

VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 20, 2022

Welche Bodenbewohner sind auf der Roten Liste?



Inhalt

1. Editorial	2
2. Ausgewählte Projekte der VBBio	
2.2 AP BioDivSol – Referenzwerte für den Gehalt an organischer Substanz im Boden	3
2.3 Graue Literatur – Standorte mit bodenbiologischen Erhebungen.....	4
3. Forum Bodenbiologie in der Praxis	
3.1 Informationen zum Boden anhand der Gebundenheit der rote-Liste Arten BAFU	6
3.2 Mikrobiologische Parameter in der Kantonalen Bodenbeobachtung – eine Synthese	15
3.3 Monitoring Bodenbiologie – Auswertung bodenmikrobiologischer Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsstandorten.....	21

1. Editorial

Claudia Maurer

Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern

Amt für Landwirtschaft und Natur, Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion

Fachstelle Boden

Rütti 5, 3052 Zollikofen

Seit über 25 Jahren erarbeitet die VBBio bodenbiologische Grundlagen für den Vollzug. Aussagekräftige Parameter, deren einheitliche Anwendung sowie gute Interpretationsgrundlagen in Form von Vergleichswerten sind dabei zentral. Die seit vielen Jahren erfolgreich in der Nationalen Bodenbeobachtung NABO und in drei kantonalen Bodenmonitoringprogrammen (KABO) eingesetzten mikrobiologischen Parameter wurden erstmals gemeinsam ausgewertet. Mit dieser engen Zusammenarbeit konnte ein breiter und vergleichbarer Datensatz generiert werden. Die Resultate bestätigen die Eignung der mikrobiellen Biomasse und Basalatmung zur Charakterisierung des mikrobiellen Grundzustandes sowie zum Nachweis deutlicher Veränderungen. Anhand des Datensatzes konnten auch die Möglichkeiten und Grenzen der vorhandenen Interpretationsgrundlagen beleuchtet werden. Die Beiträge dazu finden sich als Kurzfassungen der Originalarbeiten im vorliegenden Bulletin (Seiten 15-27).

Parallel zum Einsatz dieser Summenparameter wird intensiv an der Erfassung der unterirdischen Biodiversität mit molekulargenetischen Methoden geforscht. Mittels Metabarcoding lassen sich die unterirdischen Lebensgemeinschaften identifizieren. Erste Ergebnisse der NABO zeigen, dass anhand dieser Methoden standortsspezifische und nutzungstypische Lebensgemeinschaften von Bakterien und Pilzen bestimmt werden können. Die Zusammensetzung dieser Lebensgemeinschaften erwies sich seit Beginn der Beobachtungsperiode als stabil. Es lassen sich dadurch Basiswerte zur mikrobiellen Diversität definieren. In enger Zusammenarbeit mit der NABO sollen in Zu-

kunft auch die mikrobiologischen Gemeinschaftsstrukturen der Kantonalen Dauerbeobachtungsstandorte sowie weiterer spezifischer kantonalen Standorte mittels Metabarcoding charakterisiert werden, um einerseits die Datengrundlage zu verbreitern und andererseits Indikatoren (Zeigerorganismen, Veränderungen der Lebensgemeinschaften für Effekte wie Bodenverdichtung, Bodenbearbeitung, Düngung, geogene Belastungen etc. herauszuarbeiten. Zudem sollen weitere Organismengruppen miteinbezogen werden. In der Projektliste findet sich eine Zusammenstellung der für die VBBio grundlegenden Projekte (Siehe Anhang).

Weil die bisherige Bestimmung von Bodenorganismen anhand morphologischer Merkmale so aufwändig ist, wissen wir über die Biodiversität im Boden immer noch sehr wenig. Es fehlen Informationen zur Artenvielfalt, zur Verteilung und allfälliger Gefährdung einzelner Arten, wie sie mit den Roten Listen für gut einen Fünftel der in der Schweiz heimischen Tier-, Pflanzen-, Pilz- und Flechtenarten bekannt sind. Viele dieser Lebewesen sind dabei auf den Boden als Aufenthalts-, Entwicklungs- oder Nahrungsraum angewiesen. Erste Informationen über die Bedeutung des Bodens als Lebensraum für Organismen wurden erstmals in der auf Seite 6-14 beschriebenen Studie zusammengetragen. Dabei zeigt sich, dass fast 90 % der knapp 5000 betrachteten Arten während ihres ganzen oder einem Grossteil ihres Lebens auf den Boden angewiesen sind, viele davon gehören zu den gefährdeten Arten. Neben der grossflächigen Erfassung der unterirdischen Biodiversität bietet das Metabarcoding also auch die Möglichkeit, ausgewählte Arten gezielt zu erfassen oder zu suchen.

2. Ausgewählte Projekte der VBBio

2.1 AP BioDivSol – Referenzwerte für den Gehalt an organischer Substanz im Boden:

Realisation: Alyssa Deluz¹, Cédric Deluz¹

Supervision: Pascal Boivin¹, Andreas Fliessbach², Martin Hartmann³

¹ Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) Genève

² Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, Departement Bodenwissenschaften, Frick

³ ETHZ Department of Environmental Systems Science, Zürich

Das BioDivSol-Projekt wurde im Laufe des Jahres 2020 begonnen. Das Hauptziel des Projekts ist die Charakterisierung der biologischen Qualität von Kulturböden unter besonderer Berücksichtigung der Rolle der organischen Bodensubstanz, ihres Verhältnisses zum Tongehalt, der Qualität der Bodenstruktur und der landwirtschaftlichen Praktiken. Ein sekundäres Ziel ist es, die Rolle der Formen der organischen Substanz des Kulturbodens für die physische Qualität besser zu dokumentieren. Hierfür wurden 2021 kultivierte Parzellen mit bekannter Geschichte ausgewählt, die eine große Vielfalt hinsichtlich dieser Faktoren bieten. Sie sind über die Kantone Genf, Waadt und Jura verteilt. Zwei von drei Probenahmekampagnen wurden bereits durchgeführt, die erste am Ende des Winters und die zweite im Spätherbst. Die letzte wird derzeit durchgeführt.



An allen Standorten wird die biologische Qualität des Bodens auf Parzellenebene anhand einer Mischprobe analysiert. Die Beziehung zwischen den biologischen Parametern und der Bodenstruktur wird anhand von 100 cm³ großen Zylindern aus nicht

umgewälztem Boden untersucht. Die chemischen Analysen, die eine allgemeine Charakterisierung der Parzellen ermöglichen (Textur, pH-Wert, organische Substanz, CEC, Karbonate), sind abgeschlossen. Die Qualität der organischen Substanz wird durch Rock-Eval®-Pyrolyse charakterisiert. Die physikalischen Messungen zur Charakterisierung der strukturellen Qualität des Bodens und der Eigenschaften der Mikrostruktur wurden durchgeführt. Die mikrobiologischen Messungen (mikrobielle Biomasse, Atmung, Enzymaktivität) und die Messungen der Bakterien- und Pilzdiversität sind für die erste Feldkampagne abgeschlossen. Die nächsten Schritte des Projekts bestehen darin, die Daten zu analysieren, um die Beziehung zwischen der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften, den Eigenschaften der Bodenstruktur und der organischen Substanz zu untersuchen und nach Unterscheidungskriterien auf der Ebene der physikalischen Eigenschaften und der analytischen Merkmale zu suchen. Die Empfindlichkeit der mikrobiellen Gemeinschaften gegenüber agronomischen Praktiken und Zeitskalen wird ebenfalls untersucht. Parallel dazu werden die Labormessungen fortgesetzt, um die mikrobiellen Gemeinschaften der letzten beiden Probenahmekampagnen zu charakterisieren. Dies geschieht mit dem Ziel, Fragen zur Stabilität der Mikrobiome auf saisonübergreifender Ebene sowie zu diskriminierenden abiotischen Faktoren zu vertiefen. Erste Ergebnisse werden für Ende 2022 erwartet.

2.2 Graue Literatur: Standorte mit bodenbiologischen Erhebungen

Andreas Fliessbach

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau
Departement für Bodenwissenschaften
Ackerstrasse 113, 5070 Frick
andreas.fliessbach@fibl.org

Dieses Projekt der VBBio hat zum Ziel die Standorte an denen bereits bodenbiologische Studien durchgeführt worden sind zu archivieren. In der Annahme, dass viele Studien nicht oder nur schwer aufzufinden sind, da sie nicht in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht wurden, wurde ein besonderes Augenmerk gerichtet auf die sogenannte «graue» Literatur. Dabei handelt es sich um Arbeiten, die in Berichten, Konferenzbänden oder Bulletins von Gesellschaften veröffentlicht wurden und daher nicht in wissenschaftlichen Datenbanken aufzufinden sind. Auch studentische Diplom-, Master oder Doktorarbeiten sind oft grau, wenn sie nicht publiziert werden. Der Einbezug von grauer Literatur in Meta-Analysen wird empfohlen um dem «publication bias» entgegen zu wirken. Erstaunlich viel wurde in den letzten 40 Jahren zum Thema Bodenbiologie geforscht und publiziert. Nicht nur an den üblichen Forschungsstandorten, den Feldversuchen und Forschungsstationen finden sich viele Arbeiten, sondern auch in der Fläche. So haben die WSL, und die Universitäten Neuchâtel und Zürich eine strategische Ausrichtung auf natürliche und bewirtschaftete Systeme. Viele dieser Arbeiten wurden auch als peer reviewed Papers publiziert (Abb. 2.2.1). Die Schritte im Ablauf dieses Projektes waren zunächst die Sammlung der Studien. Dafür wurden etwa 200 Adressaten angefragt. Aus dieser Anfrage kamen nur etwa 10% positive Rückmeldungen aber teils mit einer grossen Anzahl an Referenzen. So hatten wir am Ende fast 200 Publikationen

zur Bodenbiologie mit einem Standortbezug. Diese wurden in eine Literaturdatenbank eingepflegt und mit Feldern für die Spezies oder Indikator und die Georeferenz. Der zweite Schritt war die Erstellung einer Karte mit interaktiven Eigenschaften, so dass man durch Klick auf einen Datenpunkt erkennen kann welche Arbeit dort stattgefunden hat.

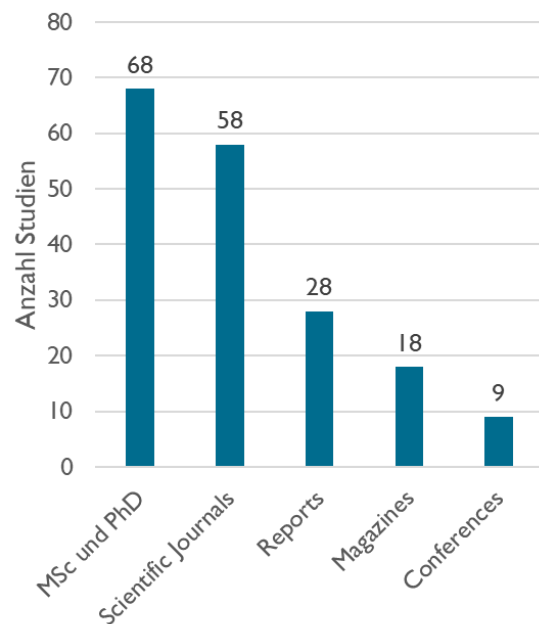


Abbildung 2.2.1 Häufigkeit der Studien entlang der Publikationskategorien.

Die Häufigkeit von untersuchten Organismen können ebenfalls auf diese Weise kategorisiert werden. In unserer nicht als vollständig anzusehenden Sammlung finden sich am häufigsten Arbeiten zu Regenwürmern, gefolgt von mikrobieller Biomasse.

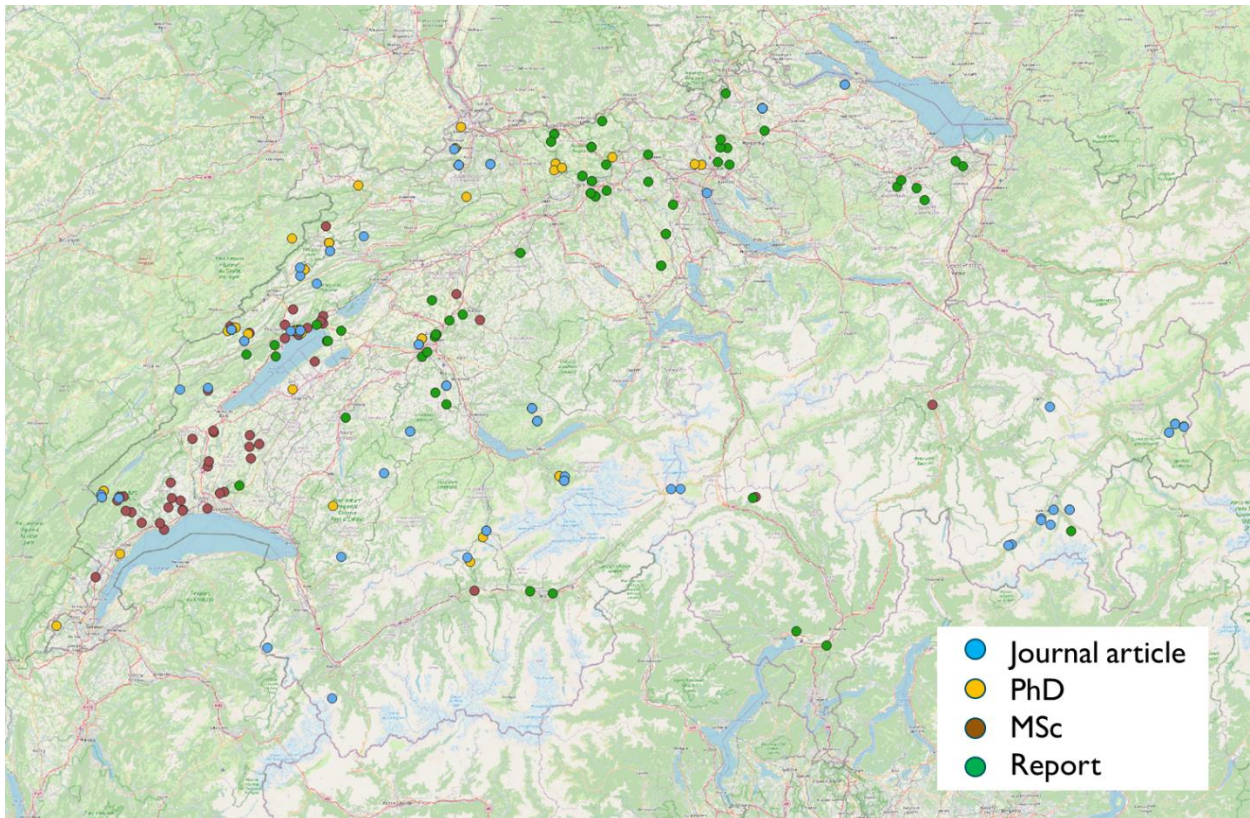


Abbildung 2.2.2 Standorte der bodenbiologischen Analysen kategorisiert nach der Art der Arbeit

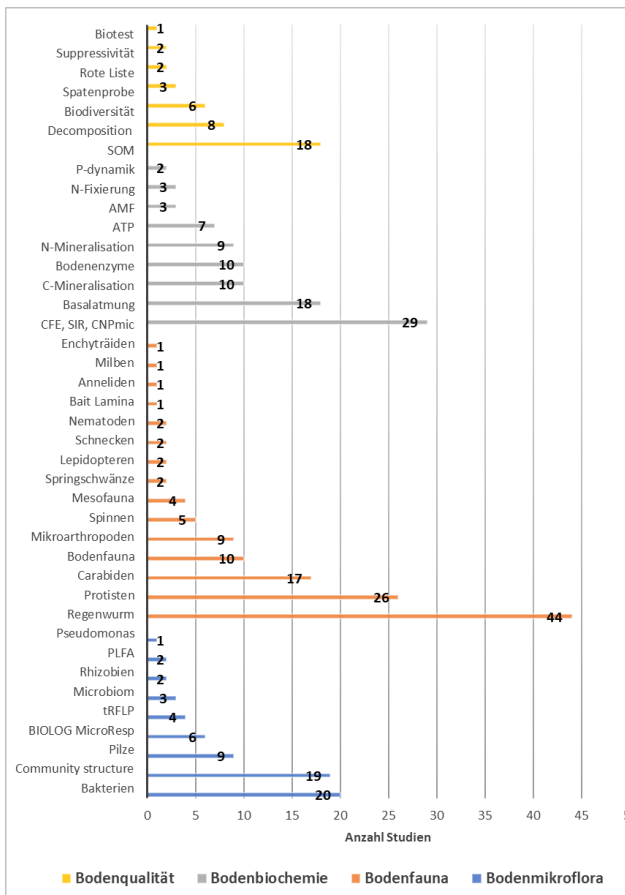


Abbildung 2.2.3 Häufigkeit bodenbiologischer Analysen und untersuchter Spezies

In jüngerer Zeit kommen die Untersuchungen zu den mikrobiellen Gemeinschaften hinzu, die sich entlang breiter Methodenkategorien einordnen (Abb. 2.2.3). Die klassischen bodenbiologischen Analysen, die den Boden noch als eine Blackbox betrachten, sind oft vertreten, denn sie sind ja bereits im methodischen Standardinventar für das Boden Monitoring aufgeführt. Entscheidend für die Standardisierung und die Vergleichbarkeit ist hier die strikte Einhaltung der Vorschrift und die Verwendung von passenden Referenzböden.

Der krönende Abschluss dieser Arbeit wäre eine interaktive Karte (Abb. 2.2.2), deren Fertigstellung allerdings noch etwas dauern wird.

3. Forum Bodenbiologie in der Praxis

3.1 Informationen zum Boden anhand der Gebundenheit der Rote-Liste Arten BAFU

Beat Frey

¹Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf

Claudia Maurer

Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen

Boden als Lebensraum

Boden ist nicht nur für uns Menschen von ausschlaggebender Bedeutung, sondern auch Lebensraum und Lebensgrundlage für unzählige Lebewesen. Diese sind zentral für die Fruchtbarkeit unserer Böden, noch aber ist nur ein Bruchteil der enormen Vielfalt identifiziert. Es existieren weder ein landesweites Monitoring noch gesammelte Informationen über Verteilung und allfällige Gefährdungen von Bodenorganismen in der Schweiz, wie es mit den Roten Listen für 21% der rund 53'210 Tier-, Pflanzen-, Pilz- und Flechtenarten vorliegt (Klaus et al. 2021). Lediglich in Deutschland (Lehmitz et al. 2016) und Neuseeland gibt es Rote Listen von Regenwürmern.

Rote Listen informieren über den Zustand und die Entwicklung von taxonomischen Gruppen und deren Lebensräume. Sie stellen ein wichtiges Instrument für den Vollzug (Naturschutz) dar und sensibilisieren die Bevölkerung über die Bedrohung von Arten und Lebensräumen. Aktuell liegen für 27 Organismengruppen und 162 Lebensraumtypen Rote Listen vor (Klaus et al. 2021).

Idee und Ziele der Studie

Mit der vorliegenden Studie sollen anhand bestehender Daten- und Informationsgrundlagen erste Informationen über die Bedeutung des Bodens als Lebensraum für Organismen erarbeitet werden. Dazu wird für ausgewählte Gruppen der Roten Listen die Gebundenheit der Arten an den Boden – Lebenszyklus mit Stadien im oder auf dem Boden – ermittelt. Die Ergebnisse sollen

erstmalig Informationen zu Rote Liste-Arten und deren Bodengebundenheit zeigen. Die Studie beantwortet Fragen zur Bodengebundenheit von Rote Liste-Arten und deren Anzahl innerhalb der verschiedenen ausgewählten Organismengruppen. Es werden Zielarten, also eng an den Boden gebundene Arten ermittelt, und erstmalig Informationen zum Gefährdungsgrad des Bodens in der Schweiz anhand von Rote Liste-Arten erarbeitet. Diese Erkenntnisse tragen einerseits zur Sensibilisierung von Öffentlichkeit und Politik über den (biologischen) Zustand unserer Böden bei und zeigen andererseits den Handlungsbedarf zur Ausarbeitung eines Monitorings der Biodiversität im Boden.

Material und Methoden

Als Grundlage für die Eingabe der zusätzlich benötigten Merkmale zur Bodengebundenheit (BGH) dienten die bestehenden Arten-Datenbanken von Info Species, insbesondere der Öko-Fauna-Datenbank von Info Fauna sowie der Datenbanken von Swisslichens und Swissfungi an der WSL. Ausgewählt wurden die Gruppen Grosspilze und Bodenflechten sowie die Fauna-Gruppen Amphibien, Reptilien, Wildbienen, Heuschrecken, Tagfalter, Schnecken, Singzikaden, Säuger (ohne Fledermäuse) und Laufkäfer (entsprechend ihrem Kenntnisstand). Für die einheitliche Einteilung der Arten wurde eine Boden-Definition erarbeitet (Tab. 3.1.1) und für die Beurteilung der Bodengebundenheit auf der Basis von Gobat et al. (2010) und Amelung et al. (2018) wurden Klassen definiert (Tab. 3.1.2).

Tabelle 3.1.1 Beschreibung des für das vorliegende Projekt definierten Begriffs «Boden».

zum Boden gehörend	NICHT zum Boden gehörend
<p>auf/im Mineralboden: Humusschicht mit Ober- (A-Horizont) und Unterboden (B-Horizont), inklusive der darin enthaltenen Bodenhohlräume</p>	<p><i>im Ausgangs-/Muttergestein (das von der Bodenbildung nicht oder kaum beeinflusste, feste oder lockere Gestein)</i></p> <p><i>in Gesteinshöhlen</i></p>
<p>auf/in der organischen Auflage: abgestorbenes organisches Material, das auf der Bodenoberfläche liegt, z.B. Laub- und Nadelstreu, in/an/auf liegendem Totholz (d.h. am Boden liegendes Totholz wie Stämme, Äste und Baumstrünke), Mulch, Mist, Kot</p>	<p><i>in/an/auf stehendem Totholz (d.h. Totholz am stehenden – lebenden oder toten – Baum)</i></p>
<p>in der Moosschicht, die sich auf der verrottenden obersten Bodenschicht befindet und das Reich der Kleinlebewesen (von der Grösse her alle Invertebraten) ist, die zwischen den Moosen, Flechten und Pilzen leben</p>	<p><i>auf der Bodenoberfläche, aber über die Moosschicht hinausragend (z.B. ein Reh)</i></p>
<p>auf/in Moosen, Flechten und Pilzen, die auf/in der Humusschicht, der organischen Auflage oder direkt auf/in mineralischem Gestein (z.B. Felsblöcke, Steine) wachsen</p>	<p><i>auf/in Moosen, Flechten und Pilzen, die ihrerseits auf Bäumen oder auf stehendem Totholz wachsen</i></p>
<p>Mikroböden auf natürlichem Mineralsubstrat: kleine/kleinste Mengen von Erde/Humusformen, die durch die Zersetzung von organischem Material entstanden sind, das sich angesammelt hat in Klüften, Spalten und Ritzen oder auf kleinen ebenen Flächen in/an/auf Felsen und Steinblöcken, oder zwischen Sand, Kies, Geröll, Schotter, Schutt (z.B. Kiesbänke an Gewässern)</p>	<p><i>epiphytische Mikroböden, d.h. sich auf Bäumen, Sträuchern und Krautpflanzen angesammelte Erde/Humusformen (z.B. in Rinde, Astgabeln)</i></p> <p><i>direkt auf/in Mineralsubstrat, d.h. an Stellen auf Felsen und Steinblöcken, wo sich keine Mikroböden, Moose, Flechten oder anderes organisches Material befindet (z.B. saxicole Flechten)</i></p>
<p>Mikroböden auf anthropogenem Mineralsubstrat: z.B. Steinpflasterungen, Steinplatten, Steinhaufen, Mauern, Ruinen, Dächer</p>	
<p>Erdanrisse, Bodenabbrüche, offene Bodenstellen: z.B. Sedimentwände (Sand, Kies, Schotter), wie sie durch Fliessgewässer-Erosionen oder in Gruben entstanden, z.B. an Rutschungen, Böschungen oder Anschüttungen, z.B. an unbefestigten Wegen</p>	
	<p><i>Gewässerböden (Benthal)</i></p>

Damit konnten die Experten die Bodengebundenheit ihrer Arten auf einheitliche Weise ermitteln und die Datenbank mit der Bodengebundenheit und allenfalls weiteren, bodenrelevanten Attributen (Mikrohabitat, Bodenhorizont, Streuform, Körnung) ergänzen.

Für das Projekt wurden die aktuellen, offiziellen Rote Listen verwendet (Amiet 1994; Duelli et al. 1994; Marggi 1994; Turner et al. 1994; Scheidegger und Clerc 2002; Huber und Marggi 2005; Monney und Meyer 2005; Schmidt und Zumbach 2005; Monnerat et al. 2007; Senn-Irlet et al. 2007; Rüetschi et al. 2012; Wermeille et al. 2014).

Tabelle 3.1.2 Definition der vier Bodengebundenheitsklassen

Klasse	Definition
4	<p>Sehr stark an den Boden gebunden / Sehr starke Bodengebundenheit: Mobile Arten: Die Art verbringt ihr ganzes Leben im Boden, d.h. alle Entwicklungsstadien (Ei, Larve/Juvenile, Puppe, Imago/Adulte) halten sich in allen Phasen (aktive, inaktive) im Boden oder in der Moosschicht auf. Sessile Arten: Die Art kommt grösstenteils bis ausschliesslich im/auf dem Boden/-substrat vor, d.h. 90-100% aller Funde.</p>
3	<p>Vorwiegend an den Boden gebunden / Mittelstarke Bodengebundenheit: Mobile Arten: Die Art hält sich in mindestens einem aktiven Entwicklungsstadium (Larve/Juvenile, Imago/Adulte) während dessen aktiver Phase (z.B. Nahrungssuche) im Boden oder in der Moosschicht auf. Sessile Arten: Die Art kommt mehrheitlich im/auf dem Boden/-substrat vor, d.h. 50-90% aller Funde.</p>
2	<p>Schwach an den Boden gebunden / Schwache Bodengebundenheit: Mobile Arten: Die Art hält sich nur als inaktives Entwicklungsstadium (Ei, Puppe) oder während einer inaktiven Phase (Winterruhe, -schlaf, Trockenruhe etc.) im Boden oder in der Moosschicht auf. Sessile Arten: Die Art kommt teilweise im/auf dem Boden/-substrat vor, d.h. 10-50% aller Funde.</p>
1	<p>Nicht an den Boden gebunden / Keine Bodengebundenheit: Mobile Arten: Die Art hält sich in allen Entwicklungsstadien (Ei, Larve/Jungtier, Imago/Adulttier etc.) und während aller Phasen (aktive und inaktive wie z.B. Diapause) ausserhalb des Bodens und der Moosschicht auf. Sessile Arten: Die Art kommt nicht oder kaum im/auf dem Boden/-substrat vor, d.h. 0-10% aller Funde.</p>
99	<p>Keine Informationen / Unbekannte Bodengebundenheit: Aufgrund ungenügenden Kenntnisstands ist keine Einstufung der Art in die Bodengebundenheits-Kategorien möglich (z.B. weil keine ökologischen Informationen zur Art vorliegen, z.B. weil keine Fundangaben mit Substratangaben vorliegen)</p>

Resultate und Diskussion

Bodengebundenheit

In Abbildung 3.1.1 sind die elf beurteilten Organismengruppen dargestellt, geordnet nach absteigendem prozentuaalem Anteil in den vier Bodengebundenheitsklassen (von BGH4 zu BGH1), beginnend mit der höchsten und damit am stärksten an den Boden gebundenen Klasse. Die sessilen Organismengruppen Grosspilze und Bodenflechten zeigen eine sehr starke Bodengebundenheit (> 75 % in BGH4). Heuschrecken sind bei knapp einem Drittel der Arten

sehr stark an den Boden gebunden. Bei den Säugern, Laufkäfer und Landschnecken ist der Anteil Arten in der BGH4 nur noch sehr gering (zwischen 1 und 7 %). Bezieht man die Klasse 3, bei der die Arten in ihrer Lebensweise noch immer vorwiegend an den Boden gebunden sind, mit ein, so sind weitere zwei Gruppen, die Singzikaden (100 % an BGH3) und die Wildbienen (75 %), eng mit dem Boden verbunden. Lediglich die Amphibien, Reptilien und Tagfalter halten sich häufiger in anderen Medien wie Wasser oder Luft auf.

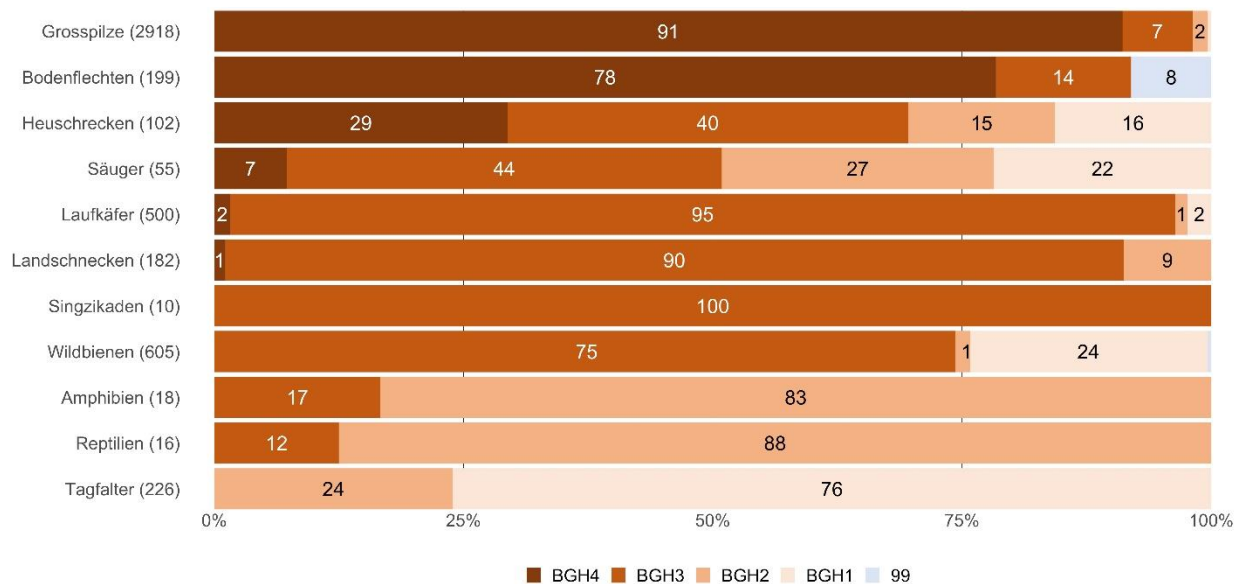


Abbildung 3.1.1 Prozentuale Anteile der elf beurteilten Organismengruppen an den vier Bodengebundenheitsklassen (BGH). In Klammern ist die Anzahl Arten pro Gruppe angegeben. BGH4 = sehr stark an den Boden gebunden/sehr starke Bodengebundenheit
 BGH3 = vorwiegend an den Boden gebunden/mittelstarke Bodengebundenheit
 BGH2 = schwach an den Boden gebunden/schwache Bodengebundenheit
 BGH1 = nicht an den Boden gebunden/keine Bodengebundenheit
 99 = keine Informationen/unbekannte Bodengebundenheit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Grosspilze und Bodenflechten stark, die Heuschrecken, Laufkäfer, Landschnecken, Singzikaden und Wildbienen vorwiegend, die Säuger je hälftig vorwiegend bzw. schwach und die Amphibien, Reptilien und Tagfalter kaum an den Boden gebunden sind. Von den total 4813 beurteilten Arten wurden 4259 oder 88.5 % den BGH4 und 3 zugeordnet.

Bodengebundenheit und Gefährdungsstatus

Abbildung 3.1.2 zeigt für jede der elf beurteilten Organismengruppen die prozentualen Anteile an den sechs Gefährdungskategorien innerhalb der vier Bodengebundenheitsklassen. In Tabelle 3.1.3 sind die prozentualen Anteile und die absoluten Artenzahlen zusammengestellt, wobei die vier Kategorien «verletzlich/gefährdet», «stark gefährdet», «vom Aussterben bedroht» und «in der Schweiz ausgestorben» zur Kategorie «gefährdet» zusammengefasst wurden. Auch bei den Bodengebundenheitsklassen wurden zur Vereinfachung für gewisse Auswertungen die Klassen BGH4&3 als «an den Boden gebunden» und die BGH2&1 als «nicht an den Boden gebunden» gruppiert.

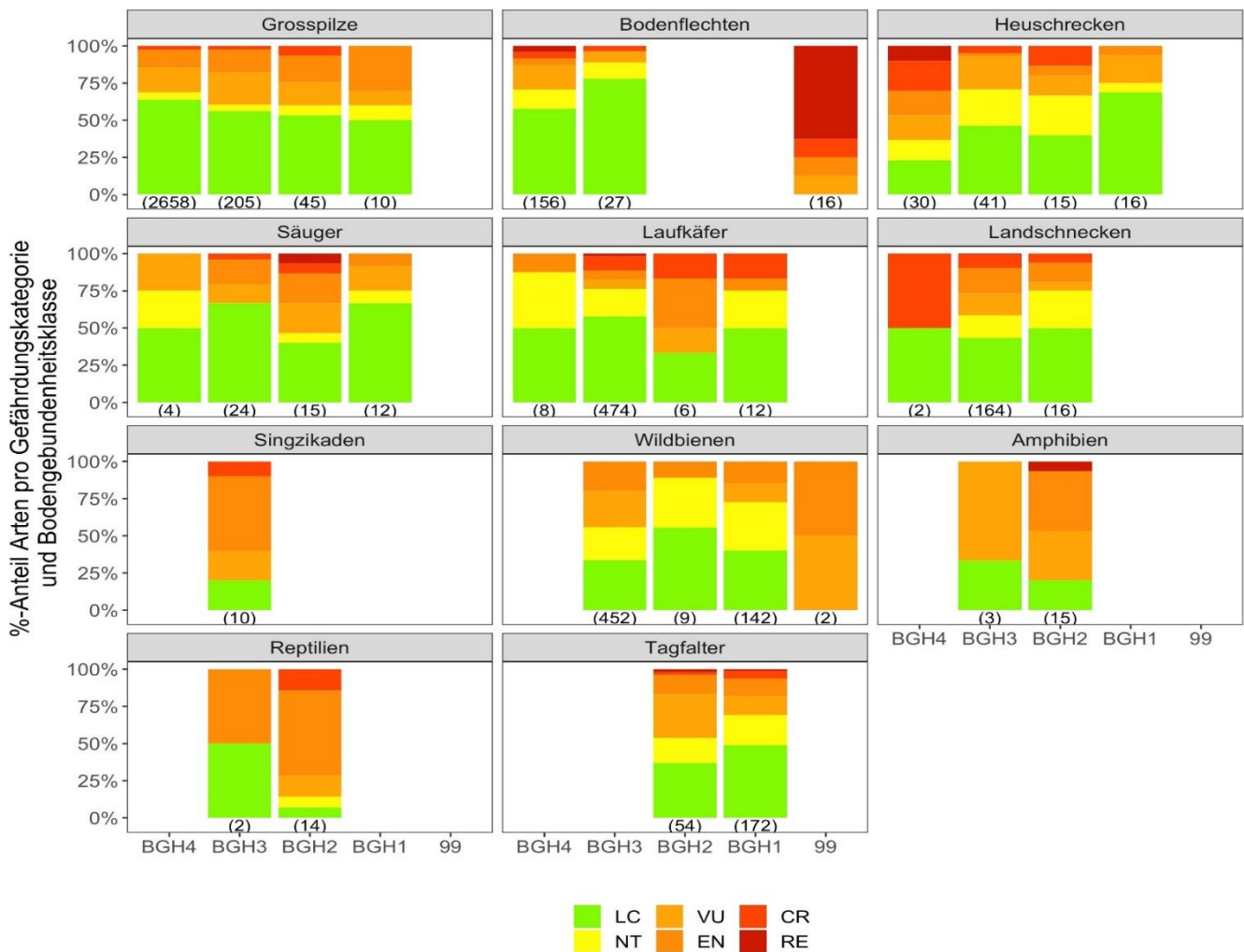


Abbildung 3.1.2 Prozentuale Anteile an den sechs Gefährdungskategorien innerhalb der vier Bodengebundenheitsklassen (BGH) bei den elf beurteilten Organismengruppen. Die Artenanzahl pro BGH ist in Klammern angegeben.

- BGH4 = sehr stark an den Boden gebunden/sehr starke Bodengebundenheit
- BGH3 = vorwiegend an den Boden gebunden/mittelstarke Bodengebundenheit
- BGH2 = schwach an den Boden gebunden/schwache Bodengebundenheit
- BGH1 = nicht an den Boden gebunden/keine Bodengebundenheit
- LC = nicht gefährdet
- NT = potenziell gefährdet
- VU = verletzlich/gefährdet
- EN = stark gefährdet
- CR = vom Aussterben bedroht
- RE = in der Schweiz ausgestorben

Tabelle 3.1.3 Prozentuale Anteile und absolute Artenzahlen (in Klammern) der drei Gefährdungskategorien «nicht gefährdet», «potenziell gefährdet» und «gefährdet» in der jeweiligen Bodengebundenheitsklasse (BGH) der elf beurteilten Organismengruppen

	BGH 4			BGH 3			BGH 2			BGH 1		
	nicht gefährdet	potenziell gefährdet	gefährdet	nicht gefährdet	potenziell gefährdet	gefährdet	nicht gefährdet	potenziell gefährdet	gefährdet	nicht gefährdet	potenziell gefährdet	gefährdet
Grosspilze	64 (1698)	5 (130)	31 (829)	56 (115)	4 (9)	40 (81)	53 (24)	7 (3)	40 (18)	50 (5)	10 (1)	40 (4)
Bodenflechten	59 (92)	12 (18)	29 (46)	78 (21)	11 (3)	11 (3)						
Heuschrecken	23 (7)	13 (4)	64 (19)	46 (19)	25 (10)	29 (12)	40 (6)	27 (4)	33 (5)	69 (11)	6 (1)	25 (4)
Säuger	50 (2)	25 (1)	25 (1)	67 (16)		33 (8)	40 (6)	7 (1)	53 (8)	67 (8)	8 (1)	25 (3)
Laufkäfer	50 (4)	37 (3)	13 (1)	58 (274)	18 (88)	24 (112)	33 (2)		67 (4)	50 (6)	25 (3)	25 (3)
Landschnecken	50 (1)		50 (1)	43 (71)	15 (25)	42 (68)	50 (8)	25 (4)	25 (4)			
Singzikaden				20 (2)		80 (8)						
Wildbienen				34 (152)	22 (100)	44 (200)	56 (5)	33 (3)	11 (1)	40 (57)	32 (46)	28 (39)
Amphibien				33 (1)		67 (2)	13 (2)	7 (1)	80 (12)			
Reptilien				50 (1)		50 (1)	7 (1)	7 (1)	86 (12)			
Tagfalter							37 (20)	17 (9)	46 (25)	49 (84)	20 (35)	31 (53)

Grosspilze

Die Bodengebundenheit der Grosspilze ist sehr gross (Abb. 3.1.1): Der überwiegende Teil der in der Schweiz heimischen 2918 Grosspilz-Arten lebt auf dem Boden, nur wenige Arten (55 Arten) sind kaum auf Bodensubstrat angewiesen (in BGH2 und BGH1).

In allen 4 Bodengebundenheitsklassen ist die Verteilung des Gefährdungsgrades ähnlich (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3): gut die Hälfte (50-64 %) der Arten sind nicht gefährdet (1842 Arten), 4-10 % sind potenziell gefährdet (143 Arten), rund ein Drittel (31-40 %) ist gefährdet oder vom Aussterben bedroht (933 Arten).

Bodenflechten

Die Bodengebundenheit der Bodenflechten ist erwartungsgemäss sehr gross (Abb. 3.1.1): Der überwiegende Teil der in der Schweiz heimischen 199 Bodenflechten-Arten lebt auf dem Boden, 78 % ausschliesslich (156 Arten in BGH4), 14 % mehrheitlich (27 Arten in BGH3).

In der Bodengebundenheitsklasse 4 liegt der Anteil nicht gefährdeter Arten mit 59 %

tiefer als in der Kategorie 3 mit 78 % (insgesamt 113 Arten), diejenige der gefährdeten Arten entsprechend umgekehrt mit 30 % resp. 11 % (49 Arten, Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3). Bei beiden Bodengebundenheitsklassen liegt der Anteil potenziell gefährdeter Arten bei 11 % (21 Arten).

Heuschrecken

Von den insgesamt 102 Heuschrecken-Arten sind 29 % ausschliesslich (30 Arten in BGH4) und 40 % mehrheitlich (41 Arten in BGH3) an den Boden gebunden, die restlichen 31 % (31 Arten) halten sich mehr in der Vegetation auf oder sind kaum auf den Boden angewiesen (BGH2&1, Abb. 3.1.1). Die meisten gefährdeten Arten (63 %) kommen hier in der BGH 4 vor. Das bedeutet, dass je stärker Heuschrecken an den Boden gebunden sind, desto gefährdeter sind sie (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3). Umgekehrt sind bei den nicht an den Boden gebundenen Arten etwa 25 % gefährdet. Insgesamt sind 43 Arten nicht gefährdet, 19 potenziell gefährdet und 40 gefährdet, z.T. auch ausgestorben.

Säuger (ohne Fledermäuse)

Die Hälfte der 55 Säugetierarten sind ausschliesslich (BGH4) oder vorwiegend (BGH3) an den Boden gebunden (Abb. 3.1.2). In der BGH 2 befinden sich die meisten gefährdeten Arten (53%, 8 Arten, Tab. 3.1.3).

Laufkäfer

Die Bodengebundenheit der Laufkäfer ist sehr gross (Abb. 3.1.1): nur 3 % der 500 Arten sind nicht primär auf den Boden angewiesen (18 Arten in BGH2 und BGH1), 95 % sind vorwiegend (474 Arten in BGH3) und 2 % sehr stark an den Boden gebunden (8 Arten in BGH4).

Mit Ausnahme der BGH 2 sind die Anteile der Arten in den Gefährdungskategorien ähnlich (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3). In der Bodengebundenheitsklasse 2 ist der Anteil gefährdeter Arten besonders hoch, nämlich 67 %. Insgesamt sind 120 Arten gefährdet, vom Aussterben bedroht oder ausgestorben.

Landschnecken

Die Bodengebundenheit der Landschnecken ist erwartungsgemäss sehr gross (Abb. 3.1.1): über 90 % der 182 Arten sind vorwiegend oder stark (BGH4&3; 166 Arten) an den Boden gebunden. Der Anteil der potenziell gefährdeten Arten liegen bei 15-25 % (20 Arten), wobei sie in der BGH4 fehlen, und die insgesamt 73 gefährdeten Arten machen einen Anteil von 25-50 % aus (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3).

Singzikaden

Alle 10 kategorisierten Singzikaden sind vorwiegend auf den Boden angewiesen und damit der Klasse 3 zugeordnet (Abb. 3.1.1). Die meisten Arten (80%, 8 Arten) in dieser Klasse sind mehr oder weniger stark gefährdet (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3).

Wildbienen

Von den 605 Wildbienenarten sind 75 % vorwiegend an den Boden gebunden (452 Arten, BGH3, Abb. 3.1.1). In der BGH 4 hat es keine gefährdeten Arten und in der

BGH3 sind 44% (200 Arten) gefährdet (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3).

Amphibien

Die 18 Amphibienarten sind grösstenteils (83 %) schwach (15 Arten, BGH2) an den Boden gebunden (Abb. 3.1.1), wobei zwischen 66 und 80 % (14 Arten) in der BGH 3&2 gefährdet sind (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3).

Reptilien

Die 16 Reptilienarten sind wie die Amphibien vorwiegend (12 %, 2 Arten, BGH3), v. a. aber schwach an den Boden gebunden (88 %, 14 Arten, BGH2, Abb. 3.1.1 und 3.1.2). In der BGH 3 sind je eine Art gefährdet und nicht gefährdet, Tab. 3.1.3).

Tagfalter

Erwartungsgemäss sind die 226 Tagfalterarten nur schwach (BGH2) oder nicht (BGH1) an den Boden gebunden (Abb. 3.1.1), wobei 17-20 % potentiell (44 Arten) und 31-46 % (78 Arten) stark gefährdet sind (Abb. 3.1.2, Tab. 3.1.3).

Abschliessend kann gesagt werden, dass

- bei den Grosspilzen, Bodenflechten, Heuschrecken, Laufkäfern, Landschnecken, Singzikaden und Wildbienen ein Grossteil der gefährdeten Arten auf den Boden als Lebensraum angewiesen ist (1770 Arten in BGH 4&3, 147 Arten in BGH 2&1).
- bei den Säugern, Amphibien, Reptilien und Tagfaltern nur wenige gefährdete Arten an den Boden gebunden sind (13 Arten in BGH 4&3, 161 Arten in BGH 2&1).
- von den total 4813 beurteilten Arten gut die Hälfte, nämlich 2721 (56 %) nicht gefährdet, 504 (11 %) potenziell und 1587 (33 %) gefährdet sind.

Im **Grad der Gefährdung innerhalb der Bodengebundenheitsklassen** zeigen sich Unterschiede:

- In der sehr stark an den Boden gebundenen Klasse BGH4 sind zwei Drittel der

Arten (63 %) nicht gefährdet, ein Drittel potenziell (6 %) bzw. gefährdet (31 %).

- In der vorwiegend an den Boden gebundenen Klasse BGH3 sind knapp die Hälfte (48 %) der Arten nicht gefährdet und gut die Hälfte potenziell (17%) bzw. gefährdet (35 %).
- In der schwach an den Boden gebundenen Klasse BGH2 sind gut ein Drittel (39 %) der Arten nicht gefährdet, zwei Drittel potenziell (14 %) bzw. gefährdet (47 %).
- In der nicht an den Boden gebundenen Klasse BGH1 sind knapp die Hälfte (47 %) der Arten nicht gefährdet, gut die Hälfte potenziell (24 %) bzw. gefährdet (29 %).
- Von den 4259 an den Boden gebundenen Arten (BGH 4&3) sind etwas mehr als die Hälfte, nämlich 58 % oder 2476 Arten nicht gefährdet und 42 % oder 1783 Arten gefährdet bzw. potenziell gefährdet.
- Für 553 klassierte Arten ist der Boden ein unbedeutender Lebensraum (BGH 2&1), der Anteil potenziell gefährdeter und gefährdeter Arten ist mit 56 % oder 308 Arten höher als derjenige der nicht gefährdeten mit 44 % oder 245 Arten.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Arbeit gibt einen ersten Einblick in die Bedeutung des Bodens als Lebensraum von elf ausgewählten Gruppen von Tieren, Pilzen und Flechten. Erstmals wurden Informationen zum Gefährdungsgrad des Bodens in der Schweiz anhand von Rote Liste-Arten erarbeitet.

Ursprüngliche Klassifikationen der Boden gebundenheit basierten ausschliesslich auf den Lebenszyklen von Insekten. Die Boden gebundenheits-Klassen wurden hier so angepasst, dass auch Wirbeltiere, Landschnecken sowie Flechten und Pilze damit eingestuft werden können. Die hier ermittelte Boden gebundenheit von Rote Liste-Arten ist neu und wegweisend für weitere Untersuchungen.

Die Boden gebundenheit der untersuchten Rote Liste-Arten ist sehr hoch: Von den total 4813 beurteilten Arten sind 89 % sehr stark oder vorwiegend an den Boden gebunden, insbesondere Grosspilze und Bodenflechten. Heuschrecken, Laufkäfer, Landschnecken, Singzikaden und Wildbienen zeigen eine mittlere, Säuger (ohne Fledermäuse) eine schwache Boden gebundenheit. Amphibien, Reptilien sowie Tagfalter sind kaum auf den Boden als Lebensraum angewiesen.

Von den sehr stark an den Boden gebundenen Arten sind ca. ein Drittel gefährdet oder potenziell gefährdet. Die Untersuchungen zeigen keine stärkere Gefährdung der stark an den Boden gebundenen Arten gegenüber denjenigen, die nicht oder kaum an den Boden gebunden sind.

Mittels dieser neuen, innovativen Klassifikation der Boden gebundenheit konnten erstmals Zielarten bestimmt werden: Arten, die sowohl gefährdet als auch in der Boden gebundenheitsklasse 4 zugeordnet sind und somit für die Arten- und Lebensraumvielfalt relevante Bodenarten repräsentieren. In Zukunft soll bei den regional spezifischen Fördermassnahmen der schützenswerten Zielarten und national prioritären Leitarten (BAFU 2019) die Bodenqualität als weiteres Element mitberücksichtigt werden.

Diese Arbeit zeigt die hohe Abhängigkeit vieler Lebewesen vom Boden und ihre zum Teil starke Gefährdung. In Zukunft kann ein gezieltes Bodenmonitoring mittels DNA-Metabarcoding helfen, gefährdete Organismen, insbesondere solche in den Boden gebundenheitsklassen 4 und 3, nachzuweisen und eine entsprechende molekulargenetische Datenbank zu erstellen. Dabei ermöglicht das DNA Metabarcoding aufgrund der molekulargenetischen Basis eine zusätzliche Perspektive zu den morphologischen Erhebungen der im Boden angesiedelten national prioritären Arten (z.B. Grosspilze). Im Weiteren hat das WSL kürzlich ein DNA Metabarcoding für Ringelwürmer (Annelida) etabliert. Diese Methode könnte an BDM,

NABO, KABO und/oder LWF Proben ausgetestet werden. Dabei könnte die Diversität der Ringelwürmer und im speziellen der Regenwürmer (Oligochaeten) in der Boden-DNA bestimmt werden. Für alle Monitoring Netzwerke sind bereits DNA Proben vorhanden (Agroscope: BDM, NABO, KABO; WSL: LWF, NABO). Für die neu geplante WZI Beprobung (Start 2022) wären erstmalig auch profillumfassende Diversitäts-Analysen möglich. Die Proben könnten nach Grosslebensräumen der TypoCH stratifiziert werden und den vorhandenen Arten nach IUCN-Kriterien ein RL-Status zugewiesen werden. Diese Arbeiten wären wegweisend für eine erste Rote Liste von Regenwürmern.

Ausgehend von diesen Ergebnissen konnten folgende Anzahl Zielarten (gefährdete Arten in der Klasse BGH4) ermittelt werden: Grosspilze 830, Bodenflechten 48, Heuschrecken 23, Säuger 2, Laufkäfer 4, Landschnecken 1.

Literatur

- Amelung W., Blume H.-P., Fleige H., Horn R., Kandler E., Kögel-Knabner I., Kretzschmar R., Stahr K., Wilke B.-M. (2018). in: Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum, Auflage 17, 750 S.
- Amiet F. (1994). Rote Liste der gefährdeten Bienen der Schweiz. In: Duelli P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 38–44.
- BAFU (2019). Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1709: 99 S.
- Duelli P. et al. (1994). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 79 S.
- Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W. (2010). Le sol vivant. Payot. 848 S.
- Klaus G., Cordillot F., Künzle I. (2021). Zustand der Artenvielfalt in der Schweiz. Synthese Rote Listen, Stand 2020. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern; Info Species, Neuchâtel. Umwelt-Zustand.
- Lehmitz R, Römke J, Graefe U, Beylich A, Krück S (2016). Rote Liste und Gesamtartenliste der Regenwürmer (Lumbricidae et Criodrilidae) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (4), 565 - 590.
- Marggi W. (1994). Rote Liste der gefährdeten Laufkäfer und Sandlaufkäfer (Carabidae) der Schweiz. In: Duelli P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Vollzug Umwelt: 55–59.
- Monnerat C., Thorens P., Walter T., Gonseth Y. (2007). Rote Liste der Heuschrecken der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Bern; Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug 0719: 62 S.
- Monney J.-C., Meyer A. (2005). Rote Liste der gefährdeten Reptilien der Schweiz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, und Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz, Bern. BUWAL-Reihe: Vollzug Umwelt. 50 S.
- Rüetschi J., Stucki P., Vicentini H., Müller P. (2012). Rote Listen der gefährdeten Muscheln- und Schneckenarten (Mollusca) der Schweiz, Stand 2010. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Bern; Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug 1216: 148 S.
- Scheidegger C., Clerc P. (2002). Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG. Vollzug Umwelt: 124 S.
- Schmidt B.R., Zumbach S. (2005). Rote Liste der gefährdeten Amphibien der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz karch, Bern. Vollzug Umwelt: 48 S.
- Senn-Irlet B, Bieri G, Egli S (2007). Rote Liste der gefährdeten Grosspilze der Schweiz. Vollzug Umwelt: Nr. 0718: 92 S.
- Turner, H., Wüthrich, M., Rüetschi, J. (1994). Rote Liste der gefährdeten Weichtiere der Schweiz. In: Duelli, P. (Red.). Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz: 75-79. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL-Reihe Rote Listen, EDMZ Bern, 97 S.
- Wermeille E., Chittaro Y., Gonseth Y. (2014). Rote Liste Tagfalter und Widderchen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern und Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1403: 97 S.

3.2 Mikrobiologische Parameter in der Kantonalen Bodenbeobachtung – eine Synthese

Claudia Maurer¹, Dominik Müller², Marco Lanfranchi³, Peter Weisskopf⁴, Hansrudolf Oberholzer⁴, Florian Walder⁴

¹Fachstelle Boden Kanton Bern

²Abteilung für Umwelt, Buchenhof, 5001 Aarau, Schweiz

³Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, 7001 Chur, Schweiz

⁴Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz

Gesunde Böden sind von zentraler Bedeutung für wichtige Ökosystemleistungen wie die landwirtschaftliche Produktion, die Speicherung und Bereitstellung von sauberem Wasser sowie den Abbau von organischem Material (Kibblewhite et al. 2008). Bodenlebewesen leisten einen wichtigen Beitrag beim Um- und Abbau von organischem Material, den Nährstoffkreisläufen sowie der Bildung von Humus und Bodenstruktur (Bommarco et al. 2013).

Bodenorganismen reagieren sensibel auf chemische und physikalische Störungen ihres Lebensraumes und zeigen Veränderungen des Bodenzustandes frühzeitig und integrierend an (Bünemann et al. 2006). Bei der Überwachung und Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit im Rahmen des kantonalen Vollzugs «Bodenschutz» sollen vermehrt bodenbiologische Parameter erhoben werden, insbesondere in der Dauerbeobachtung (Nationale Bodenbeobachtung NABO, Kantonale Bodenbeobachtung KABO). Dies ermöglicht eine Beurteilung des biologischen Bodenzustandes, die frühzeitige Erfassung schleichender Veränderungen und das Ergreifen notwendiger Gegenmassnahmen.

Die Kantone Aargau (AG), Bern (BE) und Graubünden (GR) erheben seit über zehn Jahren auf ihren Dauerbeobachtungsstandorten mikrobiologische Basisparameter (Mösch und Hunziker 2015, VOL 2017, Bräm 2011). Methoden und Interpretationsgrundlagen dazu wurden in Zusammenarbeit zwischen Bund, Kantonen und Forschungsinstitutionen erarbeitet (VBB 2009). Die vorliegende gemeinsame Auswertung der zwischen 2004 und 2014 erhobenen Daten hat

zum Ziel, anhand eines grösseren Datensatzes mögliche zeitliche und nutzungsbedingte Veränderungen aufzuzeigen, die eingesetzten Parameter und das Probenahmedesign zu beurteilen sowie Empfehlungen für die Weiterarbeit zu formulieren.

Material und Methoden

Probenahme und Standorte

Die Proben wurden grundsätzlich nach dem Verfahren der NABO entnommen (Hug et al. 2018). Das Probenahmedesign der drei Kantone weist jedoch Unterschiede in der Anzahl Mischproben (AG 4, BE 1, GR 3 aus je 25 Einstichen), der Beprobungstiefe und der Bodennutzung auf. Die Probenahme erfolgte jeweils im Frühjahr vor Vegetationsbeginn und dem ersten Düngemittelaustrag aus der Tiefe 0-20 cm auf Acker- (A) und 0-10 cm auf Grünlandflächen (G). Im Kanton AG wurden zusätzlich abhumusierte Naturschutzflächen (N) beprobt, um die Regeneration der Humusschicht anhand der mikrobiologischen Basisparameter zu untersuchen. Im Kanton BE wurden an einem Acker-Standort für spezielle Fragestellungen bezüglich Humusanreicherung in den obersten Zentimetern bei Direktsaat zusätzlich Proben aus der Tiefe 0-5 cm entnommen (A5: gepflügt; AD5: Direktsaat). Insgesamt wurden Daten von 69 Standorten mit drei oder mehr Beprobungen in die Auswertungen einbezogen.

Analysen und Messparameter

Die Proben wurden gemäss den Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten (Eidgenössische Forschungsanstalten ART und

ACW 1996) entnommen, vorbereitet, gelagert und analysiert: die Basalatmung (BA) sowie die mikrobielle Biomasse (BM) mit den Methoden Substrat-induzierte Respiration (SIR) bzw. Fumigation-Extraktion für mikrobiellen Kohlenstoff und Stickstoff

(FEC, FEN). Zur Kontrolle der Mess-Stabilität wurde jeweils eine Labor-Referenzprobe mitbestimmt (Oberholzer und Weisskopf 2010). Als Mass für die energetische Effizienz einer Mikroorganismengemeinschaft wurde der Metabolische Quotient (qCO_2) berechnet (BA: BM (SIR)).

Tabelle 3.2.1 Statistische Angaben (Median, 25%- und 75% Quartil) der relativen Veränderung pro Jahr sowie der relativen Streuung der Regressionsgeraden (Variationskoeffizient CV der Root Mean Square Error RMSE) für die fünf mikrobiologischen Parameter pro Bodennutzung
BA: Basalatmung; FEC, FEN: mikrobieller Biomasse-Kohlenstoff, -Stickstoff mit Fumigation-Extraktion; SIR: mikrobielle Biomasse mit Substrat-induzierter Respiration; qCO_2 : metabolischer Quotient (BA:BM (SIR))

	Anzahl Standorte Nutzungstyp	relative Veränderung pro Jahr (%)			relative Streuung der Regressionsgerade (CV (RMSE, %))		
		25% Quartil	Median	75% Quartil	25% Quartil	Median	75% Quartil
BA	23 Ackerstandorte	-2.1	0.7	5.1	4.2	6	13.3
FEN		-2	0.7	3.7	5.7	8.9	11.4
FEC		-1.6	0.3	2	2.5	7.3	10.5
SIR		-2.3	0.1	3.1	4.2	8.4	14.9
qCO_2		-1.1	1	2.2	4	7.3	9.3
BA	26 Graslandstandorte	-1.1	1.2	3	4	5.9	8.6
FEN		-1.1	1.4	3	5.3	7.7	12.8
FEC		-0.7	0.9	2.4	3.2	5.1	7.5
SIR		-1.1	0.9	3.1	4.6	6.4	9.9
qCO_2		-1.1	0.3	2	4.7	5.9	7.3
BA	6 Naturschutzflä- chen	3.6	5.4	9.5	2.9	4.1	7.8
FEN		3.4	9.6	11.8	7.9	10.8	12.8
FEC		6.1	7.5	11	6.8	8.1	10.2
SIR		3.4	7	11.8	3.6	5.7	5.9
qCO_2		-3.5	-1.1	1.8	2.8	5.4	6.3
BA	7 Pflug	-5	10.2	29	12.6	31.2	32.1
FEN		-11.1	-2	3	6.1	16.8	20.2
FEC		-8.6	1.4	7.3	4.8	11.2	13.9
SIR		-6.2	3.3	14.9	9.8	12.4	17.8
qCO_2		1.5	5.9	13.3	6.8	14.6	19.6
BA	7 Direktsaat	-6.3	-1.5	2.1	10.2	12.3	16.8
FEN		-14	-10.2	-4.9	4.3	14.2	31.2
FEC		-5.9	-2.9	-1.8	1.8	10.4	12.2
SIR		-7.2	-3.3	3.8	0.6	3.4	6.5
qCO_2		0.2	1.6	7.2	8.8	11.1	12
BA	4 Referenz	1.2	1.3	2.1	0.8	1.4	1.7
FEN		-4.9	-2.2	-0.2	2.2	3.8	6.5
FEC		-1.1	-0.7	-0.1	0.8	2.1	2.8
SIR		-0.8	-0.2	0.6	1	1.4	2.4
qCO_2							

Statistik

Zur Charakterisierung der zeitlichen Veränderung wurde für jeden Parameter an jedem Standort die lineare Regression zwischen Messwerten und Analysezeitpunkten be-

rechnet (=mittlere standorttypische Veränderung). Für den Vergleich der jährlichen Veränderung zwischen den verschiedenen Parametern wurden zusätzlich die relativen Veränderungen der Parameter sowie deren Streuung auf der Zeitachse untersucht. Die

relative Veränderung wurde durch die Veränderung des Regressionskoeffizienten relativ zur mittleren Veränderung des Parameters ausgedrückt. Zur Beschreibung der Streuung der relativen Veränderung wurde der Variationskoeffizient (CV=relative Streuung der Einzelwerte bezogen auf den Mittelwert) des RMSE (Root Mean Square Error= Maß für die absolute Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade) verwendet.

Resultate und Diskussion

Relative Veränderungen über die Zeit

Die Ergebnisse der relativen Veränderungen sowie der relativen Streuung um die

Regressionsgeraden sind für die untersuchten Parameter und Bodennutzungen in Tabelle 3.2.1 zusammengestellt. Bei den Acker- und Grünlandstandorten (A, G) ohne nennenswerte Bewirtschaftungsänderungen im beobachteten Zeitraum waren die jährlichen Unterschiede gering. Die Mediane der relativen jährlichen Veränderung liegen bei allen Parametern zwischen -2% und +5%, die relativen Streuungen sind in der Regel <10%.

Tabelle 3.2.2 Anzahl festgestellte positive (zunehmende Werte), negative (abnehmende Werte), signifikant positive (rot), signifikant negative (rot) Veränderungen sowie deren Totale beziehungsweise %-Anteile pro Parameter und Bodennutzung (BA: Bodenatmung (Basalatmung); FEC, FEN: mikrobieller Biomasse-Kohlenstoff, -Stickstoff mit Chloroform-Fumigation-Extraktion; SIR: mikrobielle Biomasse mit Substratinduzierter Respiration; qCO_2 : Metabolischer Quotient (BA:BM (SIR)))

Bodennutzung	Veränderung	BA	FEN	FEC	SIR	qCO_2	Anzahl signifikanter Änderungen
Ackerland	positiv	16 / 3	14 / 2	12 / 2	12 / 1	14 / 0	8
	negativ	7 / 1	9 / 0	11 / 1	11 / 1	9 / 1	4
Grasland	positiv	19 / 4	17 / 2	17 / 2	17 / 2	14 / 1	11
	negativ	7 / 0	9 / 0	9 / 0	9 / 1	12 / 0	1
Naturschutzfläche	positiv	6 / 4	6 / 3	6 / 5	6 / 4	2 / 0	16
	negativ	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4 / 2	2
Pflugverfahren	positiv	5 / 0	2 / 0	4 / 0	5 / 0	6 / 0	0
	negativ	2 / 0	5 / 0	3 / 0	2 / 0	1 / 0	0
Direktsaat	positiv	2 / 0	0 / 0	1 / 0	2 / 2	6 / 1	3
	negativ	5 / 0	7 / 0	6 / 0	5 / 2	1 / 0	2
Anzahl signifikanter Änderungen		12	7	10	13	5	
		17%	10%	15%	19%	7.2%	

Demgegenüber wiesen auf den Naturschutzflächen (N) mit Ausnahme des metabolischen Quotienten alle gemessenen Parameter mehrheitlich positive Veränderungen von durchschnittlich 6-10 % auf bei relativen Streuungen <10 %. Diese Zunahme von Biomasse und Atmung lässt sich mit einem Regenerationseffekt der Biologie nach dem Abhumusieren und dem damit verbundenen Mangel an Energie- und Nährstoffquellen erklären.

Die Acker-Proben aus den obersten 5 cm (A5, AD5) zeigen sowohl grössere Bandbreiten an relativen Veränderungen als

auch höhere relative Streuungen im Vergleich zu denjenigen aus der Tiefe 0-20 cm. Veränderungen traten sowohl zwischen den untersuchten Parametern als auch zwischen den Anbauverfahren auf: im Pflugverfahren (A5) nahm FEN ab, FEC war gleichbleibend, SIR und qCO_2 nahmen zu; im Direktsaatverfahren (AD5) nahm die mikrobielle Biomasse ab, Basalatmung und metabolischer Quotient blieben gleich. Die Mediane der relativen Streuungen beider Bodenbearbeitungsverfahren war >10 %.

Mit Ausnahme einer Labor-Referenzprobe beim Biomasse-Stickstoff FEN verhielten

sich alle Referenzproben stabil mit entsprechend geringen Streuungen.

Veränderungen bei unterschiedlicher Nutzung

In Tabelle 3.2.2 sind alle gemessenen positiven (zunehmende Messwerte), negativen (abnehmende Messwerte), signifikant positiven und signifikant negativen Veränderungen sowie deren Totale bzw. Prozentanteile pro Parameter und Nutzung zusammenge-

stellt. Im Verlaufe der elf Beobachtungsjahre zeigten sich bei zwei Dritteln der Ackerstandorte (A) für BA und FEN tendenziell zunehmende Werte, bei FEC und SIR hielten sich positive und negative Veränderungen die Waage. Lediglich 12 dieser Veränderungen waren signifikant, davon acht positiv (dreimal BA, je zweimal FEN und FEC, einmal SIR) und vier negativ (je einmal BA, FEC, SIR, qCO_2).



Abbildung 3.2.1 Zeitlicher Verlauf der mikrobiellen Biomasse SIR von je drei Acker- und Naturschutz- sowie zwei Grünland-Standorten mit vier oder mehr Zeitpunkten. Die ausgezogenen Linien weisen statistisch gesicherte Veränderungen auf, die unterbrochenen nicht. (SIR: mikrobielle Biomasse mit Substratinduzierter Respiration; A: Ackerland; G: Grasland; N: Naturschutzflächen; ns: nicht signifikant; s: signifikant.)

Bei den Grünlandstandorten (G) konnten bei allen Parametern zahlreiche positive Entwicklungen gemessen werden, davon waren jedoch lediglich elf signifikant (viermal BA, je zweimal FEC und SIR, einmal qCO_2). Nur einmal nahm die Biomasse SIR signifikant ab.

Die Naturschutzstandorte (N) zeigten die deutlichsten zeitlichen Veränderungen aller Nutzungsformen: mit Ausnahme des metabolischen Quotienten nahmen sämtliche Biomasse und Atmungswerte zu. Insgesamt

18 Mal waren die Zunahmen signifikant (dreimal FEN, je viermal BA und SIR, fünfmal FEC), zweimal wurden signifikante Abnahmen beim metabolischen Quotienten festgestellt. Abbildung 3.2.1 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf der mikrobiellen Biomasse SIR von je drei Acker- und Naturschutz- sowie zwei Grünland-Standorten mit vier oder mehr Zeitpunkten.

In den obersten 5 cm der gepflügten Ackerflächen (A5) ergaben sich bei BA und SIR mehr positive als negative Veränderungen,

bei FEN das Gegenteil und bei FEC waren es gleichviele positive wie negative Veränderungen, alle ohne Signifikanz. Bei der Direktsaat (AD5) zeigten sich bei allen vier Parametern allgemein mehr Werte-Abnahmen als –Zunahmen mit einer Signifikanz bei SIR (zweimal positiv und zweimal negativ).

Der Anteil an signifikanten Veränderungen bewegt sich zwischen 10 und 20% (SIR 19%, BA 17 %, FEC 15%, FEN 10%).

Erkenntnisse für die Dauerbeobachtung

Um die Standorte bodenmikrobiologisch zu beschreiben, wurden drei unabhängige Methoden verwendet. Während die beiden Methoden zur Bestimmung des mikrobiellen Biomasse-Kohlenstoffs (SIR, FEC) sehr ähnliche Resultate ergaben ($R^2 = 0.9$), unterschied sich die Bodenatmung BA etwas stärker von diesen Parametern (BA zu SIR: $R^2 = 0.85$; BA zu FEC: 0.81). Dies deutet darauf hin, dass die beiden Parameter der mikrobiellen Biomassen eine höhere Redundanz aufweisen. Für ein möglichst umfassendes Verständnis sollte daher vorzugsweise ein Biomasse-Parameter mit dem Aktivitätsparameter der Bodenatmung kombiniert werden.

Bei vier entnommenen Mischproben pro Standort zeigte sich eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den einzelnen Werten und dem Mittelwert aller Mischproben (BA: $R^2 = 0.93$; FEC: $R^2 = 0.96$; FEN: $R^2 = 0.97$; SIR: $R^2 = 0.93$; Abb. 3.2.2). Dies deutet darauf hin, dass die Werte von verschiedenen Mischproben derselben Probenahme-fläche pro Standort und Jahr sehr stabil sind und eine Reduktion der Anzahl Mischproben aus Aufwandgründen vertretbar ist. Neben der Wahl der Parameter und der Anzahl Mischproben scheint auch die Anzahl der Probenahme-Zeitpunkte eines Standortes für ein effizientes Probenahmedesign einer Dauerbeobachtung wichtig zu sein, damit allfällige Veränderungen sicher erkannt werden können. In den vorliegenden elfjährigen Messreihen zeigte sich, dass Veränderungen vor allem dann erkannt werden

konnten, wenn ein Standort in diesem Zeitraum mindestens fünfmal beprobt worden war.

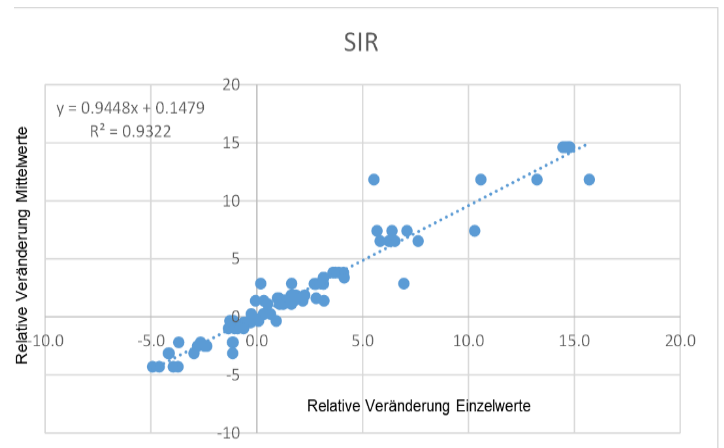


Abbildung 3.2.2 Vergleich der relativen Veränderung der mikrobiellen Biomasse SIR, basierend auf den vier Einzelwerten beziehungsweise auf den daraus resultierenden Mittelwerten von Bodenproben des Kantons Aargau. (SIR: mikrobielle Biomasse mit Substratinduzierter Respiration).

Schlussfolgerungen

Trotz unterschiedlicher Strategien bezüglich Messintervall und Nutzungsschwerpunkt verfolgen alle kantonalen Bodenbeobachtungen dasselbe Ziel: den Boden bezüglich seiner Fruchtbarkeit zu beobachten und zu beurteilen, damit allfällige Veränderungen frühzeitig erkannt und notwendige Gegenmassnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können.

An Standorten mit langjährig gleichbleibender Nutzung – sei dies als Acker (A) mit geregelter Fruchtfolge oder als Grünland (G) – wird mit den gemessenen mikrobiologischen Parametern der standorttypische Grundzustand erhoben. Als standorttypischen Grundzustand bezeichnen wir die für jeden Standort typischen Wertebereiche an mikrobieller Aktivität und Biomasse in Abhängigkeit von Bewirtschaftung und Standorteigenschaften (Körnung, Gehalt an organischer Substanz, pH-Wert, Lage Klima). Es sind keine grossen Änderungen über die Zeit zu erwarten und auch nicht festgestellt worden.

Im Gegensatz dazu stehen die Naturschutzflächen (N) mit einem gegenüber dem Ausgangszustand deutlich veränderten Bodenaufbau und entsprechend veränderten Lebensbedingungen für die Bodenbiologie. Hier nahmen alle erhobenen bodenmikrobiologischen Parameter im Zuge der Bodenentwicklung (Regenerationsprozess durch Wieder-Anreicherung an organischer Bodensubstanz) stetig zu, erreichten jedoch im beobachteten Zeitraum den für ein Grünland vergleichbaren Wert (noch) nicht. Die regelmässige Beprobung der Naturschutzflächen zeigt, dass mit den angewandten mikrobiologischen Parametern relevante Veränderungen feststellbar sind. Die Erhebung der mikrobiellen Biomasse (in Zukunft aus messtechnischen Gründen nur noch FEC/FEN) und der Basalatmung BA sowie die Berechnung des metabolischen Quotienten (qCO_2) eignen sich für die Dauerbeobachtung. Um gute Voraussetzungen für die statistische Relevanz bodenbiologischer Untersuchungen zu schaffen, sollte genügend lange und genügend häufig gemessen werden, am besten jährlich während fünf Jahren oder mindestens fünfmal über einen längeren Zeitraum. Da neben der Bodennutzung auch die Bodentiefe einen grossen Einfluss auf den sicheren Nachweis von relevanten zeitlichen Veränderungen der erhobenen Parameter aufwies, sollte für die Dauerbeobachtung eine Beprobungstiefe von 0-10 cm nicht unterschritten werden. Es hat sich auch gezeigt, dass bei einer Probenahmestrategie mit 25 regelmäßig verteilten Einstichen nur eine

einzigste Mischprobe pro Probenahme­fläche verwendet werden kann. Weiter muss für vergleichende Untersuchungen über längere Zeiträume das Messsystem stabil sein; zu diesem Zweck sind Labor-Referenzproben zwingend mit zu analysieren.

Der Originalartikel findet sich unter

<https://www.agrarforschungschweiz.ch/2020/08/wie-sich-das-leben-im-boden-messen-laesst/>

Literatur

- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S. G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28, 230-238.
- Bräm, E., 2011. Bodenbiologische Untersuchungen in Graubünden. VBB-Bulletin Nr. 13, 14-17.
- Bünemann, E. K., Schwenke, G. D. & Van Zwieten, L., 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms – a review. *Australian Journal of Soil Research* 44, 379-406.
- Eidgenössische Forschungsanstalten ART und ACW, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Band 2: Bodenuntersuchungen zur Standort-Charakterisierung.
- Hug, A. S., Gubler, A., Gschwend, F., Widmer, F., Oberholzer, H.-R., Frey, B. & Meuli, R. G., 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung. Ergebnisse 2012-2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. *Agroscope Science* 63, 55 S.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K. & Swift, M. J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* 363: 685-701.
- Mösch D. & Hunziker M., 2015. 10 Jahre Bodenmikro­biologie-Monitoring. *UMWELT AARGAU Sonder­nummer* 45, 11-15.
- Oberholzer, H.-R. & Weisskopf, P., 2010. Anforderungen an die Langzeitbeobachtung biologischer Bodeneigenschaften mit mikrobiologischen Parametern. *Bulletin BGS* 30, 69-74.
- VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017. *Bodenbericht 2017*. 129 S.

3.3 Monitoring Bodenbiologie – Auswertung bodenmikrobiologischer Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsstandorten

Anna Hug¹, Janine Moll¹, Claudia Maurer², Marco Lanfranchi³, Dominik Müller⁴ und Andreas Gubler¹

¹ Nationale Bodenbeobachtung, Agroscope

² Fachstelle Boden Kanton Bern

³ Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, 7001 Chur, Schweiz

⁴ Abteilung für Umwelt, Buchenhof, 5001 Aarau, Schweiz

Böden erfüllen viele wichtige Funktionen: Sie sind die Grundlage für die land- und forstwirtschaftliche Produktion, Lebensraum für Flora und Fauna und wichtig für den Wasserhaushalt, die Nährstoffkreisläufe und die Filterung von Schadstoffen. Um ihre Fruchtbarkeit zu erhalten, müssen sie nachhaltig genutzt werden. Als Basis zur Beurteilung, ob die Bodenfunktionen langfristig erhalten bleiben, sind Informationen über den Zustand und die Entwicklung der Böden von grosser Bedeutung. Bis heute sind räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Bodendaten selten. Umso wichtiger ist es daher, Synergien bestehender Bodenbeobachtungsprogramme optimal zu nutzen. Hierfür werteten wir Daten von vier bodenbiologischen Messnetzen (national: NABO; kantonal: KABO AG, KABO BE und KABO GR) aus. Wir erarbeiteten Lösungsansätze, die die Verarbeitung und Interpretation von Daten trotz gewisser methodischer Unterschiede ermöglichen. Weiter beurteilten wir die mikrobiologischen Messwerte gemäss den Referenzwerten von Oberholzer et al. (1999) und präsentieren einen Zustandsindikator Q (Hug et al. 2021), der den aktuellen (bodenmikrobiologischen) Zustand eines Standortes anzeigt.

1. Hintergrund

Das bodenbiologische Monitoring der Nationalen Bodenbeobachtung (NABObio) startete 2012 mit der jährlichen Beprobung von ausgewählten Standorten (Hug et al. 2018). Die bodenbiologischen Untersuchungen in kantonalen Bodenbeobachtungen (KABO)

laufen seit rund 15 Jahren. Drei dieser KABOs verwenden zur Bestimmung der mikrobiologischen Summenparameter dieselben Methoden wie NABObio (Maurer et al. 2020). Sowohl die NABO also auch die drei Kantone lassen die mikrobielle Biomasse und die Basalatmung, gemäss den Referenzmethoden der Eidg. Landw. Forschungsanstalten (FAL, FAW, RAC, 1998) an der Agroscope durch die Gruppe «Pflanzen-Boden-Interaktionen» bestimmen. Die Anwendung derselben standardisierten Methoden und die Durchführung der Analytik durch dasselbe Labor ist eine wichtige Voraussetzung für eine sinnvolle gemeinsame Auswertung der Daten. Nur so können bei der Interpretation der Ergebnisse methodische oder analytische Einflüsse weitestgehend ausgeschlossen werden.

2. Ziele und Fragestellungen

Die Ziele dieses Gemeinschaftsprojektes waren:

- Daten der bodenbiologischen Messnetze der NABO und dreier KABOs zusammen auszuwerten;
- dadurch eine breitere Datenbasis schaffen, um die langfristige Entwicklung von bodenbiologischen Summenparametern zu beurteilen;
- offene Fragen und Probleme bei gemeinsamen Auswertungen zu identifizieren;
- langfristig auf Basis der gemeinsamen Datengrundlage Indikatoren abzuleiten.

Aus den genannten Zielen leiteten wir folgende Fragestellungen ab:

1. Wie können die Daten verschiedener Messnetze gemeinsam ausgewertet und dargestellt werden?
2. Wie können hierbei methodische Unterschiede (insbesondere betreffend Periodizität und Beprobung) gehandhabt werden?
3. Wie ergänzen sich der metabolische Quotient (Basalatmung pro Einheit mikrobielle Biomasse, q_{CO_2}) und die Beurteilung der mikrobiellen Summenparameter?
4. Welche weiteren Arbeitsschritte müssen angegangen werden, insbesondere für die Herleitung von Indikatoren.

3. Daten und Methoden

Auswahl der Standorte und Beurteilung der Messwerte anhand standortspezifischer Referenzwerte

Für das Schweizer Mittelland wurden standortspezifische Referenzwerte für mikrobielle Biomasse und Basalatmung anhand von Regressionen empirisch hergeleitet (Oberholzer et al. 1999, Oberholzer und Scheid 2007, VBB/BSA 2009). Für Ackerböden existieren Referenzwertmodelle für die Biomasse bestimmt mit der Fumigation-Extraktions-Methode (BM-FE) und der substratinduzierten Respirations-Methode (BM-SIR) und Basalatmung, für Grasland nur für Biomasse SIR (Tab. 3.3.1). Sämtliche Berechnungen gelten für Böden mit einem C_{org} -Gehalt von 1-4 %, einem Tongehalt von 10-40 % und einem pH-Wert von 4.3-7.5.

Tabelle 3.3.1: Formeln für die Berechnung der Referenzwerte

Ackerstandorte, 0-20 cm Bodentiefe

Mikrobielle Biomasse FE (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-FE) = 4.703 + 0.963 \ln(C_{org}) + 0.063 \text{ pH} + 0.214 \ln(\text{Ton}) + 0.0008 \text{ Sand} \quad (1)$$

Mikrobielle Biomasse SIR (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-SIR) = 3.58 + 0.82 \ln(C_{org}) + 0.15 \text{ pH} + 0.31 \ln(\text{Ton}) + 0.005 \text{ Sand} \quad (2)$$

Basalatmung (mg CO_2-C kg⁻¹ TS h⁻¹)

$$\ln(BA) = 2.697 + 0.625 \ln(C_{org}) + 0.199 \text{ pH} - 0.146 \ln(\text{Ton}) - 0.0009 \text{ Sand} - \ln(88) \quad (3)$$

Grasland, 0-10 cm Bodentiefe

Mikrobielle Biomasse SIR (mg C_{mik} kg⁻¹ TS)

$$\ln(BM-SIR) = 3.61 + 0.92 \ln(C_{org}) + 0.28 \text{ pH} + 0.17 \ln(\text{Ton}) \quad (4)$$

Die Regressionsformeln 1-3 wurden für Ackerstandorte und für Proben aus einer Tiefe von 0-20 cm erarbeitet, diejenige für Grasland (Formel 4) aus 0-10 cm Tiefe. Da die NABO alle Landnutzungen, also auch Grasland, 0-20 cm tief beprobt, fokussierten wir bei der Auswertung auf Ackerstandorte. Wir berücksichtigen hier also nur Messwerte, die von Proben derselben Beprobungstiefe stammen. Für die Auswertung der zeitlichen Entwicklung der mikrobiellen Messwerte konnten wir 35 resp. 46 NABO- und KABO-Standorte berücksichtigen (alles Ackerstandorte) (Tab. 3.3.2).

Qualitative Beurteilung der Messwerte und der Zustandsindikator Q

Im Beurteilungsschema von Oberholzer et al. (1999) gelten Messwerte innerhalb des 67%-Vertrauensbereiches (VB67) als «normal». Werte darüber und darunter werden als «hoch» bzw. «tief» betrachtet. Werte ober- und unterhalb des 95%-Vertrauensbereiches (VB95) als «sehr hoch» bzw. «sehr tief». Das Beurteilungsschema erlaubt demnach eine Einteilung in fünf Klassen von sehr tief bis sehr hoch, die Messwerte können damit eingeordnet und kommuniziert werden. Die mikrobiellen Messwerte können allerdings auch direkt mit den standortspezifischen Messwerten verglichen werden, in-

dem die Messwerte durch die entsprechenden Referenzwerte dividiert werden (Gleichung 5). Soweit bekannt wurde dieser Quotient bisher nicht verwendet, wir bezeichnen diesen als Zustandsindikator Q (Hug et al. 2021) und präzisieren mit einem Subskript, für welche Messgrösse Q berechnet wurde (Q_{FE} : mikrobielle Biomasse bestimmt mit der Fumigation-Extraktions-Methode, Q_{SIR} : mikrobielle Biomasse bestimmt mit der substratinduzierten Respirations-Methode und Q_{BA} : Basalatmung).

$$Q = \frac{\text{Messwert}}{\text{standortspezifischer Referenzwert}} \quad (5)$$

Q ist somit ein Indikator für den aktuellen Zustand des Standortes, der sich auf die jeweilige Messgrösse bezieht. Für $Q > 1$ liegt der Messwert über dem standortspezifischen Referenzwert, für $Q < 1$ darunter. Mit dem berechneten Zustandsindikator Q kann die von Oberholzer et al. (1999) definierte Beurteilungsklasse ermittelt werden. Die entsprechenden Grenzwerte sind in Tab. 3.3.3 festgehalten.

Tabelle 3.3.2: Für die Auswertung berücksichtigte NABO- und KABO-Standorte (nur Ackerstandorte). (Mösch und Hunziker 2015, VOL 2017, Bräm 2011, Hug et al. 2018).

Messnetz / Datensatz	Anzahl Standorte	Messwerte berücksichtigt von - bis	C_{org} [%]		
			min	mean	max
NABO	10	2012-2018	0.9	1.8	3.0
NABO 04/05	7	2004/05	1.6	1.9	2.8
KABO AG	7	2005 - 2018	1.5	2.3	3.2
KABO BE	15	2004 - 2018	1.0	1.7	5.4
Oberacker Kanton BE	1 mit 12 Teilparzellen	2004 - 2018	1.2	1.6	2.1
KABO GR	2	2006 - 2018	1.7	3.3	4.7
Total Standorte	35 resp. 46				

Tabelle 3.3.3: Qualitative Beurteilung der Summenparameter anhand des Zustandsindikators Q (Messwert dividiert durch Referenzwert). Die tabellierten Werte sind gerundet, für die exakten Werte müssen die obigen Formeln verwendet werden.

	Ackerbau			Grasland
	Basalatmung	Biomasse FE	Biomasse SIR	Biomasse SIR
se_{est}	0.201	0.2054	0.1836	0.2114
----- Wertebereiche für Q -----				
sehr tief	<0.67	<0.66	<0.69	<0.66
tief	0.67-0.81	0.66-0.81	0.69-0.83	0.66-0.80
normal	0.82-1.22	0.82-1.22	0.84-1.20	0.81-1.23
hoch	1.23-1.49	1.23-1.50	1.21-1.44	1.24-1.53
sehr hoch	>1.49	>1.50	>1.44	>1.53

Die Werte für se_{est} wurden aus H.R Oberholzers Excel-Vorlagen für die Auswertung entnommen

Der Vorteil des Zustandsindikators Q ist, dass es sich um eine numerische und kontinuierliche Grösse handelt, im Gegensatz zu den diskreten Klassen des Beurteilungsschemas. Dies vereinfacht die grafische Darstellung und statistischen Auswertungen wie beispielsweise Korrelationen mit Boden- und Standorteigenschaften.

4. Resultate

Die wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen haben wir in Boxen zusammengefasst. Details und weitere Resultate können dem Bericht von Hug et al. (2021) entnommen werden.

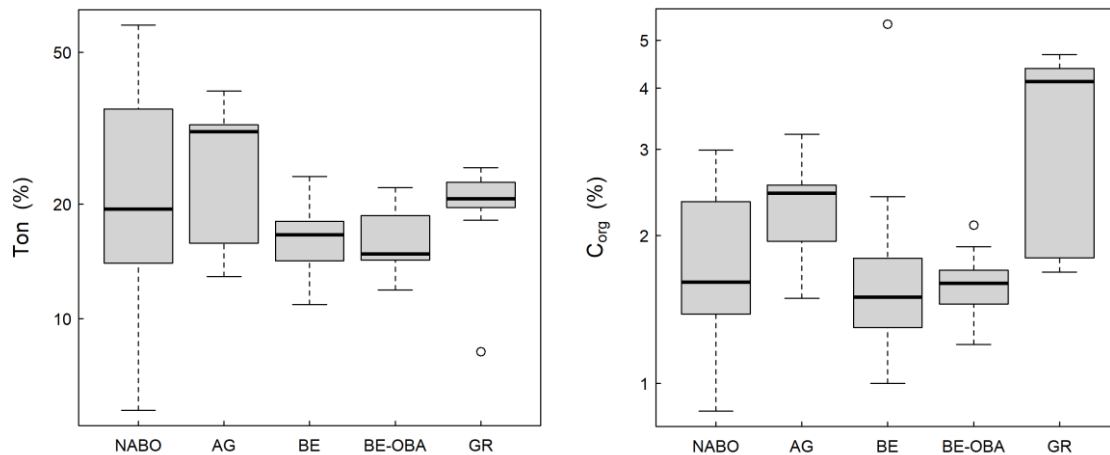


Abbildung 3.3.1: Standorteigenschaften der fünf berücksichtigten Datensätze. Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und Ton (%) des Oberbodens (0-20 cm). Die Boxen schliessen jeweils die Werte vom 1. bis 3. Quartil ein, die horizontale Linie markiert den Median.

4.1 Bodendaten unterschiedlicher Herkunft

Um mikrobiologische Daten über mehrere Jahre und zwischen verschiedenen Standorten und Messnetzen vergleichen zu können, sind eine standardisierte Probenahme und die Probenaufbereitung und Analyse durch stets dasselbe Labor anzustreben. Die Daten der verschiedenen Messnetze stammen aus unterschiedlichen geographischen Regionen und weisen daher verschiedene Wertebereiche der Standorteigenschaften auf (Abb. 3.3.1). Wir empfehlen, den Vergleich von Standorten auf die Beurteilungen anhand der Referenzwerte (Beurteilungsklassen oder Zustandsindikatoren Q_{FE} , Q_{SIR} und Q_{BA}) zu beziehen. Damit werden unterschiedliche Standorteigenschaften miteinbezogen.

4.2 Datenablage und -harmonisierung

Ein einheitliches Datenmanagement aller Bodendaten minimiert den Aufwand für die Harmonisierung von Daten vor der Auswertung. Dieser Aufwand kann beträchtlich

sein. Für die Ablage steht das Bodeninformationssystem NABODAT (www.nabodat.ch) zur Verfügung. Ebenfalls zu definieren ist der Datenfluss resp. die Schnittstelle zwischen Labor und dem Zielsystem (NABO-DAT).

4.3 Unterschiedliche Periodizität der Beprobung

Die langfristige Entwicklung eines Kollektivs (z.B. aller Standorte eines Messnetzes) kann mit Hilfe eines Säulendiagramms visualisiert werden. Veränderungen über die Zeit sind jedoch nur interpretierbar, wenn für die einzelnen Zeitpunkte stets dasselbe Standort-Kollektiv betrachtet wird. In Abb. 3.3.2 wird ab 2012 immer dasselbe Kollektiv abgebildet. Die Einteilung in die fünf Kategorien bleibt über die Zeitspanne zwischen 2012 und 2018 relativ konstant. Deshalb sollten Zeitlücken bei Standorten, die nicht jährlich gemessen wurden, aufgefüllt werden, indem die Messwerte eines Standortes für jedes weitere Jahr konstant wiederholt werden bis eine neue Messung erfolgt. Dies ergibt lückenlose (virtuelle) Zeitreihen.

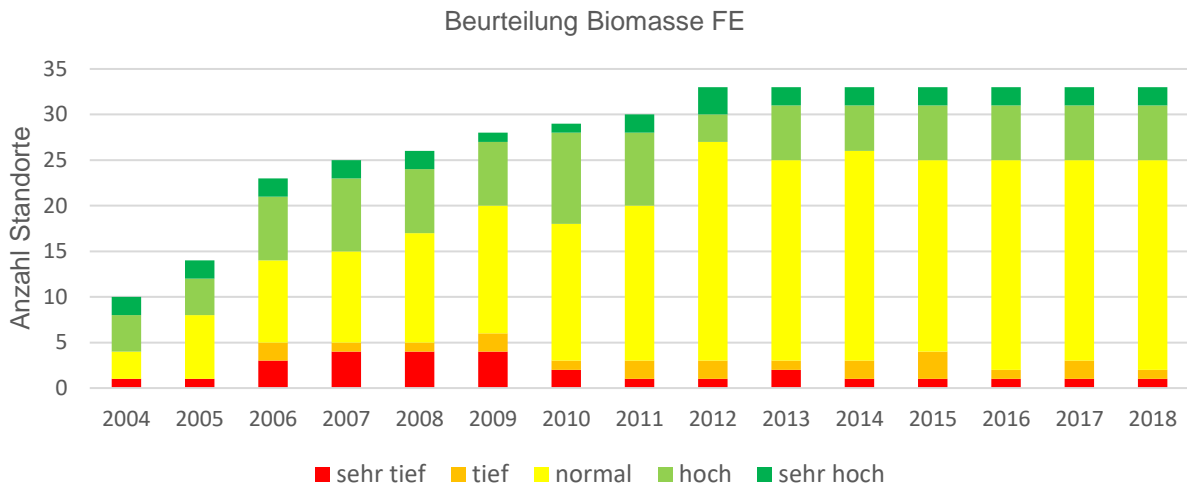


Abbildung 3.3.2: Mikrobielle Biomasse FE, Anzahl Standorte und deren Beurteilung, Darstellung als Zeitreihe (n=33). Das Kollektiv wird grösser, wenn Standorte erstmals gemessen und in die Zeitreihe aufgenommen werden. Nicht jährlich gemessene Standorte werden «aufgefüllt» und es entsteht eine (virtuelle) Zeitreihe. Ab 2012 wird immer dasselbe Standortkollektiv betrachtet und die Säulen sind dadurch miteinander vergleichbar. Tendenzen werden so sichtbar und nachvollziehbar gemacht. Die Anzahl Standorte in den jeweiligen Beurteilungsklassen für die mikrobielle Biomasse FE bleibt ziemlich konstant.

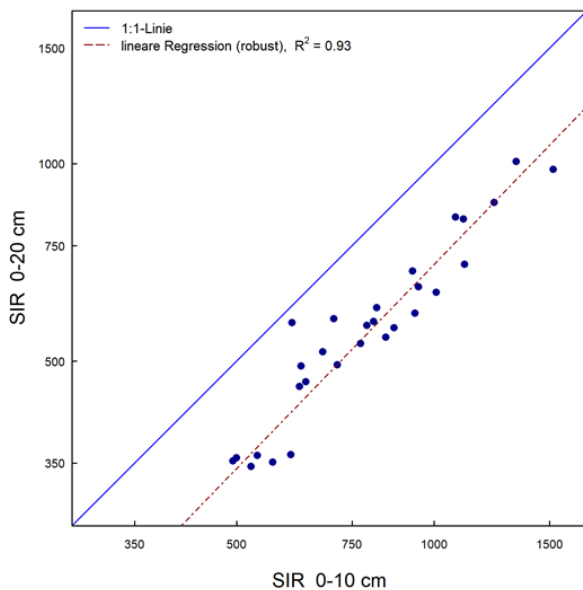


Abbildung 3.3.3: Vergleich der Messwerte für die Biomasse SIR aus 0-10 cm vs. 0-20 cm Tiefe für Grasland-Standorte der KABO BE, (16 Standorte), beide Achsen log-skaliert. Lineare Regression, robust: $\ln(\text{SIR } 0-10) = -0.58 + 1.03 \ln(\text{SIR } 0-20)$; $R^2 = 0.93$.

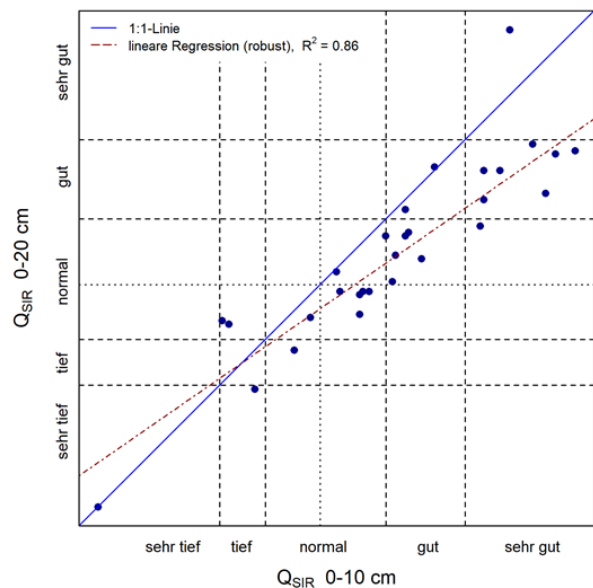


Abbildung 3.3.4: Vergleich von Q_{SIR} 0-10 cm vs. 0-20 cm für Grasland-Standorte der KABO BE, (16 Standorte).

4.4 Unterschiedliche Beprobungstiefen

Proben aus unterschiedlichen Tiefen können nicht anhand absoluter Werte miteinander verglichen werden, sondern nur mittels den Quotienten Q_{FE} , Q_{SIR} , Q_{BA} oder $q\text{CO}_2$

(Abb. 3.3.3 und 3.3.4). Das Referenzwertmodell für 0-10 cm Bodentiefe scheint auch für die Proben aus 0-20 cm geeignet zu sein. Möglicherweise braucht es aber eine zusätzliche Kompensation für die grössere

Bodentiefe. Dies lässt sich nicht abschliessend beantworten, da die Datengrundlage in dieser Arbeit zu gering ist.

4.5 Zustandsindikator Q = Quotient aus Messwert und Referenzwert

Im Gegensatz zu den fünf qualitativen Klassen («sehr hoch» bis «sehr tief») ist Q eine kontinuierliche numerische Grösse. Dies vereinfacht die grafische Darstellung und statistische Auswertungen wie beispielsweise Korrelationen mit Boden- und Standorteigenschaften. Anhand von Q lässt sich die qualitative Beurteilung in die fünf Klassen ableiten. Zusätzlich werden mit Q aber auch Zu- und Abnahmen eines Standortmesswertes innerhalb einer Klasse sichtbar. Zudem ist mit Q ersichtlich, wo der Messwert innerhalb der Klasse liegt. Beispielsweise ob ein «normaler» Messwert an der oberen Grenze liegt und damit nahe bei der Bewertung «hoch». Q lässt sich einfach für ganze Standortkollektive zusammenfassen (sei es als Durchschnitt oder Median). Somit kann der aktuelle Zustand des Kollektivs und dessen zeitliche Entwicklung erfasst werden. Für die Kommunikation mit Landwirten und Laien sind die qualitativen Klassen wie «sehr hoch» oder «tief» zu bevorzugen.

4.6 Metabolischer Quotient $q\text{CO}_2$ zur Beurteilung des Mikrobioms

Der metabolische Quotient $q\text{CO}_2$ ist ein Mass für die Effizienz, mit der Mikroorganismen ihre Nahrung nutzen. Hohe Werte können auf Stress für die mikrobielle Gemeinschaft hinweisen. Bei der Interpretation von bodenmikrobiologischen Messungen kann $q\text{CO}_2$ die Beurteilung anhand der Zustandsquotienten Q_{FE} und Q_{BA} sinnvoll ergänzen. Zwischen $q\text{CO}_2$ und Q_{FE} bzw. Q_{BA} besteht kein enger Zusammenhang. Zur Beurteilung des Mikrobioms kann $q\text{CO}_2$ als zusätzliche Information betrachtet werden.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Die gemeinsame Auswertung von Daten unterschiedlicher Herkunft hat wichtige Erkenntnisse gebracht. Die erarbeiteten Lösungsansätze stellen die Grundlage für weitere zukünftige Projekte dar, in welchen Daten aus unterschiedlichen Quellen ausgewertet werden. Dies kann auf nationaler oder internationaler Ebene sein. Es hat sich gezeigt, wie wichtig die einheitliche Anwendung von standardisierten Methoden ist und dadurch eine Voraussetzung für alle zukünftigen bodenbiologischen Erhebungen. Konkrete weitere Arbeitsschritte, die sich aus den vorliegenden Auswertungen ergeben haben:

• Zur Beurteilung der mikrobiologischen Qualität von Graslandstandorten (oder anderen Nutzungen wie Waldstandorte oder andere Höhenlagen) müssen entsprechende standortspezifische Referenzwerte für die Biomasse (bestimmt mit der Chloroform-Fumigation-Extraktions-Methode) und die Basalatmung hergeleitet werden.

- Mit einem grösseren Datensatz muss abgeklärt werden, wie die Referenzwertmodelle auf unterschiedliche Beprobungstiefen angewendet werden können und ob die unterschiedlichen Beprobungstiefen in den Regressionsgleichungen berücksichtigt resp. kompensiert werden müssen. Eine einheitliche Beprobungstiefe für alle Landnutzungen und alle zukünftigen Untersuchungen ist anzustreben.
- Die bestehenden Modelle sind anhand neuerer und grösserer Datensätze zu aktualisieren.

Der Originalbericht ist nachzulesen unter <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/nabo/publikationen.html>

6. Literatur

- Bräm, E., 2011. Bodenbiologische Untersuchungen in Graubünden. VBB-Bulletin. Nr. 13, 14–17.
- FAL, FAW, RAC (1998). Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung.
- Hug A.S., Gubler A., Gschwend F., Widmer F., Oberholzer H., Frey B., Meuli R.G. 2018. NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung, Ergebnisse 2012–2016, Handlungsempfehlungen und Indikatoren. Agroscope Science 63. Zürich-Reckenholz.

- Hug A.S., Moll J., Gubler A. 2021. Monitoring Bodenbiologie. Auswertung bodenmikrobiologischer Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsstandorten. Agroscope Science 110. Zürich-Reckenholz.
- Maurer C., Müller D., Lanfranchi M., Weisskopf P., Oberholzer H.R., Walder F. 2020. Mikrobiologische Parameter in der Kantonalen Bodenbeobachtung – eine Synthese. Agrarforschung Schweiz 11: 147-153.
- Mösch D. & Hunziker M., 2015. 10 Jahre Bodenmikrobiologie-Monitoring. UMWELT AARGAU Sondernummer 45, 11-15.
- Oberholzer H.-R., Rek J., Weisskopf P., Walther U. 1999. Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. Agribiological Research 52 (2), 113–125.
- Oberholzer H.-R., Scheid S. 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- VOL, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2017. Bodenbericht 2017. 129 S.

Impressum VBBio-Bulletin Nr. 20/2022

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).

Vorsitzende 2021

Claudia Maurer
Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern
Amt für Landwirtschaft und Natur, Abteilung Strukturverbesserungen und Produktion
Fachstelle Boden
Rütti 5, 3052 Zollikofen
Tel +41 31 636 49 04
claudia.maurer@be.ch

Vorsitzende 2022/23

Gaby von Rohr
Abteilungsleiterin Stv., Bodenschutz
Amt für Umwelt
Abteilung Boden
Werkhofstrasse 5
Tel +41 32 627 28 05
gaby.vonrohr@bd.so.ch
afu.so.ch

Sekretariat und Bezug

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

Titelfotos: Beat Frey, WSL

Das Bulletin ist auch im Internet verfügbar:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/fachinformationen/massnahmen-fuer-den-bodenschutz/arbeitsgruppe-vollzug-bodenbiologie--vbb-.html>