

Mikrobiologische Parameter in der Kantonalen Bodenbeobachtung – eine Synthese

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

¹Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Fachstelle Boden, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Abteilung für Umwelt, 5001 Aarau, Schweiz

³Amt für Natur und Umwelt, 7001 Chur, Schweiz

⁴Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Claudia Maurer, E-Mail: claudia.maurer@be.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-147> Publikationsdatum: 31. August 2020



Abb. 1 | Standort der Kantonalen Bodenbeobachtung Aargau. Durch das Abhumusieren entstand eine nährstoffarme Fläche für gefährdete Pflanzenarten. Die bodenmikrobiologischen Messwerte sind gegenüber humusreichen Flächen tiefer und nehmen mit der Wieder-Anreicherung von organischer Substanz langsam zu.

Zusammenfassung

Seit 2004 werden in drei Kantonen im Rahmen der Kantonalen Bodenbeobachtung die bodenbiologischen Parameter Basalatmung und mikrobielle Biomasse (Methode Chloroform-Fumigation-Extraktion und substratinduzierte Respiration) erhoben. Insgesamt wurden 69 Acker-, Grünland- und Naturschutz-Standorte innerhalb von elf Jahren mindestens dreimal beprobt. Bodennutzung, Beprobungstiefe und -intervall beeinflussten die Resultate. Langjährige Grünlandstandorte und Ackerflächen mit geregelter Fruchtfolge zeigten keine grossen zeitlichen Änderungen, bei den frisch abhumusierten Naturschutzflächen hingegen nahmen Atmung und Biomasse über die gesamte Untersuchungszeit stetig zu. Folglich können mit diesen Parametern neben dem standorttypischen

Grundzustand allfällige, für die Entwicklung von Bodeneigenschaften relevante Veränderungen erfasst werden. Für statistisch gesicherte Aussagen sollten mindestens fünf Messpunkte über einen längeren Zeitraum erfasst werden, zudem scheinen für die Dauerbeobachtung Beprobungstiefen < 10 cm wegen der grossen Streuung ungeeignet. Bei der empfohlenen Probenahmestrategie kann mit lediglich einer Mischprobe gearbeitet werden. Labor-Referenzproben sind zwingend mitzumessen, um die Stabilität der Messung über einen langen Zeitraum zu gewähren.

Key words: soil monitoring, temporal change, microbial biomass, basal respiration, grassland, arable field, nature conservation area.

Einleitung

Gesunde Böden sind von zentraler Bedeutung, um für unsere Gesellschaft wichtige Ökosystemleistungen wie die landwirtschaftliche Produktion, die Speicherung und Bereitstellung von sauberem Wasser sowie den Abbau von organischem Material langfristig sicherzustellen (Kibblewhite *et al.* 2008). Obwohl Bodenlebewesen gewichtsmässig nur einen geringen Anteil des Bodens ausmachen, ist ihr Beitrag zu den wichtigsten Bodenprozessen wie Um- und Abbau von organischem Material, Dynamik der Nährstoffkreisläufe sowie Bildung von Humus und Bodenstruktur von entscheidender Bedeutung (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 deshalb neben chemischen und physikalischen Erhebungen vermehrt auch bodenbiologische Parameter erhoben werden. Damit wird einerseits dem Vorsorgeprinzip im Umweltschutzgesetz (USG) Rechnung getragen, andererseits können mit biologischen Daten auch Aussagen

über die Fruchtbarkeit eines Standortes gemäss der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) gemacht werden. Insbesondere in der Dauerbeobachtung (Kantonale Bodenbeobachtung KABO, Bodenbiologie in der Nationalen Bodenbeobachtung NABObio) ist es wichtig, bodenbiologische Parameter einzubinden. 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 einigen bzw. allen KABO-Standorten (Abb. 1) mikrobiologische Basisparameter (Mösch und Hunziker 2015, VOL 2017, Bräm 2011). Die Methoden zu deren Bestimmung wurden in Zusammenarbeit zwischen Bund, Kantonen und Forschungsinstitutionen evaluiert und standardisiert; erste Interpretationsgrundlagen sind erarbeitet worden (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.

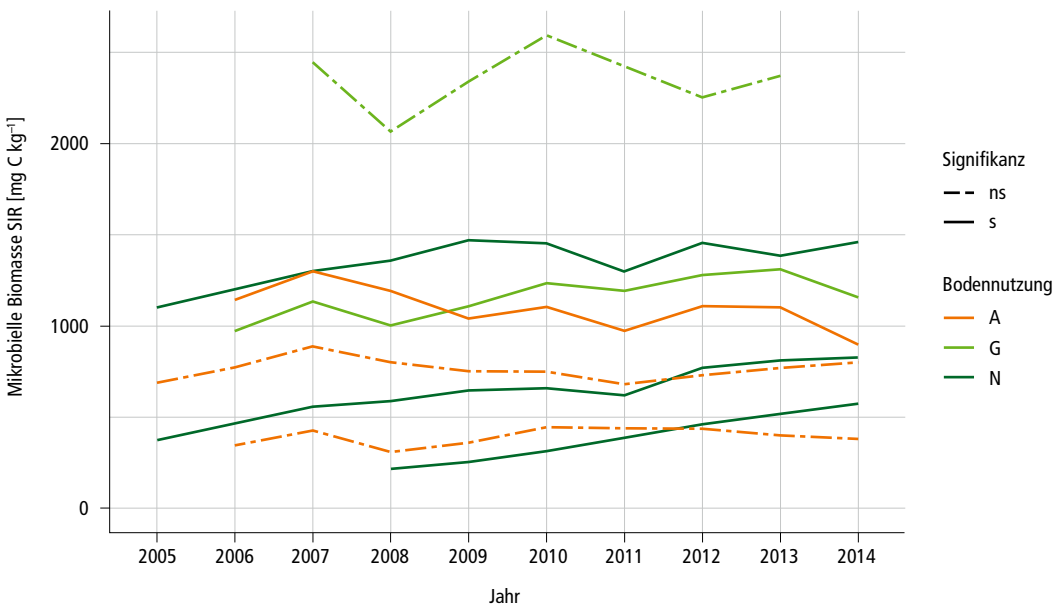


Abb. 2 | Zeitlicher Verlauf der mikrobiellen Biomasse SIR von je drei Acker- und Naturschutz- sowie zwei Grünland-Standorten mit vier oder mehr Wiederbeprobungen. Die ausgezogenen Linien weisen statistisch gesicherte Veränderungen auf, die unterbrochenen nicht.

SIR: mikrobielle Biomasse mit substratinduzierter Respiration
 C: Kohlenstoff
 A: Ackerland
 G: Grasland
 N: Naturschutzflächen
 ns: nicht signifikant
 s: signifikant

Material und Methoden

Probenahme und Standorte

An jedem KABO-Standort wurde eine Probenahme­fläche von 10 m × 10 m (BE: 5 m × 5 m) ausgeschieden und die Proben für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen grundsätzlich nach dem Verfahren der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) entnommen (Hug *et al.* 2018). Das Probenahmedesign der drei Kantone weist jedoch Unterschiede in der Anzahl Mischproben, der

Beprobungstiefe und der Bodennutzung auf. Pro Probenahme­fläche und Standort wurden im Kanton Aargau vier, im Kanton Graubünden drei und im Kanton Bern eine Mischproben aus je 25 Einstichen gezogen und analysiert. 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 Aargau wurden zusätzlich abhumusier­te Grünland­flächen als Naturschutz­flächen (N) beprobt. Hier wurde der hu-

Tab. 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.

Parameter	Boden- Nutzung	Anzahl Standorte	Relative Veränderung pro Jahr (%)			Relative Streuung der Regressionsgerade (CV [RMSE, %])		
			25-%-Quartil	Median	75-%-Quartil	25-%-Quartil	Median	75-%-Quartil
BA	A	22	-2,1	0,7	5,1	4,2	6	13,3
FEN	A	23	-2	0,7	3,7	5,7	8,9	11,4
FEC	A	23	-1,6	0,3	2	2,5	7,3	10,5
SIR	A	23	-2,3	0,1	3,1	4,2	8,4	14,9
qCO ₂	A	23	-1,1	1	2,2	4	7,3	9,3
BA	G	26	-1,1	1,2	3	4	5,9	8,6
FEN	G	26	-1,1	1,4	3	5,3	7,7	12,8
FEC	G	26	-0,7	0,9	2,4	3,2	5,1	7,5
SIR	G	26	-1,1	0,9	3,1	4,6	6,4	9,9
qCO ₂	G	26	-1,1	0,3	2	4,7	5,9	7,3
BA	N	6	3,6	5,4	9,5	2,9	4,1	7,8
FEN	N	6	3,4	9,6	11,8	7,9	10,8	12,8
FEC	N	6	6,1	7,5	11	6,8	8,1	10,2
SIR	N	6	3,4	7	11,8	3,6	5,7	5,9
qCO ₂	N	6	-3,5	-1,1	1,8	2,8	5,4	6,3
BA	A5	7	-5	10,2	29	12,6	31,2	32,1
FEN	A5	7	-11,1	-2	3	6,1	16,8	20,2
FEC	A5	7	-8,6	1,4	7,3	4,8	11,2	13,9
SIR	A5	7	-6,2	3,3	14,9	9,8	12,4	17,8
qCO ₂	A5	7	1,5	5,9	13,3	6,8	14,6	19,6
BA	AD5	7	-6,3	-1,5	2,1	10,2	12,3	16,8
FEN	AD5	7	-14	-10,2	-4,9	4,3	14,2	31,2
FEC	AD5	7	-5,9	-2,9	-1,8	1,8	10,4	12,2
SIR	AD5	7	-7,2	-3,3	3,8	0,6	3,4	6,5
qCO ₂	AD5	7	0,2	1,6	7,2	8,8	11,1	12
BA	R	4	1,2	1,3	2,1	0,8	1,4	1,7
FEN	R	4	-4,9	-2,2	-0,2	2,2	3,8	6,5
FEC	R	4	-1,1	-0,7	-0,1	0,8	2,1	2,8
SIR	R	4	-0,8	-0,2	0,6	1	1,4	2,4
qCO ₂	R	4						

BA: Bodenatmung (Basalatmung)
 FEC, FEN: mikrobieller Biomasse-Kohlenstoff, -Stickstoff mit Chloroform-Fumigation-Extraktion
 SIR: mikrobielle Biomasse mit substratinduzierter Respiration
 qCO₂: Metabolischer Quotient (BA:BM [SIR])
 A: Ackerland
 G: Grasland
 N: Naturschutzflächen
 A5: Pflugverfahren
 AD5: Direktsaatverfahren
 R: Referenzböden

musreiche Oberboden abgetragen, um nährstoffarme Standorte für gefährdete Pflanzenarten zu schaffen. Im Rahmen dieser Studie wurde die Regeneration der Humusschicht anhand der mikrobiologische Basisparameter untersucht. Für spezielle Fragestellungen bezüglich Humusanreicherung in den obersten Zentimetern bei Direktsaat wurden an einem Acker-Standort im Kanton Bern 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 Bodenatmung (Basalatmung BA) sowie die mikrobielle Biomasse (BM) mit den Methoden substratinduzierte Respiration (SIR) bzw. Chloroform-Fumigation-Extraktion für Kohlenstoff und Stickstoff (FEC, FEN). Zur Kontrolle der Mess-Stabilität wurde in jeder Analyseserie 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]).

Statistik

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

enten beschreiben dabei die mittlere standorttypische Veränderung und deren Signifikanzen die Wahrscheinlichkeit, mit der die Änderung von Null abweicht. Um das Ausmass der jährlichen Veränderung zwischen den verschiedenen Parametern vergleichen zu können, 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) des RMSE (*Root Mean Square Error*) verwendet. Der RMSE ist ein Mass für die absolute Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade, während sein Variationskoeffizient die relative Streuung der Einzelwerte bezogen auf den Mittelwert ausdrückt.

Resultate und Diskussion

Relative Veränderungen über die Zeit

Die Ergebnisse der beobachteten relativen Veränderungen sowie der relativen Streuung um die Regressionsgeraden sind für die untersuchten Parameter und unterschiedlichen Bodennutzungen in Tabelle 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 sehr nahe bei null, mit Schwankungen zwischen minus 2 % und plus 5 %, während die relativen Streuungen in der Regel unter 10 % sind.

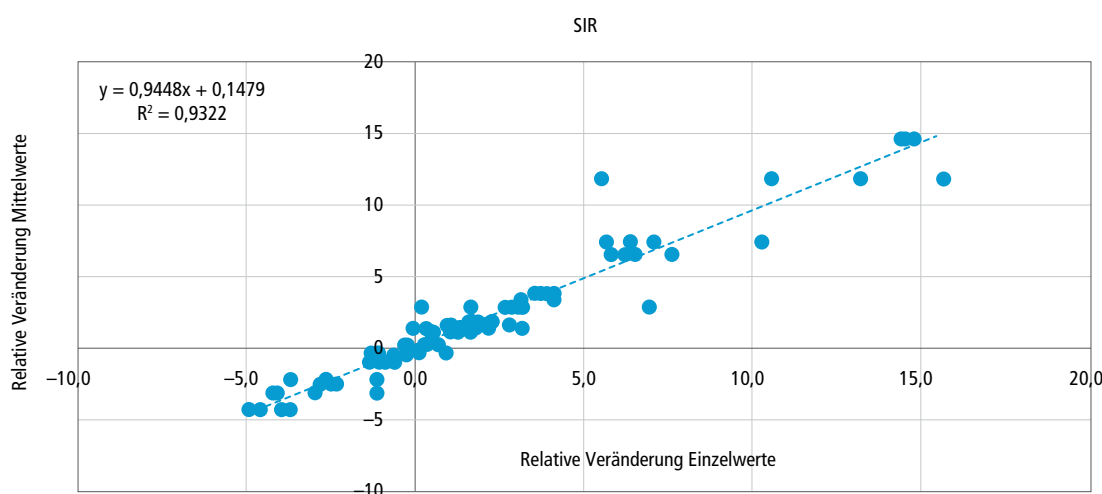


Abb. 3 | Vergleich der relativen Veränderung der mikrobiellen Biomasse SIR, basierend auf den vier Einzelwerten beziehungsweise auf den daraus resultierenden Mittelwerten von Bodenproben des Kantons Aargau.

SIR: mikrobielle Biomasse mit substratinduzierter Respiration

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, die auch unter 10 % liegen. 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 (minus 14 % bis plus 29 %) als auch höhere relative Streuungen (bis zu 30 %) im Vergleich zu denjenigen aus der Tiefe 0–20 cm. Die Veränderungen waren sowohl zwischen den untersuchten Parametern als auch zwischen den Anbauverfahren unterschiedlich: Im Pflugverfahren (A5) verringerte sich der mikrobielle Biomasse-Stickstoff FEN, während der mikrobielle Kohlenstoff FEC stabil blieb und die Biomasse SIR sowie der metabolische Quotient (qCO_2) zunahm. Beim Direktsaatverfahren (AD5) dagegen nahmen die Biomasse-Werte ab, während Basalatmung und metabolischer Quotient stabil blieben. Beinahe sämtliche Mediane der relativen Streuungen liegen bei beiden Verfahren über 10 %, zum Teil deutlich darüber.

Mit Ausnahme einer Labor-Referenzprobe beim Biomasse-Stickstoff FEN verhielten sich alle Referenzproben stabil mit entsprechend geringen Streuungen.

Veränderungen bei unterschiedlicher Nutzung

In Tabelle 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 zusammengestellt. Im Verlaufe der elf Beobachtungsjahre zeigten sich bei zwei Dritteln der Ackerstandorte (A) für die Bodenatmung BA und den Biomasse-Stickstoff FEN leicht zunehmende Werte, beim Biomasse-Kohlenstoff FEC und bei der SIR hielten sich positive und negative Veränderungen die Waage. Lediglich 12 dieser Veränderungen waren signifikant, davon acht positiv, das heisst zunehmende Werte (dreimal bei der BA, je zweimal bei der FE und einmal bei der SIR) und vier negativ, also abnehmende Werte (je einmal bei der BA, der FEC, der SIR und dem qCO_2).

Bei den Grünlandstandorten (G) konnten bei allen Parametern zahlreiche positive Entwicklungen gemessen werden, davon waren jedoch lediglich elf signifikant (viermal BA, je zweimal die Biomassen FEC und SIR sowie einmal der 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 Biomassen- und Atmungswerte zu. Insgesamt 18 Mal waren die Zunahmen signifikant: dreimal beim Biomasse-Stickstoff FEN, je viermal bei der Atmung BA

Tab. 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.

Bodennutzung	Veränderung	BA	FEN	FEC	SIR	qCO_2	Total signifikante Veränderungen
A	positiv	16 / 3	14 / 2	12 / 2	12 / 1	14 / 0	8
	negativ	7 / 1	9 / 0	11 / 1	11 / 1	9 / 1	4
G	positiv	19 / 4	17 / 2	17 / 2	17 / 2	14 / 1	11
	negativ	7 / 0	9 / 0	9 / 0	9 / 1	12 / 0	1
N	positiv	6 / 4	6 / 3	6 / 5	6 / 4	2 / 0	16
	negativ	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	4 / 2	2
A5	positiv	5 / 0	2 / 0	4 / 0	5 / 0	6 / 0	0
	negativ	2 / 0	5 / 0	3 / 0	2 / 0	1 / 0	0
AD5	positiv	2 / 0	0 / 0	1 / 0	2 / 2	6 / 1	3
	negativ	5 / 0	7 / 0	6 / 0	5 / 2	1 / 0	2
Total signifikante Veränderungen		12 = 17,4 %	7 = 10,1 %	10 = 14,5 %	13 = 18,8 %	5 = 7,2 %	

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])
 A: Ackerland
 G: Grasland
 N: Naturschutzflächen
 A5: Pflugverfahren
 AD5: Direktsaatverfahren
 R: Referenzböden

und der mikrobiellen Biomasse SIR sowie fünfmal beim Biomasse-Kohlenstoff FEC, zweimal wurden signifikante Abnahmen beim metabolischen Quotienten festgestellt. In Abbildung 2 sind als Beispiel die zeitlichen Veränderungen der mikrobiellen Biomasse SIR von je drei Acker- und Naturschutz- sowie zwei Grünland-Standorten mit vier oder mehr Wiederbeprobungen dargestellt.

In den obersten 5 cm der gepflügten Ackerflächen (A5) ergaben sich bei Bodenatmung BA und mikrobieller Biomasse SIR mehr positive als negative Veränderungen, beim Biomasse-Stickstoff FEN das Gegenteil und beim -Kohlenstoff FEC waren es gleichviele positive wie negative Veränderungen; insgesamt konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Bei der Direktsaat zeigten sich bei allen vier Parametern allgemein mehr Werte-Abnahmen als -Zunahmen, signifikant waren diese aber nur bei der Biomasse SIR und da jeweils zweimal positiv und zweimal negativ.

Der Anteil an signifikanten Veränderungen bewegt sich zwischen 10 und 20 %. Der höchste Anteil mit 18,8 % konnte mit der Methode Biomasse SIR gemessen werden, bei der Bodenatmung BA waren es 17,4 %, beim mikrobiellen Biomasse-Kohlenstoff FEC 14,5 % und beim Biomasse-Stickstoff FEN 10,1 %.

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, wie dies auch in den Handlungsempfehlungen der NABO (Hug *et al.* 2018) formuliert ist.

Das Probenahmedesign unterschied sich bei den Kantonen bezüglich der Anzahl Mischproben pro Probenahme- und Standort: Bei deren vier 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). Dies deutet darauf hin, dass die Werte von verschiedenen Mischproben derselben Probenahme- und Standort 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 Wiederbeprobungen 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.

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 (Kasten) erhoben, 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

Standorttypischer Grundzustand

Neben der Bewirtschaftung beeinflussen v.a. Standorteigenschaften die mikrobielle Aktivität und Population eines Bodens. Zu den Standorteigenschaften gehört neben Lage und Klima insbesondere die Zusammensetzung eines Bodens, beschrieben durch Körnung und Gehalt an organischer Substanz sowie der pH-Wert. Die für jeden Standort typischen Wertebereiche an mikrobieller Aktivität und Biomasse bezeichnen wir als standorttypischen Grundzustand.

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 Zeit-

raum. 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 einzige Mischprobe pro Probenahme-Fläche verwendet werden kann. Weiter muss für vergleichende Untersuchungen über längere Zeiträume das Messsystem stabil sein; zu diesem Zweck sind Labor-Referenzproben mit zu analysieren. ■

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.
Zugang: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/38019> [8.7.2020].
- 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.