

NABObio12_13

Ergebnisse der Pilotphase 2012 und 2013

Autoren

Anna-Sofia Hug, Andreas Gubler, Franco Widmer,
Beat Frey, Hansrudolf Oberholzer und Reto Giulio Meuli

Mitarbeit

Probenahme, Expertise und Labor NABO, Agroscope:
Peter Schwab, Ramon Zimmermann

Labor Mikrobiologie, Agroscope:
Susanne Müller, Andrea Bonvicini

Labor Molekularökologie, Agroscope:
Stephanie Pfister

Labor Mikrobiologie und Molekularbiologie, WSL:
Beat Stierli

Impressum

Herausgeber:	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskunft:	Anna-Sofia Hug E-Mail: anna.hug@agroscope.admin.ch
Download:	www.agroscope.ch/science
Copyright:	© Agroscope 2015
ISSN:	2296-729X
ISBN:	978-3-906804-07-1

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	6
1.1 Ausgangslage	6
1.2 Das Projekt NABObio12_13	6
2. Material und Methoden.....	7
2.1 Standortauswahl	7
2.2 Probenahme	8
2.3 Messgrößen und Bestimmungsmethoden	9
2.4 Referenzierung der Messwerte	10
3. Ergebnisse und Diskussion.....	11
3.1 Begleitparameter	11
3.1.1 Raumgewicht und Wassergehalt (Feinerde)	11
3.1.2 C _{tot} - und N _{tot} -Gehalt	13
3.1.3 Fazit Begleitparameter	14
3.2 Mikro- und molekularbiologische Parameter	14
3.2.1 Basalatmung	14
3.2.2 Biomassen-Kohlenstoff (SIR)	15
3.2.3 Biomassen-Kohlenstoff (FE)	16
3.2.4 DNS-Menge	18
3.2.5 Fazit mikro- und molekularbiologische Parameter	19
3.3 Vergleichbarkeit der Messmethoden	19
3.3.1 Fazit Vergleichbarkeit der Messmethoden	20
3.4 Referenzproben	20
3.4.1 Fazit Referenzierung	21
4. Ausblick.....	22
4.1 Weiterführen der Messreihen	22
4.2 Referenzierung	22
4.3 Statistische Auswertung	22
4.4 Auswahl / Reduktion der Messgrößen	22
4.5 Sequenzierung	22
4.6 Ergänzende Untersuchungen: Partnerprojekt NF68 - Nematoden	23
5. Verzeichnisse.....	24
5.1 Literaturverzeichnis	24
5.2 Abbildungsverzeichnis	25
5.3 Tabellenverzeichnis	25
Anhang	26

Zusammenfassung

Der gesetzliche Auftrag für die Bodendauerbeobachtung wurde mit der Ablösung der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo, 1986) durch die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, 1998) ausgeweitet - neben chemischen sollen neu auch physikalische und biologische Bodenbelastungen untersucht werden. Der Boden stellt mit seinen verschiedenen Funktionen ein zentrales Glied in einem intakten Ökosystem dar. Die meisten dieser Funktionen oder Ökosystemleistungen, wie etwa die biologische Stickstoffbindung, der Abbau von organischem Material oder die Grundwasserfilterung, stehen in direktem Zusammenhang mit den im Boden lebenden Organismen. Um das Zusammenwirken dieser Funktionen mit den Bodenorganismen besser verstehen zu können ist es für die Nationale Bodenbeobachtung (NABO) von grossem Interesse, bodenbiologische Parameter routinemässig in ihr Messprogramm aufzunehmen. Zudem reagieren Bodenlebewesen sensibel auf Veränderungen in ihrer Umwelt und können frühzeitig Hinweise auf schädliche Veränderungen im System Boden liefern. Mit Art. 2a der VBBo ist der Auftrag an die NABO gegeben, Aussagen über die standorttypischen Lebensgemeinschaften machen zu können (VBBo, 1998). Weiter verlangt die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS), dass „die Überwachung der Veränderung von Ökosystemen, Arten und der genetischen Vielfalt ... bis 2020 sichergestellt“ sein muss (Strategisches Ziel 10; BAFU, 2012).

Basierend auf den Erkenntnissen von bereits durchgeführten bodenbiologischen Untersuchungen der NABO und (inter-)nationalen Richtlinien, wurde im Frühjahr 2012 das Pilotprojekt NABObio12_13 gestartet. An 30 NABO-Referenzmessstandorten sollten während den Jahren 2012 und 2013 mittels Flächenmischproben (0-20 cm) die bodenmikrobiologischen Parameter mikrobielle Biomasse (bestimmt mit den Methoden Fumigation-Extraktion (FE) und Substratinduzierte Respiration (SIR)), Basalatmung und die DNS-Menge gemessen werden. Für die Interpretation dieser Messwerte, wurden wichtige Begleitparameter wie das Raumgewicht Feinerde, der pH-Wert und der C/N-Gehalt bestimmt. Mit NABObio12_13 wurde die Basis für den Start einer Zeitreihe von bodenbiologischen Parametern in der NABO gelegt. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Beprobungsjahre 2012 und 2013 dargestellt und erläutert. Im Ausblick werden die weiteren Schritte dargelegt, die für die NABO notwendig sind, um den Auftrag, der durch die VBBo (Art. 2a; VBBo, 1998) und die Strategie Biodiversität Schweiz (Strategisches Ziel 10; BAFU, 2012) gegeben sind, erfüllen zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass Ackerstandorte tendenziell bei allen aufgenommenen biologischen Messgrössen tiefere Werte aufweisen als Grasland- und Waldstandorte. Die Werte der Ackerstandorte können aufgrund derselben Beprobungstiefe von 0-20 cm und identischen Messmethoden mit den Vergleichswerten der Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter der VBB (VBB, 2009) und mit weiteren Studien (Oberholzer et al. 2007; Fliessbach et al. 2007; Zihlmann et al. 2012) verglichen werden und sind plausibel. Die Zusammenhänge zwischen allen erhobenen Parametern wurden mit einer Korrelationsanalyse (Spearman) untersucht. Dabei wurden zwischen allen aufgenommenen Parametern, mit Ausnahme des pH-Wertes, signifikante Korrelationskoeffizienten ($p > 0.01$) festgestellt. Die relativ hohen Korrelationskoeffizienten (0.65 bis 0.85), die die Summenparameter der mikro- und molekularbiologischen Biomassen zeigen, deuten auf redundante Informationen über diese biologischen Bodeneigenschaften hin. Die Messwerte der Referenzproben sind stabil und die festgestellten Abweichungen von der Erstmessung liegen im Bereich der zu erwartenden Streuung. Diese gute Übereinstimmung der Referenzprobenwerte lässt den Schluss zu, dass das Messsystem während den Jahren 2012 und 2013 stabil war. Es wird davon ausgegangen, dass die gemessenen Werte der feldfrischen Acker- und Graslandstandorte nicht vom Messsystem beeinflusst wurden.

Mit der Verlängerung der Zeitreihe werden die Bandbreite von „natürlich“ vorhandenen biologischen Bodeneigenschaften (*base lines* oder *target ranges*) und die standorttypischen Lebensgemeinschaften genauer definiert werden können. Gemäss der LAZBO-Studie kann erst nach mindestens sechs Jahren beur-

teilt werden, ob die bis jetzt festgestellten Schwankungen der Messgrössen umweltbedingt sind (Schwab et al. 2006). Zudem sind (multivariate) statistische Auswertungen notwendig, um Zusammenhänge zwischen Standorteigenschaften, Begleitparametern und den mikro- und auch mesobiologischen¹ Messgrössen besser erklären zu können. Dabei sollen auch Klima- und Nährstoffdaten miteingeschlossen werden.

Aufgrund der hohen Korrelationskoeffizienten (0.65 bis 0.85) zwischen den mikro- und molekularbiologischen Biomassen könnte allenfalls die Anzahl dieser Summenparameter reduziert werden. Bei der Streichung von Messgrössen gilt es jedoch zu bedenken, dass es für das Verständnis von Prozessen im Boden notwendig ist, so viele Messgrössen wie möglich aufzunehmen. Bei den Messmethoden der mikrobiellen Biomasse ist aufgrund von Literaturstudien die Fumigations-Extraktionsmethode vorherrschend. Sollte man sich für die Verwendung von nur noch einer Methode entschliessen, sollte aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen (internationalen) Studien die Fumigations-Extraktionsmethode bevorzugt werden. Der Vergleich mit Messwerten anderer Studien ist nur möglich und sinnvoll, wenn dieselben Beprobungstiefen und Analysemethoden angewendet wurden. Eine nationale und auch internationale Angleichung bzw. Standardisierung der Methoden ist anzustreben und weiter auszubauen. Die standortspezifische und vor allem zeitgleiche Referenzierungsmethode sollte vorerst beibehalten werden. Notwendig sind auch Referenzmessungen an Proben für die DNS-Mengen (alle Standorte) und Basalatmung bei den Waldstandorten.

Die Standortmittelwerte der DNS-Mengen zeigen zwischen den Erhebungsjahren grössere Abweichungen als die anderen mikrobiologischen Parameter. Dennoch hat sich das nutzungsbedingte Bild der DNS-Mengen für die Standorte in den zwei Jahren wiederholt. Relativ gute Übereinstimmungen zwischen den Jahren zeigen vor allem die DNS-Mengen der Graslandstandorte. Damit ist ein Grundstein gelegt, der der NABO die Möglichkeit eröffnet, mit der molekulargenetischen Analytik die Diversität der Bodenorganismen und deren Funktionen zu untersuchen. Mittelfristig kann damit ein Beitrag zur „Überwachung der Veränderung von Ökosystemen, Arten und der genetischen Vielfalt ...“ geleistet werden (Strategisches Ziel 10 der Strategie Biodiversität Schweiz). Ende 2014 wurde vom Bundesamt für Umwelt ein Projekt genehmigt, in dessen Rahmen die bereits bestehenden DNS-Extrakte von 2012 und 2013 sequenziert werden können. Mit diesen DNS-Analysen können die Zusammensetzung der Pilz- und Bakteriengemeinschaften der 30 NABO-Standorte ermittelt und Aussagen über die standorttypischen Lebensgemeinschaften gemacht werden.

¹ Im Frühjahr 2014 wurden im Rahmen eines NF68-Projekts an den 30 NABO-Referenzmessstandorten die Lebensgemeinschaften von entomopathogenen Nematoden (EPN) bestimmt. Ein wichtiges Ziel dieser Arbeit ist das Feststellen von standorttypischen Gehaltsbereichen (*base lines*) der verschiedenen Parametern an Standorten unterschiedlicher Landnutzungen.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Seit 1984 betreiben die Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW) gemeinsam das Nationale Bodenbeobachtungsprogramm (NABO). Dieses basiert auf dem Umweltschutzgesetz (USG, 1983) und der damals noch geltenden Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo, 1986). Zurzeit wird im landesweiten NABO-Referenzmessnetz die Belastung des Bodens mit anorganischen und organischen Schadstoffen an über 100 Standorten in fünfjährigen Beprobungszyklen überwacht. Mit der Ablösung der VSBo (1986) durch die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, 1998), die neu neben chemischen auch physikalische und biologische Bodenbelastungen umfasst, wurde der gesetzliche Auftrag für das Bodenmonitoring ausgeweitet.

Viele auch für den Menschen wichtige Bodenfunktionen, wie der Abbau von organischem Material, die Stickstofffixierung oder die Grundwasserfilterung, sind unter anderem von den im Boden lebenden Organismen abhängig. Es ist heute unumstritten, dass Bodenlebewesen hauptverantwortlich sind für viele Prozesse, die im Boden ablaufen (Francaviglia, 2008). Bodenlebewesen reagieren sensibel auf Veränderungen ihres Lebensraumes. Um frühzeitig Hinweise auf schädliche Veränderungen im System Boden zu erhalten, ist es für die Nationale Bodenbeobachtung NABO von grosser Bedeutung, bodenbiologische Parameter routinemässig in ihr Messprogramm aufzunehmen. Mit Art. 2a der VBBo ist der Auftrag an die NABO gegeben, Aussagen über die standorttypischen Lebensgemeinschaften machen zu können (VBBo, 1998). Weiter verlangt die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS), dass „die Überwachung der Veränderung von Ökosystemen, Arten und der genetischen Vielfalt ... bis 2020 sichergestellt“ sein muss (Strategisches Ziel 10; BAFU, 2012).

1.2 Das Projekt NABObio12_13

Basierend auf den Erkenntnissen, die mit dem Projekt LAZBObio und der Zustandserhebung von 2004 und 2005 (Oberholzer et al. 2007) gemacht wurden, wurde im Jahr 2012 damit begonnen, an 30 ausgewählten NABO-Referenzmessstandorten folgende mikro- und molekularbiologische Eigenschaften und Begleitparameter aufzunehmen: mikrobielle Biomasse (BM), bestimmt mit den Methoden „Substratinduzierte Respiration“ (SIR) und „Chloroform-Fumigations-Extraktion“ (FE), Basalatmung, die DNS-Menge und wichtige Begleitparameter wie der pH-Wert, das C/N-Verhältnis, die Bodentemperatur und das Raumgewicht Feinerde. Die klassischen mikrobiologischen Bestimmungsmethoden für die mikrobielle Biomasse und Basalatmung werden in der neu gestarteten Messreihe durch die sich rasch entwickelnde molekulargenetische Analytik ergänzt. Im Rahmen des Projektes NABObio12_13 sollen an den ausgewählten NABO-Referenzmessstandorten Aussagen über den Zustand bodenbiologischer Eigenschaften gemacht und die erforderlichen methodischen Kriterien für eine Dauerbeobachtung weiter überprüft und festgelegt werden. Mit NABObio12_13 wurde die Basis für den Start einer Zeitreihe von bodenbiologischen Parametern in der NABO gelegt. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit F. Widmer (Gruppe Molekulare Ökologie) und H.R. Oberholzer (Gruppe Bodenfruchtbarkeit/ Bodenschutz) Agroscope und B. Frey (Gruppe Rhizosphären Prozesse) der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL durchgeführt (Tab. 2). In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Beprobungsjahre 2012 und 2013 dargestellt und erläutert. Wo möglich, werden die Messwerte mit anderen Studien verglichen. Im Ausblick werden die weiteren Schritte dargelegt, die für die NABO notwendig sind, um den Auftrag, der durch die VBBo (VBBo, 1998) und die Strategie Biodiversität Schweiz (BAFU, 2012) gegeben sind, erfüllen zu können.

2. Material und Methoden

2.1 Standortauswahl

Die Untersuchungen erfolgen an 10 Acker-, 10 Grasland- und 10 Waldstandorten des NABO-Referenzmessnetzes (Abb. 1). Die Ackerbau- und Graslandstandorte lassen sich aufgrund ihrer Bewirtschaftungsintensität in intensiv und extensiv genutzte Standorte unterteilen (Graslandstandorte: Höhenlage, Anzahl der Gülle- bzw. Mistausbringung; Ackerbaustandorte: mais-, kartoffel- oder zuckerrübenbetonte vs. getreidebetonte Fruchtfolge). Bei der Auswahl der Waldstandorte werden die Waldtypen Laub-, Misch- und Nadelwald unterschieden (vgl. Tab. 2). Um für die Interpretation der Ergebnisse eine möglichst gute Datenlage zu haben, die auch multivariate statistische Auswertungen zulässt, wurde bei der Auswahl der Ackerbau- und Graslandstandorte darauf geachtet, dass diese wenn möglich auch Bestandteil des NABO-Flux-Programms sind. Alle ausgewählten Waldstandorte sind auch Standorte des Nitrate-Leaching-Projekts (Waldner et al. 2010). Zwei Drittel der Waldstandorte befinden sich in nächster Umgebung von LWF-Flächen².

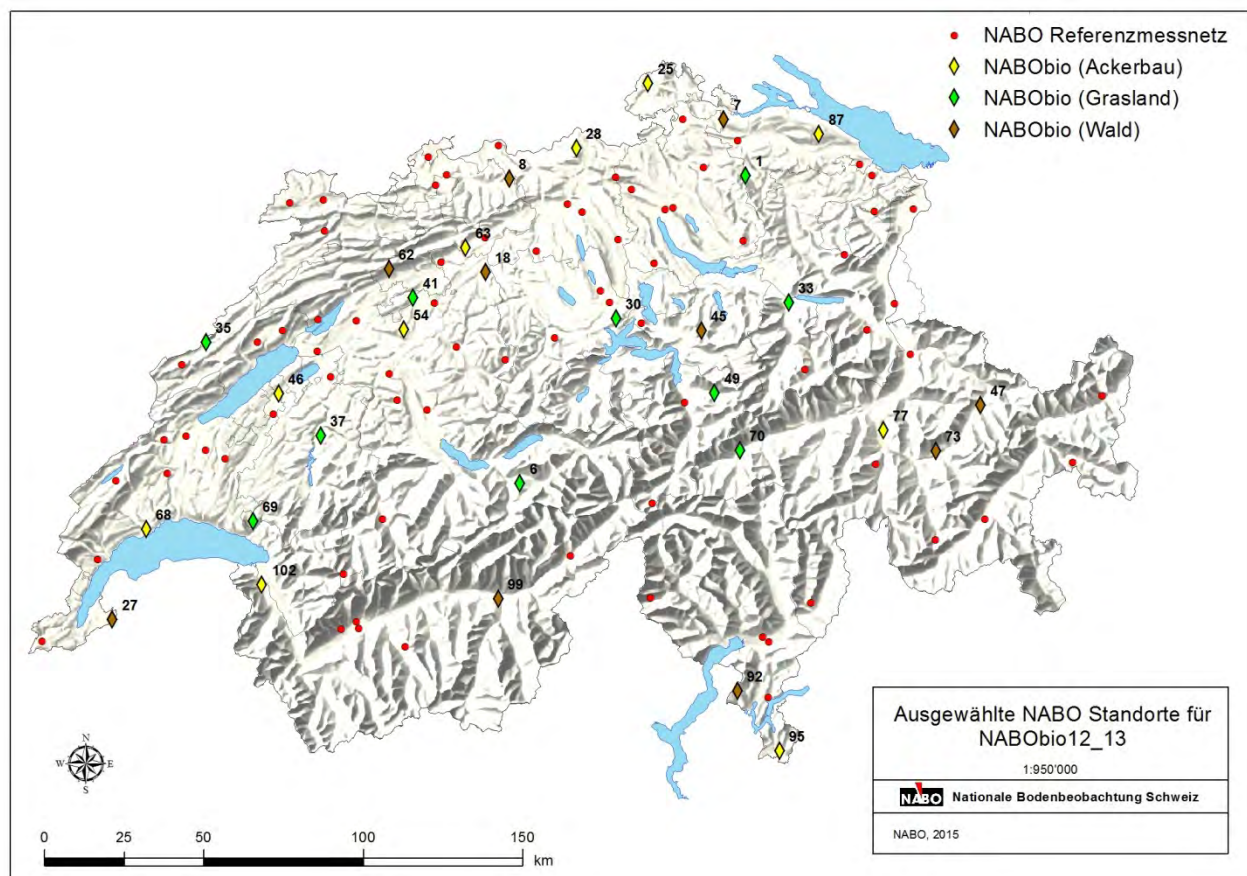


Abbildung 1: Ausgewählte NABO-Referenzmessstandorte für das Projekt NABObio12_13 (als Rhomben dargestellt)

² Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF

Tabelle 1: Bodeneigenschaften und Nutzung der beprobten NABO-Referenzmessstandorte

						Bodenkenngrossen 0 - 20cm							
Nutzung	NABO-Standort	m.ü.M.	Nutzung: Intensiv / Extensiv	Bodentyp (gemäss FAL)	pH (CaCl2)	CaCO3 ^a %	C _{org} ^b %	Ton %	Schluff %	RG FE ^c g/cm³	Skelett Vol. %		
Ackerbau	25 Schleithem / Milten	SH	545	I	Braunerde	6.8	2.8	2.4	59	30	0.9	1.0	
	46 Vallon	FR	439	I	Braunerde-Gley	6.8	10.2	2.8	43	46	1.1	0.0	
	54 Zuzwil	BE	557	I	Braunerde	6.0	0.0	1.3	12	35	1.4	3.4	
	95 Coldrerio	TI	336	I	Braunerde	5.8	0.0	1.7	21	38	1.2	4.9	
	102 Vouvy	VS	379	I	Fluvisol	6.5	8.5	1.3	6	60	1.1	0.6	
	28 Leuggern / Etzwil	AG	465	E	Braunerde-Pseudogley	5.3	0.1	1.8	14	34	1.2	3.1	
	63 Oensingen	SO	450	E	Braunerde-Pseudogley	5.4	0.0	2.0	36	45	1.1	0.0	
	68 Etoy	VD	435	E	Braunerde	5.3	0.0	1.4	19	45	1.3	2.0	
	77 Paspels	GR	830	E	Phäozem	6.1	0.0	2.6	18	51	1.0	4.8	
87 Klarsreuti	TG	559	E	Braunerde	5.2	0.0	1.7	24	44	1.1	3.7		
Grasland	1 Aadorf / Tänikon	TG	537	I	Braunerde	6.2	0.9	3.9	35	34	1.0	2.6	
	30 Ebikon / Dottenberg	LU	635	I	Saure Braunerde	5.0	0.1	2.8	20	33	1.0	2.3	
	33 Mollis	GL	431	I	Fahlgley	5.9	0.0	3.8	33	55	0.8	0.2	
	35 Le Cerneux-Péquignot	NE	1093	I	Braunerde	5.6	0.0	3.5	28	49	1.0	0.0	
	69 Attalens / Rombuet	FR	818	I	Braunerde	5.8	0.0	3.3	26	37	0.9	5.9	
	6 Grindelwald / Itramen	BE	1915	E	Braunpodsol	3.9	0.0	6.5	25	50	0.7	0.0	
	37 Ependes	FR	735	E	Braunerde	5.9	0.0	2.7	19	35	1.1	1.7	
	41 Kyburg-Buchegg	SO	464	E	Braunerde-Gley	4.9	0.0	2.4	24	34	1.1	0.0	
	49 Unterschächen	UR	1100	E	Braunerde	4.6	0.0	5.7	33	27	0.8	4.1	
70 Disentis	GR	1105	E	Braunerde	5.5	0.0	3.6	13	37	0.9	11.3		
Laub- wald	8 Rothenfluh	BL	695		Rendzina	6.6	2.0	4.9	14	72	0.6	5.1	
	27 Jussy / Les Grands Bois	GE	505		Pseudogley	4.4	0.0	2.7	24	51	1.0	1.0	
	62 Bettlach / Bettlachstock	SO	1065		Braunerde	5.4	0.2	3.7	31	52	0.8	0.0	
Misch- wald	92 Novaggio / Cima Pianca	TI	1080		Humus-Eisenpodsol	3.9	0.0	11.7	n.b.	n.b.	0.4	8.7	
	7 Oberstammheim	ZH	581		Braunerde	5.1	0.0	2.9	28	35	0.9	4.0	
Nadel- wald	18 Langenthal / Riedhof	BE	525		Parabraunerde	3.7	0.0	4.1	19	52	0.9	0.0	
	45 Alpthal / Erlentobel	SZ	1180		Fahlgley	5.8	0.0	13.1	n.b.	n.b.	0.2	0.0	
	47 Davos / Seehornwald	GR	1655		Humus-Eisenpodsol	3.3	0.0	18.6	n.b.	n.b.	0.3	5.0	
	73 Alvaneu	GR	1560		Regosol	4.9	0.0	5.0	21	22	0.7	11.2	
	99 Visp / Albulawald	VS	830		Braunerde	5.5	0.0	5.1	12	45	0.6	3.7	

aCaCO₃ = KalkbC_{org} = Organischer Kohlenstoff

cRG FE = Raumgewicht Feinerde, zusammen mit dem Skelettgehalt in der NABO-Fünfterhebung bestimmt (Gubler et al. in Vorbereitung).

n.b. = nicht bestimmt

2.2 Probenahme

Die Probenahme, -aufbereitung und -lagerung erfolgt gemäss den Referenzmethoden der Eidg. Landw. Forschungsanstalten (FAL, FAW, RAC, 1998). Um die Bedingungen den Anforderungen des Projektes NABObio12_13 anzupassen, wurden dabei folgende Punkte modifiziert:

- Um die Dauerbeobachtungsflächen der NABO-Referenzmessstandorte vor zu intensiver Störung zu schützen, werden die Proben für bodenbiologische Untersuchungen auf einer Fläche entnommen, die direkt angrenzend an die reguläre NABO-Referenzmessfläche liegt. Die Fläche beträgt ebenfalls 10 x 10 m (Abb. 2).
- Stichprobenzahl: 3 Mischproben aus je 25 Einstichen pro Standort (mit Hohlmeisselbohrer, 2.5 cm Ø). Dieses Vorgehen lehnt sich an internationale Untersuchungen an, die mindestens 15 Einstiche für eine Mischprobe empfehlen (Lischer et al. 2001, Wagner et al. 2001). Bei der Ersterhebung im Frühjahr 2012 wird pro Standort eine vierte Mischprobe jeweils aus dem 4. Quadranten als Referenzprobenmaterial genommen (in Abb. 2 rot markiert).
- Beprobungstiefen: 0-20 cm für Grasland-, Ackerland- und Waldstandorte
- Wenn möglich sollen die Proben zu folgendem Zeitpunkt entnommen werden (FAL, FAW, RAC, 1998):
 - im Frühjahr nachdem die Böden aufgetaut und nicht mehr wassergesättigt sind
 - vor Beginn der Bodenerwärmung (je nach Höhenlage unterschiedlich)
 - vor Vegetationsbeginn und der ersten Düngung
 - vor einer Bodenbearbeitung oder einem Weidegang
- Zur Bestimmung des Raumgewichts der Feinerde sowie des Wassergehaltes, wird mit der Humax-Schlagsonde (Ø 4.8 cm) in den Ecken der Fläche jeweils im 4. Quadranten eine Volumenprobe (Zylinderproben, 0-20 cm) entnommen.

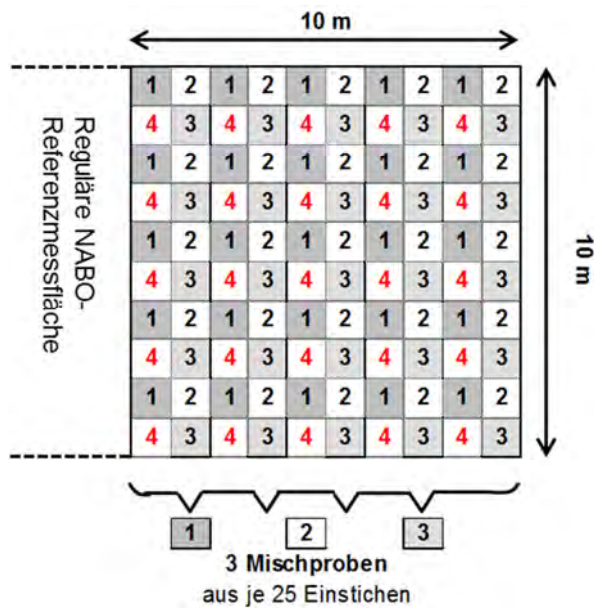


Abbildung 2: Schema für Probenahme der Flächenmischproben für NABObio12_13. Die Proben aus den Quadranten 1 bis 3 ergeben die Mischproben. Das Probenmaterial aus den 4. Quadranten wird als Referenzprobenmaterial verwendet.

2.3 Messgrößen und Bestimmungsmethoden

Basierend auf den Erkenntnissen des LAZBO-Projekts (Schwab et al. 2006), des Projekts Erfassung von bodenmikrobiologischen Kennwerten (Oberholzer et al. 2007) und den Empfehlungen der interkantonalen Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB, 2009) werden klassische mikrobielle Parameter wie die mikrobielle Biomasse (SIR und FE) und die Basalatmung bestimmt. Ergänzt werden diese Methoden mit der molekulargenetischen Analytik (DNS-Menge). Weiter werden wichtige Begleitparameter wie der pH-Wert, das C/N-Verhältnis und das Raumgewicht Feinerde gemessen. Die Parameter werden gemäss den Referenzmethoden der Eidg. Landw. Forschungsanstalten (FAL, FAW, RAC, 1998), die DNS-Menge wird mit der PicoGreen-Methode bestimmt (Tab. 2).

Tabelle 2: Aufgenommene Messgrößen und Bestimmungsmethoden

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Methode
Mikrobielle Biomasse ¹ Substratinduzierte Respiration	Biomasse (SIR)	mg C _{mik} kg ⁻¹ TS	B-BM-HM
Mikrobielle Biomasse ^{1,3} Chloroform-Fumigations- Extraktionsmethode	Biomasse (FE)	mg C _{mik} kg ⁻¹ TS	B-BM-FE
Basalatmung ^{1,3}	Basalatmung (BA)	mg CO ₂ -C kg ⁻¹ TS h ⁻¹	B-BA-IS
DNS-Menge ^{2,3}	DNS-Menge	mg DNS kg ⁻¹ TS	PicoGreen
pH-Wert ⁴	pH-Wert		pH CaCl ₂
C/N-Verhältnis ⁴	C/N		Trockenveraschung
Raumgewicht Feinerde ⁴	RG FE	g cm ⁻³	
Wassergehalt Feinerde ⁴	WG FE	Gewichts-%	gravimetrisch
Bodentemperatur (-5 cm/-15 cm) ⁴	B.temp.	C°	
Lufttemperatur ⁴	L.temp	C°	

1 Messungen durch H.R. Oberholzer (Acker- und Graslandstandorte),

2 Messungen durch F. Widmer (Acker- und Graslandstandorte),

3 Messungen durch B. Frey (Waldstandorte)

4 Messungen durch NABO (Acker-, Grasland-, Waldstandorte)

2.4 Referenzierung der Messwerte

Für die Dauerbeobachtung ist die bestmögliche Eliminierung von methodischen Fehlern zwischen den Bestimmungen von Bodeneigenschaften verschiedener zeitlicher Erhebungen eine wichtige Voraussetzung. Werden mit den jeweiligen Laborproben einer Erhebung stabile Referenzproben zeitgleich mitgemessen, können mit den Bestimmungswerten dieser Referenzproben die Messabweichungen vom Messniveau der Ersterhebung bestimmt und die jeweiligen Messwerte der aktuellen Erhebung korrigiert werden. Basierend auf den Erfahrungen des LAZBO-Projektes (Schwab et al. in Vorb.), werden in diesem Projekt bei standortbezogenen Referenzproben die Biomasse (SIR und FE)- und die Basalatmungs-Werte bestimmt. Die Korrektur der Messwerte kann damit für jeden Standort aufgrund der mittleren Messabweichung zur Ersterhebung von 2012 der tiefgeköhlt (- 20°C) gelagerten Referenzproben erfolgen. Pro Standort und Jahr kann so ein spezifische Korrekturwert bestimmt werden (Ammann, 2010; Meuli et al. 2014). Die Anwendbarkeit der Referenzierung für bodenbiologische Parameter ist noch nicht abschliessend geklärt. Deshalb werden in diesem Bericht die Messwerte noch nicht anhand der Werte der Referenzproben korrigiert. Die Werte der Referenzproben werden separat dargestellt (siehe Kap. 3.4.).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Begleitparameter

3.1.1 Raumgewicht und Wassergehalt (Feinerde)

Damit für die Langzeitbeobachtung die Vergleichbarkeit der Proben geprüft werden kann, sind der Wassergehalt der feldfrischen Proben und das Raumgewicht Feinerde (Trockensubstanz Feinerde pro Volumeneinheit) zusätzlich zu bestimmen. Der Zustand des Bodens bei der Probenahme beeinflusst u.a. die Zusammensetzung der Bodenprobe. Durch Quellen und Schrumpfen des Bodens werden unterschiedliche Mengen von unterschiedlichen Horizonten mit jeweils anderen C_{org} -Gehalten entnommen. Mit der Bestimmung dieser Begleitparameter kann die Vergleichbarkeit der beobachteten Boden-Trockenmasse und des Bodenzustandes (Wassergehalt) ausgewiesen werden (Schwab et al. in Vorb.). Basierend auf den Empfehlungen des LABZO-Projekts, werden in den laufenden Untersuchungen diese Parameter ebenfalls erfasst.

Die Raumgewichte (Feinerde) der Jahre 2012 und 2013 stimmen bei den Acker- und Graslandstandorten gut überein (Abb. 3). Bei den Waldstandorten gibt es zwischen den Erhebungsjahren grössere Abweichungen, wie etwa beim Standort 62 (Bettlach) oder 73 (Alvaneu). Diese Unterschiede weisen auf unterschiedliche Probenahmebedingungen und unterschiedliche Zusammensetzungen der Bodenprobe hin (vgl. auch Abb. 5 und 6).

Im Allgemeinen zeigen die Standorte ein nutzungsbedingt typisches Bild von eher hohen Raumgewichten bei den Ackerstandorten, mittleren Werten für Graslandstandorte und eher tiefe Raumgewichte bei den Waldstandorten.

Die Wassergehalte (Feinerde) der Beprobungsjahre 2012 und 2013 sind für alle Standorte vergleichbar. Einzig der Standort 92 (Novaggio) weist im Jahr 2013 einen auffällig tieferen Wert auf (Abb. 4). Dies ist ein Hinweis auf unterschiedliche Bedingungen bei der Probenahme (vgl. Abb. 5).

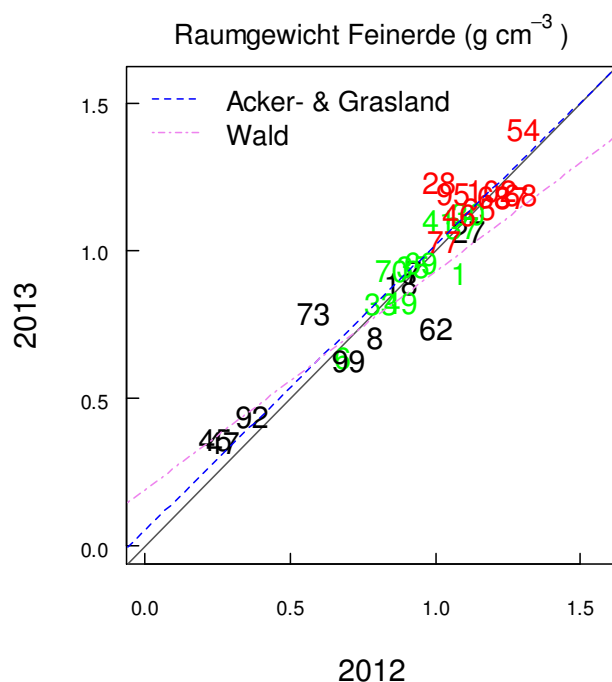


Abbildung 3: Regression der Raumgewichte Feinerde ($g\ cm^{-3}$) von 2012 vs. 2013. Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.

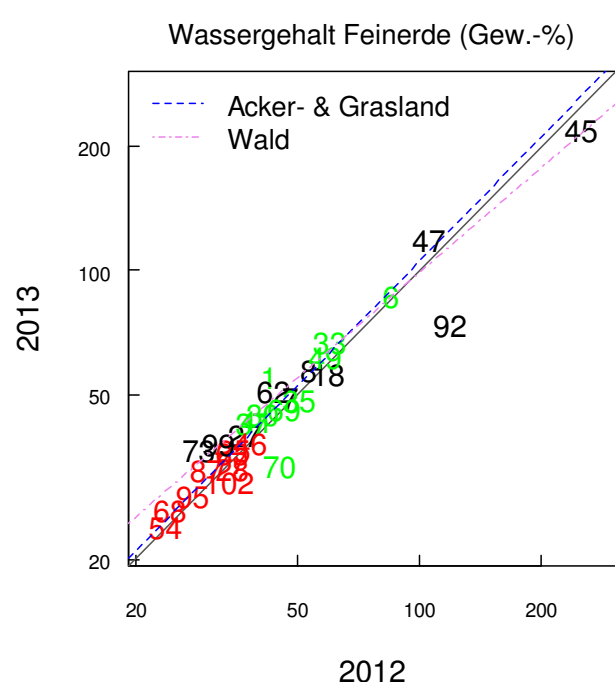


Abbildung 4: Regression der Wassergehalte Feinerde (Gew.-%) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.



Abbildung 5 a,b: Standort 92 (Novaggio). Unterschiedliche Probenahmebedingungen zwischen den Erhebungsjahren. Probenahmedatum: 24.4.12 (links); 8.5.13 (rechts).



Abbildung 6 a,b: Standort 62 (Bettlach). Unterschiedliche Probenahmebedingungen zwischen den Erhebungsjahren. Probenahmedatum: 18.4.12 (links); 16.4.13 (rechts).

3.1.2 C_{tot} - und N_{tot} -Gehalt

Die Messungen der C_{tot} - und N_{tot} -Gehalte der beiden Erhebungsjahre liegen sehr nahe beieinander, wobei sowohl die C_{tot} - als auch die N_{tot} -Gehalte im Jahr 2012 etwas tiefer liegen als im Jahr 2013. Die weiten C/N-Verhältnisse der beiden Waldstandorte 45 (Alpthal) und 47 (Davos) stimmen gut mit den dort vorzufindenden hohen Gehalten an wenig zersetzter Streu überein.

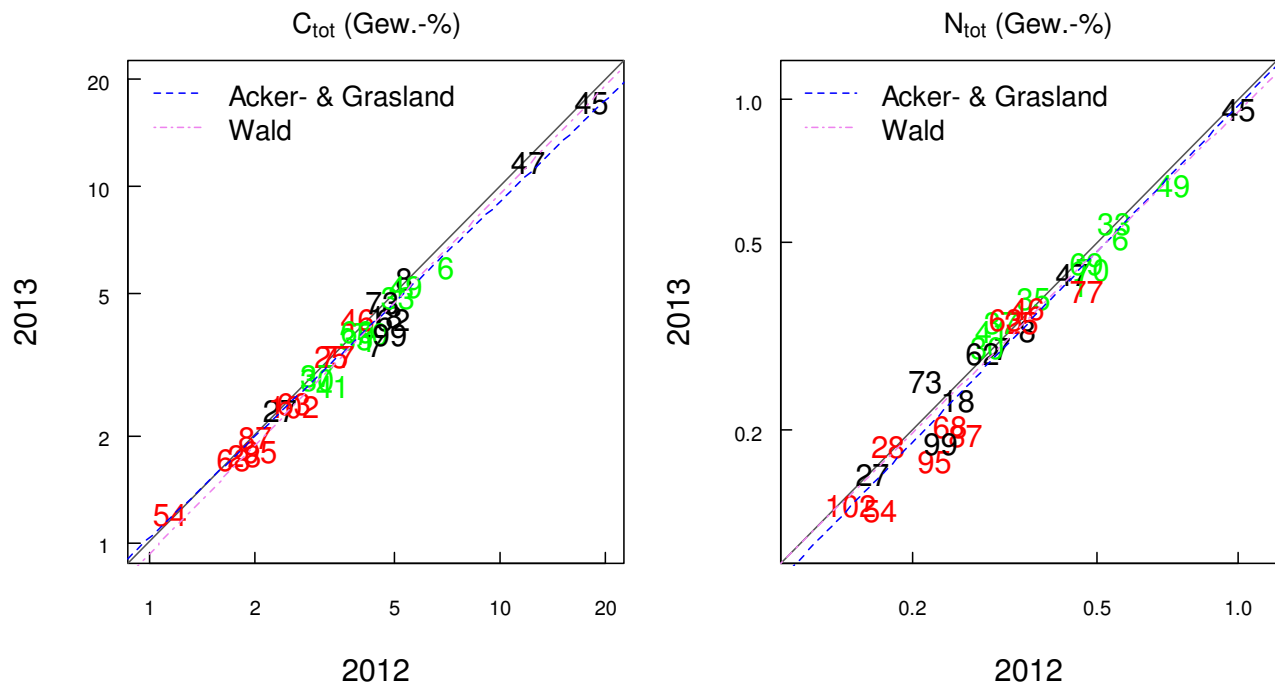


Abbildung 7: Regression der C_{tot} - und N_{tot} -Gehalte (%) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.

Tabelle 3: Gruppenmittelwerte der aufgenommenen Begleitparameter und Standardabweichung (in Klammern). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.

	Nutzung	Anzahl Standorte	WG [%]	RG FE [g cm ⁻³]	pH [CaCl ₂]	C_{tot} [%]	N_{tot} [%]
2012	Ackerbau	10	32 (5)	1.2 (0.1)	6.6 (0.7)	2.5 (0.9)	0.3 (0.1)
2013	Ackerbau	10	32 (5)	1.2 (0.1)	6.5 (0.7)	2.5 (1)	0.2 (0.1)
2012	Grasland	10	51 (14)	0.9 (0.1)	5.2 (0.7)	4.3 (1.2)	0.5 (0.1)
2013	Grasland	10	54 (16)	0.9 (0.1)	5.3 (0.7)	4.1 (1.1)	0.4 (0.1)
2012	Wald	10	78 (68)	0.7 (0.3)	4.7 (1.2)	6.8 (5.0)	0.4 (0.3)
2013	Wald	10	76 (57)	0.7 (0.2)	5.0 (1.3)	7.2 (5.1)	0.4 (0.3)
2012	Laubwald	4	63 (38)	0.8 (0.3)	4.9 (1.4)	4.2 (1.6)	0.3 (0.1)
2013	Laubwald	4	56 (14)	0.7 (0.3)	5.1 (1.4)	6.3 (4.6)	0.4 (0.3)
2012	Mischwald	2	54 (8)	0.9 (0.0)	5.0 (2.3)	4.6 (0.2)	0.3 (0.0)
2013	Mischwald	2	53 (5)	0.9 (0.0)	5.1 (2.3)	4.0 (0.5)	0.3 (0.0)
2012	Nadelwald	4	104 (104)	0.4 (0.2)	4.4 (0.9)	10 (6.6)	0.5 (0.4)
2013	Nadelwald	4	104 (87)	0.5 (0.2)	4.9 (1.2)	9.5 (6.4)	0.5 (0.3)

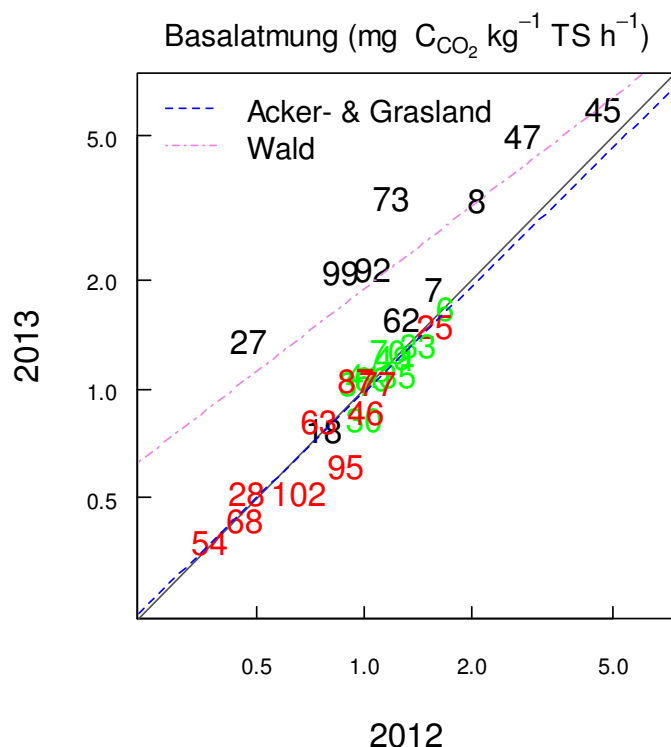
3.1.3 Fazit Begleitparameter

- Beim Raumgewicht Feinerde hat sich das nutzungsbedingte Bild von eher hohen Raumgewichten bei den Ackerstandorten, mittleren Werten für Graslandstandorte und eher tiefen Raumgewichte bei den Waldstandorten im Jahr 2012 im 2013 bestätigt.
- Die Messwerte der Begleitparameter unterscheiden sich zwischen den beiden Erhebungsjahren vor allem für die Acker- und Graslandstandorte nur wenig.
- Unterschiedliche meteorologische Bedingungen bei den Probenahmen können die Raumgewichte und Wassergehalte beeinflussen. Auffällige Messwerte der mikrobiologischen Untersuchung können mit den Begleitparametern umfassender interpretiert werden.

3.2 Mikro- und molekularbiologische Parameter

3.2.1 Basalatmung

Die Messwerte für die Basalatmung der Ackerstandorte liegen 2013 rund 4 % unter jenem von 2012. Die Werte der Graslandstandorte haben sich während den zwei Jahren nicht verändert. Die Waldstandorte zeigen grössere Abweichungen, wobei alle Werte aus dem Jahr 2013 zum Teil sehr deutlich (mehr als 40 %) über jenen des Jahres 2012 liegen. Dies lässt vermuten, dass es bei den Waldstandorten im Jahr 2012 zu systematischen Messfehlern gekommen ist (Abb. 8). Ein gepaarter t-Test auf Basis der log-transformierten Basalatmungswerte ergab, dass auf einem Signifikanzniveau von 5 % nur die Veränderungen an den Waldstandorten statistisch signifikant sind (p-Wert 0.001).



unter den in dieser Untersuchung ermittelten Gruppenmittelwerten (Schwab et al. in Vorb.)³. Die Vergleichswerte der Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter der VBB für die Basalatmung liegen für Ackerland zwischen minimal 0.18 und maximal 1.14 mg CO₂-C kg⁻¹h⁻¹ (VBB, 2009). Die NABObio-Werte liegen in derselben Grössenordnung.

Tabelle 4: Gruppenmittelwerte Basalatmung (BA) (mg CO₂-C kg⁻¹h⁻¹) und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.

	Nutzung	Anzahl Standorte	BA [mg CO ₂ -C kg ⁻¹ h ⁻¹]	sd
2012	Ackerbau	10	0.82	0.37
2013	Ackerbau	10	0.78	0.35
2012	Grasland	10	1.2	0.22
2013	Grasland	10	1.2	0.23
2012	Wald	10	1.67	1.24
2013	Wald	10	2.77	1.67
2012	Laubwald	4	1.21	0.66
2013	Laubwald	4	2.12	0.89
2012	Mischwald	2	1.16	0.56
2013	Mischwald	2	1.34	0.79
2012	Nadelwald	4	2.37	1.74
2013	Nadelwald	4	4.14	1.71

3.2.2 Biomassen-Kohlenstoff (SIR)

Die Messwerte für die Biomasse (SIR) der Gras- und Ackerstandorte haben sich während den zwei Erhebungsjahren wenig verändert (Abb. 9). Die Werte der Ackerstandorte liegen 2013 rund 9 % unter jenem von 2012. Die Werte der Graslandstandorte liegen 2013 rund 8 % unter denjenigen von 2012. Der gepaarte t-Test auf Basis der log-transformierten Biomasse (SIR)-Werte ergab, dass auf einem Signifikanzniveau von 5 % nur die Veränderungen an den Graslandstandorten statistisch signifikant sind (p-Wert 0.02). Die nutzungsbedingt tieferen Werte der Ackerstandorte zeigen sich in beiden Jahren. Im Jahr 2013 wiesen Ackerstandorte Biomassegehalte zwischen 324 und 1360 mg C_{mik} kg⁻¹ TS und Graslandstandorte zwischen 594 und 1472 mg C_{mik} kg⁻¹ TS auf (Gruppenmittelwerte vgl. auch Tab. 5). Mit Ausnahme des Standorts 25 (Schleitheim) sind die gemessenen Biomassegehalte (SIR) der Ackerstandorte mit folgenden Studien vergleichbar: In einem Versuch in Burgrain (BE) wurden BM-SIR-Gehalte zwischen ca. 380 und rund 1000 mg C_{mik} kg⁻¹ TS gemessen (Zihlmann et al. 2012). In der LAZBO-Studie wiederum wurden Mittelwerte von Ackerstandorten zwischen 287 und 360 mg C_{mik} kg⁻¹ TS gemessen (Schwab et al., in Vorb.). Die Vergleichswerte der VBB für Ackerland liegen zwischen minimal 189 und maximal 1163 mg C_{mik} kg⁻¹ TS (VBB, 2009). Die Biomasse (SIR) wurde für die Waldstandorte nicht bestimmt.

³ In der LAZBO-Studie wurden nur die Ackerstandorte 0-20 cm tief beprobt. Die Graslandstandorte wurden 0-10 cm tief beprobt und die Resultate lassen sich nicht mit denjenigen dieser Untersuchung vergleichen.

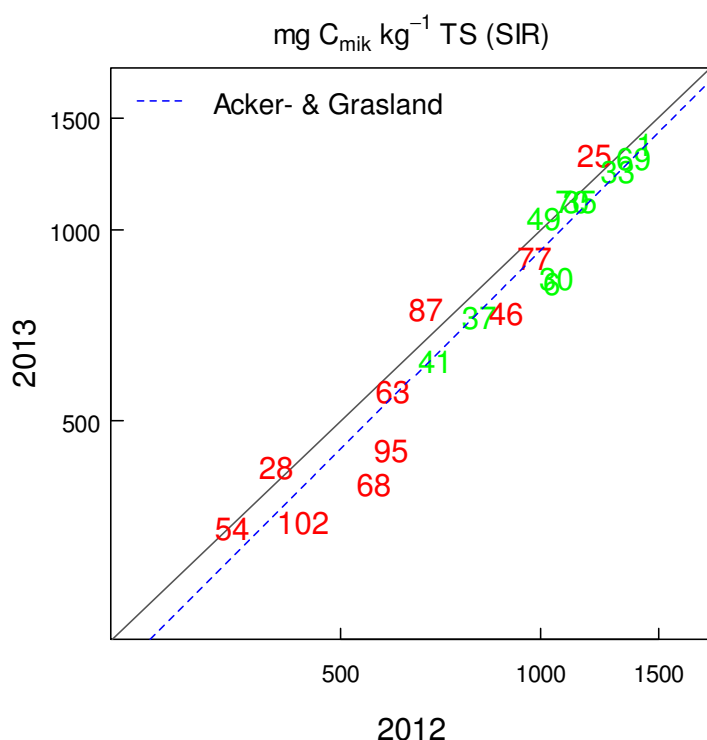


Abbildung 9: Regression C_{mik} -Gehalte (SIR) ($\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland.

Tabelle 5: Gruppenmittelwerte mikrobielle Biomasse (SIR) ($\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$) und Standardabweichung (sd).

	Nutzung	Anzahl Standorte	C_{mik} (SIR) [mg kg^{-1}]	sd
2012	Ackerbau	10	667	274
2013	Ackerbau	10	627	313
2012	Grasland	10	1097	235
2013	Grasland	10	1027	255

3.2.3 Biomassen-Kohlenstoff (FE)

Die Biomasse (FE)-Werte der Acker- und Graslandstandorte liegen 2013 lediglich rund 4% unter jenen von 2012. Gleich wie bei allen anderen mikrobiologischen Parametern ist auch hier der Einfluss der Nutzung auf die Biomasse zu erkennen. Im Jahr 2013 wiesen Ackerstandorte Biomassegehalte zwischen 271 und 1296 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$ und Graslandstandorte zwischen 957 und 1537 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$ auf. Die Biomassegehalte der Ackerstandorte sind mit den Werten der LAZBO-Studie vergleichbar (NABO-Mittelwert im Jahr 2013: 670 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$, LAZBO-Studie: Ackerstandortmittelwerte zwischen 415 und 650 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$). Im DOK-Versuch wurden Biomassegehalte zwischen 218 und 360 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$ gemessen (Fließbach et al. 2007). Im Vergleich zu dieser Studie ist der NABO-Mittelwert von 670 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$ relativ hoch (vgl. auch Tab. 6). Die Vergleichswerte der VBB für Ackerland liegen zwischen minimal 216 und maximal 1692 $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1} \text{ TS}$ (VBB, 2009).

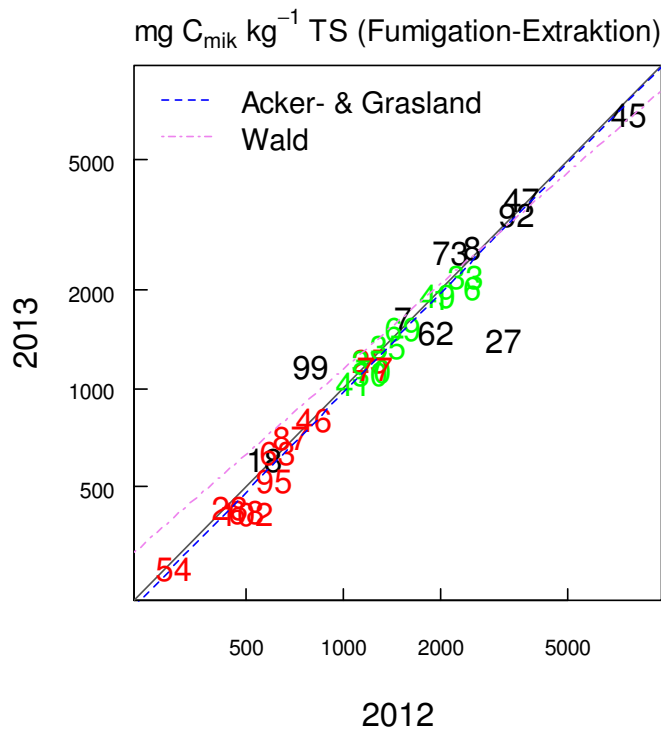


Abbildung 10: Regression C_{mik} -Gehalte (FE) ($mg C_{mik} kg^{-1}$) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.

Die Messwerte der Waldstandorte zeigen auch hier ein heterogeneres Bild und Unterschiede zwischen den Erhebungsjahren bei einzelnen Standorten sind deutlicher. Dies kann einerseits mit dem heterogenen Proben der Waldstandorte zusammenhängen (Beprobung über verschiedene Bodenhorizonte). Andererseits können auch die unterschiedlichen Bedingungen (Bodenfeuchte, -temperatur) bei den Probenahmen die Messergebnisse beeinflusst haben (vgl. Abb. 4, 5 und 6). Für die meisten Waldstandorte werden nur geringe Abweichungen zwischen 2012 und 2013 beobachtet, aufgrund der deutlichen Abnahme des Gehalts am Standort 27 (Jussy) liegt der Mittelwert für 2013 jedoch deutlich unter jenem von 2012.

Tabelle 6: Gruppenmittelwerte mikrobielle Biomasse (FE) $mg C_{mik} kg^{-1}$ TS und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.

	Nutzung	Anzahl Standorte	C_{mik} (FE) [$mg kg^{-1}$]	sd
2012	Ackerbau	10	691	315
2013	Ackerbau	10	673	325
2012	Grasland	10	1647	528
2013	Grasland	10	1570	443
2012	Wald	10	2734	2035
2013	Wald	10	2612	1865
2012	Laubwald	4	2755	676
2013	Laubwald	4	2283	980
2012	Mischwald	2	1046	682
2013	Mischwald	2	1141	737
2012	Nadelwald	4	3557	3001
2013	Nadelwald	4	3678	2489

3.2.4 DNS-Menge

Die DNS-Mengen weichen zwischen den zwei Erhebungsjahren deutlicher voneinander ab als die übrigen mikrobiologischen Parameter. Grössere Unterschiede zwischen den Erhebungen zeigen wiederum einzelne Waldstandorte, z. B. Standort 99 (Visp), 62 (Bettlach) oder 8 (Rothenfluh) (Abb. 11, Tab. 7). Die DNS-Mengen der Acker- und Graslandstandorte sind im Jahr 2012 tendenziell höher als im Jahr 2013, wobei die Werte der Ackerstandorte von 2013 rund 23 % unter jenen von 2012 und die Werte der Graslandstandorte rund 9 % unter denjenigen von 2012 zu liegen kommen. Die Werte der Waldstandorte liegen rund 20 % unter denjenigen von 2012. Der gepaarte t-Test auf Basis der log-transformierten DNS-Gehalte ergab, dass auf einem Signifikanzniveau von 5 % nur die Veränderungen an den Ackerstandorten statistisch signifikant sind (p-Wert 0.02).

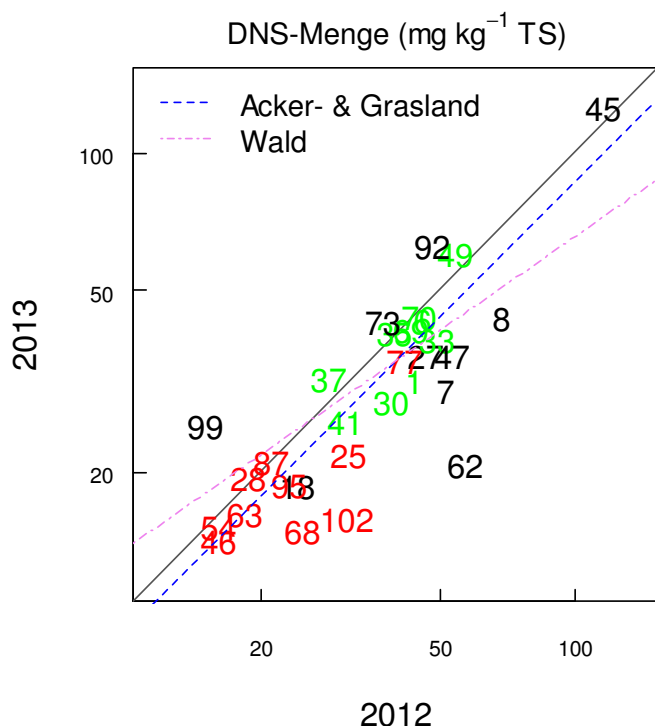


Abbildung 11: Regression DNS-Gehalte (mg DNS kg^{-1}) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.

Tabelle 7: Gruppenmittelwerte der DNS-Mengen (mg DNS kg^{-1}) und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.

	Nutzung	Anzahl Standorte	DNS [mg kg^{-1}]	sd
2012	Ackerbau	10	24	8
2013	Ackerbau	10	19	6
2012	Grasland	10	42	8
2013	Grasland	10	39	10
2012	Wald	10	52	27
2013	Wald	10	45	32
2012	Laubwald	4	55	10
2013	Laubwald	4	41	18
2012	Mischwald	2	38	19
2013	Mischwald	2	25	8
2012	Nadelwald	4	55	43
2013	Nadelwald	4	58	47

3.2.5 Fazit mikro- und molekularbiologische Parameter

- In den zwei Erhebungsjahren hat sich das Bild wiederholt, dass die Landnutzungsgruppen „Ackerbau“, „Grasland“ und „Wald“ einen Einfluss auf die bodenbiologischen Parameter haben. Bei allen vier mikrobiologischen Parametern zeigt sich, dass Ackerstandorte tiefere Werte als Graslandstandorte aufweisen. Dies konnte auch in anderen Bodendauerbeobachtungsprogrammen nachgewiesen werden (Rutgers et al. 2009; Griffiths et al. 2011; Dequiedt et al. 2011).
- Waldstandorte zeigen ein heterogeneres Bild als Acker- und Graslandstandorte.
- Die Messwiederholungen sind für die Parameter BM-SIR, BM-FE und BA auf ähnlichem Niveau.
- Die Standortmittelwerte der DNS-Mengen zeigen zwischen den Erhebungsjahren grössere Abweichungen als die anderen mikrobiologischen Parameter. Dennoch hat sich das nutzungsbedingte Bild auch bei den DNS-Mengen in den zwei Jahren wiederholt. Relativ gute Übereinstimmungen zwischen den Jahren zeigen vor allem die DNS-Mengen der Graslandstandorte (vgl. Tab. 7).

3.3 Vergleichbarkeit der Messmethoden

Die Zusammenhänge zwischen den erhobenen Parametern wurden mit einer Korrelationsanalyse untersucht. Dabei wurden zwischen allen Parametern signifikante Korrelationen (p -Wert < 0.01 für Korrelationskoeffizienten nach Spearman) festgestellt. Eine Ausnahme ist der pH-Wert (Tab. 8). Betrachtet man die Korrelation des pH-Werts mit den bodenbiologischen Grössen, ergeben sich sehr unterschiedliche Bilder, je nachdem ob der gesamte Datensatz oder die einzelnen Landnutzungen separat betrachtet werden (Tab. 9). Die Landnutzung beeinflusst sowohl pH-Wert als auch die Bodenbiologie sehr stark. Graslandböden sind in der Regel biologisch aktiver als Ackerböden und sind gleichzeitig saurer. Somit resultieren negative Korrelationen, die aufgrund der grossen Streuungen jedoch nicht signifikant sind. Betrachtet man hingegen die Ackerstandorte alleine, so ist der pH-Wert mit den bodenbiologischen Grössen positiv korreliert und die Korrelationen sind zumeist sehr hoch (Ausnahme: DNA-Menge). Die Korrelationen der Grasland- und Waldstandorte ergeben hingegen kein einheitliches Bild, da es innerhalb dieser Gruppen wiederum verschiedene Standortgruppen gibt (intensives und extensives Grasland bzw. Nadel-, Misch- und Laubwald) und sie sich betreffend Bodeneigenschaften weniger ähnlich sind, als die Standorte innerhalb der Ackerstandortgruppe. Die Effekte der Standortnutzung überdecken auch hier den Einfluss des pH-Werts. Mit Hilfe der geplanten multivariaten Auswertungen sollen diese Zusammenhänge noch vertiefter untersucht werden. Die Streudiagramme mit Korrelationskoeffizienten sind im Anhang abgebildet.

Tabelle 8: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen allen erhobenen Parametern (Messwerte von 2013). Fett gedruckt sind signifikante Korrelationskoeffizienten (p -Wert < 0.01).

RG FE	-0.83								
pH	-0.58	0.54							
C _{tot}	0.84	-0.91	-0.46						
N _{tot}	0.7	-0.59	-0.34	0.73					
BA	0.67	-0.86	-0.35	0.76	0.47				
C _{mik} (SIR)	0.69	-0.77	-0.14	0.74	0.77	0.82			
C _{mik} (FE)	0.83	-0.86	-0.42	0.83	0.68	0.9	0.85		
N _{mik} (FE)	0.85	-0.91	-0.49	0.83	0.83	0.78	0.75	0.94	
DNS	0.65	-0.71	-0.49	0.7	0.69	0.72	0.71	0.84	0.88
	WG	RG FE	pH	C _{tot}	N _{tot}	BA	C _{mik} (SIR)	C _{mik} (FE)	N _{mik} (FE)

Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen den erhobenen Parametern und dem pH-Wert (Messwerte von 2013).

	Ackerbau	Grasland	Wald
	pH	pH	pH
WG %	0.41	0.09	-0.44
RG FE	-0.47	-0.02	0.26
pH	1	1	1
C _{tot}	0.65	-0.05	-0.31
N _{tot}	0.12	0.03	-0.21
BA	0.54	-0.18	0.05
C _{mik} (SIR)	0.35	0.85	n.b.
C _{mik} (FE)	0.38	0.22	-0.1
N _{mik} (FE)	0.48	0.18	n.b.
DNS	-0.04	-0.2	0.04

In der LAZBO-Studie wurden vergleichbare Korrelationskoeffizienten berechnet (Schwab et al. in Vorb.). Die signifikanten Korrelationskoeffizienten zwischen den aufgenommenen Parametern weisen darauf hin, dass alle Messgrößen von denselben standörtlichen Umweltbedingungen geprägt werden. Die hohen Korrelationen deuten auf redundante Informationen über die biologischen Bodeneigenschaften hin. Der negative Zusammenhang zwischen dem Raumgewicht und allen mikrobiologischen Messgrößen ist mit den nutzungsbedingt verdichteten Böden und der damit zusammenhängenden tieferen biologischen Aktivität zu erklären.

3.3.1 Fazit Vergleichbarkeit der Messmethoden

- Die signifikanten Korrelationskoeffizienten ($p\text{-Wert} < 0.01$) zwischen den aufgenommenen Parametern weisen darauf hin, dass alle Messgrößen von denselben standörtlichen Umweltbedingungen geprägt werden.
- Die relativ hohen Korrelationskoeffizienten (0.71 bis 0.85), die die Summenparameter der mikro- und molekularbiologischen Biomassen (C_{mik} SIR und FE und DNA-Menge) zeigen, deuten auf redundante Informationen über diese biologischen Bodeneigenschaften hin.
- Multivariate Auswertungen sind notwendig, um die Zusammenhänge umfassender erklären zu können.

3.4 Referenzproben

Das im Jahr 2012 entnommene (standortspezifische) Referenzprobenmaterial wurde im Jahr 2012 als Referenzwert gemessen. In allen darauffolgenden Jahren soll das Referenzprobenmaterial mit den feldfrischen Proben mitgemessen werden. In der Zeit dazwischen wird das Referenzprobenmaterial bei -20°C tiefgekühlt gelagert. Die Referenzprobenwerte der Basalatmung liegen im Jahr 2013 leicht über den Werten von 2012 (Abb. 12, oben links). Auffallend ist der Standort 6 (Grindelwald), der im Jahr 2013 einen höheren Wert als im Jahr 2012 zeigt. Bei den Biomasse-Parametern BM-FE (C_{mik} und N_{mik}) und BM-SIR wurden im Jahr 2013 leicht tiefere Werte als im Jahr 2012 gemessen. Die Messwerte der Referenzproben sind relativ stabil und die festgestellten Abweichungen von der Erstmessung liegen im Bereich der normalen Streuung. Dies zeigt, dass das Messsystem während den zwei Jahren stabil war. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Werte der feldfrischen Acker- und Graslandstandorte nicht vom Messsystem beeinflusst wurden. Bei den Waldstandorten wurde mit dem Referenzprobenmaterial nur die Biomasse (FE) (C_{mik}) gemessen (Abb. 12, unten rechts).

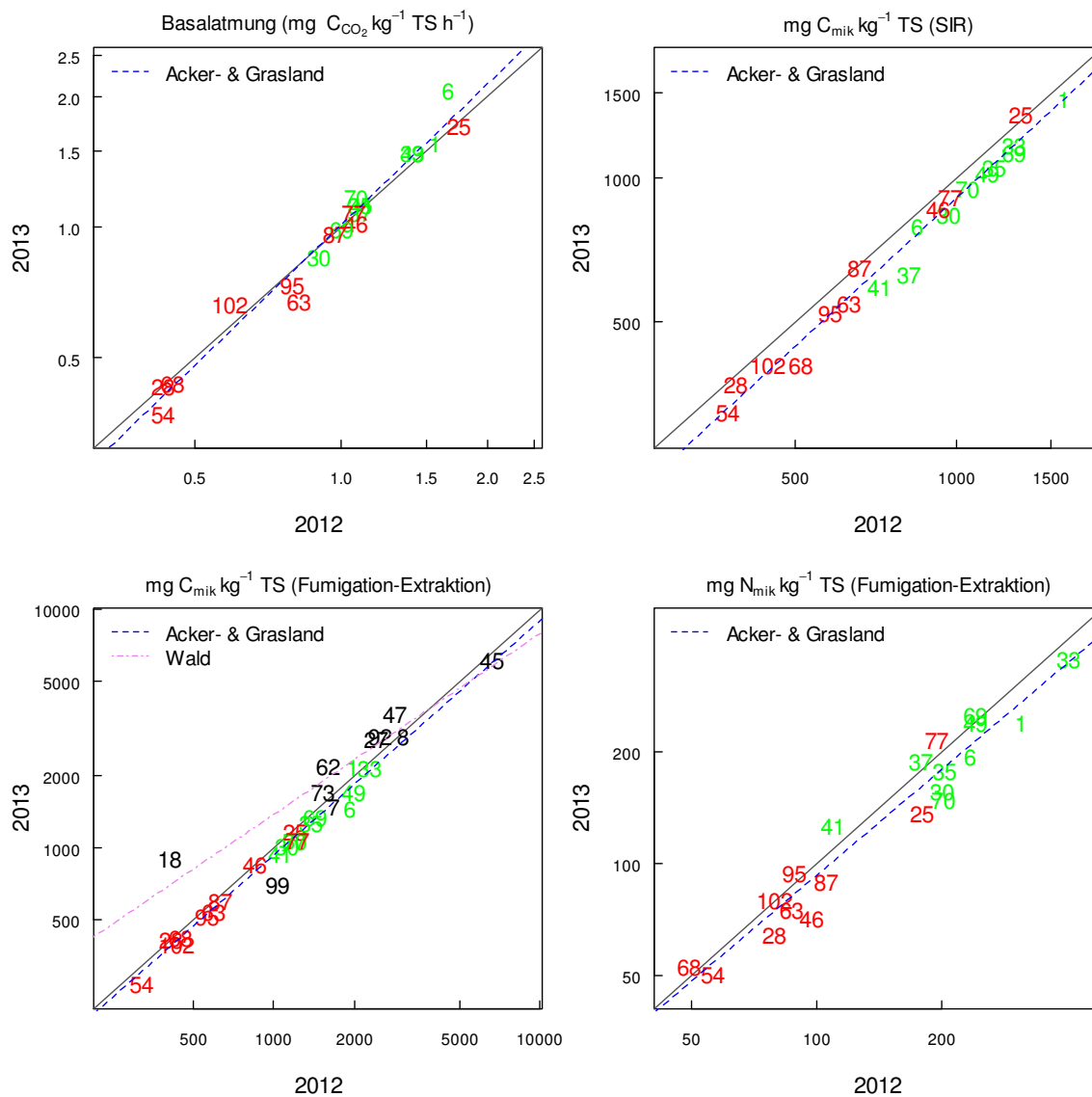


Abbildung 12: Regression der Werte der Referenzproben von 2012 vs. 2013; logarithmierte Darstellung. Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.

3.4.1 Fazit Referenzierung

- Die Messwerte der Referenzproben sind stabil und die festgestellten Abweichungen von der Erstmessung liegen im Bereich einer zu erwartenden Streuung.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Werte der feldfrischen Acker- und Graslandstandorte nicht vom Messsystem beeinflusst wurden.
- Die Stabilität des Messsystems wird weiterhin mit standortspezifischen Referenzproben überprüft. Dabei ist vor allem die zeitgleiche Messung der feldfrischen und gelagerten Referenzproben wichtig (vgl. auch Schwab et al., in Vorb.).
- Um die Veränderungen der DNS-Werte über die Zeit besser interpretieren zu können, ist die Bestimmung von DNS-Werten von Referenzproben notwendig.
- Referenzmesswerte sind auch für die Beurteilung der gemessenen Basalatmungswerte der Waldstandorte notwendig.

4. Ausblick

4.1 Weiterführen der Messreihen

Mit Art. 2a der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) ist der Auftrag an die NABO gegeben, Aussagen über die standorttypischen Lebensgemeinschaften machen zu können (VBBo, 1998). Neu kommt hinzu, dass die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) fordert, dass „die Überwachung der Veränderung von Ökosystemen, Arten und der genetischen Vielfalt ... bis 2020 sichergestellt“ sein muss (Strategisches Ziel 10; BAFU, 2012). Mit der Verlängerung der Zeitreihe können die Bandbreite von „natürlich“ vorhandenen biologischen Bodeneigenschaften (*base lines* oder *target ranges*) und die standorttypischen Lebensgemeinschaften genauer definiert werden. Gemäss der LAZBO-Studie kann erst nach mindestens sechs Jahren beurteilt werden, ob die bis jetzt festgestellten Schwankungen der Messgrössen umweltbedingt sind (Schwab et al. 2006). Weiter kann damit besser beurteilt werden, ob die gemessenen Werte innerhalb der Bandbreite von „natürlich“ vorhandenen Werten zu liegen kommen oder nicht und damit die Bodenfruchtbarkeit bedroht sein könnte. Es wird erwartet, dass mit einer Verlängerung der Zeitreihen die beobachteten Veränderungen zunehmend besser interpretiert werden können.

4.2 Referenzierung

Um die Veränderungen der DNS-Mengen besser interpretieren zu können, sollten auch hier Referenzwerte erarbeitet werden. Es ist geplant, im Frühjahr 2015 die DNS-Mengen des tiefgekühlten Probenmaterials der Ersterhebung zu bestimmen. Referenzwerte sind auch bei der Basalatmung der Waldstandorte anzustreben.

4.3 Statistische Auswertung

Weitere (multivariate) statistische Auswertungen sind notwendig, um mögliche Zusammenhänge zwischen den Standorteigenschaften und den bodenbiologischen Messgrössen besser erklären zu können. Dabei eingeschlossen sollen auch Klima-, Nährstoff-Daten und die Messergebnisse der weiteren Erhebungen werden⁴.

4.4 Auswahl / Reduktion der Messgrössen

Aufgrund der relativ hohen Korrelationskoeffizienten (0.65 bis 0.85) zwischen den mikro- und molekularbiologischen Biomassen könnte allenfalls die Anzahl dieser Summenparameter reduziert werden. Es ist jedoch unumstritten, dass es für das Verständnis von Prozessen im Boden notwendig ist, so viele Messgrössen wie möglich aufzunehmen. Da z. B. die mikrobielle Biomasse eine Schlüsselgrösse im Ökosystem Boden darstellt, sind alle Faktoren, die einen Einfluss auf diese haben können, von grossem Interesse (Grayston et al. 2001). Bei der Streichung einer Messgrösse ist auch zu bedenken, dass damit eine Zeitreihe langfristig unterbrochen bzw. abgebrochen wird. Bei den Messmethoden der mikrobiellen Biomasse ist aufgrund von Literaturstudien die Fumigations-Extraktionsmethode vorherrschend. Sollte man sich für eine der klassischen Messmethoden für die Biomasse (SIR oder FE) entscheiden müssen, sollte aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Studien die Fumigations-Extraktionsmethode beibehalten werden. Um (auffällige) Messresultate möglichst gut interpretieren zu können, sollten alle Begleitparameter weiterhin aufgenommen werden. Die meteorologischen Bedingungen bei den Probenahmen können die Raumgewichte und Wassergehalte und damit auch die (gewichtbezogenen) Messwerte beeinflussen.

4.5 Sequenzierung

Die molekularbiologische Analytik stellt bei der Erfüllung des Auftrages, der durch die VBBo (Art. 2a; VBBo, 1998) und die Strategie Biodiversität Schweiz (Strategisches Ziel 10; BAFU, 2012) gegeben ist, ein

⁴ Im Frühjahr 2015 werden die Standorte zum 4. Mal beprobt.

zentrales Instrument dar. Ende 2014 wurde vom Bundesamt für Umwelt (Abteilung Boden und Biotechnologie) ein Projekt genehmigt, in dessen Rahmen die bereits bestehenden DNS-Extrakte von 2012 und 2013 sequenziert werden können. Mittels DNS-Analysen kann die Zusammensetzung der Pilz- und Bakteriengemeinschaften der 30 NABO-Standorte ermittelt werden (PCR-Amplifikation und Sequenzierung von spezifischen Markergenen).

4.6 Ergänzende Untersuchungen: Partnerprojekt NF68 - Nematoden

Im Frühjahr 2014 wurden erstmals zwei zusätzliche Mischproben an jedem der 30 NABO-Referenzmessstandorte entnommen, um auch Untersuchungen auf der mesobiologischen Ebene durchzuführen. Im Rahmen eines NF68-Projekts⁵, konnten an den 30-NABObio -Referenzmessstandorten Lebensgemeinschaften von entomopathogenen Nematoden (EPN) bestimmt werden. Auch hierfür werden molekulargenetische Methoden verwendet. Ziel dieser Studie ist es, die biotischen und abiotischen Faktoren zu bestimmen, die das Vorkommen von EPN in Schweizer Böden bestimmen. Im Frühjahr 2015 wird eine zweite Erhebung durchgeführt. Mit dieser wiederholten Bestimmung der EPN können einerseits die Resultate validiert und andererseits auch die *base lines* an den jeweiligen Standorten besser eingegrenzt werden. Diese Untersuchung ermöglicht es der NABO, die standorttypischen Lebensgemeinschaften (vgl. VBBo, Art. 2, 1998) auch auf der mesobiologischen Ebene zu definieren.

⁵ Dr. Raquel Campos-Herrera führt diese Studie bei Prof. Ted Turlings am biologischen Institut der Universität Neuchâtel durch: *Applications of entomopathogenic nematodes for a sustainable control of soil insects*. NF68-Projekt.

5. Verzeichnisse

5.1 Literaturverzeichnis

- Ammann, S., 2010: Bodenbiologische Dauerbeobachtung: Anforderungen an die Messqualität. Bulletin BGS 30: 57-62.
- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009: Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- BAFU, 2012: Strategie Biodiversität Schweiz. In Erfüllung der Massnahme 69 (Ziel 13, Art. 14, Abschnitt 5) der Legislaturplanung 2007 – 2011: Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität.
- Dequiedt, S., Saby, N.P.A., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., Arrouays, D., Bispo, A., Lemanceau, R. und Ranjard, L., 2011: Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecol. Biogeogr.* 20: 641-652.
- FAL, FAW, RAC, 1998: Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung.
- Fließbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L. und Mäder, P., 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 273–284.
- Francaviglia, R., 2008: Agricultural Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analyses. OECD, Paris.
- Grayston, S.J., Griffith, G.S., Mawdsley, J.L., Campbell, C.D. und Bardgett, R.D., 2001: Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 33 (2001) 533-551.
- Griffiths, R.I., Thomson, B.C., James, Ph., Bell, Th., Bailey, M. und Whiteley, A.S., 2011: The bacterial biogeography of British soils. *Environ. Microbiol.* 13(6): 1642-1654.
- Gubler, A., Schwab, P., Wächter, D., Keller, A. und Meuli, R.G., in Vorbereitung: Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009.
- Lischer, P., Dahinden, R. und Desaulles, A., 2001: Quantifying uncertainty of the reference sampling procedure used at Dornach under different soil conditions. *Sci. Total Environ.* 264: 119-126.
- Meuli R.G., Schwab P., Wächter D. und Ammann S., 2014: Nationale Bodenbeobachtung (NABO) 1985–2004. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1409: 94 pp.
- Oberholzer, H.R., Scheid, S., Bonvicini, A., Müller, S., Brunner, H. und Schwab, P., 2007: Bodenmikrobiologische Kennwerte im NABO-Referenzmessnetz. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich.
- Rutgers, M., Schouten, A.J., Bloem, J., van Eerkeren, N., de Goede, R.G.M., Jagers, G.A.J.M., Akkerhuis, O.P., van der Wal, A., Mulder, C., Brussaard, L. und Breure, M., 2009: Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *Eur. J. Soil Sci.* 60: 820-832.
- Schwab, P., Weisskopf, P., Oberholzer, H.R., Scheid, S. und Berli, M., 2006: Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Teil 4: Folgerungen, Empfehlungen und Ausblick für die Langzeitbeobachtung. Agroscope FAL Reckenholz. Zürich.
- Schwab, P., Hug, A.S. und Oberholzer, H.R., in Vorb.: Langzeitbeobachtung von biologischen Bodeneigenschaften. Ergebnisse bodenmikrobiologischer Untersuchungen 2001-2006 im Projekt LAZBO – Schlussbericht. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- VBB, BSA, 2009: Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick.
- Wagner, G., Desaulles, A., Muntau, H., Theocharopoulos, S. und Quevauviller, Ph., 2001: Harmonization and quality assurance in pre-analytical steps of soil contamination studies - conclusions and recommendations of the CEEM Soil project. *Sci. Total Environ.* 264: 103-117.
- Waldner, P., Meuli, R., Walthert, L., Thimonier, A., Graf Pannatier, E. und Hagedorn, F., 2010: Veränderung des C/N-, des 15N/14N- und des 13C/12C-Verhältnisses auf NABO Flächen nahe der LWF-Standorte. WSL und Agroscope ART Reckenholz. Birmensdorf und Zürich.

Zihlmann, U., Jossi, W., Oberholzer, H., Weisskopf, P., Richner, W., Krebs, H., Tschachtli, R. und Nussbaumer, A., 2012: Bedeutung des Bodens im Anbausystemversuch Burgrain. Agrarforschung Schweiz 3(05), 264-271.

5.2 Abbildungsverzeichnis

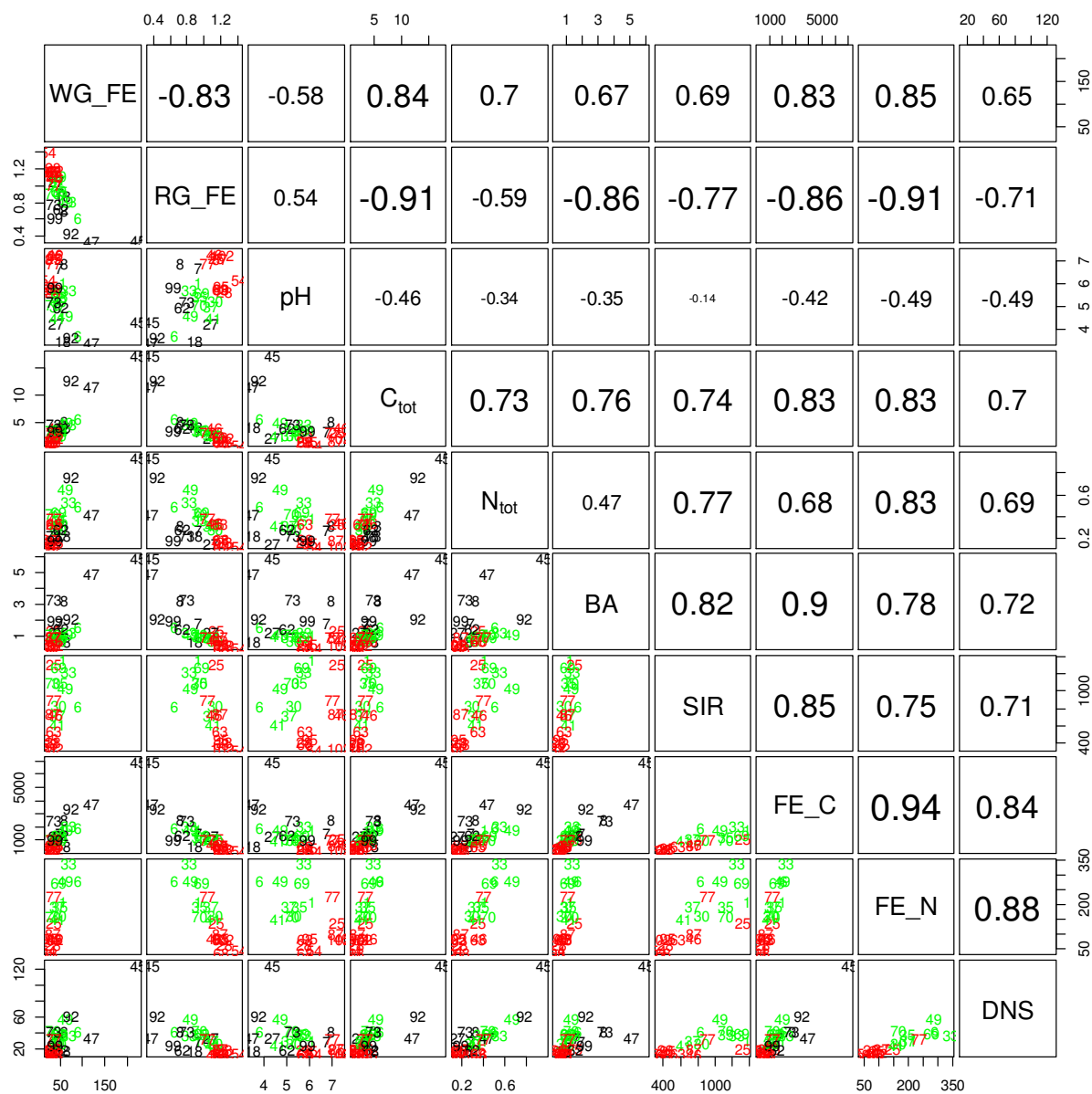
Abbildung 1: Ausgewählte NABO-Referenzmessstandorte für das Projekt NABObio12_13 (als Rhomben dargestellt).	7
Abbildung 2: Schema für Probenahme der Flächenmischproben für NABObio12_13. Die Proben aus den Quadranten 1 bis 3 ergeben die Mischproben. Das Probenmaterial aus den 4. Quadranten wird als Referenzprobenmaterial verwendet.	9
Abbildung 3: Regression der Raumgewicht Feinerden (g cm^{-3}) von 2012 vs. 2013. Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	11
Abbildung 4: Regression der Wassergehalte Feinerde (Gew.-%) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	11
Abbildung 5 a,b: Standort 92 (Novaggio). Unterschiedliche Probenahmebedingungen zwischen den Erhebungsjahren. Probenahmedatum: 24.4.12 (links); 8.5.13 (rechts).	12
Abbildung 6 a,b: Standort 62 (Bettlach). Unterschiedliche Probenahmebedingungen zwischen den Erhebungsjahren. Probenahmedatum: 18.4.12 (links); 16.4.13 (rechts).	12
Abbildung 7: Regression der C_{tot} - und N_{tot} -Gehalte (%) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	13
Abbildung 8: Regression der Basalatmung von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	14
Abbildung 9: Regression C_{mik} -Gehalte (SIR) ($\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland.	16
Abbildung 10: Regression C_{mik} -Gehalte (FE) ($\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	17
Abbildung 11: Regression DNS-Gehalte (mg DNS kg^{-1}) von 2012 vs. 2013; (Achsen log-skaliert). Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	18
Abbildung 12: Regression der Werte der Referenzproben von 2012 vs. 2013; logarithmierte Darstellung. Rot: Ackerland, grün: Grasland, schwarz: Wald.	21

5.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodeneigenschaften und Nutzung der beprobten NABO-Referenzmessstandorte	8
Tabelle 2: Aufgenommene Messgrößen und Bestimmungsmethoden	10
Tabelle 3: Gruppenmittelwerte der aufgenommenen Begleitparameter und Standardabweichung (in Klammern). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.	13
Tabelle 4: Gruppenmittelwerte Basalatmung (BA) ($\text{mg CO}_2\text{-C kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.	15
Tabelle 5: Gruppenmittelwerte mikrobielle Biomasse (SIR) ($\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$) und Standardabweichung (sd).	16
Tabelle 6: Gruppenmittelwerte mikrobielle Biomasse (FE) $\text{mg } C_{\text{mik}} \text{ kg}^{-1}$ TS und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.	17
Tabelle 7: Gruppenmittelwerte der DNS-Mengen (mg DNS kg^{-1}) und Standardabweichung (sd). Die Untergruppen der Waldstandorte (Laub-, Misch-, Nadelwald) werden anschliessend an die Hauptgruppen nochmals separat aufgezeigt.	18
Tabelle 8: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen allen erhobenen Parametern (Messwerte von 2013). Fett gedruckt sind signifikante Korrelationskoeffizienten ($p\text{-Wert} < 0.01$).	19
Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen den erhobenen Parametern und dem pH-Wert (Messwerte von 2013).	20

Anhang

Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten nach Spearman aller erhobenen Parameter mit Messwerten von 2013. Nummer: Standortnummer; rot: Ackerbau, grün: Grasland, schwarz: Wald. C_{mik} -SIR und N_{mik} (FE) wurde für Waldstandorte nicht bestimmt.)



Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten nach Spearman aller erhobener Parameter mit Messwerten von 2013 (ohne Waldstandorte). Nummer: Standortnummer; rot: Ackerbau, grün: Grasland

