und kantonale Standorte
MiDiBo 2	Pilz-Diversität der 255 BDM-Standorte; Diversität höherer Organismen an NABObio-Standorten; Stressor-Experimente		Franco Widmer Agroscope	Anna Hug, NABO, Beat Frey WSL, Thierry Heger, FH Changins, Jürg Enkerli, Agroscope	Forschung
Grundlagen zur Entwicklung eines Humusreferenzwertes für Ackerböden	Zusammenstellung fachlicher Grundlagen für die Erarbeitung eines Humus-Referenzwertes für Ackerböden im Zuge der geplanten Revision VBBio	Publikation Sonderdruck VBBio-Bulletin 19	Andreas Fließbach FiBL	Alle	VBBio-intern
Informationen zum Boden an-	Bestehende Datengrundlagen zum Gefährdungsgrad ausgewählter Tier-, Pilz- und	1.6.2019-30.11.2020	Beat Frey WSL, Claudia Maurer BE	Karin Schneider CSCF, Experten CSCF und WSL	BAFU

hand der Gebun- denheit der Rote Liste-Arten BAFU	Flechtenarten mit Informatio- nen zum Lebensraum Boden ergänzen (Bilanzjahr Bio- diversität 2020)			
Soil Food Web	Erarbeitung molekularer Identifizierungen div. Grup- pen von Bodenlebewesen	Beginn 2017	Beat Frey, WSL	Claudia Maurer BE Forschung und kan- tonale Standorte
Graue Literatur	Sichtung und Auswertung nicht öffentlich zugänglicher bodenbiologischer Daten			
Bodenqualität - Referenzwerte			Pascal Boivin HEPIA	Andreas Fliess- bach FiBL
Monitoring biolo- gischer Parame- ter für PSM im Boden	Aktionsplan PSM, Teil der Massnahme 6.3.3.7.: Ent- wicklung von Indikatoren zur Beurteilung der Auswirkun- gen von PSM auf die Boden- fruchtbarkeit. Der andere Teil der Mass- nahme ist der Aufbau eines PSM-Monitorings durch die NABO.	Bis 2027 (gem. Akti- onsplan)	Janine Wong Ökotox-Zent- rum	Sophie Campiche envibiosoil

2.2 Der lange Weg zu einem Referenzwert für Humus

Andreas Fliessbach

Departement für Bodenwissenschaften
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Ackerstrasse, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Leitfaden für die Entwicklung eines Referenzwerts für den Vollzug

Zusammen mit diesem Bulletin wird eine Broschüre verbreitet, die beschreibt welche Möglichkeiten zur Entwicklung eines Referenzwertes für den Gehalt landwirtschaftli-

cher Mineralböden an organischer Bodensubstanz (OBS) bestehen. Sie bezieht Schweizer Regelwerke sowie die Erkenntnisse und Meinungen aus einem Workshop mit Interessensvertretern der Landwirtschaft, des Umweltschutzes und des kantonalen Vollzugs mit ein, der am 16.11.2017 stattgefunden hat.

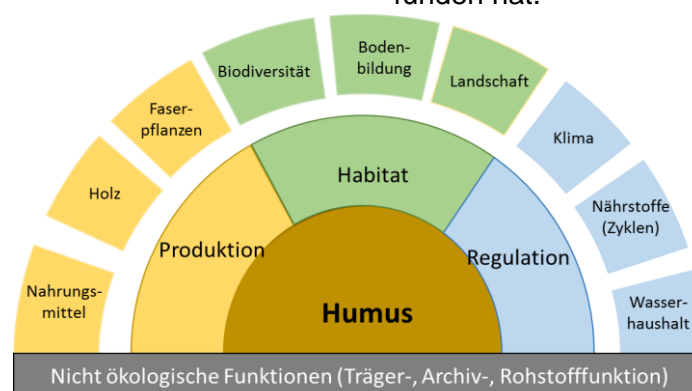


Abbildung 1. Die organische Bodensubstanz beeinflusst alle ökologischen Bodenfunktionen: Die Produktion mit Nahrungsmitteln, Holz und Faserpflanzen, die Regulation mit Anpassung an und Milderung des Klimawandels, den Nährstoffzyklen und der Bedeutung für den Wasserhaushalt als Speicher und Filter, sowie die Funktion als Lebensraum und Basis für die biologische Diversität.

2.3 Sammlung bodenbiologischer Studien an Schweizer Standorten

Andreas Fliessbach

Departement für Bodenwissenschaften
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Ackerstrasse, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Ein Projekt, das die VBBio seit langer Zeit diskutiert und das nie recht vorankam, ist durch eine Finanzierung des BAFU im Mai 2020 in die Tat umgesetzt worden. Das FiBL hat den Auftrag erhalten die graue Literatur zu sichten und eine Übersicht zu erstellen welche Standorte der Schweiz bereits hinsichtlich der Bodenbewohner untersucht worden sind. Mehr als 250 Adressaten aus Forschung, Lehre, Natur- und Bodenschutzorganisationen sind angeschrieben worden um insbesondere die nicht publizierten Arbeiten ans Licht zu bringen. Es handelt sich dabei unter anderem um studentische Arbeiten (Bachelor, Master, Diplomarbeiten und Dissertationen) aber auch um Berichte, Poster und Konferenzbeiträge, die oft schwer zu finden sind. Das Ziel dieser Sammlung ist es einen Beitrag zu leisten zur Abdeckung der bodenbiologischen Studien und auch um dem Publikationsbias entgegenzuwirken. Ein Publikationsbias entsteht, wenn nur positive Resultate und solche, die der Zielsetzung entsprechen publiziert werden. Wird z.B. bei einer Untersuchung der gesuchte Organismus nicht gefunden gilt diese Untersuchung manchmal nicht als publikationswürdig. Bei einer Literaturrecherche ergibt sich daraus

ein Schiefelage mit einer Überbewertung der Resultate.

Die Auswertung dieser Studien wird interessant, denn es ist zu erwarten, dass gut gehütete Geheimnisse gelüftet werden. Einige bodenbiologische Arbeiten sind in Berichten versteckt, die thematisch anders eingeordnet wurden. Einige Standorte, die Teil von grossen Projekten waren, sind von einer Vielzahl von Forschern untersucht worden. Eine erste Liste der bereits gefundenen Studien mit Standortbezug und den jeweiligen Spezies wird im Frühjahr 2021 vorgelegt und ein Jahr später wird eine Auswertung aller Studien vorliegen mit einer Karte aller Standorte, die bereits einmal untersucht worden sind.

Ein parallellaufendes Projekt «Newsletter» der Hochschule für Technik und Architektur, Freiburg informiert die Mitglieder der Gruppe ROSOL (Westschweizer Bodenschutzexperten) über bodenkundliche Themen in der Region.

Literatur

Grey Literature International Steering Committee.

Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature. Version 1.1. GLISC; 2007.

3. Forum Bodenbiologie in der Praxis

3.1 Entwicklung eines Monitorings von PSM-Rückständen im Boden (Massnahme 6.3.3.7)

Vanessa Reininger, Daniel Wächter und Reto Meuli

Nationale Bodenbeobachtung NABO

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Agroscope Forschungsbereich Agrarökologie und Umwelt

Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich

vanessa.reininger@agroscope.admin.ch



Abbildung 2.

Die ausreichende Ernährung der Bevölkerung basiert auf stabilen Erträgen in der Landwirtschaft. Diese werden mittels Pflanzenschutzmitteleinsatz sichergestellt. Während das Verhalten und die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) und deren Abbauprodukten auf die Gewässer und deren Lebewesen relativ gut erforscht sind (Guzzella et al. 2018; Rösch et al. 2019; Curchod et al. 2020; Spycher et al. 2018), gibt es bis heute nur wenige Studien, die PSM und deren Abbauprodukte in Böden untersucht haben (Vasickova et al. 2019; Fernandez-Alvarez et al. 2010; Chiaia-Hernandez et al. 2017). Um die Wichtigkeit von PSM in der Umwelt in den Vordergrund zu stellen, hat der Bundesrat 2017 den Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM) verabschiedet. Mit der Umsetzung dieses Aktionsplans sollen die heutigen Risiken von PSM halbiert und deren Anwendung nachhaltiger werden. Um diese

Ziele zu erreichen, wurden verschiedene spezifische Massnahmen definiert. Eine Massnahme ist die Entwicklung eines Monitorings von PSM-Rückständen im Boden. In einem ersten Schritt wird an je einem Acker-, Obst- und Weinbaustandort die kurzfristige Variabilität der PSM-Rückstandskonzentrationen im Boden untersucht. Dazu werden monatliche Beprobungen über 24 Monate hinweg durchgeführt. Parallel dazu laufen Untersuchungen zur langfristigen, sprich jährlichen Variabilität der PSM-Rückstände im Boden. Hierfür werden Proben des NABO Bio Programms analysiert (Hug et al. 2018).



Abbildung 3.

Zudem wird derzeit ein neues Analysenverfahren in der Umweltanalytik von Agroscope entwickelt. Ziel ist es, eine sogenannte Multiresidue-Methode zu entwickeln, mit der rund 140 Substanzen gleichzeitig analysiert werden können. Parallel dazu werden in Zusammenarbeit mit Ökotoxikologen Indikatoren erarbeitet, mittels derer sich der Einfluss

von PSM und den entsprechenden Abbauprodukten auf die Qualität des Bodens abschätzen lässt.

Im laufenden Jahr erfolgten Beprobungen in Zusammenarbeit mit den Ressourcenprojekten PestiRed (GE, SO und VD) und AquaSan (TG). Darüber hinaus werden Obst- und Weinbau Standorte in verschiedenen über die Schweiz verteilten Regionen akquiriert. An insgesamt rund 100 Standorten mit landwirtschaftlicher Nutzung (Obst-, Wein-, Gemüse- und Ackerbau) wird anschliessend eine einmalige Status Quo-Erhebung durchgeführt. Somit werden wir den Verbleib ausgewählter PSM und deren Abbauprodukte im Boden nachweisen und aufzeigen, wie deren Verhalten im Boden ist. Es ist geplant, das reguläre NABO-Monitoring mittelfristig mit ausgewählten Standorten für PSM-Messungen zu erweitern.

Literatur

- Chiaia-Hernandez AC, Keller A, Wachter D, Steinlin C, Camenzuli L, Hollender J, Krauss M (2017) Long-Term Persistence of Pesticides and TPs in Archived Agricultural Soil Samples and Comparison with Pesticide Application. *Environ Sci Technol* 51 (18):10642-10651.
- Curchod L, Oltramare C, Junghans M, Stamm C, Dalvie MA, Roosli M, Fuhrmann S (2020) Temporal variation of pesticide mixtures in rivers of three agricultural watersheds during a major drought in the Western Cape, South Africa. *Water Res X* 6:12.
- Fernandez-Alvarez M, Lamas JP, Garcia-Chao M, Garcia-Jares C, Llombart M, Lores M, Dagnac T (2010) Monitoring of pesticide residues in dairy cattle farms from NW Spain. *J Environ Monit* 12 (10):1864-1875.
- Guzzella LM, Novati S, Casatta N, Roscioli C, Valsecchi L, Binelli A, Parolini M, Solca N, Bettinetti R, Manca M, Mazzoni M, Piscia R, Volta P, Marchetto A, Lami A, Marziali L (2018) Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. *Hydrobiologia* 824 (1):271-290. doi:10.1007/s10750-017-3494-7
- Hug A-S, Gubler A, Gschwend F, Widmer F, Oberholzer HR, Frey B, Meuli RG (2018) NABObio - Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science* 63:1-55
- Rösch A, Beck B, Hollender J, Stamm C, Singer H, Doppler T, Junghans M (2019) Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphat-Insektiziden in Schweizer Bächen im pg I-1-Bereich. *Aqua & Gas* 99 (11):54-66
- Spycher S, Mangold S, Doppler T, Junghans M, Wittmer I, Stamm C, Singer H (2018) Pesticide Risks in Small Streams—How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms. *Environmental Science & Technology* 52 (8):4526-4535.
- Vasickova J, Hvezdova M, Kosubova P, Hofman J (2019) Ecological risk assessment of pesticide residues in arable soils of the Czech Republic. *Chemosphere* 216:479-487.

3.2 Konzept für ein Langzeit-Biomonitoring von Pflanzenschutzmittelrückständen im Rahmen der Monitoringmassnahme des Schweizerischen Aktionsplans für Pflanzenschutzmittel

Janine Wong

Ökotoxzentrum

Station 2, 1015 Lausanne
janine.wong@centreecotox.ch

Sophie Campiche

EnviBioSoil
Biologie et Ecotoxicologie des sols
Rue des Cerisiers 6, 1124 Gollion
sophie.campiche@envibiosoil.ch

Im September 2017 verabschiedete der Bundesrat einen Aktionsplan zur Reduktion von Risiken und zur nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln (PSM). Ziel des Aktionsplans ist es, die mit PSM verbundenen Risiken im nächsten Jahrzehnt um die

Hälfte zu reduzieren und Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz vorzuschlagen. Um die Ziele des Aktionsplans zu erreichen, wurden zahlreiche Massnahmen festgelegt. Die Massnahme 6.3.3.7 beinhaltet die Ent-

wicklung eines Monitorings für PSM-Rückstände in landwirtschaftlich genutzten Böden. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft wurden im Rahmen der Massnahme 6.3.3.7 zwei Konzepte entwickelt. Die Nationale Bodenbeobachtung (NABO) entwickelte ein Konzept für die Langzeitbeobachtung von PSM-Rückständen im Boden. Das Ökotoxzentrum und EnviBioSoil entwickelten ein Konzept für ein Langzeit-Biomonitoring zur Quantifizierung der Auswirkungen

von PSM-Rückständen auf die Bodenqualität. Gemäss den Umsetzungszielen der Massnahme 6.3.3.7 umfasst das Biomonitoring-Konzept 1) die Bestimmung von ökotoxikologischen Bodenrichtwerten (BRW; d.h. Stoffgrenzkonzentrationen, basierend auf dem Risiko für Bodenorganismen) und 2) die Entwicklung einer Werkzeugsammlung verschiedener Bioindikatoren zur Beurteilung und Beobachtung der Auswirkungen von PSM-Rückständen auf Bodenorganismen in Schweizer Landwirtschaftsböden.

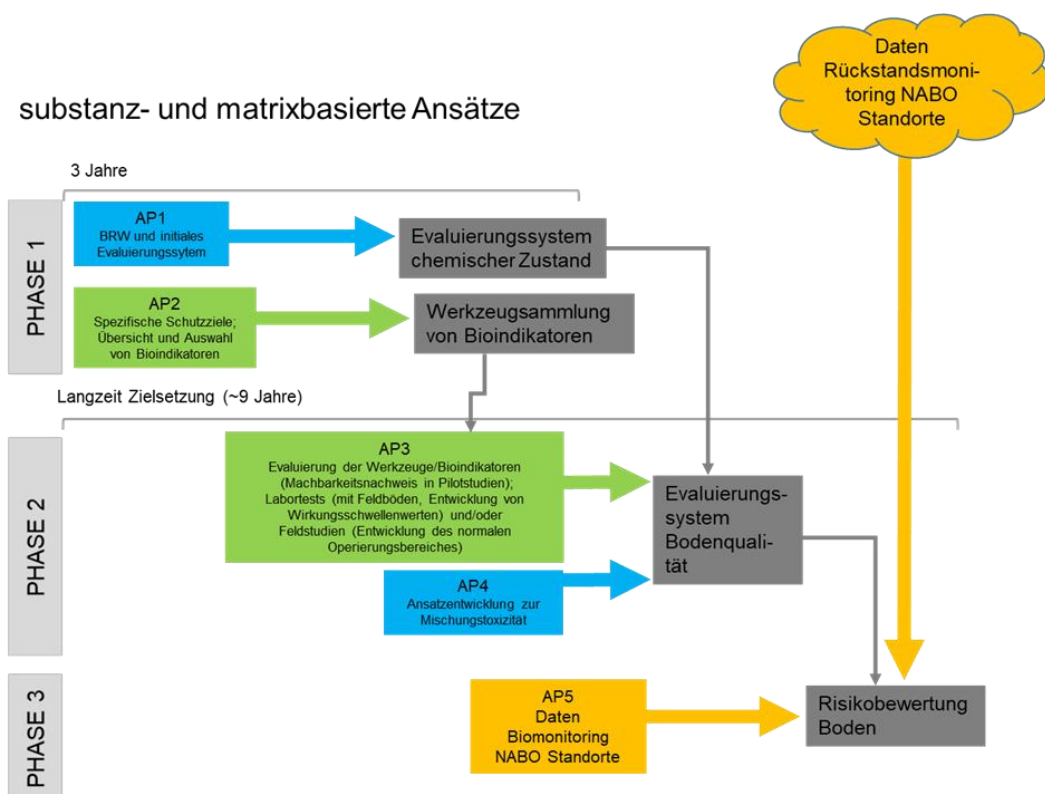


Abbildung 4. Detaillierte Gliederung des Projektplans: Substanz- und matrixbasierte Ansätze für die Entwicklung von ökotoxikologischen Bodenrichtwerten (BRW) und Bioindikatoren im Rahmen des Biomonitoring-Konzepts von PSM-Rückständen in Schweizer Landwirtschaftsböden.

Wie in Abb. 1 dargestellt, besteht das Konzept aus fünf Arbeitspaketen (AP), die in drei Phasen von Juli 2019 bis Ende 2027 organisiert sind. Das Konzept umfasst Ansätze, die sowohl substanzbasiert (d.h. die Ableitung von BRW für eine Auswahl von Wirkstoffen) als auch matrixbasiert (d.h. Auswahl einer Reihe von relevanten Bodenbioindikatoren, um das Risiko von PSM-Rückständen auf Bodenorganismen *a posteriori* abzuschätzen, wenn PSM unter

realen Bedingungen eingesetzt werden) sind.

Kurz zusammengefasst, Phase 1 umfasst Arbeitspaket 1 und Arbeitspaket 2, die bis Mitte 2022 parallel laufen. AP1 befasst sich mit der Entwicklung der BRW. Dazu gehören die Auswahl von zehn Wirkstoffen von Interesse, die Wahl der Methodik für die BRW-Ableitung, die Zusammenstellung der zehn BRW-Dossiers für die ausgewählten Stoffe und die Entwicklung des jeweiligen Erstbe-

wertungssystem (z.B. Einstufungskategorien für den Bodenzustand). Das AP2 umfasst die Festlegung der spezifischen Schutzziele sowie die Auswahl potenzieller Bioindikatoren, die für PSM-Rückstände sensitiv sind.

Phase 2 umfasst Arbeitspaket 3 und Arbeitspaket 4, die ebenfalls parallel laufen werden. AP 3 umfasst die Validierung der Bioindikatoren (proof of concept). Dies beinhaltet die Prüfung und Bewertung der ausgewählten Bioindikatoren in Pilotstudien mit Feldeboden im Labor oder direkt im Feld. Da Organismen in landwirtschaftlich genutzten Böden nicht nur Rückständen von Einzelsubstanzen, sondern einem komplexen Gemisch verschiedener PSM ausgesetzt sind, umfasst AP 4 die Entwicklung eines mischungs-basierten Ansatzes, der eng mit AP1 verknüpft ist.

Phase 3 umfasst das Arbeitspaket 5, das die Erprobung der letzten Phase des Konzepts der Bodenrisikobewertung umfasst.

Hier werden Daten aus dem Biomonitoring mit der chemischen Risikobewertung, d.h. den etablierten BRW, und den Monitoringdaten der NABO kombiniert.

In diesem letzten Schritt werden die Auswirkungen auf die Bioindikatoren im Feld an den NABO-Standorten untersucht und die gemessene Konzentration der jeweiligen Substanz (Daten der NABO) mit den etablierten BRW verglichen.

Für das Arbeitspaket 1 wird gerade die Auswahl der Wirkstoffe für die BRW-Ableitung getroffen. Dabei wurde so weit wie möglich eine ausgewogene Anzahl von Wirkstoffen aus den Kategorien Fungizid, Herbizid oder Insektizid/Akarizid gewählt, um eine gute Repräsentativität der verschiedenen PSM-Kategorien für die BRW-Ableitung zu gewährleisten. Arbeitspaket 2 ist derzeit ebenfalls im Gange, und es wird eine Literaturrecherche durchgeführt, um Informationen über die Sensitivität von Bioindikatoren für PSM zu sammeln, um die relevantesten Bioindikatoren auszuwählen.

3.3 Mikrobielle Diversität im Boden: Das Projekt MiDiBo-2 – den mikroskopisch kleinen Lebewesen im Boden auf der Spur

Franco Widmer, Jürg Enkerli

*Agroscope, Forschungsgruppe Molekulare Ökologie
Departement Agrarökologie und Umwelt
Reckenholzstrasse 191
CH-8046 Zürich
franco.widmer@agroscope.admin.ch*

Beat Frey

*Waldböden und Biogeochemie, Rhizosphären-Prozesse
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf
beat.frey@wsl.ch*

Thierry Heger

*Changins – Haute école de viticulture et œnologie
Route de Duillier, 1260 Nyon
thierry.heger@changins.ch*

Böden sind allgegenwärtig und vielfältig. Sie werden für verschiedenste Anwendungen und Aktivitäten genutzt, die von Produktion in der Landwirtschaft oder in privaten Gärten, über die freizeithliche Nutzung im Park, auf dem Golfplatz sowie im Garten bis hin zur Nutzung als Baugrund reicht. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat, in Abstimmung

mit international harmonisierten Definitionen, sechs Klassen von Bodenfunktionen unterschieden:

- 1) Lebensraumfunktion: Fähigkeit des Bodens, Organismen als Lebensgrundlage zu dienen und zur Erhaltung der Vielfalt von Ökosystemen, Arten und deren genetischer Vielfalt beizutragen.

- 2) Regulierungsfunktion: Fähigkeit des Bodens, Stoff- und Energiekreisläufe zu regulieren, eine Filter-, Puffer- oder Speicherfunktion wahrzunehmen sowie Stoffe umzuwandeln.
- 3) Produktionsfunktion: Fähigkeit des Bodens, Biomasse zu produzieren, d. h. Nahrungs- und Futtermittel sowie Holz und Fasern.
- 4) Trägerfunktion: Fähigkeit des Bodens, als Baugrund zu dienen.
- 5) Rohstofffunktion: Fähigkeit des Bodens, Rohstoffe, Wasser und geothermische Energie zu speichern.
- 6) Archivfunktion: Fähigkeit des Bodens, Informationen der Natur- und Kulturschicht zu bewahren.

Es fällt auf, dass die erste Funktion, die aufgelistet wird, den Boden als Lebensgrundlage oder Lebensraum definiert und ihn damit direkt in den Zusammenhang mit der Biologie im und auf dem Boden bringt, d.h. Boden als Grundlage einer Vielfalt von Lebewesen und Ökosystemen. Auch die zweite und die dritte Funktion haben einen starken Bezug zur Bodenbiologie, da diese zum einen zentral ist für die Stoffkreisläufe und zum anderen eine wichtige Rolle für das Pflanzenwachstum spielt. Die letzten drei Bodenfunktionen sind weniger von der Biologie abhängig.

Die Wichtigkeit der Bodenbiologie wurde schon vor geraumer Zeit erkannt, aber die Beschreibung mikroskopisch kleiner Lebewesen entzog sich lange Zeit einer detaillierten Untersuchung, einfach, weil es keine geeigneten analytischen Ansätze gab, welche die detaillierte Erfassung ihrer Diversität ermöglichte. Erst mit den neuen molekulargenetischen Methoden öffnete sich das Fenster zu dieser Welt und man sah plötzlich eine unglaubliche Vielfalt. Für Bakterien und Pilze werden viele Millionen Organismen in einem Gramm Boden gefunden, die tausenden unterschiedlichen Arten angehören. Leider wissen wir bis heute nur von wenigen, wer sie genau sind und welche Funktion sie haben. Die meisten sind unbekannt

und es wird viel Zeit in Anspruch nehmen, diese riesige unbekanntete Ressource kennenzulernen. Die Kenntnis der Zusammenhänge dieser, zum grossen Teil noch unbeschriebenen, Mikroorganismen und deren Gemeinschaften in Boden- und Landnutzungstypen und biogeographischen Regionen, stellt einen wichtigen Weg dar, diese Wissenslücke zu verkleinern. Gleichzeitig ermöglicht dies aber auch zu untersuchen, ob uns die Bodenmikroorganismen Informationen zu den Eigenschaften eines Bodens liefern können, die seine standorttypische Qualität und saisonale Veränderungen beschreiben.

Im ersten Projekt 'Mikrobielle Diversität im Boden' (MiDiBo-1), wurden im Rahmen von NABObio, 30 Standorte der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO), auf deren mikrobiologische Eigenschaften untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass jeder Landnutzungstyp (Acker, Wiese und Wald) und jeder der je zehn Standorte unterschiedliche Bakterien- und Pilzgemeinschaften beherbergt, die über 5 Jahre stabil und unterscheidbar blieben. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass die mikrobiellen Gemeinschaften im Boden stark durch Umweltfaktoren beeinflusst sind und wir wissen aus anderen Studien, dass sie auf Veränderungen, z.B. unterschiedliche Düngungsregime, Staunässe oder Bodenverdichtung, reagieren. Die Bodenmikroorganismen haben daher das Potential als Indikator für veränderte Umweltfaktoren im Boden. Diese Resultate wurden durch eine Studie im Rahmen des Biodiversitätsmonitorings (BDM) der Schweiz bestätigt und ergänzt, indem die Bakteriengemeinschaften an 255 vordefinierten Standorten eines landesweiten Beprobungsnetzes untersucht wurden. Insgesamt wurden etwa 50'000 Arten, d.h. auf Genidentität basierten, theoretischen, operationellen Artdefinitionen, ermittelt. Insbesondere wurde in dieser Studie die Biogeographie und eine breitere Landnutzung in die Analyse einbezogen, jedoch wurde bis-

her nur mit einer einmaligen Beprobung gearbeitet und nur die Bakteriengemeinschaften analysiert.

Insgesamt sind die Resultate aus dem Projekt MiDiBo-1 äusserst vielversprechend. Sie deuten darauf hin, dass zum einen die Mikrobiologie den Zustand und die Nutzung des Bodens sowie dessen Veränderungen deutlich widerspiegeln. Sie stellt deshalb einen wertvollen Analysen-Endpunkt für ein Bodenmonitoring dar. Zum anderen bietet es sich aber auch an, die gleiche Methodik, welche sehr erfolgreich für die Erfassung der Bakterien- und Pilzgemeinschaften eingesetzt wurde, auch für die Erfassung anderer Gemeinschaften mikroskopisch kleiner Organismen anzuwenden und deren Diversität und Sensitivität gegenüber Umweltfaktoren zu untersuchen.

Genau dies soll im Folgeprojekt MiDiBo-2 gemacht werden, welches im Rahmen der Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) gefördert und durch das BAFU begleitet wird. In diesem Projekt, welches eine Zusammenarbeit von Experten verschiedener Institutionen darstellt, werden nicht nur Bakterien und Pilze (F. Widmer, Agroscope) untersucht, sondern die Untersuchungen werden auf Algen und Protisten (T. Heger, Fachhochschule Changins), Nematoden (B. Frey, WSL) sowie Mikroarthropoden (J. Enkerli, Agroscope) ausgeweitet. Alle diese Organismen sind mikroskopisch kleine Bodenbewohner, deren klassische Erfassung sehr zeitaufwändig oder nicht möglich ist. Das Team verspricht sich, durch die Verwendung molekulargenetischer Methoden, eine einfache und umfassende Beschreibung der Diversität dieser Organismengruppen in unterschiedlichen Böden zu erreichen. Als System für diese Untersuchungen

dient wieder das NABObio, von dem bereits eine mikrobielle Datenreihe vorhanden ist. Die Beprobungen durch die NABO fanden im Frühling 2020 statt und lieferte Böden von 10 Wald-, 10 Grasland- sowie 9 Ackerstandorten in dreifacher Wiederholung. Die Ziele der Untersuchungen sind zum einen, den molekulargenetischen Ansatz zu evaluieren und die Diversität der verschiedenen Organismen an den verschiedenen Standorten und in den Landnutzungstypen zu bestimmen, und zum anderen Unterschiede und Gemeinsamkeiten der verschiedenen Gemeinschaften zu untersuchen. Es ist der grosse Vorteil dieser Studie, dass sechs verschiedene Organismengruppen in den gleichen Bodenproben von 29 unterschiedlichen und gut charakterisierten NABO-Standorten untersucht werden und somit die Diversität und Gemeinschaftsstrukturen direkt verglichen und ausgewertet werden können. In einem weiteren Teil des Projektes werden für die 255 Standorte aus dem BDM, für welche bereits die Bakteriengemeinschaften analysiert wurden, nun auch noch Analysen zur Erfassung der Pilzgemeinschaften durchgeführt. Auch in diesem Teil des Projektes werden die Umweltfaktoren, welche die Pilzgemeinschaften beeinflussen, von zentralem Interesse sein. Zusätzlich ist auch der Vergleich von Bakterien- und Pilzgemeinschaften in verschiedensten Lebensräumen von grossem Interesse. Das Projekt MiDiBo-2 wird ein einzigartiges, schweizweites Inventar der mikroskopisch kleinen Bodenbewohner in der Schweiz liefern und einen ersten Einblick in deren Interaktionen gewähren. Mit ersten spannenden Resultaten ist gegen Ende des nächsten Jahres zu rechnen.

3.4 Referenzwerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz: Welche Bodenqualität und welche biologische Bodenqualität

Pascal Boivin, Alyssa Fischer

Institut Terre-Nature-Environnement
HEPIA - Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture
Route de Presinge 150, 1254 Jussy
pascal.boivin@hesge.ch

Andreas Fliessbach

Departement für Bodenwissenschaften
Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Ackerstrasse, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Raphaël Charles

Antenne romande du FiBL
Institut de Recherche de l'Agriculture Biologique
Avenue des Jordils 3, CH-1001 Lausanne
raphael.charles@fibl.org

Ein Projekt des BAFU, durchgeführt von HEPIA (P. Boivin, Böden und Substrate) und FiBL (Andreas Fliessbach und Raphaël Charles). Partnerschaft ETHZ (Prof. J. Six, Alyssa-Fischer-Doktorandin mit Finanzierung des BAFU und Prof. S. Dötterl, Cédric-Deluz-Doktorand mit Finanzierung des 77a BLW).

Ziele des Projekts

Dieses Projekt zielt darauf ab, die biologische Qualität von Ackerböden zu definieren, insbesondere die Rolle der organischen Substanz und des Tongehalts, der strukturellen Qualität und der landwirtschaftlichen Praktiken für diese Qualität. Den Hauptrahmen für dieses Projekt bilden hundert landwirtschaftliche Betriebe im Jura, die am Programm Terres Vivantes (Projekt 77a des BLW) teilnehmen, das von der Interjurassischen Stiftung für den ländlichen Raum koordiniert wird.

Unter biologischer Bodenqualität versteht man die Fähigkeit des Bodens, biologische Prozesse zu unterstützen. Ziel ist es daher, Bodeneigenschaften zu bestimmen, die Einschränkungen in der Entwicklung der Bodenbiologie widerspiegeln, indem sie von den kurzfristigen Auswirkungen landwirtschaftlicher Praktiken während einer Fruchtfolge (z.B. die Wurzelentwicklung einer Gründüngung) unterschieden werden. Es werden Schwellenwerte für kultiviertes Land festgelegt. Schließlich zielt dieses Projekt

darauf ab, die bestimmenden Auswirkungen landwirtschaftlicher Praktiken auf die Fähigkeit der Böden, biologische Prozesse zu unterstützen, hervorzuheben, was die Unterscheidung zwischen kurzfristiger Dynamik und zwischenjährlichen Trends impliziert. Besondere Aufmerksamkeit wird den Parametern gewidmet, die den Boden als Lebensraum (Qualität der Struktur) und als Nährstoffquelle (Quantität, Qualität und Bioverfügbarkeit der organischen Substanz) definieren.

Projekt-Strategie

Die Beziehungen zwischen Bodenqualität, landwirtschaftlichen Praktiken und Biologie werden auf mehreren räumlichen und zeitlichen Skalen analysiert. Landwirtschaftliche Praktiken und Bodenqualität werden durch das Projekt "Terres Vivantes" und die Doktorarbeit von Cédric Deluz dokumentiert. Mit Hilfe von Kovarianzanalysen wird es möglich sein, Kofaktoren und Kovariaten zu unterscheiden.

In der wissenschaftlichen Literatur werden verschiedene Faktoren hervorgehoben, die bei der Beziehung zwischen Bodeneigenschaften und Bodenbiologie zu berücksichtigen sind. Diese Faktoren entwickeln sich auf unterschiedlichen Zeitskalen. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff und das Verhältnis von organischer Substanz zu Ton bestimmen die physikalische Qualität des

Bodens und seine Anfälligkeit für mechanische Eingriffe (Goutal-Pousse et al., 2016; Johannes et al., 2017a; King et al., 2020), aber auch die den Bodenorganismen zur Verfügung stehende Energie. Diese Faktoren entwickeln sich auf einer mehrjährigen Zeitskala. Die strukturelle Feinporosität des Bodens ist ein Indikator für die physikalische Qualität des Bodens und zeigt starke Zusammenhänge mit der biologischen Entwicklung (Young and Crawford, 2004; Milleret et al. 2009; Kohler-Milleret et al. 2013; Johannes et al. 2017b, 2019; Fell et al. 2018; Kravchenko et al. 2019). Die physikalische Qualität des Bodens ändert sich rasch (von Minute zu Minute und je nach Jahreszeit), hauptsächlich aufgrund agronomischer Faktoren (z.B. Verdichtung - Wurzelentwicklung). Die ersten Poren, die durch mechanische Operationen beeinflusst werden, sind die groben Poren, während die Wurzelentwicklung und die floristische Vielfalt das Mikrogefüge entwickeln. Schließlich beeinflussen auch die vorausgegangenen klimatischen Bedingungen (T° und Bodenfeuchte) die Entwicklung der Biologie. Dies kann unter zwei Gesichtspunkten betrachtet werden: entweder als ein Artefakt, das es zu vermeiden gilt, oder als eine Möglichkeit, das Potenzial des Bodens zur Förderung der Entwicklung mikrobieller Gemeinschaften bei günstigen klimatischen Bedingungen zu bewerten. Beide Aspekte werden berücksichtigt.

Informationen über Bakterien- und Pilzgemeinschaften werden aufgrund der bereits in der Literatur hervorgehobenen engen Wechselwirkungen mit dem Boden und den agronomischen Faktoren vorrangig erstellt. Konventionelle Labormessungen wie Biomasse und Atmung werden verwendet, um die allgemeinen Parameter der Gemeinschaften zu beschreiben. Die mikrobielle Diversität und bestimmte damit verbundene Funktionen werden mit Hilfe molekularer Werkzeuge ermittelt.

Physikalische Bodeneigenschaften werden mittels Schrumpfanalyse gemessen

(Boivin et al., 2004; Schäffer et al., 2013), und die Eigenschaften der organischen Substanz werden mittels Rock-Eval-Pyrolyse und Infrarotspektroskopie analysiert (Barré et al., 2016; Sebag et al., 2016; Soucémarianadin et al., 2018).

Schritte in der Forschung

Als erste Untersuchungsskala wird der Plot betrachtet, der die Steuerungseinheit auf landwirtschaftlicher Ebene darstellt und dessen durchschnittliche Information über die bestimmenden Parameter zuverlässig erfasst werden kann (Leopizzi et al., 2018; Deluz et al., 2020). Dies wird über zwei Perioden des Jahres betrachtet.

- Die Beprobung am Ende des Winters, wie sie in Beobachtungsnetzen üblich ist, wird es ermöglichen, diese Basisinformation in ihrer interannuellen Entwicklung mit der landwirtschaftlichen Geschichte (über 10 Jahre) zu vergleichen. Die Überwachungsnetze zeigen unter diesen Bedingungen tendenziell eine gute zeitliche Stabilität der biologischen Parameter. Es wird daher die Frage sein, inwieweit ein breites Spektrum der Bodenqualität (einige Dutzend Parzellen, die aus den 200 Parzellen des Projekts "Lebendige Erden" ausgewählt wurden) pedologische Determinanten mit äquivalenter Anbaugeschichte erkennen lässt.
- Die Probenahme im Spätherbst (Zeitraum der maximalen Mineralisierung) wird es diesmal ermöglichen, die von der biologischen Aktivität auf denselben Parzellen erreichten Spitzenwerte zu beobachten und die jeweilige Rolle der jüngsten landwirtschaftlichen Vorläufer (z.B. Herbstanbau, Gründüngung und ihre Intensität usw.), des Anbausystems (Vorläufer mit 10 Jahren) und der Bodenqualitätsparameter bei der Entstehung dieser Spitzenwerte zu diskutieren.

Die zweite Skala der Untersuchung ist die der ungestörten Bodenprobe. Nicht-invasive mikrostrukturelle Studien zeigen die Wechselwirkung zwischen der Entwicklung von Porensystemen und mikrobiellen Prozessen

auf (Baveye et al., 2016; Kravchenko et al., 2019). Dabei geht es nicht mehr darum, die biologische Qualität des Bodens nach seinem Ausgangsniveau (Winteraufgang) zu betrachten, sondern nach seiner Fähigkeit, bei günstigen Bedingungen (T°, Feuchtigkeit und bioverfügbarer Kohlenstoff) rasch biologische Aktivität zu entwickeln.

- Diese Frage wird zunächst aus methodischer Sicht angegangen: Kann ein Laborprotokoll definiert werden, um Mikrostrukturmessungen durch Schrumpfanalyse und eine Charakterisierung der mikrobiellen Entwicklung unter standardisierten Bedingungen (insbesondere Temperatur und Feuchtigkeit) zu kombinieren? Diese Arbeit wird an Probenserien durchgeführt, die nicht überarbeitet worden sind.
- Die grundlegende Frage, die dann entwickelt werden soll, ist die Beziehung zwischen der Mikrostruktur des Bodens und der Entwicklung der mikrobiellen Aktivität: Zeigen sich die stärksten Beziehungen zwischen biologischen Eigenschaften und der Bodenqualität durch die Spitzenaktivität oder das Basisniveau unter kalten Bedingungen?

Die Synthese dieser Studien wird es ermöglichen, hervorzuheben:

- Die physikalisch-chemischen Bodenparameter, die mikrobielle Populationen bestimmen, und ihre landwirtschaftlichen Determinanten auf zwischenjährlichen Skalen. Insbesondere werden die kritischen Gehalte an organischer Substanz im Verhältnis zum Verhältnis von organischer Substanz zu Ton hervorgehoben, wie an anderer Stelle zu dokumentieren beginnt (Naveed et al., 2016).
- Die jeweilige Rolle der strukturellen Qualität und der landwirtschaftlichen Praktiken bei der innersaisonalen mikrobiellen Dynamik, indem aus methodologischer Sicht ein maßstabsgetreuer Transfer des auf Mikrostandorten gewonnenen Wissens auf Stichproben- und Parzellenebene vorgeschlagen wird.

Literatur:

- Barré, P., Plante, A. F., Cécillon, L., Lutfalla, S., Baudin, F., Bernard, S., et al. (2016). The energetic and chemical signatures of persistent soil organic matter. *Biogeochemistry* 130, 1–12.
- Baveye, P. C., Berthelin, J., and Munch, J.-C. (2016). Too much or not enough: Reflection on two contrasting perspectives on soil biodiversity. *Soil Biol. Biochem.* 103, 320–326.
- Boivin, P., Garnier, P., and Tessier, D. (2004). Relationship between clay content, clay type and shrinkage properties of soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1145–1153.
- Deluz, C., Nussbaum, M., Sauzet, O., Gondret, K., and Boivin, P. (2020). Evaluation of the potential for soil organic carbon monitoring with farmers. *Front. Environ. Sci.* Submitted.
- Fell, V., Matter, A., Keller, T., and Boivin, P. (2018). Patterns and Factors of Soil Structure Recovery as Revealed From a Tillage and Cover-Crop Experiment in a Compacted Orchard. *Front. Environ. Sci.* 6.
- Goutal-Pousse, N., Lamy, F., Ranger, J., and Boivin, P. (2016). Structural damage and recovery determined by the colloidal constituents in two forest soils compacted by heavy traffic. *Eur. J. Soil Sci.* 67, 160–172.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P. C., and Boivin, P. (2017a). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma* 302, 14–21.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., and Boivin, P. (2017b). To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil Tillage Res.* 173, 24–32.
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., and Boivin, P. (2019). Soil structure quality indicators and their limit values. *Ecol. Indic.* 104, 686–694.
- King, A. E., Ali, G. A., Gillespie, A. W., and Wagner-Riddle, C. (2020). Soil Organic Matter as Catalyst of Crop Resource Capture. *Front. Environ. Sci.* 8.
- Kohler-Milleret, R., Bayon, R.-C. L., Chenu, C., Gobat, J.-M., and Boivin, P. (2013). Impact of two root systems, earthworms and mycorrhizae on the physical properties of an unstable silt loam Luvisol and plant production. *Plant Soil*, 1–15.
- Kravchenko, A. N., Guber, A. K., Razavi, B. S., Koestel, J., Quigley, M. Y., Robertson, G. P., et al. (2019). Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. *Nat. Commun.* 10, 3121.
- Leopizzi, S., Gondret, K., and Boivin, P. (2018). Spatial variability and sampling requirements of the visual evaluation of soil structure in cropped fields. *Geoderma* 314, 58–62.
- Milleret, R., Le Bayon, C., Lamy, F., Gobat, J. M., and Boivin, P. (2009). Impact of root, mycorrhiza and

- earthworm on soil physical properties as assessed by shrinkage analysis. *J. Hydrol.* 373, 499–507.
- Naveed, M., Herath, L., Moldrup, P., Arthur, E., Nicolaisen, M., Norgaard, T., et al. (2016). Spatial variability of microbial richness and diversity and relationships with soil organic carbon, texture and structure across an agricultural field. *Appl. Soil Ecol.* 103, 44–55.
- Schäffer, B., Schulin, R., and Boivin, P. (2013). Shrinkage Properties of Repacked Soil at Different States of Uniaxial Compression. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 1930–1943.
- Sebag, D., Verrecchia, E. P., Cécillon, L., Adatte, T., Albrecht, R., Aubert, M., et al. (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. *Geoderma* 284, 185–203.
- Soucémarianadin, L., Cécillon, L., Chenu, C., Baudin, F., Nicolas, M., Girardin, C., et al. (2018). Is Rock-Eval 6 thermal analysis a good indicator of soil organic carbon lability? – A method-comparison study in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 117, 108–116.
- Young, I., and Crawford, J. W. (2004). Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. *Science* 304, 1634–1637.

Impressum VBBio-Bulletin Nr. 19/2020

Herausgeberin: VBBio (Arbeitsgruppe «Vollzug BodenBiologie»)

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

Vorsitzender seit 2019

Clément Levasseur
Institut agricole de l'Etat de Fribourg
Centre de conseils agricoles
Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg
Landwirtschaftliches Beratungszentrum
Route de Grangeneuve 27, CH-1725 Posieux
Tel +41 26 305 58 74
www.grangeneuve.ch
E-Mail: Clement.Levasseur@fr.ch

Sekretariat und Bezug

Dr. Andreas Fliessbach
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Ackerstrasse
CH-5070 Frick
Tel. 062 865 72 25
Fax. 062 865 72 73
www.fibl.org
E-Mail: andreas.fliessbach@fibl.org

Das Bulletin ist auch im Internet verfügbar:
<http://www.bafu.admin.ch/bodenschutz/> >
Fachinformationen > Massnahmen für den Bodenschutz > Bodenbiologie