

Die Kantonale Bodenbeobachtung (KABO)

Gemäss der kantonalen Verordnung über die Erhaltung der Lebensgrundlagen und der Kulturlandschaft (LKV 1998) unterhält das Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern (LANAT) eine Fachstelle Bodenschutz. Diese überwacht und beurteilt den Boden auf der Grundlage des Umweltschutzgesetzes (USG 1983) und der entsprechenden Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBO 1998) und trifft die erforderlichen Vorsorgemassnahmen. Die Fachstelle nimmt diese Auf-

gabe im Rahmen der KABO wahr: Seit 1994 misst sie in regelmässigen Abständen auf 19 Landwirtschaftsbetrieben des ackerbaulich intensiv genutzten Berner Mittellandes zahlreiche physikalische, biologische und chemische Messgrössen. Die erhobenen Daten werden periodisch ausgewertet. In den dazu erscheinenden Berichten wird über den Zustand der Berner Böden orientiert; darauf aufbauend werden geeignete Massnahmen zu deren nachhaltiger Nutzung vorgeschlagen (LKV 1998).

1 Erst- und Zweiterhebung

Der Schwerpunkt der Ersterhebung in der KABO lag bei der Erfassung des Ausgangszustandes sowie bei ersten Aussagen zu möglichen Auswirkungen landwirtschaftlicher Bodenbewirtschaftung, insbesondere von Bodenbearbeitungsmassnahmen, auf die Bodenfruchtbarkeit. Dazu wurden an jedem Standort eine Naturwiese (NW) sowie eine nahe gelegene und pedologisch ähnlich aufgebaute Ackerfläche (AF) beprobt und miteinander verglichen. Die Beprobungen der KABO-Standorte für die in der Methodensammlung der KABO (BSF 1996) beschriebenen Messgrössen erfolgten jeweils einmal pro Fruchtfolgeperiode, im zweiten Hauptnutzungsjahr der Kunstwiese auf beiden Flächen, NW und AF. Die Messgrösse «Perkolationsstabilität» wird seit 1997, die mikrobiellen Biomassen und die mikrobielle Bodenatmung werden seit 1999 untersucht. Bei den Messgrössen «Nährstoffe» erfolgte 1998 ein Laborwechsel. Zwischen 1994 und 2000 wurden alle 19 KABO-Standorte beprobt. Die daraus gewonnenen Resultate sind in zwei Berichten vorgestellt und eingehend diskutiert worden (BSF 1997, VOL 2003). Bei Messwiederholungen wurden die Daten mit Hilfe der explorativen Statistik dargestellt (z. B. Mediane, BSF 1997). Dabei stand der Vergleich der beiden Nutzungssysteme NW und AF bzw. der beiden

Tiefenstufen 0–20 cm = Oberboden (OB) und 20–40 cm = Unterboden (UB) im Vordergrund.

Die Zweiterhebung der Berner KABO-Standorte begann 2002 und konnte 2008 abgeschlossen werden. Sie erfolgte analog zur Ersterhebung an 17 der ursprünglich 19 KABO-Standorte; Spins und Frauenkappelen mussten wegen Bewirtschaftungsänderungen aufgegeben werden. Neu wurden im Jahr 2002 die Luftdurchlässigkeit und die Messgrössen zur Beschreibung der Strukturstabilität ins Untersuchungsprogramm aufgenommen. Weitere Laborwechsel erfolgten 2002 bei der Lagerungsdichte und den Messgrössen zur Beurteilung der Porosität sowie 2004 bei den mikrobiellen Messgrössen. In einem dritten Bericht konnten die Daten für die bodenkundlich interessierte Öffentlichkeit aufgearbeitet und diskutiert werden (VOL 2009). Neben den Nutzungssystemen (NW und AF) und den Tiefenstufen (OB und UB) wurden die Daten auch in Bezug auf die zeitliche Entwicklung zwischen den beiden Erhebungszyklen (erste und zweite Erhebung), die beiden Produktionsrichtlinien «Integrierte Produktion» (ÖLN) und «Biologischer Landbau» (BIO, Tabelle 1) sowie die zwei Anbausysteme «Direktsaat» (DS) und «Pflug» (PF) ausgewertet.

2 Wirkungsmonitoring auf Basis der Kantonalen Bodenbeobachtung (KABO)

Bis auf den Standort Roggwil ist mittlerweile auch die seit 2008 laufende Dritterhebung abgeschlossen – seit 2010 unter Einbezug der Messgrösse «Mykorrhizapilze». Zur Erweiterung der nach der Produktionsrichtlinie «BIO» produzierenden Betriebe kamen mit Hindelbank

und Kirchlindach zwei neue KABO-Standorte hinzu. Fast gleichzeitig kamen die Projektverantwortlichen des «Förderprogramms Boden Kanton Bern» zum Schluss, die Daten der KABO als Grundlage für das vom BLW geforderte Wirkungsmonitoring zu verwenden (VOL

Tabelle 1: KABO-Standorte mit Produktionsrichtlinie und Erhebungszyklus (Zeitperiode 1994–2015).

Standort \ Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Auswil					1					2										3		
Bantigen				1							2					3						4
Buch					1							2							3			
Clavaleyres						1							2					3				
Grasswil			1								2							3				
Hindelbank																3						
Kirchlindach																3						
Langnau			1							2					3							4
Madiswil				1									2						3			
Möriswil		1							2						3						4	
Niederösch						1				2							3					4
Roggwil			1									2										
Rubigen	1										2							3				
Rüderswil							1							2								3
Schlosswil	1												2									3
Seedorf		1								2							3					
Treiten		1													2							3
Uetzingen				1								2										3
Zollikofen I						1				2												3
Zollikofen II						1				2												3

Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis» = ÖLN

Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau» = BIO

2008). Erst- und Zweiterhebungs-Resultate dienten dabei der Beschreibung des Ausgangszustandes vor Programmbeginn. Dank den seit 1994 übermittelten Feldkalendereinträgen ist in der KABO die Wirkung der Bewirtschaftung schon immer erfasst und beurteilt worden. Um auf dieser Grundlage (langjährige Bodendaten und Feldkalendereinträge) die Wirkungsbeurteilung gezielt auf die im Förderprogramm Boden umgesetzten Massnahmen 1 bis 8 vornehmen zu können, erarbeitete man folgende fünf Hypothesen:

1. Wirkungsbeurteilung der **Boden schonenden Anbausysteme** «Mulchsaat» (Massnahme 1) und «Streifenfrässaat oder Direktsaat» (Massnahme 2):
Hypothese: je weniger der Oberboden bearbeitet wird, desto besser sind Bodenstruktur und Bodenstabilität in dieser Schicht und desto grösser ist die Regenwurmpopulation.
2. Wirkungsbeurteilung der **On Land-Befahrung** mit den Boden schonenden Anbausystemen «Mulchsaat» (Massnahme 1), «Streifenfrässaat oder Direktsaat» (Massnahme 2) oder dem «On Land-Pflug» (Massnahme 3):
Hypothese: je konsequenter flach oder unbearbeiteter Boden ausschliesslich

mit On Land-Befahrung bewirtschaftet wird, desto besser sind Bodenstruktur und Bodenstabilität im Unterboden.

3. Wirkungsbeurteilung der **ganzjährigen Bodenbedeckung** mit «Winterbegrünung» (Massnahme 5) oder «Untersaat» (Massnahme 6):
Hypothese: je konsequenter der Boden ganzjährig bedeckt und durchwurzelt ist bzw. je weniger der Boden bearbeitet wird, desto höher sind Humusgehalt, Perkulationsstabilität im Ober- und Unterboden, Biomasse und Aktivität der Bodenmikroorganismen im Oberboden.
4. Wirkungsbeurteilung des **Humus aufbauen den Acker- und Futterbaus** mit «Fruchtfolge» (Massnahme 4), «Winterbegrünung» (Massnahme 5), «Untersaat» (Massnahme 6) und «Mistkompostierung» (Massnahme 8):
Hypothese: je mehr organische Substanz vorhanden ist bzw. ausgebracht wird, desto besser sind Nährstoffeigenschaften und Bodenstruktur und umso intensiver ist das Bodenleben.
5. Wirkungsbeurteilung des **Hilfsmittel armen Acker- und Futterbaus** mit «Herbizidverzicht» (Massnahme 7) und infolge des höheren Anreizes für die Produktionsrichtlinie «BIO»:

Tabelle 2: KABO-Standorte mit Bodenbearbeitung der Ackerfläche und Erhebungszyklus (Zeitperiode 1994–2015).

Standort \ Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Auswil					1					2										3		
Bantigen				1							2					3					4	
Buch					1							2							3			
Clavaleyres						1							2						3			
Grasswil			1								2								3			
Hindelbank																3						
Kirchlindach																3						
Langnau			1							2					3						4	
Madiswil				1									2						3			
Möriswil		1							2						3					4		
Niederösch						1				2						3					4	
Roggwil			1									2										
Rubigen	1										2							3				
Rüderswil							1							2								3
Schlosswil	1												2								3	
Seedorf		1								2							3					
Treiten		1													2						3	
Uettlingen				1								2									3	
Zollikofen I						1				2	3											3
Zollikofen II						1				2												3

konventioneller Pflug = KPF
 Boden schonende Anbausysteme (Mulch-, Streifenfräs- und Direktsaat) = BSA
 On Land-Pflug = OLP

Tabelle 3: KABO-Standorte mit Grünlandnutzung der Naturwiesen und Erhebungszyklus (Zeitperiode 1994–2015).

Standort \ Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Auswil					1					2											3		
Bantigen				1							2					3						4	
Buch					1							2							3				
Clavaleyres						1							2						3				
Grasswil			1								2								3				
Hindelbank																3							
Kirchlindach																3							
Langnau			1							2					3							4	
Madiswil				1									2						3				
Möriswil		1							2						3						4		
Niederösch						1				2						3						4	
Roggwil			1									2											
Rubigen	1										2								3				
Rüderswil							1							2									3
Schlosswil	1												2									3	
Seedorf		1								2							3						
Treiten		1													2							3	
Uettlingen				1								2										3	

Grünlandnutzung Wiese
 Grünlandnutzung Weide

Hypothese: je mehr Dünger und Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, desto höher ist auf diesen Standorten der Schadstoffeintrag an Schwermetallen und PAK.

Die Schwierigkeit bei der Überprüfung dieser fünf Hypothesen bestand einerseits darin, sie mit einem Datensatz zu testen, der ursprünglich auf den Vergleich von Ackerflächen mit benachbarten Naturwiesen ausgerichtet war. Als erstes konnte der KABO-Standort Treiten wegen seinem überdurchschnittlich hohen Humusgehalt von 11.4 Gew.% und seinem stark abweichenden Tongehalt von 36.1 % nicht in die Hypothesen-Überprüfungen einbezogen werden. Weiter war eine Zuordnung insbesondere bei denjenigen Betrieben heikel, die während der KABO-Laufzeit ihre Bodenbearbeitung änderten oder auf eine andere Produktionsrichtlinie umstellten und somit je nach Erhebungszyklus verschieden zugeteilt werden mussten. In einem über zwanzigjährigen Beobachtungszeitraum lässt sich dies bei Praxisbetrieben allerdings kaum vermeiden. Gegenüber der letzten Datendarstellung (VOL 2009) wurden zudem folgende verfeinerte Einteilungen vorgenommen:

- Bei den Ackerflächen werden bei der ersten, zweiten und dritten Hypothese die Bodenschonenden Anbausysteme (BSA), On Land-Pflug (OLP) und konventioneller Pflug (KPF) unterschieden. Die BSA umfassen die Anbausysteme Mulch-, Streifenfräs- und Direktsaat (Tabelle 2).
- Bei den Naturwiesen wird bei der vierten und fünften Hypothese zwischen Wiese- und Weidenutzung unterschieden (Tabelle 3).
- Infolge der fehlenden Durchmischung von Bodenschichten wird bei der vierten und fünften Hypothese für Naturwiesen eine dritte Tiefenstufe 0–5 cm = oberster Oberboden (OOB) ausgewertet und diskutiert.

Die gewählte Statistik berücksichtigt diese Schwierigkeiten angemessen und führt zu vertrauenswürdigen Resultaten (NUSSBAUM 2014). Dies bedingte jedoch, dass die KABO-Daten für jede Hypothese einzeln gruppiert werden mussten.

3 Statistische Auswertung und Darstellung der Effekte

Die Standorte der KABO-Flächen können als zufällige Stichprobe aus den landwirtschaftlich genutzten Böden des Berner Mittellandes be-

zeichnet werden. Für jede Hypothese wurden die entsprechenden Messgrössen (y) definiert und auf Haupt- und Nebeneffekte mit der Formel

$$y_{jk} = \mu + \beta_1 H_{jk} + \beta_2 E_{jk} + \beta_3 T_{jk} + \beta_4 (B \times E)_{jk} + \beta_5 (B \times T)_{jk} + \beta_6 (T \times E)_{jk}$$

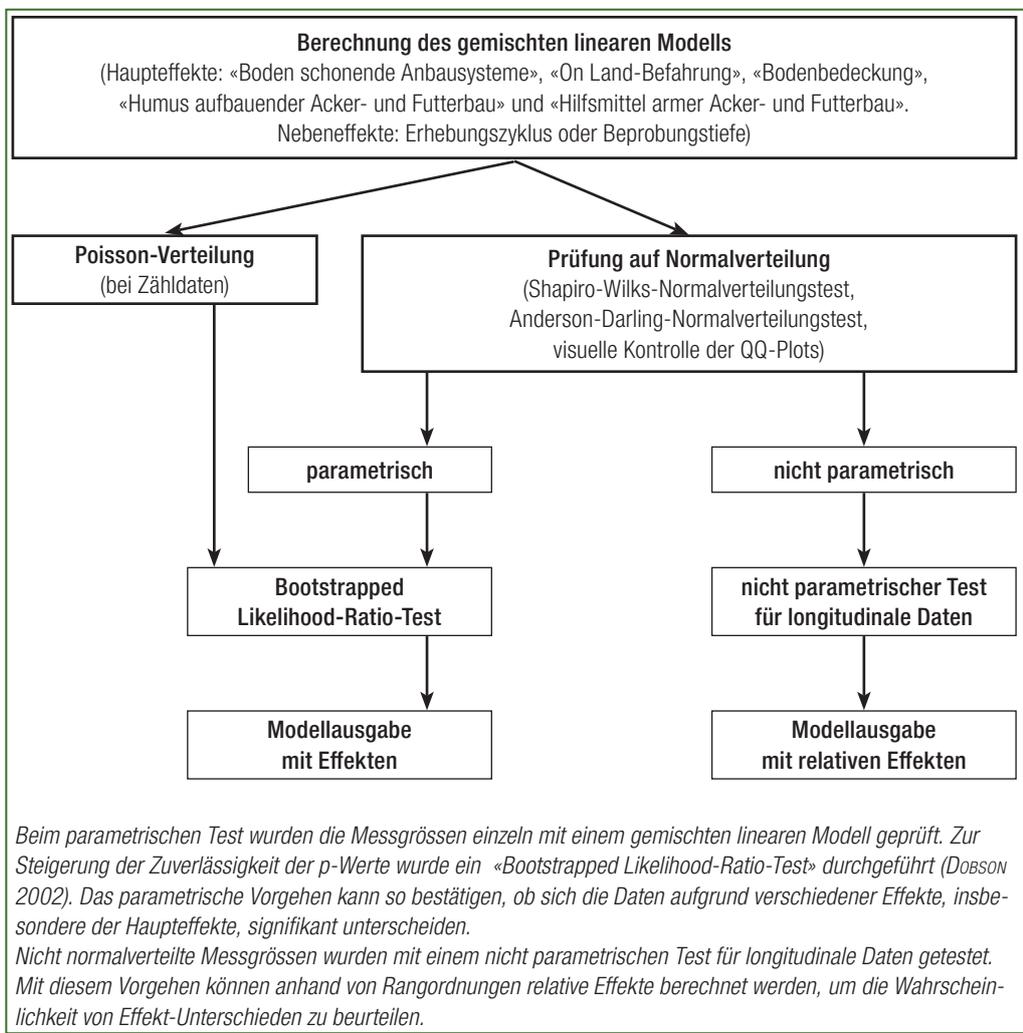
statistisch getestet (NUSSBAUM 2014). Die Haupteffekte (H) bei der ersten und dritten Hypothese sind aus dem Vergleich zwischen KPF und OLP vs. BSA und NW (= Referenz) berechnet worden. Für die zweite Hypothese wurden KPF vs. NW, BSA und OLP (= Referenz) verglichen. Für Hypothesen vier und fünf wurden die Vergleichsgruppen BIO vs. ÖLN (= Referenz) bzw. Wiese vs. Weide (= Referenz) gebildet. Nebeneffekte sind aus dem Vergleich von zwei der drei Erhebungszyklen (E2 = Referenz vs. E1, E2 = Referenz vs. E3 oder E1 = Referenz vs. E3) berechnet worden. Weitere Nebeneffekte vergleichen zwei der drei Beprobungstiefen (T1 = Referenz vs. T2, T1 = Referenz vs. T3 oder T2 = Referenz vs. T3). Ebenfalls wurden Kombinationen aus Haupt- und Nebeneffekten statistisch geprüft.

Alle Resultate der statistischen Auswertung sind in Tabellen zusammengefasst. Die Signifikanzniveaus wurden auf 0.01, 0.05 und 0.1 festgelegt. Die Berechnung der Haupteffekte erfolgte auf Signifikanzniveau $p < 0.1$, diejenigen der Nebeneffekte und der kombinierten Effekte auf $p < 0.05$. Datensätze von Messgrössen mit Normalverteilung wurden parametrisch getestet, und gefundene Effekte sind als absolute Zahlen

aufgeführt, welche die Hypothese bzw. die Nullhypothese stützen (DOBSON 2002). Dabei stützen Effekte < 0 die Nullhypothese (rot hinterlegt) und Effekte > 0 (grün hinterlegt) die Hypothese (Tabelle 4). Bei nicht normalverteilten Messgrössen wurde der nicht parametrische Testweg gewählt (Kasten 1). Die tabellarisch dargestellten Effekte sind Wahrscheinlichkeiten: 50 % Wahrscheinlichkeit bedeutet dabei, dass sich die beiden geprüften Gruppen nicht unterscheiden. Liegen die Wahrscheinlichkeiten zwischen $\geq 40\%$ bis $< 50\%$ und $> 50\%$ bis $\leq 60\%$, sind die Unterschiede statistisch nicht gesichert und unterstützen weder Hypothese noch Nullhypothese (weiss hinterlegt). Bei Wahrscheinlichkeiten zwischen $< 40\%$ und $> 60\%$ bestehen statistisch gesicherte Unterschiede, und die Nullhypothese (rot hinterlegt) bzw. die Hypothese (grün hinterlegt) wird unterstützt. Für Zählraten (bei Regenwurmabundanz) erfolgte der Auswertungsweg über die Poisson-Verteilung. Die tabellarisch dargestellten Effekte sind absolute Werte mit relativem Bezug. Dabei sind die verglichenen Gruppen bei einem Wert von 0 % identisch (Tabelle 4). Bei Werten zwischen $\geq -20\%$ und $\leq 20\%$ (weiss hinterlegt) bestehen keine statistisch gesicherten Unterschiede, und

Tabelle 4: Interpretationsschema der durch die statistischen Testverfahren ermittelten Effekte unter Einbezug der Verteilung und der Positionierung von Referenz und Vergleichsgruppe.

Statistisches Testverfahren	Haupteffekte und kombinierte Effekte	Nebeneffekte	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch: absoluter Wert	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch: relativer Wert	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
PM = Poisson-Modell: absoluter Wert mit relativem Bezug	< -20 %	< -20 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ -20 bis 0 %	≥ -20 bis 0 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	0 bis ≤ 20 %	0 bis ≤ 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 20 %	> 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt



Kasten 1: Fließdiagramm zur Auswahl des statistischen Testverfahrens.

weder die Nullhypothese noch die Hypothese wird unterstützt. Bei Werten zwischen $< -20\%$ (rot hinterlegt) und $> 20\%$ (grün hinterlegt) bestehen statistisch gesicherte Unterschiede, und die Hypothese bzw. die Nullhypothese wird unterstützt. Die vereinfachte, triale Abstufung wurde für die Interpretation des nicht parametrischen Tests ($< 30\%$ oder $> 70\%$) und des Poisson Mo-

dells ($< -50\%$ oder $> 50\%$) mit dem Ausdruck «statistisch deutlich gesichert» ergänzt.

Anhand der Ergebnisse der in Bezug auf die Hypothesen vorgenommenen statistischen Auswertung werden die Massnahmen des Förderprogramms diskutiert und in ihrer Wirkung auf den Boden beurteilt.

4 Wirkungsbeurteilung der Boden schonenden Anbausysteme

Hypothese: je weniger der Oberboden bearbeitet wird, desto besser sind Bodenstruktur und Bodenstabilität in dieser Schicht und desto grösser ist die Regenwurmpopulation.

Nullhypothese: eine Bodenbearbeitung hat keinen Einfluss auf Struktur und Stabilität des Oberbodens sowie auf die Regenwurmpopulation.

1 Gruppierung, Vorabklärungen und Messgrössen

Diese Hypothese untersucht den Einfluss der Bodenbearbeitung auf physikalische und biologische Eigenschaften des Oberbodens (OB). Dazu wurden die KABO-Daten folgendermassen gruppiert: Ackerflächen (AF) mit Boden schonenden Anbausystemen (BSA: Böden flach- oder nicht bearbeitet) und Naturwiesen (NW) werden im Folgenden als «unbearbeitete Böden» bezeichnet (= Referenz) und mit AF, welche wendend mit On Land-Pflug (OLP) oder konventionellem Pflug (KPF) bearbeitet werden (im Folgenden als «bearbeitete Böden» definiert) verglichen.

Die Bodenkennwerte Ton, Schluff, Sand, Humus und pH-Wert (CaCl_2) werden herangezogen, um die Vergleichbarkeit der beiden unterschiedenen Gruppen zu überprüfen. Unterscheiden sich die Gruppen bezüglich dieser Bodenkennwerte nicht, kann angenommen werden, dass die Auswirkungen der Bodenbearbeitung direkt beurteilt werden können und die Standorteigenschaften keinen zusätzlichen Einfluss auf den Bodenzustand haben.

Die Resultate zeigen einen um 3.55 Gew. % signifikant tieferen Sandgehalt der unbearbeiteten Böden im Vergleich zu den bearbeiteten (Tabelle 5). Gleichzeitig ist der Humusgehalt bei den unbearbeiteten Böden mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 69 % höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei NW nur Standorte ausgewählt wurden, auf denen seit mindestens 20 Jahren keine Bodenbearbeitung mehr erfolgte. Somit konnte sich der Humus seit mehr als 40 Jahren akkumulieren. Beim Ton- und Schluffgehalt sowie beim pH-Wert konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen unbearbeiteten und bearbeiteten Böden festgestellt werden. Zeitliche Effekte zwischen Erst- zu Zweit- bzw. Erst- zu Dritterhebung sind jedoch bei Sand- und Schluffgehalt zu finden. Dies ist vermutlich auf

einen während des ersten Erhebungszyklus' erfolgten Laborwechsel zurückzuführen.

Die statistische Auswertung der Bodenkennwerte der KABO-Standorte zeigt, dass zwischen unbearbeiteten und bearbeiteten Böden lediglich geringfügige Unterschiede bestehen, die den Einfluss der Bodenbearbeitung nicht erheblich beeinflussen. Böden sind z. B. generell umso stabiler, je höher der Humusgehalt ist (HARTGE UND HORN 2014).

Folgende abhängigen physikalischen und biologischen Messgrössen wurden im Rahmen der Hypothesen-Überprüfung untersucht:

A) Gefügebau:

- Lagerungsdichte
- Porenvolumen; unterteilt in Grobporen (pF 0 bis 1.8; weiter unterteilt in pF 0 bis 1.4 und 1.4 bis 1.8), grobe Mittelporen (pF 1.8 bis 3.0), feine Mittelporen (pF 3.0 bis 4.2), Feinporen (pF 4.2 bis offen-trocken) und Gesamtporen

B) Transporteigenschaften:

- gesättigte Wasserleitfähigkeit
- Luftdurchlässigkeit

C) Gefügestabilität:

- Vorbelastung
- Kompressionsbeiwert
- Probensetzung, Gesamtporenvolumenverlust und verbleibende Grobporen jeweils nach Belastung mit 250 kPa
- Perkolationsstabilität

D) Abundanz der Regenwurmpopulation:

- Gesamtabundanz (Anzahl Regenwürmer pro Fläche)
- Abundanzen der vier unterschiedenen Gruppen (epigäische Arten = Streubewohner, endogäische Arten = Mineralbodenbewohner, anözische Nicodrilus = Tiefgräber der Gattung

Nicodrilus, anözische Lumbricus = Tiefgräber der Gattung Lumbricus)

- Abundanzen der jeweils drei Untergruppen (Total = juvenile und adulte Tiere, nur Adulte, nur Juvenile)

E) Biomasse der Regenwurmpopulation:

- Gesamtbiomasse (Gewicht der Regenwürmer)
- Biomassen der vier unterschiedenen Gruppen (epigäische Arten = Streu-

bewohner, endogäische Arten = Mineralbodenbewohner, anözische Nicodrilus = Tiefgräber der Gattung Nicodrilus, anözische Lumbricus = Tiefgräber der Gattung Lumbricus)

- Biomassen der jeweils drei Untergruppen (Total = juvenile und adulte Tiere, nur Adulte, nur Juvenile)

2 Resultate und Diskussion

2.1 Gefügebau der Oberböden

Mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 37 % belegen die Resultate der Lagerungsdichten der KABO-Standorte bei den unbearbeiteten Böden eine statistisch gesichert lockerere Lagerung als bei bearbeiteten (Tabelle 5). Die Lagerungsdichte hat einen durchschnittlichen OB-Wert von 1.35 g/cm³ (Tabelle 6). Durch die intensive Bodenbearbeitung mit dem Pflug und anschliessender Saatbettbereitung sind die bearbeiteten Böden überlockert und deshalb schlechter strukturiert. Nicht oder wenig bearbeitete Böden haben das Potenzial, über die Jahre durch Lebendverbau ein stabiles, aber dennoch lockeres Bodengefüge aufzubauen.

Die Resultate von Tabelle 5 belegen bei unbearbeiteten Böden im Vergleich zu bearbeiteten statistisch gesichert sowohl höhere Gesamtporenvolumina (Wahrscheinlichkeit 66 %) als auch höhere Volumina bei den Grobporen (Durchschnitt OB = 3.35 Vol. %, Tabelle 6) mit einem Durchmesser von 128–50 µm (entspricht pF 1.4 bis 1.8; Wahrscheinlichkeit 64 %). Diese Resultate bestätigen die Ergebnisse der Lagerungsdichte. Um die von Jahr zu Jahr beachtlichen Schwankungen der Messgrössen zu minimieren, muss auch die Wahl des Probenahme-Zeitpunktes systematisch getroffen werden (in der KABO-BE jeweils im Frühjahr des zweiten Hauptnutzungsjahres der KW). WEISSKOPF et al. (2016) weisen wiederholt auf die Schwierigkeit hin, das Grobporenvolumen bei Pflugverfahren (OLP und KPF) zu bestimmen.

Die groben Mittelporen mit einem Durchmesser von 50–3.2 µm (entspricht pF 1.8 bis 3.0) und die Feinporen mit einem Durchmesser <0.2 µm (entspricht pF 4.2 bis ofentrocken) zeigen signifikante Unterschiede. Das Mittelporenvolumen

der unbearbeiteten Böden ist um 1.20 Vol. % grösser als jenes der bearbeiteten (Tabelle 5), bei einem durchschnittlichen Volumenanteil von 9.15 Vol. % der KABO-OB (Tabelle 6). Dieser Unterschied entspricht 13.1 % des pflanzenverfügbaren Wassers oder – umgerechnet auf einen 20 cm mächtigen OB – 24 000 Liter Wasser pro ha. Dieses zusätzlich vorhandene Wasser steht den Pflanzen in Trockenperioden zur Verfügung und versorgt sie während der Hauptwachstumsphase einen halben Tag länger. Gleichzeitig können solche Böden während Starkniederschlägen mehr Wasser in ihre Hohlräume aufnehmen.

Auch der Anteil an Feinporen ist in den unbearbeiteten Böden signifikant um 1.0 Vol. % (Tabelle 5) grösser als in bearbeiteten (durchschnittlicher Volumenanteil 12.40 Vol. %, Tabelle 6). Dieses Wasser wird jedoch mit so grosser Kraft zwischen den Schichtpaketen der Tonminerale zurückgehalten, dass es im Boden nicht frei fließen kann und somit für das Pflanzenwachstum nicht verfügbar ist.

Zeitliche Effekte zwischen den verschiedenen Erhebungszyklen können bei fast allen Porenklassen festgestellt werden: Grobporen und deren Untergruppe Gröbstporen sowie grobe Mittelporen verzeichnen eine Zunahme, feine Mittelporen und Feinporen eine Abnahme. Diese zeitlichen Änderungen sind wahrscheinlich nicht auf Bodenbearbeitung zurückzuführen. Zwischen 1994 und 2001 wurden drei verschiedene Labors mit den Porenvolumen- und Lagerungsdichtemessungen beauftragt. Ab dem zweiten Erhebungszyklus wurde das Labor nicht mehr gewechselt und ein 2007 durchgeführter Ringversuch belegt die Akkreditierung des aktuellen Labors (WEISSKOPF et al., 2008).

2.2 Transporteigenschaften der Oberböden

In unbearbeiteten Böden infiltriert signifikant fünfmal mehr Wasser (Tabelle 5) als in bearbeiteten (durchschnittliche gesättigte Wasserleitfähigkeit = 3.80, Tabelle 6). Es werden keine zeitlichen Effekte festgestellt.

Der Anteil Luft gefüllter Poren wird mit zunehmender Tiefe geringer, derjenige mit Wasser

gefüllter Poren nimmt zu. Dadurch konzentriert sich der Gastransport in tiefer gelegenen Schichten auf immer weniger grobe Poren (HARTGE UND HORN 2014). Damit sich im Boden innerhalb nützlicher Frist wieder Feldkapazität einstellen kann (d. h. pF 1.8), sind kontinuierlich durchgehende Makroporen mit hoher Infiltrationsleistung notwendig. Diese Porenkontinu-

ität gewährleistet dem unbearbeiteten Boden ein ausgewogenes Gleichgewicht sowohl beim Wasser- als auch beim Lufthaushalt. Demgegenüber wird diese Porenkontinuität in bearbeiteten Böden durch Verschlämmung, Schlupf und Verschmierung beeinträchtigt. Eine feine Saatbettbereitung verstopft die Poren zusätzlich (innere Erosion).

Die Luftdurchlässigkeit wurde erst ab dem zweiten Erhebungszyklus erhoben. Tabelle 5 belegt mit einer statistisch gesicherten Wahr-

scheinlichkeit von 63 % in unbearbeiteten OB höhere Luftdurchlässigkeitswerte als in bearbeiteten (durchschnittliche Luftdurchlässigkeit der KABO-OB = $697 \mu\text{m}^2$, Tabelle 6). Die Luftdurchlässigkeit gibt Auskunft darüber, wie gut die Luft gefüllten Poren für den Luft- und Gasaustausch miteinander verbunden sind. Sie ist folglich eine wichtige Grösse zur Beurteilung der Transporteigenschaften in einem Boden und bestimmt die Lebens- und Entwicklungsbedingungen der Pflanzen und Bodenlebewesen.

2.3 Stabilitätseigenschaften der Oberböden

Die Stabilitätsbeurteilung wurde erst ab dem zweiten Erhebungszyklus vorgenommen. Ist bei einer Befahrung die Auflast grösser als die Stabilität des Bodens, folgt eine Drucksetzung. Dabei verformt sich der Boden zunächst elastisch. Bis zu einer bestimmten Auflast, der sogenannten Vorbelastung, ist die Drucksetzung deshalb reversibel. Wird hingegen dieser Vorbelastungswert überschritten, erhält die Bodenverformung einen irreversiblen Anteil, der zu einer Erhöhung des Vorbelastungswertes führt. Mechanisch stärker belastete Böden weisen deshalb höhere Vorbelastungswerte auf. Gut et al. (2016) definieren in ihrer Arbeit eine maximal tragbare Radlast, bei der die Bodenfestigkeit grösser ist als die Bodenbelastung, so dass die Bodenstruktur noch nicht dauerhaft verformt wird. Neben der mechanischen Verdichtung können auch chemische Ausfällung, biologische Verklebung sowie Aggregation zur Stabilisierung des Bodens beitragen und den elastischen (reversiblen) Anteil einer Verformung erhöhen (HARTGE und HORN 2014). Mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 62 % (Tabelle 5) sind in unbearbeiteten Böden höhere Vorbelastungswerte aufgetreten als in bearbeiteten (durchschnittliche Vorbelastung der KABO-OB = 60.80 kPa, Tabelle 6). Diese höhere Stabilität bei unbearbeiteten Böden wird auf die fehlende Bodenbear-

beitung und den verbesserten Lebendverbau des Bodengefüges zurückgeführt. Vom zweiten zum dritten Erhebungszyklus nimmt die Vorbelastung aller Oberböden ab. Sie ist im Erhebungszyklus 2 mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 35 % grösser als im Erhebungszyklus 3.

Wie stark sich eine über die Vorbelastung hinaus reichende Bodenbelastung auf die weitere Setzung und damit die irreversible Verformung des Bodengefüges auswirken kann, lässt sich anhand des Kompressionsbeiwertes erkennen. Für diese Messgrösse belegen die Resultate der KABO-Standorte in unbearbeiteten Böden im Vergleich zu bearbeiteten signifikant höhere Werte (Tabelle 5), d. h. unbearbeitete Böden reagieren stärker auf grössere Belastungen als bearbeitete (zeigen sich als «stabiler»). Bei einem durchschnittlichen OB-Kompressionsbeiwert von 0.220 (Tabelle 6) ist der absolute Effekt von 0.01 (Tabelle 5) jedoch sehr klein.

Probensetzung, Gesamtporenvolumenverlust und verbleibende Grobporen jeweils nach Belastung mit 250 kPa, sowie Perkolationsstabilität: Aufgrund fehlender statistisch gesicherter Unterschiede tragen diese vier Messgrössen nichts zur Interpretation der vorliegenden Hypothese bei.

2.4 Abundanzen der Regenwurmpopulation

Bei den Regenwurm-Abundanzen weisen 11 der 13 Messgrössen aufgrund der Bodenbearbeitung signifikante Unterschiede auf. Die Gesamtabundanz ist in unbearbeiteten Böden um 9 % höher als in bearbeiteten (Tabelle 5). Dabei finden sich in Böden des Berner Mittellandes durchschnittlich 325 Individuen/ m^2 (Tabelle 6). Die vier Gruppen reagieren unterschiedlich: Bei den epigäischen Arten («Streubewohner») konnte sowohl beim «Total» als auch bei den «Juvenilen» mehr Tiere in bearbeiteten Böden gefunden werden als in unbearbeiteten (+25 % bzw. +28 %). Bei fast allen andern Gruppen verhält es sich umgekehrt (Tabelle 5): Die beiden Tiefgräbergruppen «anözische Nicodrilus» und «anözische Lumbricus» sind sowohl bei der totalen Anzahl (+25 % bzw. +97 %) als auch ge-

trennt nach «Adult» (+25 % bzw. +72 %) und «Juvenil» (+26 % bzw. +139 %) deutlich häufiger in unbearbeiteten Böden zu finden als in bearbeiteten. Insbesondere bei der Gruppe der anözischen Lumbricus sind die Effekte, welche die Hypothese unterstützen, deutlich.

Bei rund der Hälfte der Messgrössen (sieben von 13) wird – ohne Differenzierung nach Bearbeitung – ein statistisch gesicherter zeitlicher Einfluss sichtbar, wobei in der Regel mit zunehmender Beobachtungsdauer die Anzahl Regenwürmer je nach Gruppe unterschiedlich stark abnimmt. Am ausgeprägtesten ist die Abnahme bei den anözischen Lumbricus.

Fortsetzung auf Seite 14

Tabelle 5: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung der Boden schonenden Anbausysteme.

Oberböden				Haupteffekt		Nebeneffekt		
				OLP und KPF vs. BSA und NW ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)		
				Referenz = BSA und NW		Referenz = E2 oder E3		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Sand	Gew. %	104	P	0.000 ***	-3.55	0.000 ***	E1 zu E2	3.8
							E1 zu E3	10.5
Schluff	Gew. %	104	P	0.159		0.000 ***	E1 zu E2	-1.1
							E1 zu E3	-7.4
Ton	Gew. %	104	NP	0.239		0.027 **	E1 zu E2	42
							E1 zu E3	40
Humus	Gew. %	104	NP	0.000 ***	69	0.693		
pH (CaCl ₂)	-	104	P	0.734		0.064 *		
Lagerungsdichte	g/cm ³	104	NP	0.015 **	37 ⁶	0.001 ***	E1 zu E2	57
Gesamtporenvolumen	Vol. %	104	NP	0.004 ***	66	0.485	E1 zu E3	47
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	Vol. %	104	NP	0.283		0.000 ***	E1 zu E2	63
							E1 zu E3	77
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	Vol. %	94	P	0.374		0.000 ***	E1 zu E2	2.5
							E1 zu E3	3.3
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	Vol. %	94	NP	0.063 *	64	0.624		
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	Vol. %	104	P	0.001 ***	1.2	0.010 **	E1 zu E2	1.2
							E1 zu E3	0.8
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	Vol. %	100	P	0.412		0.000 ***	E1 zu E2	-3.0
							E1 zu E3	-2.0
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	Vol. %	100	P	0.000 ***	1.0	0.001 ***	E1 zu E2	0.1
							E1 zu E3	-1.0
Gesättigte Wasserleitfähigkeit (pK _{sat})	-	104	P	0.000 ***	-0.7 ⁶	0.123		
Luftdurchlässigkeit	µm ²	70	NP	0.020 **	63	0.563		
Vorbelastung	kPa	70	NP	0.020 **	62 ⁶	0.015 **	E2 zu E3	35 ⁶
Kompressionsbeiwert	-	70	P	0.002 ***	0.01	0.306		
Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	70	NP	0.926		0.109		
Grobporenvolumen nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	70	P	0.309		0.227		
Probensetzung nach Belastung mit 250 kPa	mm	70	NP	0.769		0.057 *		
Perkolationsstabilität	g/10 min	88	P	0.200		0.101		

Fortsetzung nebenstehend

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch: absoluter Wert	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch: relativer Wert	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
PM = Poisson-Modell: absoluter Wert mit relativem Bezug	< -20 %	< -20 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ -20 bis 0 %	≥ -20 bis 0 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	0 bis ≤ 20 %	0 bis ≤ 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 20 %	> 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

Fortsetzung Tabelle 5

Oberböden				Haupteffekt		Nebeneffekt		
				OLP und KPF vs. BSA und NW ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)		
				Referenz = BSA und NW		Referenz = E2 oder E3		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Regenwurm-Gesamtbiomasse	g/m ²	104	P	0.025 **	32.8	0.000 ***	E1 zu E2	-17.8
							E1 zu E3	-61.7
Total epigäische Arten	g/m ²	104	NP	0.167		0.184		
Total endogäische Arten	g/m ²	104	P	0.438		0.000 ***	E1 zu E2	-4.5
							E1 zu E3	-21.7
Total anözische Nicodrilus	g/m ²	104	NP	0.045 **	61	0.304		
Total anözische Lumbricus	g/m ²	104	NP	0.019 **	65	0.001 ***	E1 zu E2	41
							E1 zu E3	34
Adulte epigäische Biomasse	g/m ²	104	NP	0.790		0.114		
Adulte endogäische Biomasse	g/m ²	104	P	0.269		0.000 ***	E1 zu E2	-3.2
							E1 zu E3	-15.0
Adulte anözische Nicodrilus	g/m ²	104	NP	0.157		0.613		
Adulte anözische Lumbricus	g/m ²	104	NP	0.031 **	63	0.003 ***	E1 zu E2	46
							E1 zu E3	32
Juvenile epigäische Arten	g/m ²	104	NP	0.156		0.075 *		
Juvenile endogäische Arten	g/m ²	104	NP	0.388		0.003 ***	E1 zu E2	44
							E1 zu E3	28
Juvenile anözische Nicodrilus	g/m ²	104	NP	0.016 **	62	0.493		
Juvenile anözische Lumbricus	g/m ²	104	NP	0.015 **	63	0.018 **	E1 zu E2	41
							E1 zu E3	34
Regenwurm-Gesamtabundanz	Individuen/m ²	104	PM	0.001 ***	9	0.025 **	E1 zu E2	-15
							E1 zu E3	-33
Total epigäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.001 ***	-25	0.038 **	E1 zu E2	-46
							E1 zu E3	-40
Total endogäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.110		0.065 *		
Total anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	25	0.338		
Total anözische Lumbricus	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	97	0.007 ***	E1 zu E2	-41
							E1 zu E3	-64
Adulte epigäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.458		0.248		
Adulte endogäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	12	0.023 **	E1 zu E2	-5
							E1 zu E3	-38
Adulte anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	25	0.721		
Adulte anözische Lumbricus	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	72	0.010 **	E1 zu E2	-22
							E1 zu E3	-67
Juvenile epigäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	-28	0.044 **	E1 zu E2	-50
							E1 zu E3	-45
Juvenile endogäische Arten	Individuen/m ²	104	PM	0.020 **	3	0.178		
Juvenile anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	104	PM	0.001 ***	26	0.387		
Juvenile anözische Lumbricus	Individuen/m ²	104	PM	0.000 ***	139	0.015 **	E1 zu E2	-48
							E1 zu E3	-74

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ OLP = On Land-Pflug; KPF = konventioneller Pflug; vs. = gegenübergestellt; BSA = Boden schonende Anbausysteme; NW = Naturwiesen

⁵ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

⁶ Inversion der Hypotheseninterpretation (z. B. führt ein kleiner pK_{sat}-Wert zu einer grossen gesättigten Wasserleitfähigkeit)

Tabelle 6: KABO Erst-, Zweit- und Drittbeprobungsresultate¹ von Gefügebau-, Transport-, Gefügestabilität- und Regenwurmparameter.

Standort	Nutzung/ Tiefe ²	Auswil			Buch			Grasswil			Langnau			Madiswil			Niederösch			Roggwil			Rubigen			Rüderswil			Schlosswil			Seedorf ³		
		1998	2003	2013	1998	2005	2012	1996	2004	2011	1996	2003	2008	1997	2006	2012	1999	2003	2010	1996	2005	-	1994	2004	2011	2000	2007	2015	1994	2006	2014	1995	2003	2010
Gesamtporenvolumen [Vol. %] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB	54.1	54.2	53.7	43.8	48.5	47.6	54.1	51.2	52.9	54.6	53.4	53.0	49.6	49.8	52.0	47.2	45.7	45.9	60.6	57.5		48.1	50.3	48.7	52.0	51.7	53.0	54.6	54.1	54.8	52.9	50.8	51.5
	AF/OB	56.1	53.5	51.4	45.5	47.4	48.5	45.7	47.7	47.2	49.2	49.2	52.0	46.7	47.0	48.6	41.7	44.4	46.3	39.8	42.8		45.5	46.7	45.3	53.1	52.7	52.6	51.3	53.5	52.8	47.2	46.0	47.0
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	NW/OB	6.7	6.3	10.5	5.7	11.2	10.4	4.3	6.6	8.0	4.6	6.0	7.6	6.5	10.1	9.2	3.9	9.0	8.9	5.0	7.0			13.5	11.9	5.4	8.2	9.1		11.1	11.4		6.9	12.0
	AF/OB	7.2	10.8	11.1	6.6	11.5	10.8	8.2	8.2	10.2	4.7	6.0	7.4	6.8	7.7	8.9	4.2	8.7	8.9	4.4	8.0			10.0	9.3	5.4	6.5	6.8		11.4	11.4		8.9	11.9
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	NW/OB	3.9	3.2	3.9	2.8	4.2	3.7	3.1	4.0	3.7	3.4	3.8	3.9	3.1	2.9	3.7	1.6	2.8	2.8	2.9	2.9			4.8	3.8	3.8	3.9	3.9		3.2	2.9		2.6	3.2
	AF/OB	3.5	3.1	3.0	2.7	3.2	4.1	3.0	3.2	2.6	2.3	2.7	2.5	3.4	2.5	6.3	1.8	2.8	3.0	1.5	2.0			3.2	3.1	3.8	3.7	3.0		2.5	2.5		2.6	4.2
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	NW/OB	11.9	12.0	10.3	10.3	10.7	10.5	13.4	13.2	11.4	10.0	10.0	8.8	13.6	13.1	13.5	10.0	7.6	7.6	10.1	9.0		4.9	11.3	9.6	12.7	11.0	11.2	5.1	9.3	8.1	5.0	10.4	9.8
	AF/OB	12.2	10.0	9.7	10.0	10.0	12.7	7.9	9.6	8.4	7.7	7.9	7.6	10.3	9.8	10.3	7.3	7.9	8.3	4.2	5.3		3.5	9.4	9.1	11.7	12.2	11.3	3.4	8.6	7.7	5.7	11.7	11.5
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	NW/OB	19.1	19.0	11.9	16.1	13.0	9.6	17.8	13.7	12.2	20.8	19.4	12.7	14.2	9.6	12.8	19.5	14.1	9.8	22.6	20.2			8.9	11.4	15.6	13.4	14.1		13.8	14.1	20.5	17.8	10.4
	AF/OB	20.4	17.6	16.0	17.1	13.3	11.6	15.9	14.8	15.1	21.9	19.5	20.7	14.5	12.9	12.0	17.7	14.3	15.7	18.5	14.5			11.0	12.0	18.2	15.3	17.3		10.5	17.1	16.3	12.2	10.6
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	NW/OB	11.6	13.4	11.9	8.8	9.4	9.6	15.4	13.8	12.2	15.2	15.1	12.7	14.5	13.0	12.8	13.7	11.7	9.8	19.2	18.1			13.1	11.4	14.3	15.3	14.1		17.2	14.1	13.8	11.9	10.4
	AF/OB	12.6	13.2	12.6	8.6	9.4	9.1	11.1	11.5	10.3	12.7	12.7	12.0	10.9	13.5	11.1	11.2	11.2	9.7	11.6	13.7			13.0	11.5	15.2	15.6	14.8		18.2	15.5	9.1	9.2	9.3
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	NW/OB	11.4	9.2	14.5	8.8	15.7	13.8	6.8	10.6	11.8	9.5	9.7	11.8	9.7	12.8	13.1	5.9	11.5	11.3	8.3	10.2		17.3	19.0	15.8	9.2	11.8	13.3	12.3	14.4	14.1	17.2	9.8	15.7
	AF/OB	11.0	14.0	14.3	9.4	14.6	15.1	11.4	11.4	12.4	6.6	8.3	9.7	10.6	10.3	14.9	5.7	11.0	11.1	5.9	10.0		12.1	13.2	12.6	8.4	10.8	10.0	10.5	13.9	14.1	17.7	11.8	16.2
Poren < 3.2 µm (pF 3.0–ofentrocken)	NW/OB	30.7	32.1	29.4	24.8	22.6	22.5	33.5	27.5	29.1	35.9	34.1	32.0	28.2	22.9	25.8	33.3	25.3	28.0	42.1	38.3		27.2	21.0	22.7	30.0	28.5	28.1	36.6	30.2	33.2	34.3	30.2	27.6
	AF/OB	32.1	30.9	28.7	25.7	22.6	20.9	27.5	26.1	25.4	33.2	32.9	32.8	25.5	25.8	22.8	28.8	25.0	26.1	30.2	27.8		30.0	24.0	23.3	32.4	30.9	31.4	36.9	29.6	31.8	25.5	21.8	20.0
Gesamtporenvolumen [Vol. %] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/UB	52.0	51.4	51.1	39.6	41.6	40.8	46.8	44.9	47.3	46.9	46.9	45.9	41.6	42.0	42.9	41.0	40.6	41.4	45.7	44.6		46.9	45.8	43.3	50.0	47.6	48.4	44.6	45.2	43.2	45.4	42.5	42.7
	AF/UB	50.2	50.6	50.7	40.1	43.5	44.2	40.7	42.1	41.3	49.1	47.7	47.7	39.2	42.0	41.4	40.2	40.4	41.7	42.3	43.4		43.5	44.2	42.0	52.8	50.9	52.0	48.0	49.2	44.3	44.6	40.6	41.4
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	NW/UB	11.0	10.6	11.1	8.4	10.5	11.7	9.1	10.6	11.6	7.1	8.2	8.9	9.4	12.5	12.9	8.8	9.1	10.4	7.6	8.9			12.7	12.0	9.9	11.4	11.1		11.6	9.6		10.5	13.5
	AF/UB	10.1	10.1	11.3	9.6	13.8	14.9	7.7	10.2	10.3	6.7	7.3	8.0	7.9	10.8	11.6	9.4	9.9	11.6	8.9	11.4			12.2	12.8	9.3	12.2	11.0		15.3	11.1		13.4	15.7
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	NW/UB	4.0	3.9	3.1	2.5	2.4	2.3	3.9	3.4	2.3	3.3	2.5	2.4	3.9	2.9	3.0	2.3	2.2	2.2	3.1	2.5			3.8	2.7	3.9	2.9	2.5		1.7	1.6		3.0	2.6
	AF/UB	3.4	3.3	2.4	3.1	2.7	3.1	2.5	2.3	2.0	3.4	2.7	2.5	3.1	2.3	2.6	2.2	2.3	2.4	2.5	1.9			3.0	2.5	4.1	2.7	3.1		2.4	2.2		4.2	4.0
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	NW/UB	9.7	10.3	10.3	5.9	6.3	5.9	8.3	7.9	8.2	9.2	9.1	10.2	7.9	7.6	7.3	5.9	5.8	5.0	5.3	5.3		3.3	7.6	6.7	9.7	7.7	7.7	3.6	5.6	5.0	4.5	6.8	7.2
	AF/UB	8.1	8.9	8.4	7.1	7.8	9.0	4.7	5.3	5.7	11.4	12.5	7.4	7.3	7.5	7.0	5.6	5.9	6.0	5.0	5.0		4.0	7.0	5.8	9.8	8.7	9.7	2.3	6.5	5.8	6.6	7.0	7.2
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	NW/UB	17.8	16.9	8.8	13.6	9.9	7.8	15.4	11.9	9.6	18.0	17.4	9.3	11.5	7.8	8.7	14.5	13.4	9.3	17.4	13.9			10.2	10.2	16.3	12.7	11.8		7.1	14.5	15.9	13.1	7.6
	AF/UB	19.7	18.3	19.3	14.1	10.6	11.1	14.8	11.1	12.7	18.0	16.3	20.1	12.5	8.5	11.6	12.6	11.8	11.5	14.8	10.9			9.5	10.8	15.1	13.3	14.3		7.4	10.6	9.4	8.5	8.5
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	NW/UB	9.1	10.3	8.8	9.0	11.1	7.8	9.9	11.4	9.6	9.2	11.0	9.3	9.2	12.0	8.7	10.1	10.5	9.3	12.2	13.4			11.7	10.2	10.4	13.1	11.8		18.8	14.5	7.5	8.8	7.6
	AF/UB	9.2	9.9	9.1	7.0	8.8	6.5	11.0	12.9	10.3	8.9	8.3	8.1	9.1	12.4	8.2	9.9	10.0	9.3	12.0	14.6			11.2	9.9	14.0	13.3	13.2		17.4	14.9	6.7	7.4	6.7
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	NW/UB	14.9	14.6	13.9	10.9	12.9	14.0	13.0	13.5	14.0	10.9	10.6	11.3	12.6	15.4	15.8	11.0	11.1	12.6	11.4	11.4		17.9	16.5	14.7	13.0	14.4	13.6	11.4	13.2	11.4	16.5	13.4	16.1
	AF/UB	13.7	13.6	13.9	12.7	16.4	17.7	10.2	12.3	12.2	9.5	10.0	10.5	11.0	13.5	14.2	11.8	12.2	14.2	11.5	13.1		16.9	15.4	15.3	13.1	15.0	14.6	16.1	17.6	13.1	21.9	17.6	18.9
Poren < 3.2 µm (pF 3.0–ofentrocken)	NW/UB	26.8	27.1	26.8	22.1	21.3	19.8	25.3	23.5	24.8	27.7	27.5	25.2	21.6	19.9	19.5	25.0	23.7	23.6	29.3	27.6		26.2	22.2	21.9	26.6	26.5	25.7	30.3	18.8	27.4	23.3	21.5	20.7
	AF/UB	29.1	28.1	28.5	21.1	19.2	17.6	25.8	24.6	23.0	26.7	24.3	29.2	21.2	20.7	20.2	22.5	21.9	20.8	26.9	25.8		23.7	21.3	20.8	29.6	26.1	27.3	29.4	17.4	25.5	16.2	16.3	15.3
Lagerungsdichte [g/cm ³] ¹¹ (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB	1.21	1.20	1.22	1.48	1.39	1.41	1.18	1.28	1.23	1.19	1.24	1.24	1.32	1.40	1.28	1.41	1.44	1.42	1.03	1.13		1.33	1.35	1.37	1.24	1.25	1.22	1.16	1.19	1.17	1.24	1.30	1.31
	AF/OB	1.14	1.27	1.27	1.42	1.45	1.38	1.44	1.40	1.39	1.34	1.35	1.30	1.43	1.45	1.34	1.56	1.47	1.40	1.59	1.53		1.41	1.45	1.44	1.22	1.23	1.22	1.23	1.28	1.22	1.41	1.45	1.42
	NW/UB	1.26	1.28	1.30	1.63	1.58	1.58	1.40	1.46	1.40	1.43	1.42																						

Fortsetzung Tabelle 6

Treiten			Zollikofen ⁴			Mittelwert der ÖLN ⁵ Standorte				Bantigen			Clavaleyres ⁹			Hindelbank			Kirchlindach			Möriswil			Uettligen			Mittelwert der BIO ¹⁰ Standorte				Mittelwert aller Standorte			
1995	2008	2014	1999	2003	2015	EE ⁶	ZE ⁷	DE ⁸	Total	1997	2004	2009	1999	2006	2011	-	-	2009	-	-	2009	1995	2002	2008	1997	2005	2014	EE	ZE	DE	Total	EE	ZE	DE	Total
63.3	60.8	60.4	44.4	47.5	50.7	52.3	52.0	51.7	52.0	51.9	48.4	49.4	44.3	44.6	47.3			48.0			50.9	47.8	47.3	47.6	49.1	49.2	48.4	48.3	47.4	49.3	48.3	50.3	49.7	50.5	50.1
60.9	59.0	54.6	46.1	45.7	44.1	48.4	48.9	49.1	48.8	48.4	44.7	48.3	45.2	47.3	45.6			47.4			46.4	45.8	45.4	49.7	49.5	50.6	47.4	47.2	47.0	47.7	47.3	47.8	47.9	48.4	48.0
	9.7	10.6	8.2	9.9	15.6	5.6	8.9	10.1	8.2	9.3	10.1	10.7	3.5	5.0	7.6			13.2			8.8		6.8	6.9	8.3	13.1	9.9	7.1	8.8	10.2	8.7	6.3	8.8	10.1	8.4
	9.7	6.5	7.5	9.2	9.2	6.1	9.0	9.1	8.0	8.3	7.4	11.7	6.9	8.7	8.3			12.8			9.8		7.5	8.9	7.9	12.2	9.3	7.7	9.0	10.7	9.1	6.9	9.0	9.9	8.6
	2.4	2.4	2.5	3.0	2.9	3.0	3.4	3.3	3.2	5.0	4.5	3.9	2.7	2.5	2.3			3.3			2.5		3.4	3.8	4.4	4.2	4.3	4.1	3.7	3.5	3.7	3.5	3.5	3.4	3.5
	2.4	2.4	3.8	2.5	3.0	2.9	2.8	3.2	3.0	3.9	3.2	2.6	4.2	3.2	3.0			2.8			2.8		3.0	2.8	3.7	2.8	4.1	3.9	3.1	3.2	3.4	3.4	2.9	3.2	3.2
2.8	7.8	6.2	6.7	7.1	6.7	9.0	10.2	9.6	9.6	11.0	12.4	9.6	12.1	10.9	11.3			8.3			9.9	4.7	8.6	8.0	10.2	9.3	10.4	9.5	10.3	9.3	9.7	9.2	10.2	9.5	9.6
4.0	8.5	8.0	7.8	6.0	6.8	7.4	9.0	9.3	8.5	8.3	9.7	7.2	11.7	12.4	11.6			8.3			7.8	4.3	7.1	7.8	9.6	9.2	9.1	8.5	9.6	8.6	8.9	7.9	9.3	9.0	8.7
24.2	11.2	23.3	13.9	14.9	11.7	18.6	14.5	12.7	15.3	13.2	10.1	10.7	16.3	13.1	8.9			10.1			14.1	21.6	19.5	10.4	12.2	9.9	12.3	15.8	13.2	11.3	13.4	17.2	13.8	12.0	14.3
19.0	10.3	11.4	15.7	14.7	12.0	17.7	13.9	14.6	15.4	14.9	12.1	17.3	13.7	11.6	14.8			14.1			15.1	21.0	17.1	18.9	14.6	14.4	14.1	16.1	13.8	15.0	15.0	16.9	13.9	14.8	15.2
22.7	31.2	23.3	13.3	12.2	11.7	14.8	15.0	12.7	14.2	11.8	12.1	10.7	10.4	12.9	8.9			10.1			14.1	10.7	9.0	10.4	13.4	12.5	12.3	11.6	11.6	11.3	11.5	13.2	13.3	12.0	12.8
23.7	29.8	25.2	11.6	11.8	13.1	12.6	14.1	12.7	13.1	12.4	12.2	10.4	8.7	11.1	7.5			9.3			11.2	10.1	10.7	9.1	13.4	12.2	11.5	11.1	11.6	10.1	10.9	11.9	12.8	11.4	12.0
11.4	11.9	13.0	10.9	12.9	18.7	10.7	12.3	13.4	12.1	16.2	14.4	14.5	6.4	7.4	9.7			16.3			11.6	12.2	9.8	11.1	12.8	16.9	14.8	11.9	12.1	14.0	12.7	11.3	12.2	13.7	12.4
13.5	12.3	9.8	10.9	13.2	12.1	10.3	11.9	12.3	11.5	12.6	10.9	13.9	11.1	11.7	11.3			15.0			12.8	10.4	10.6	11.9	12.4	15.1	13.6	11.6	12.1	13.9	12.5	11.0	12.0	13.1	12.0
47.8	42.4	41.1	27.1	26.9	25.2	33.2	29.4	28.7	30.4	24.9	21.7	23.3	26.2	26.0	26.7			23.1			29.4	32.4	28.4	27.8	26.2	22.8	23.6	27.4	24.7	25.8	26.0	30.3	27.1	27.2	28.2
42.9	38.4	37.4	27.0	26.9	24.8	30.6	27.9	27.3	28.6	27.0	23.8	27.3	22.1	22.7	22.4			23.5			26.1	30.8	27.7	29.3	27.4	26.5	25.0	26.8	25.2	25.2	25.7	28.7	26.5	26.3	27.2
54.7	56.4	55.8	41.5	41.0	39.8	45.9	45.4	45.2	45.5	41.4	41.6	39.9	42.5	44.3	42.0			41.3			43.6	41.8	39.9	41.2	44.3	42.6	40.8	42.5	42.1	41.6	42.1	44.2	43.8	43.4	43.8
58.9	55.2	56.2	40.8	41.2	41.0	45.4	45.5	45.3	45.4	42.6	42.6	42.8	41.4	43.7	41.2			40.9			44.1	39.4	39.4	38.5	41.6	43.7	39.3	41.2	42.4	41.2	41.6	43.3	43.9	43.2	43.5
	9.2	9.4	12.2	10.4	11.7	9.3	10.5	10.6	10.1	10.7	10.4	10.3	5.2	7.1	7.1			12.8			13.0		8.3	9.3	12.2	13.1	11.5	9.4	9.7	11.7	10.3	9.3	10.1	11.2	10.2
	5.9	5.9	9.8	11.0	11.0	8.8	11.0	10.5	10.1	11.7	10.9	11.6	7.7	10.7	6.9			14.0			10.8		7.7	7.3	11.1	14.3	9.3	10.2	10.9	11.5	10.8	9.5	11.0	11.0	10.5
	1.6	1.5	2.4	2.3	2.3	3.2	2.7	2.3	2.7	3.4	2.8	1.7	1.9	2.1	1.8			2.1			2.0		2.2	1.8	3.2	2.4	2.8	2.8	2.4	2.2	2.5	3.0	2.5	2.2	2.6
	1.3	1.3	2.8	2.1	2.3	3.0	2.6	2.4	2.6	3.0	2.8	1.9	2.4	2.2	2.0			2.1			1.9		2.7	2.2	2.7	2.3	2.4	2.7	2.5	2.4	2.5	2.8	2.5	2.4	2.6
3.4	6.0	5.9	5.2	4.7	4.8	6.3	7.0	7.0	6.8	5.9	6.9	5.2	8.4	9.5	7.4			5.4			5.7	4.4	4.2	4.5	6.9	5.7	6.3	6.4	6.6	5.7	6.2	6.3	6.8	6.4	6.5
3.7	6.0	5.7	6.2	4.9	4.4	6.3	7.2	7.0	6.8	6.2	6.5	5.6	8.7	10.5	9.2			5.5			5.7	4.7	4.6	5.3	5.8	6.4	6.1	6.4	7.0	5.9	6.4	6.3	7.1	6.5	6.6
21.4	9.6	23.8	11.1	11.7	11.2	15.7	12.0	11.2	13.0	11.9	9.0	10.1	14.9	10.7	10.0			9.2			10.3	17.0	16.2	9.3	9.7	8.0	11.2	13.4	11.0	9.6	11.3	14.5	11.5	10.4	12.2
24.1	7.4	19.6	11.4	11.3	8.9	15.1	11.1	13.7	13.3	12.0	10.3	12.6	13.9	9.6	14.3			11.9			12.5	14.4	14.1	13.7	11.5	8.4	11.0	13.0	10.6	11.7	11.8	14.1	10.9	12.7	12.5
22.2	33.4	23.8	10.1	10.7	11.2	10.8	13.6	11.2	11.9	9.5	11.2	10.1	11.5	14.9	10.0			9.2			10.3	8.8	9.6	9.3	11.1	12.0	11.2	10.2	11.9	9.6	10.6	10.5	12.7	10.4	11.2
21.7	35.3	23.7	10.1	10.5	11.5	10.9	13.2	11.0	11.7	10.0	11.4	10.1	8.1	10.9	7.5			7.9			10.2	10.1	9.9	10.0	10.7	12.4	11.6	9.7	11.2	9.4	10.1	10.3	12.2	10.2	10.9
9.3	10.8	11.0	14.1	13.2	13.6	12.8	13.2	12.9	13.0	14.1	13.8	12.3	7.4	9.0	8.9			14.8			15.0	12.0	10.3	10.8	15.4	15.5	14.0	12.2	12.2	13.9	12.7	12.5	12.7	13.4	12.9
9.5	7.2	7.1	12.7	13.0	13.3	13.1	13.6	12.9	13.2	14.8	14.1	13.7	9.9	12.9	8.8			15.9			13.2	10.0	10.3	9.4	13.7	16.7	11.8	12.1	13.5	13.8	13.1	12.6	13.6	13.4	13.2
43.0	43.0	39.6	21.2	22.5	20.5	26.8	25.0	25.0	25.6	21.6	19.9	22.1	26.2	25.7	25.6			20.9			22.1	25.9	25.5	25.7	21.2	20.5	20.4	23.7	22.9	22.0	22.9	25.3	24.0	23.5	24.2
45.8	42.7	42.9	21.9	22.0	20.4	26.2	23.9	24.8	25.0	21.8	21.6	23.4	22.1	20.5	22.0			19.9			23.1	24.7	24.0	23.7	22.3	20.7	22.7	22.7	21.7	21.4	21.9	24.4	22.8	23.1	23.4
0.88	0.94	0.97	1.47	1.39	1.28	1.24	1.27	1.27	1.26	1.29	1.39	1.33	1.47	1.48	1.38			1.39			1.28	1.38	1.39	1.42	1.34	1.41	1.36	1.37	1.42	1.35	1.38	1.30	1.34	1.31	1.32
0.94	1.00	1.10	1.42	1.44	1.46	1.35	1.37	1.33	1.35	1.37	1.48	1.36	1.43	1.44	1.44			1.41			1.40	1.39	1.44	1.34	1.35	1.33	1.39	1.39	1.42	1.38	1.40	1.37	1.40	1.36	1.37
1.14	1.17	1.15	1.57	1.57	1.59	1.43	1.46	1.45	1.45	1.57	1.61	1.62	1.55	1.50	1.56			1.57			1.51	1.56	1.61	1.62	1.51	1.57	1.56	1.55	1.57	1.56	1.56	1.49	1.51	1.51	1.50
1.05	1.16	1.10	1.58	1.60	1.57	1.45	1.47	1.45	1.46	1.54	1.56	1.55	1.57	1.55	1.57			1.58			1.48	1.57	1.60	1.64	1.56	1.58	1.59	1.56	1.57	1.57	1.57	1.51	1.52	1.51	1.51
0.1	0.4	2.2	0.1	0.4	12.0	1.5	6.5	3.3	3.8	3.8	34.1	3.6	0.1	1.9	0.6			7.0			1.6	0.2	1.3	2.6	19.3	3.0	13.5	5.8	10.1	5.1	7.0	3.7	8.3	4.2	5.4
1.6	0.8	0.1	4.9	34.7	23.7	0.7	4.0	3.7	2.8	1.3	1.8	0.1	9.9	0.6	0.2			0.9			0.6	0.8	0.2	0.2	1.9	0.5	0.3	3.5	0.8	0.7	1.7	2.1	2.4	2.2	2.2
	713	826	1189	1070	1631	1802	1311	1610	1575	1551	1592	1466	1211	1889	1433			1566			1146		2251	2204	1485	1498	1705	1415	1807	1636	1620	1609	1559	1623	1597
	728	781	1315	1074	1705	1201	1343	1471	1338	1861	1638	1565	1266	2033	1076			1288			1337		1594	1568	1667	1									

Fortsetzung Tabelle 6

Standort Beprobungsjahr	Nutzung/ Tiefe ²	Auswil			Buch			Grasswil			Langnau			Madiswil			Niederösch			Roggwil			Rubigen			Rüderswil			Schlosswil			Seedorf ³		
		1998	2003	2013	1998	2005	2012	1996	2004	2011	1996	2003	2008	1997	2006	2012	1999	2003	2010	1996	2005	-	1994	2004	2011	2000	2007	2015	1994	2006	2014	1995	2003	2010
Vorbelastung [kPa] ¹¹ (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB		61.2	57.5		100.9	56.1		88.5	56.5		48.2	71.5		64.2	57.3		48.9	51.3		54.6		60.0	42.9		62.2	59.3		57.5	43.9		43.3	38.6	
	AF/OB		55.4	65.5		109.5	63.0		55.3	44.8		44.4	65.1		70.2	38.4		40.2	39.7		80.7		61.2	37.0		65.1	49.7		55.9	49.9		49.4	46.0	
	NW/UB		86.3	68.3		125.5	60.8		54.1	51.3		84.4	73.8		53.8	41.8		57.1	60.2		93.7		60.3	47.6		62.8	39.8		54.2	52.9		76.3	71.2	
	AF/UB		100.2	84.9		106.3	67.7		68.8	52.1		98.9	99.0		71.1	55.2		78.2	61.0		75.3		61.5	39.7		39.4	63.3		50.6	38.5		82.2	94.9	
Kompressionsbeiwert [-] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB		0.150	0.132		0.098	0.098		0.129	0.135		0.146	0.141		0.122	0.125		0.101	0.112		0.156		0.116	0.110		0.139	0.127		0.125	0.121		0.133	0.130	
	AF/OB		0.133	0.128		0.107	0.112		0.099	0.106		0.113	0.108		0.095	0.107		0.093	0.105		0.100		0.108	0.114		0.141	0.131		0.120	0.125		0.104	0.120	
	NW/UB		0.139	0.147		0.090	0.090		0.123	0.118		0.123	0.131		0.113	0.100		0.096	0.102		0.129		0.091	0.103		0.147	0.122		0.095	0.097		0.093	0.103	
	AF/UB		0.135	0.140		0.107	0.106		0.102	0.083		0.121	0.110		0.084	0.103		0.099	0.090		0.107		0.106	0.111		0.128	0.140		0.118	0.116		0.092	0.093	
Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa [Vol. %] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB		4.5	4.3		3.0	4.0		3.8	4.4		6.1	3.9		3.9	3.8		4.7	4.7		5.2		4.4	4.5		4.3	4.4		3.9	5.2		5.4	6.0	
	AF/OB		4.3	4.0		2.7	3.9		4.5	4.5		5.0	3.4		3.4	5.2		4.2	4.7		3.0		3.6	4.8		3.8	4.6		3.8	4.4		3.9	5.1	
	NW/UB		3.8	4.5		2.4	2.9		4.1	4.3		3.9	4.1		4.0	5.2		3.8	4.2		3.3		4.4	4.5		4.4	5.3		4.9	4.2		2.7	3.5	
	AF/UB		2.8	3.6		2.2	3.4		3.5	3.4		2.7	2.6		2.8	3.8		3.4	3.7		3.5		4.6	5.2		5.1	4.5		3.8	5.6		2.5	2.6	
Groporenvolumen nach Belastung mit 250 kPa [Vol. %] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB		3.6	4.9		5.3	5.1		4.2	1.6		3.4	4.1		2.0	5.3		6.3	2.8		1.0		8.4	7.8		1.7	6.1		4.5	4.6		3.0	3.8	
	AF/OB		4.6	5.4		4.3	5.0		4.8	3.3		3.3	1.2		3.2	9.3		6.6	3.9		0.8		5.9	6.3		5.1	4.3		2.7	3.6		7.9	8.3	
	NW/UB		6.9	7.2		6.5	6.8		8.1	7.6		5.7	4.2		6.0	9.9		8.6	5.2		4.9		8.7	9.0		5.1	9.6		2.8	2.6		5.4	8.2	
	AF/UB		6.8	6.7		7.7	8.1		5.2	6.5		7.4	6.5		4.1	8.3		7.0	6.7		4.9		8.6	8.4		6.0	8.2		8.5	7.2		11.4	14.2	
Probesetzung nach Belastung mit 250 kPa [mm] (Median von 9 Einzelwerten)	NW/OB		0.080	0.083		0.050	0.066		0.072	0.082		0.103	0.073		0.070	0.069		0.076	0.079		0.103		0.073	0.078		0.080	0.082		0.073	0.098		0.097	0.107	
	AF/OB		0.093	0.074		0.043	0.068		0.074	0.073		0.083	0.060		0.056	0.090		0.070	0.082		0.049		0.061	0.080		0.071	0.085		0.070	0.082		0.066	0.091	
	NW/UB		0.048	0.084		0.037	0.046		0.073	0.073		0.069	0.065		0.064	0.083		0.059	0.065		0.054		0.076	0.075		0.080	0.094		0.078	0.066		0.043	0.056	
	AF/UB		0.068	0.067		0.035	0.055		0.056	0.055		0.046	0.047		0.044	0.060		0.053	0.059		0.056		0.071	0.084		0.087	0.084		0.066	0.093		0.041	0.042	
Total anözische <i>Lumbricus</i> [g/m ²] (Median von 6 Einzelwerten)	NW	73.0	49.2	4.6	71.4	118.5	65.1	15.3	60.6	31.5	37.1	9.7	11.2	53.1	46.9	8.7	114.2	67.1	37.2	86.6	34.1		72.1	21.3	0.0	0.0	5.7	8.0	118.6	73.0	67.0	35.4	12.9	12.3
	AF	21.6	17.0	65.2	18.0	18.0	78.2	10.3	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	2.7	16.1	57.9	38.5	89.8	68.8	122.0	135.9		0.8	0.8	6.9	28.4	31.6	33.4	51.3	0.0	0.0	79.5	37.2	11.9
Total anözische <i>Nicodrilus</i> [g/m ²]	NW	104.0	111.4	30.8	58.2	77.2	77.1	175.2	181.7	137.4	174.5	124.1	100.8	100.1	153.3	108.5	159.8	175.4	114.4	70.8	110.4		303.5	32.1	54.2	14.3	39.2	37.4	59.1	48.3	74.0	179.8	146.1	189.6
	AF	62.4	126.9	22.2	41.6	41.6	55.0	44.7	161.4	55.0	133.0	155.5	91.3	2.4	155.7	120.0	71.6	56.2	42.8	2.4	23.9		80.9	80.9	179.0	44.4	25.0	72.6	128.8	125.5	41.8	80.3	87.0	55.0
Total endogäische Arten [g/m ²]	NW	51.9	68.2	46.4	55.7	56.8	29.9	60.4	45.3	38.9	79.7	41.4	35.1	41.5	34.4	12.0	74.6	69.6	40.7	51.9	106.2		43.1	9.7	51.0	34.3	17.4	16.7	26.1	54.0	65.9	67.8	22.6	27.6
	AF	48.3	62.6	5.7	62.7	62.7	13.9	40.1	91.9	16.5	74.6	58.2	39.3	49.3	36.2	2.5	70.2	78.3	30.9	33.8	73.6		97.9	97.9	15.5	25.4	19.1	17.5	39.8	43.7	26.7	82.5	31.8	41.0
Total epigäische Arten [g/m ²]	NW	2.8	14.6	2.6	15.6	3.6	8.0	10.5	7.6	4.9	4.8	16.5	3.6	14.2	2.5	10.8	12.2	13.6	20.1	2.8	0.2		15.2	2.5	17.4	20.2	31.9	42.2	2.3	0.0	2.0	6.9	0.4	0.8
	AF	6.8	40.4	45.1	3.7	3.7	5.4	33.6	8.4	11.4	29.4	21.4	9.8	31.1	6.8	34.5	28.4	17.3	4.3	4.0	6.2		44.6	44.6	12.4	16.8	3.0	13.3	0.1	0.0	9.2	23.4	4.9	2.2
Regenwurm-Gesamtbiomasse [g/m ²] ¹²	NW	224.1	255.5	121.0	217.2	264.0	183.0	256.5	278.0	218.0	287.3	198.8	138.0	231.0	265.4	142.0	355.4	368.8	214.0	212.0	263.3		447.3	72.9	125.0	85.3	98.8	108.0	222.3	211.9	195.0	277.9	194.0	242.0
	AF	129.6	255.5	133.0	133.8	268.0	178.0	141.6	273.0	95.0	265.9	254.7	141.0	93.5	207.0	215.0	202.4	267.1	167.0	166.1	257.3		230.6	270.0	217.0	123.5	78.4	129.0	196.2	167.8	84.0	244.6	166.3	127.0
Total anözische <i>Lumbricus</i> [Individuen/m ²] (Median von 6 Einzelwerten)	NW	31	22	2	48	70	34	8	24	18	28	8	10	26	22	6	51	34	21	28	26		40	22	0	0	4	4	106	42	40	30	8	6
	AF	14	10	24	10	44	24	36	0	0	2	0	0	2	8	18	12	32	44	38	30		2	38	2	14	13	14	22	0	0	38	10	6
Total anözische <i>Nicodrilus</i> [Individuen/m ²]	NW	88	111	21	97	175	89	200	126	103	172	95	71	36	119	68	93	91	64	90	156		350	24	52	12	29	59	90	36	47	129	86	140
	AF	95	108	17	50	66	51	64	104	45	172	130	64	2	141	63	44	22	29	10	56		104	105	170	47	27	82	96	106	67	96	81	50
Total endogäische Arten [Individuen/m ²]	NW	171	197	88	194	251	72	251	269	169	401	115	147	145	129	46	238	224	164	158	383		188	70	245	101	40	67	88	224	180	224	118	118
	AF	272	209	18	217	197	45	86	240	47	290	223	147	102	223	11	193	186	64	164	429		321	218	51	84	84	121	119	112	128	204	124	185
Total epigäische Arten [Individuen/m ²]	NW	18	48	16	84	30	37	166	69	25	62	72	10	72	20	28	76	85	56	30	4		99	32	63	84	38	95	18	0	10	104	2	10
	AF	68	91	100	23	68	18	148	48	39	204	64	35	114	28	85	155	60	16	14	46		470	93	40	52	16	18	2	0				

Auszug aus dem Schlussbericht «Förderprogramm Boden Kanton Bern»

Fortsetzung Tabelle 6

Treiten			Zollikofen ⁴			Mittelwert der ÖLN ⁵ Standorte				Bantigen			Clavaleyres ⁹			Hindelbank			Kirchlindach			Möriswil			Uettligen			Mittelwert der BIO ¹⁰ Standorte				Mittelwert aller Standorte			
1995	2008	2014	1999	2003	2015	EE ⁶	ZE ⁷	DE ⁸	Total	1997	2004	2009	1999	2006	2011	-	-	2009	-	-	2009	1995	2002	2008	1997	2005	2014	EE	ZE	DE	Total	EE	ZE	DE	Total
	48.3	40.8		41.9	67.8		60.0	55.8	57.9		51.5	44.2		151.0	64.1			69.8			59.9		66.6	82.2		60.3	45.0		82.4	56.6	69.5		71.2	56.2	63.7
	53.4	35.2		45.4	98.9		60.5	54.2	57.3		54.9	35.7		119.9	63.7			54.8			46.1		54.0	52.8		54.5	41.2		70.8	46.1	58.5		65.6	50.2	57.9
	50.3	56.5		104.7	74.8		74.1	61.0	67.6		53.5	52.0		90.4	104.4			71.5			51.4		81.7	87.9		59.2	41.7		71.2	62.6	66.9		72.7	61.8	67.2
	57.7	68.3		86.0	91.8		75.1	67.1	71.1		88.8	65.8		181.4	83.4			86.4			65.5		74.4	65.7		57.2	69.2		100.5	74.6	87.5		87.8	70.8	79.3
	0.153	0.132		0.114	0.079		0.129	0.177	0.153		0.136	0.123		0.102	0.096			0.109			0.120		0.106	0.097		0.115	0.128		0.115	0.118	0.116		0.122	0.147	0.135
	0.164	0.150		0.105	0.091		0.114	0.114	0.114		0.087	0.111		0.100	0.088			0.109			0.107		0.091	0.101		0.119	0.107		0.099	0.109	0.104		0.107	0.111	0.109
	0.146	0.130		0.104	0.064		0.115	0.107	0.111		0.093	0.084		0.096	0.076			0.100			0.103		0.093	0.095		0.098	0.103		0.095	0.098	0.097		0.105	0.102	0.104
	0.161	0.157		0.107	0.117		0.113	0.188	0.151		0.105	0.089		0.107	0.088			0.098			0.092		0.090	0.091		0.087	0.096		0.097	0.093	0.095		0.105	0.141	0.123
	4.8	4.7		5.1	2.7		4.5	4.2	4.4		5.0	4.8		1.9	3.4			3.8			4.2		3.5	2.8		5.0	5.3		3.8	4.5	4.1		4.2	4.3	4.2
	5.4	6.1		4.8	5.9		4.0	4.6	4.3		3.4	4.7		2.3	3.5			4.1			4.4		4.0	4.1		4.5	5.0		3.5	4.6	4.0		3.8	4.6	4.2
	4.7	4.1		2.6	2.0		3.8	3.9	3.8		3.1	3.8		2.7	2.0			3.2			4.6		3.1	2.5		4.3	5.1		3.3	3.8	3.5		3.5	3.9	3.7
	5.2	4.1		2.9	2.4		3.5	3.7	3.6		3.0	3.4		2.1	2.6			2.9			3.2		3.3	3.2		4.1	3.4		3.1	3.1	3.1		3.3	3.4	3.4
	0.3	4.4		6.9	8.0		3.9	4.6	4.2		7.4	6.8		1.5	0.0			4.8			1.1		3.6	5.2		8.6	4.0		5.3	4.3	4.8		4.6	4.4	4.5
	1.3	5.3		5.5	16.6		4.3	5.6	4.9		7.2	7.9		0.9	2.9			5.4			5.1		2.6	4.6		5.0	3.3		3.9	5.8	4.8		4.1	5.7	4.9
	0.0	1.0		11.3	13.6		6.2	6.5	6.3		7.1	5.6		3.0	1.3			6.1			6.8		3.5	4.7		6.6	7.3		5.1	6.5	5.8		5.6	6.5	6.0
	0.0	1.8		9.0	9.3		6.7	6.8	6.7		6.3	7.9		5.1	4.2			6.5			5.2		5.2	5.3		6.2	8.5		5.7	7.9	6.8		6.2	7.4	6.8
	0.106	0.104		0.086	0.048		0.082	0.077	0.079		0.082	0.086		0.031	0.057			0.061			0.074		0.057	0.050		0.084	0.093		0.064	0.079	0.071		0.073	0.078	0.075
	0.111	0.129		0.079	0.109		0.071	0.083	0.077		0.056	0.081		0.037	0.059			0.069			0.075		0.061	0.070		0.081	0.084		0.059	0.078	0.069		0.065	0.080	0.073
	0.097	0.083		0.042	0.032		0.063	0.067	0.065		0.048	0.058		0.044	0.032			0.051			0.074		0.055	0.038		0.068	0.081		0.054	0.060	0.057		0.058	0.063	0.061
	0.100	0.085		0.048	0.041		0.059	0.064	0.062		0.048	0.055		0.033	0.042			0.045			0.051		0.062	0.054		0.063	0.054		0.052	0.050	0.051		0.055	0.057	0.056
105.8	0.0	0.0	102.9	104.8	0.0	68.1	46.4	22.6	45.7	2.3	36.6	1.6	30.9	39.7	37.3			27.5			25.0	106.6	71.0	39.6	0.0	0.0	5.6	34.9	36.8	18.6	30.1	51.5	41.6	20.6	37.9
55.5	23.2	4.1	11.4	16.8	3.6	34.3	29.7	26.5	30.2	11.9	6.9	0.0	31.2	23.4	0.0			11.7			49.6	7.7	0.0	0.0	38.6	0.0	0.0	22.3	7.6	12.2	14.0	28.3	18.6	19.4	22.1
150.3	171.7	144.2	46.2	83.1	28.5	122.8	111.8	80.2	104.9	78.6	108.4	104.3	73.7	62.2	54.7			26.0			257.4	68.2	41.7	33.5	0.0	48.9	173.4	55.1	65.3	130.7	83.7	88.9	88.6	105.4	94.3
114.6	134.4	185.8	46.6	24.5	42.0	65.7	92.2	79.5	79.1	110.8	45.8	85.0	46.7	55.8	46.5			164.7			40.7	184.6	74.7	16.6	178.1	57.2	0.0	130.1	58.4	60.3	82.9	97.9	75.3	69.9	81.0
72.6	19.2	53.5	66.4	108.2	64.8	55.9	50.2	43.0	49.7	40.2	38.0	22.6	74.9	89.6	60.9			19.9			53.8	49.3	22.9	11.3	1.2	13.4	44.5	41.4	41.0	29.9	37.4	48.6	45.6	36.5	43.6
31.7	20.8	22.1	56.8	86.0	47.6	54.9	58.7	23.1	45.5	107.6	38.5	23.5	12.1	53.6	39.2			76.4			72.9	74.3	53.5	35.5	71.0	34.7	0.2	66.2	45.1	41.6	51.0	60.5	51.9	32.4	48.3
2.5	0.8	0.0	21.0	12.7	4.9	10.1	8.2	10.1	9.5	29.4	2.3	9.1	11.7	10.9	5.3			34.9			2.8	14.5	5.0	7.4	3.3	1.0	1.6	14.7	4.8	9.4	9.7	12.4	6.5	9.8	9.6
0.4	1.6	0.7	9.5	9.3	7.2	17.8	12.9	13.8	14.8	26.2	26.7	25.7	3.7	12.1	12.3			6.6			30.0	36.1	10.7	9.2	1.5	5.0	6.1	16.8	13.6	13.3	14.6	17.3	13.3	13.6	14.7
357.7	190.5	215.0	231.2	284.9	104.0	254.1	226.7	159.3	213.4	169.6	204.8	139.0	161.0	198.6	149.0			113.0			347.0	253.6	154.2	100.0	6.3	64.4	222.0	147.6	155.5	193.8	165.7	200.9	191.1	176.6	189.5
213.2	185.1	209.0	141.4	132.2	105.0	173.3	214.0	148.5	178.6	242.3	131.9	138.0	96.7	166.0	109.0			293.0			190.0	313.6	146.3	61.0	307.8	104.2	9.0	240.1	137.1	136.3	171.2	206.7	175.6	142.4	174.9
58	0	0	59	46	4	40	25	13	26	2	22	2	12	14	14			18			16	46	26	36	0	0	4	15	16	14	15	27	20	13	20
47	4	4	14	12	0	19	16	11	15	4	2	0	9	12	0			10			26	4	0	0	16	0	0	8	4	7	6	14	10	9	11
123	143	91	47	64	34	118	97	63	92	104	97	88	55	76	57			32			191	88	37	20	0	47	120	62	64	99	75	90	80	81	84
70	128	98	32	19	20	68	84	65	72	65	35	67	35	116	75			156			75	252	90	12	169	51	0	130	73	60	88	99	79	63	80
303	111	262	157	291	151	202	186	151	179	139	191	83	213	242	215			90			130	223	79	41	10	43	213	146	139	113	133	174	163	132	156
94	79	96	91	298	180	172	202	92	155	196	150	60	38	224	196			217			388	257	197	140	169	138	4	165	177	166	169	169	190	129	162
46	12	0	82	147	62	72	43	36	50	213	35	48	42	69	27			179			27	54	10	22	40	10	20	87	31	51	56	80	37	43	53
4	14	6	40	134	31	108	54	43	68	69	300	70	18	81	72			37			98	207	48	55	22	26	24	79	114	49	81	93	84	46	74
491	279	357	352	517	268	429	353	269	350	450	351	254	346	400	315			351			387	403	157	143	54	95	344	313	251	292	285	371	302	281	318
239	232	206	195	486	231	373	360	214	316	366	487	208	117	446	378			440			570	713	336	208	334	215	30	383	371	292	347	378	366	253	332

⁹ Clavaleyres wird ab 2009 nach Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis» bewirtschaftet

¹⁰ BIO = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»

¹¹ Bei den Parametern Lagerungsdichte, gesättigte Wasserleitfähigkeit und Vorbelastung stellt der kleinere Messwert das positiver bewertete Ergebnis (NW > AF) dar

¹² Die Mittelwerte von Regenwurm-Gesamtbioasse und Gesamtfauna setzen sich nicht aus den Summenmittelwerten der vier Gruppen zusammen, sondern stellen die Mittelwerte der Mediane dar

Tabelle 7: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung der On Land-Befahrung.

Unterböden				Haupteffekt		Nebeneffekt		
				KPF vs. BSA, OLP und NW ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)		
				Referenz = BSA, OLP und NW		Referenz = E2 oder E3		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Sand	Gew. %	104	NP	0.600		0.000 ***	E2 zu E3	74
Schluff	Gew. %	104	NP	0.509		0.000 ***	E2 zu E3	33
Ton	Gew. %	104	NP	0.056 *	57	0.012 **	E2 zu E3	46
Humus	Gew. %	104	NP	0.173		0.992		
pH (CaCl ₂)	-	104	P	0.912		0.049 **	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.21 -0.17
Lagerungsdichte	g/cm ³	104	P	0.583		0.067 *		
Gesamtporenvolumen	Vol. %	104	P	0.744		0.158		
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	Vol. %	104	P	0.517		0.483		
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	Vol. %	94	P	0.801		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	1.42 1.48
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	Vol. %	94	P	0.887		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.34 -0.59
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	Vol. %	104	P	0.564		0.030 **	E1 zu E2 E1 zu E3	0.68 0.33
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	Vol. %	100	P	0.170		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-2.48 -1.02
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	Vol. %	100	P	0.423		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	1.36 -0.04
Luftdurchlässigkeit	µm ²	70	NP	0.266		0.043 **	E2 zu E3	63
Vorbelastung	kPa	70	NP	0.178		0.013 **	E2 zu E3	38
Kompressionsbeiwert	-	70	P	0.362		0.551		
Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	70	P	0.027 **	0.36	0.061 *		
Grobporenvolumen nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	70	NP	0.330		0.132		
Probensetzung nach Belastung mit 250 kPa	mm	70	NP	0.187		0.017 **	E2 zu E3	63

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch:	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
absoluter Wert	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch:	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
relativer Wert	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ KPF = konventioneller Pflug; vs. = gegenübergestellt; BSA = Boden schonende Anbausysteme; OLP = On Land-Pflug; NW = Naturwiesen

⁵ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

2.5 Biomassen der Regenwurmpopulation

Sechs der 13 unterschiedenen Messgrössen zeigen signifikante Bearbeitungseffekte. Die Gesamtbiomasse ist in unbearbeiteten Böden um 32.8 g/m² höher als in bearbeiteten (Tabelle 5), bei einem durchschnittlichen Wert von 182 g/m² über alle KABO-Standorte hinweg (Tabelle 6). Bei den vier unterschiedenen Gruppen weisen lediglich die Tiefgräber höhere Biomassen in unbearbeiteten verglichen mit bearbeiteten Böden auf. Die Wahrscheinlichkeitswerte von 61–65% unterstützen die Hypothese statistisch gesichert (Tabelle 5).

Bei allen Messgrössen kann – ohne Differenzierung nach Bearbeitung – ein zeitlicher Einfluss festgestellt werden: Die Werte der Gesamtbiomassen nehmen vom ersten zum zweiten Zyklus um 17.8 g/m² und vom ersten zum dritten um 61.7 g/m² ab (Tabelle 5). Die endogäischen Arten und die anözischen Lumbricus zeigen im dritten Erhebungszyklus geringere Biomassen als im ersten, während sich erster und zweiter Zyklus noch kaum unterscheiden.

Die Resultate der Regenwurm-Erhebungen decken sich mit den meisten früheren Untersuchungen: Regelmässiges Pflügen redu-

ziert insbesondere die grossen tiefgrabenden Regenwürmer der Gattung Lumbricus (MAURER-TROXLER et al. 2005), sei dies direkt durch Töten der Tiere im Feld oder durch Veränderung ihrer Lebensbedingungen bezüglich Raum (keine durchgehenden Wohnröhren wegen Verschmieren und Verdichten sowie Pflugsohlenbildung), Nahrungsangebot (Pflanzenreste werden in die Tiefe vergraben) und Temperatur/Feuchtigkeit (gepflügte Böden sind unbedeckt und dadurch wärmer und trockener als nicht gepflügte). Da sich Tiefgräber und Streubewohner in direkter Nahrungskonkurrenz zueinander befinden, sind Streubewohner in gepflügten Böden, dank der geringeren Anzahl Tiefgräber, in grösserer Menge anzutreffen.

Regenwurmpopulationen scheinen einem grossen zeitlichen Einfluss zu unterliegen, insbesondere Tiere der Tiefgräbergruppe Lumbricus wurden mit jedem Erhebungszyklus seltener gefunden. Ob diese zeitlichen Effekte methodischer Art sind, mit der Bodenbearbeitung zusammenhängen oder mit den gehäuft auftretenden wärmeren und trockeneren Spätsommer- und Herbstmonaten, kann noch nicht abschliessend beurteilt werden.

3 Schlussfolgerungen

Die im Vergleich zu bearbeiteten Böden höheren Vorbelastungswerte bei unbearbeiteten Böden sind keine Folge von Schadverdichtungen. Vielmehr sind unbearbeitete OB lockerer gelagert und weisen daher mehr Hohlräume auf als bearbeitete; wegen des biologischen Lebensverbau sind sie dennoch stabiler. Gleichzeitig werden bei unbearbeiteten Böden dank den durchgehenden Bioporen (Regenwurmröhren und Wurzelgänge) Wasserinfiltration und Gasaustausch gefördert. Umgekehrt treten, verursacht durch Bodenbearbeitungsgeräte, bei bearbeiteten Böden vermehrt Verschlammung und Schmierschichten sowie Pflugsohlenbildung auf, was die Transporteigenschaften für Wasser und Gas einschränkt und gleichzeitig die groben Mittelporen bzw. das Angebot an leicht pflanzenverfügbarem Wasser reduziert.

Es konnte ein – zum Teil deutlicher – Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Regenwurmpopulation nachgewiesen werden. Sowohl Gesamtbiomasse als auch Gesamtbiomasse sind in unbearbeiteten Böden grösser. Jedoch reagieren die vier ökologischen Gruppen nicht

alle gleich auf die Bearbeitung: Streubewohner finden sich häufiger in gepflügten Böden, Mineralbodenbewohner sowie anözische Nicodrilus eher und die anözischen Lumbricus deutlich häufiger in unbearbeiteten Böden. Ein zeitlicher Effekt ist insbesondere bei der Abundanz der juvenilen anözischen Lumbricus zu erkennen, indem diese Gruppe in unbearbeiteten Böden zahlenmässig laufend zunimmt.

Die vorliegende Hypothese wird mit den physikalischen Messgrössen Vorbelastung, Gesamtporenvolumen, Poren mit leicht pflanzenverfügbarem Wasser, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Luftdurchlässigkeit und Lagerungsdichte unterstützt – z.T. deutlich. Keine einzige der untersuchten physikalischen Messgrössen sichert die Nullhypothese. Auch die meisten biologischen Messgrössen sichern die Hypothese. Insbesondere tiefgrabende Regenwürmer finden sich sowohl bezüglich Abundanz als auch Biomasse häufiger in unbearbeiteten als in bearbeiteten Böden. Lediglich mit der Abundanz der Streubewohner kann die Nullhypothese gesichert werden.

4 Wirkungsbeurteilung

Mit dem Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung, wie sie mit den Massnahmen 1 und 2 postuliert wurden, konnten die physikalischen und biologischen Eigenschaften nachweislich verbessert werden. Langjährig praktizierte

Mulch-, Streifenfräs- oder Direktsaat führen im Oberboden zu mehr pflanzenverfügbarem Wasser, zu einer insgesamt deutlich höheren Infiltrationsleistung, zu einem grösseren und kontinuierlicheren Porensystem und damit zu einem

ausgewogeneren Gleichgewicht im Wasser- und Lufthaushalt. Der Boden wird dank seinem Lebendverbau tragfähiger und weniger verdichtungsanfällig. Infolge der grossen Regenwurm-

population, insbesondere von tiefgrabenden Arten, sind unbearbeitete Böden biologisch aktiver und weisen eine stabilere Bodenstruktur auf.

5 Wirkungsbeurteilung der On Land-Befahrung

Hypothese: je konsequenter flach oder unbearbeiteter Boden ausschliesslich mit On Land-Befahrung bewirtschaftet wird, desto besser sind Bodenstruktur und Bodenstabilität im Unterboden.

Nullhypothese: die Furchengrund-Befahrung führt im Unterboden zu keiner Schädigung der Bodenstruktur und Bodenstabilität.

1 Gruppierung, Vorabklärungen und Messgrössen

Die vorliegende Hypothese beurteilt den Einfluss der Furchengrund-Befahrung auf die physikalischen Eigenschaften der Unterböden (UB). Ackerflächen (AF) mit Boden schonendem Anbausystem (BSA) sowie mit ausschliesslicher On Land-Pflug-Technik (OLP) und Naturwiesen (NW) werden zur Gruppe «nicht befahrene Unterböden» zusammengefasst (= Referenz) und mit der Gruppe «befahrene Unterböden», d.h. Ackerflächen auf denen die konventionelle Pflug-Technik eingesetzt wird (KPF: dabei werden die Räder von einer Traktorseite in der Pflugfurche direkt auf dem Unterboden abgestützt) verglichen.

Die Bodenkennwerte Ton, Schluff, Sand, Humus und pH-Wert (CaCl_2) werden herangezogen, um in einer Vorabklärung die Vergleichbarkeit der beiden unterschiedenen Gruppen zu überprüfen. Unterscheiden sie sich nicht, können die Auswirkungen der Unterbodenbefahrungen auf den Bodenzustand direkt beurteilt bzw. ein allfälliger Einfluss der durch die Bodenkennwerte charakterisierten Standorteigenschaften vernachlässigt werden.

Nur beim Tongehalt gibt es einen tendenziellen Unterschied (Tabelle 7). Beim Sand- und Schluffgehalt zeigen sich in den Erhebungszyklen zwei und drei unterschiedliche Werte, die methodisch zu begründen sind, da beide Male

dieselben Standorte beprobt wurden. Die pH-Werte sind im zweiten und dritten Erhebungszyklus nahezu identisch, der Unterschied zum ersten Erhebungszyklus lässt sich hier mit dem erfolgten Laborwechsel in Verbindung bringen. Die Ausprägung der Bodenkennwerte beeinflusst die Beurteilung der Hypothese somit nicht.

Folgende abhängige physikalische Messgrössen wurden im Rahmen der Hypothesen-Überprüfung untersucht:

A) Gefügebautbau

- Lagerungsdichte
- Porenvolumen; unterteilt in Grobporen (pF 0 bis 1.8; weiter unterteilt in pF 0 bis 1.4 und 1.4 bis 1.8), grobe Mittelporen (pF 1.8 bis 3), feine Mittelporen (pF 3 bis 4.2), Feinporen (pF 4.2 bis ofentrocken) und Gesamtporen

B) Transporteigenschaften

- Luftdurchlässigkeit

C) Gefügestabilität

- Vorbelastung
- Kompressionsbeiwert
- Probensetzung, Gesamtporenvolumenverlust und verbleibende Grobporen jeweils nach Belastung mit 250 kPa

2 Resultate und Diskussion

2.1 Gefügebautbau der Unterböden

Lagerungsdichte: Es ergab sich kein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den befahrenen und den nicht befahrenen Unterböden. Damit ist davon auszugehen, dass sich die beiden miteinander verglichenen Befahrungssituationen hinsichtlich Unterbodenverdichtungen (noch) nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Der Boden ist somit noch in der Lage, das Befahren des Furchengrundes beim KPF abzupuffern.

Die UB der KABO-Standorte sind mit einer durchschnittlichen Lagerungsdichte von

1.51 g/cm³ generell dichter gelagert als die OB mit 1.35 g/cm³ (Tabelle 6). Je dichter gelagert Böden sind, desto geringer sind Durchwurzelung und Durchlüftung, was auch die Tätigkeit der Mikroorganismen einschränkt und Wurzelkrankheiten fördern kann.

Porenvolumen: Das Porenvolumen ist ein wichtiger Parameter, um den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens indirekt zu beurteilen. Die unbefahrenen UB weisen im Vergleich zu den befahrenen bei keiner Porengrössenklasse signifikante Unterschiede auf (Tabelle 7). Diese

Tatsache zeigt, dass aufgrund der beiden Befahrungsmodi im UB (noch) keine Unterschiede im Gefügeaufbau festzustellen sind. Am Standort «Oberacker» verfügen die UB der Direktsaat (DS) und des Dauergrünlandstreifens (DG) über grössere Grobporenvolumina als beim Pflug (PF). Bei den Volumina der restlichen Porengrössenklassen sind zwischen den Verfahren kaum Unterschiede festzustellen (CHERVET et al. 2016a).

Unter Einbezug aller KABO-Standorte und ohne Differenzierung des Befahrens sind signifikante zeitliche Effekte zwischen dem ersten und den

beiden nachfolgenden Erhebungszyklen festzustellen. Dabei sind sowohl Zunahmen (grobe Grob- und grobe Mittelporen) als auch Abnahmen (feine Grob- und feine Mittelporen) zu beobachten (Tabelle 7). Die Volumenentwicklung der gröberen Porenklassen (bis zu den groben Mittelporen) deutet an, dass im UB über alle Standorte betrachtet keine schleichende Verdichtung im Gang ist und sich diese bei der gegenwärtigen Mechanisierung und vielleicht auch dank der umsichtigen Einsatzplanung durch die Bewirtschafter (mit dem Berücksichtigen günstiger Bodenzustände beim Pflügen) noch als robust präsentieren.

2.2 Transporteigenschaften der Unterböden

Luftdurchlässigkeit: Die Luftdurchlässigkeit in den KABO-UB (Durchschnitt = $1137 \mu\text{m}^2$) wurde erst ab dem zweiten Erhebungszyklus erhoben (Tabelle 6). Die Resultate zeigen generell höhere Werte im UB als im OB und keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen befahrenen und nicht befahrenen UB (Tabelle 7). Lediglich ein zeitlicher Effekt wurde festgestellt: Die

Werte des zweiten Erhebungszyklus sind mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 63 % kleiner als diejenigen von Erhebungszyklus drei. Über alle Standorte betrachtet zeigt sich somit eine Verbesserung der Ausbildung der Porenraumqualität, was schon bei der in Ziff. 2.1 beschriebenen Volumenzunahmen der Klassen mit gröberen Poren erkennbar wurde.

2.3 Gefügestabilität der Unterböden

Die Stabilitätsbeurteilung wurde erst ab dem zweiten Erhebungszyklus vorgenommen.

von Strukturdegradierung darstellen könnte (analog zu CHERVET ET AL. 2016b).

Gesamtporenvolumenverlust und verbleibende Grobporen jeweils nach Belastung mit 250 kPa: Bei On Land-Befahrung wurde im UB nach einer Belastung mit 250 kPa ein um 0.36 Vol. % signifikant höherer Gesamtporenvolumenverlust ($p < 0.05$, Tabelle 7) festgestellt (Durchschnitt UB = 3.55 Vol. %, Tabelle 6). Der festgestellte, etwas grössere Volumenverlust nach Belastung deutet auf eine etwas geringere Verdichtung bei den On Land-befahrenen Böden hin. Ebenfalls möglich ist eine grössere UB-Stabilität nach Einsatz mit konventioneller Pflugtechnik, welche ein erstes Anzeichen

Die Entwicklung der Drucksetzung zeigt mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 38 % bzw. 63 % eine tiefere Vorbelastung bzw. höhere Probensetzung in Erhebungszyklus drei gegenüber zwei (Tabelle 7). Wenn nach einer feuchten Ernte auch eine nasse Saatperiode folgt, sind sowohl die Risiken von Strukturschäden grösser als auch die Möglichkeiten von Strukturaufbau kleiner. Deshalb könnte die beobachtete Entwicklung eine Folge der Witterungsdynamik sein und darauf hindeuten, dass im dritten Erhebungszyklus die Witterungsbedingungen eher günstiger für die Strukturförderung waren als im zweiten.

3 Schlussfolgerungen

Nach rund 10-jährigem Einsatz der On Land-Befahrung auf wenigen, nicht verdichtungsanfälligen Ackerflächen der KABO-Standorte konnten nur geringe Unterschiede in der Strukturqualität zwischen nicht befahrenen und befahrenen UB festgestellt werden. Drucksetzungsversuche mit einer Belastung von 250 kPa haben gezeigt, dass nicht befahrene UB eine lockere Lagerung aufweisen als befahrene. Zeitliche Effekte zeigen, dass sich das Volumen im Grobporenbereich vergrösserte, die Luftdurchlässigkeit und somit die Porenraumqualität verbesserte und die Vorbelastung abnahm, was mit einer strukturellen Verbesserung (lockeres Gefüge) einhergeht. Die UB sind insgesamt robuster geworden, es ist keine schleichende Verdichtung festzustellen. Diese Erkenntnisse

können nicht verallgemeinert werden, sondern beziehen sich nur auf den aktuellen Zustand der leicht bearbeitbaren sandigen Lehmböden des Berner Mittellandes.

Für die untersuchten Messgrössen lässt sich weder die Hypothese noch die Nullhypothese bestätigen. Eine Ausnahme stellt der Gesamtporenvolumenverlust nach einer Belastung mit 250 kPa dar, die die On Land-Befahrung als Boden schonender darstellt.

4 Wirkungsbeurteilung

Mit den im Rahmen des Förderprogramms Boden unterstützten Massnahmen «Mulchsaat», «Streifenfrässaat» oder «Direktsaat» und «On Land-Pflug» konnte eine geringfügige Verbesserung der Bodenqualität im Unterboden nachgewiesen werden. Generell spricht viel für den Erhalt einer stabilen Unterbodenstruktur: Bei wendender Pflugarbeit ist es aus Sicht des Bodenschutzes vorteilhaft, den «On Land-

Pflug» einzusetzen, da alle Traktorräder auf der bewachsenen, durchwurzelten Bodenoberfläche abgestützt werden. Somit hat man auch bei ungünstigeren (d.h. feuchten) Bedingungen einen Sicherheitspuffer vor Unterbodenverdichtungen. Diese sehr erwünschte zusätzliche Sicherheit kann ein On Land-Pflug leichter und sicherer gewährleisten als das konventionelle Pflügen.

6 Wirkungsbeurteilung der ganzjährigen Bodenbedeckung

Hypothese: je konsequenter der Boden ganzjährig bedeckt und durchwurzelt ist bzw. je weniger der Boden bearbeitet wird, desto höher sind Humusgehalt, Perkulationsstabilität im Ober- und Unterboden, Biomasse und Aktivität der Bodenmikroorganismen im Oberboden.
Nullhypothese: *Bodenbedeckung, Bodendurchwurzelung bzw. Bodenbearbeitung haben keinen Einfluss auf Humusgehalt, Perkulationsstabilität im Ober- und Unterboden, Biomasse und Aktivität der Mikroorganismen im Oberboden.*

1 Gruppierung und Vergleich Bodenkennwerte

Diese Hypothese untersucht den Einfluss der Bodenbedeckung und der Bodendurchwurzelung bzw. der Bodenbearbeitung auf die Verschlämmung und auf mikrobiologische Eigenschaften in Ober- (OB) und Unterböden (UB). Dazu wurden die KABO-Daten folgendermassen gruppiert und miteinander verglichen: Ackerflächen (AF) mit Boden schonenden Anbausystemen (BSA = flach oder unbearbeitete Böden mit ganzjähriger vollständiger oder teilweiser Bedeckung) und Naturwiesen (NW) werden im Folgenden als «bedeckte/unbearbeitete» Böden (= Referenz) bezeichnet und mit AF, welche wendend mit On Land- (OLP) oder konventionellem Pflug (KPF) bearbeitet werden (im Folgenden als «unbedeckte/bearbeitete» Böden definiert) verglichen.

Da die Gruppierung der Daten derjenigen der Wirkungsbeurteilung der Boden schonenden Anbausysteme entspricht (Kapitel 4), gelten

dieselben Aussagen zur Überprüfung bezüglich der Bodenkennwerte Ton-, Schluff- und Sandgehalt sowie pH-Wert (CaCl_2) für den OB (Tabelle 5): Die Unterschiede sind geringfügig und werden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Für den UB fand keine Überprüfung statt.

Folgende abhängige Messgrössen wurden untersucht:

- Humus
- Perkulationsstabilität
- mikrobielle Biomasse FEM-N (mikrobieller Stickstoff)
- mikrobielle Biomasse FEM-C (mikrobieller Kohlenstoff)
- mikrobielle Biomasse SIR (mikrobieller Kohlenstoff)
- Basalatmung (mikrobielle Aktivität)
- metabolischer Quotient (berechneter Wert = Basalatmung dividiert durch mikrobielle Biomasse SIR)

2 Resultate und Diskussion

Der Gehalt an Humus ist statistisch gesichert in bedeckten/unbearbeiteten OB höher als in unbedeckten/bearbeiteten (Wahrscheinlichkeit 69 %, Tabelle 8). Dies hängt u.a. mit der Pflanzendecke (NW) bzw. der Mulchschicht (BSA) zusammen. Humusgehalt und mikrobiologische Parameter sind eng miteinander korreliert. Im UB unterscheiden sich bedeckte/unbearbeitete und unbedeckte/bearbeitete Flächen bezüglich ihres Gehalts an Humus jedoch nicht mehr.

Die Perkulationsstabilität als Parameter zur Beurteilung der Krümelstabilität zeigt weder im OB noch im UB Anzeichen für Effekte unterschied-

licher Bedeckung/Bearbeitung. Dies wurde schon im letzten Bodenbericht beim Vergleich zwischen Naturwiesen und Ackerflächen festgestellt (VOL 2009). Beim Vergleich der beiden Bodenschichten zeigt sich eine generell höhere Stabilität der Krümel im OB gegenüber dem UB (Tabelle 6), was mit dem höheren Humusgehalt und dem intensiveren Lebendverbau der Aggregate durch Mikroorganismen im OB zusammenhängt.

Dies zeigen auch die Resultate der mikrobiologischen Erhebungen: Bei vier der sieben untersuchten Messgrössen lassen sich im OB

Tabelle 8: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung der ganzjährigen Bodenbedeckung.

Oberböden				Haupteffekt		Nebeneffekt		
				OLP und KPF vs. BSA und NW ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)		
				Referenz = BSA und NW		Referenz = E2 oder E3		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Humus	Gew. %	104	NP	0.000 ***	69	0.693		
Perkolationsstabilität	g/10 min	88	P	0.200		0.101		
Mikrobielle Biomasse FEM-N	mg/kg Boden TS	60	P	0.000 ***	35.8	0.447		
Mikrobielle Biomasse FEM-C	mg/kg Boden TS	73	NP	0.000 ***	72	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	96 91
Mikrobielle Biomasse SIR	mg/kg Boden TS	58	P	0.499		0.544		
Basalatmung	mg CO ₂ /(kg Boden TS × h)	77	NP	0.464		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	47 74
Metabolischer Quotient (qCO ₂)	mg CO ₂ /g Biomasse	58	NP	0.023 **	68	0.001 ***	E2 zu E3	70
Unterböden								
Humus	Gew. %	104	NP	0.121		0.935		
Perkolationsstabilität	g/10 min	88	NP	0.751		0.861		

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch:	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
absoluter Wert	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch:	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
relativer Wert	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ OLP = On Land-Pflug; KPF = konventioneller Pflug; vs. = gegenübergestellt; BSA = Boden schonende Anbausysteme; NW = Naturwiesen

⁵ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

signifikante Effekte des Bewirtschaftungseinflusses «Bodenbedeckung/-bearbeitung» nachweisen. In bedeckten/unbearbeiteten OB liegt die mikrobielle Biomasse FEM-N (mikrobieller Stickstoff) um 35.8 mg/kg Boden TS höher als in unbedeckten/bearbeiteten OB (Tabelle 8), bei einer durchschnittlichen Grösse von 104 mg/kg Boden TS in den OB aller KABO-Standorte – dieser Unterschied ist mit rund einem Drittel hoch signifikant. Auch der mikrobielle Kohlenstoff FEM-C belegt diesen Unterschied, die Hypothese wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 72 % deutlich unterstützt (Tabelle 8). Die Biomasse-Messung mit der Methode SIR und die mikrobielle Aktivität (Basalatmung) dagegen zeigen als einzelne Messgrössen jeweils keine signifikanten Unterschiede auf. Beim berechneten metabolischen Quotienten (qCO₂) sind jedoch signifikante Effekte erkennbar. Dieser Kennwert gilt als Mass für die energetische Effizienz einer mikrobiellen Lebensgemeinschaft und charakterisiert deren physiologischen Zustand (BAFU 2007). Je grösser der Wert ist, desto mehr Substrat wird zu CO₂ veratmet (Basalatmung steigt) und desto geringer ist der Substratanteil, der in die mikrobielle Biomasse investiert wird (Biomasse sinkt; KAISER 1992). Ein hoher qCO₂-Wert wird allgemein als Zeichen für eine Belastungs-

situation betrachtet, sei diese chemischer Art (Nährstoffmangel, Schadstoffe, suboptimaler pH-Wert) oder physikalischer Natur (ungenügende Durchlüftung etc.). Dieser «Stress-Indikator» ist in bedeckten/unbearbeiteten Böden mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % höher als in unbedeckten/bearbeiteten (Tabelle 8) und liegt in bedeckten/unbearbeiteten Böden mit durchschnittlich 1.41 mg CO₂/g Biomasse höher als in unbedeckten/bearbeiteten mit 1.23 mg CO₂/g Biomasse. Die grosse Menge an leicht umsetzbarer organischer Substanz (Pflanzenreste, Strohreste, Wurzelexudate) in bedeckten/unbearbeiteten Böden ist deutlich höher als in unbedeckten/bearbeiteten Böden; in erstgenannten könnte sie gar übermässig verfügbar sein für die Mikroorganismen («Luxuskonsum»), was sich im hohen qCO₂-Wert manifestiert.

Bei drei der sieben im OB untersuchten Messgrössen zeigen sich zeitliche Einflüsse. Diese sind jedoch nicht aussagekräftig, weil der erste Erhebungszyklus als Referenzgrösse eine deutlich geringere Anzahl Proben aufweist. Beim metabolischen Quotienten sind die Werte im zweiten Erhebungszyklus statistisch gesichert kleiner sind als im dritten (Wahrscheinlichkeit 70 %).

Humusgehalt und Perkolationsstabilität zeigen weder im OB noch im UB signifikante zeitliche

Effekte, sowohl mit als auch ohne Unterscheidung der Bodenbedeckung/-bearbeitung.

3 Schlussfolgerungen

Mikroorganismen machen die in der organischen Substanz von Pflanzenrückständen und Düngern gebundenen Mineralstoffe für die wachsende Pflanze wieder verfügbar und schliessen so den Nährstoffkreislauf («Recycling»). Einen Teil des organisch gebundenen Kohlenstoffs verwenden die Mikroorganismen dabei zum Aufbau ihrer eigenen Körpersubstanz bzw. veratmen ihn als Energieträger, ein anderer Teil verbleibt im Boden und wird in Humus umgewandelt. Je dichter ein Boden durchwurzelt ist, desto besser ist die Ernährung der Mikroorganismen und damit auch wieder der Pflanzen. Bodenpilze strukturieren mit ihrem Klebstoff Glomalin und ihren Pilzfäden (Hyphen) die Bodenkrümel, Bodenbakterien besiedeln jeden Millimeter der Wurzeloberfläche und grosse Teile der Bodenkrümel. Bedeckte/unbearbeitete Böden weisen in den obersten 20 cm höhere Humusgehalte auf als unbedeckte/bearbeitete. Mit einer Bodenbedeckung lässt sich auch die Menge der Mikroorganismen steigern, was mit der Methode FEM belegt werden kann. Die Aktivität der Mikroorganismen zeigt

anhand der Basalatmung keine Unterschiede. Das grössere Angebot an leicht abbaubaren C-Quellen könnte bei den Mikroorganismen zu einem «Luxuskonsum» führen, was in die hohen berechneten qCO_2 -Werte für bedeckte/unbearbeitete Böden mündet. Die vorliegenden Daten für unbedeckten/bearbeiteten Böden wurden in den AF im zweiten Hauptnutzungsjahr der KW erhoben. Zu diesem Zeitpunkt wird der Boden schon gut durchwurzelt, und die Unterschiede zu den bedeckten/unbearbeiteten Böden (NW, BSA) dürften geringer ausfallen, als wenn frisch gepflügte Ackerflächen untersucht worden wären.

Die vorliegende Hypothese wird im OB mit dem Humusgehalt, der mikrobiellen Biomasse FEM und dem metabolischen Quotienten zum Teil deutlich unterstützt, bezüglich Krümelstabilität, Basalatmung und mikrobieller Biomasse SIR allerdings nicht. Die Bedeckung/Bearbeitung des OB wirkt sich im UB bezüglich Humus und Krümelstabilität nicht signifikant aus.

4 Wirkungsbeurteilung

Mit den folgenden, im Rahmen des Förderprogramms Boden unterstützten Massnahmen konnte die Bodenfruchtbarkeit bezüglich Humusgehalt und Mikroorganismen im Oberboden nachgewiesenermassen erhöht werden:

- mit einer mindestens 6-jährigen Fruchtfolge, welche einen wenigstens zweijährigen KW-Anteil und/oder Leguminosen beinhaltet;
- mit einer nahezu bis zur Frühjahrskultur dauernden Winterbegrünung, welche mindestens 30 % des Bodens abdeckt;

- mit einer zum Erntezeitpunkt der Hauptkultur sichtbaren, ganzflächigen Untersaat;
- mit einer Naturwiese;
- mit Boden schonenden Anbausystemen wie Mulch-, Streifenfräs- oder Direktsaat.

Bezüglich Stabilität der Bodenkrümel im Ober- und Unterboden sowie dem Humusgehalt im Unterboden konnte keine Wirkung der Bewirtschaftungsmassnahmen NW und BSA verglichen mit OLP und KPF nachgewiesen werden.

7 Wirkungsbeurteilung des Boden aufbauenden Acker- und Futterbaus

Hypothese: je mehr organische Substanz vorhanden ist bzw. ausgebracht wird, desto besser sind die Nährstoffverfügbarkeit und die Bodenstruktur und umso intensiver ist das Bodenleben (I: Ackerflächen, II: Grünlandnutzung).

Nullhypothese: je weniger organische Substanz vorhanden ist bzw. ausgebracht wird, desto besser sind die Nährstoffversorgung und die Bodenstruktur und umso intensiver ist das Bodenleben.

1. Gruppierung, Vorabklärungen und Messgrössen

Diese Hypothese untersucht den Einfluss der organischen Substanz und der Düngungsintensität auf chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften. Dazu wurden jeweils die Ackerflächen (AF = I) und die Grün-

landnutzung (NW = II) separat gruppiert. Bei den AF wurden die beiden Produktionsrichtlinien «Biologischer Landbau» (BIO) und «Ökologischer Leistungsnachweis» (ÖLN = Referenz) einander gegenübergestellt; bei den NW

die eher nährstoffarme, extensive Grünlandnutzung «Wiese» mit der eher nährstoffreichen, intensiven Grünlandnutzung «Weide» (= Referenz) verglichen. Anhand der Bodenkennwerte Ton-, Schluff- und Sandgehalt sowie pH-Wert (CaCl_2) wird überprüft, ob diese beiden Gruppen überhaupt miteinander verglichen werden können.

I BIO vs. ÖLN: Die pH-Werte der ÖLN-AF unterscheiden sich signifikant ($p < 0.05$) von denen der BIO-AF. Der Unterschied beträgt $+0.38$ pH-Einheiten zugunsten der ÖLN-AF (Tabelle 9). Ton-, Schluff- und Sandgehalte unterscheiden sich nicht. Bei allen drei Körnungsklassen bestehen jedoch zeitliche Effekte: Gegenüber dem ersten Erhebungszyklus wurde im zweiten (61 %) und dritten (83 %) ein statistisch gesichert höherer Sandgehalt festgestellt; in derselben Grössenordnung wird der Schluffgehalt statistisch gesichert kleiner. Beim Tongehalt sind die zeitlichen Effekte nur zwischen den beiden ersten Erhebungszyklen statistisch gesichert (Wahrscheinlichkeit 38 %).

II Wiese vs. Weide: Beim Vergleich der extensiv genutzten Wiesen mit den intensiv genutzten Weiden (Tabelle 10) unterscheiden sich Schluff- und Sandgehalt sowie pH-Wert signifikant ($p < 0.1$). Dagegen ist der Tongehalt von Referenz und Vergleichsgruppe ähnlich. Die untersuchten Wiesen haben einen im Durchschnitt um 4.49 % tieferen Schluffgehalt, einen um 10.82 % höheren Sandgehalt und einen um 0.48 Einheiten höheren pH-Wert als Weiden. Bei allen drei Messgrössen sind auch zeitliche Effekte festzustellen: Der erste Erhebungszyklus unterscheidet sich immer signifikant von den beiden nachfolgenden ($p < 0.01$). Vom ersten zum zweiten Erhebungszyklus ist die Zunahme um 3.66 % (bei Sand) bzw. um 2.06 % (bei Schluff) und zum dritten um 11.49 % (bei Sand) bzw. um 9.05 % (bei Schluff). Beim Sandgehalt ist zudem ein signifikanter Tiefeneffekt festzustellen ($p < 0.01$): Der Gehalt im OOB ist im Vergleich zum OB um 1.65 % und im Vergleich zum UB um 3.41 % tiefer.

Wegen der vorwiegend tiefen Signifikanzniveaus, den durch Laborwechsel begründbaren Zeiteffekten und den vergleichbaren Tongehalten sind die Unterschiede bei den Bodenkennwerten für die Interpretation der chemischen und biologischen Resultate vernachlässigbar. Bei den physikalischen Messgrössen werden sie wegen der Unterschiede beim Sandgehalt mitberücksichtigt.

2 Resultate und Diskussion

2.4 Bodenkennwerte

Die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz wird durch den Humusgehalt beschrieben. Der Humus ist neben dem Ton der wichtigste Einflussfaktor auf die

Folgende abhängige Messgrössen wurden im Rahmen der Hypothesen-Überprüfung untersucht:

- A) Bodenkennwerte:
 - Humusgehalt
 - Kalkzustand und Säuregrad
 - Kalkbedarf
- B) Nährstoffe:
 - Stickstoff
 - Phosphor
 - Kalium
- C) Gefügebau:
 - Lagerungsdichte
 - Porenvolumen; unterteilt in Grobporen (pF 0 bis 1.8; weiter unterteilt in pF 0 bis 1.4 und 1.4 bis 1.8), grobe Mittelporen (pF 1.8 bis 3.0), feine Mittelporen (pF 3.0 bis 4.2), Feinporen (pF 4.2 bis ofentrocken) und Gesamtporen
- D) Transporteigenschaften:
 - Luftdurchlässigkeit
 - gesättigte Wasserleitfähigkeit
- E) Gefügestabilität:
 - Vorbelastung
 - Kompressionsbeiwert
 - Probensetzung, Gesamtporenvolumenverlust und verbleibende Grobporen jeweils nach Belastung mit 250 kPa
 - Perkolationsstabilität
- F) Regenwurmpopulation:
 - Gesamtabundanz (Anzahl Regenwürmer pro Fläche), Gesamtbiomasse (Gewicht pro Fläche)
 - Abundanzen und Biomassen der vier unterschiedenen Gruppen (epigäische Arten = Streubewohner, endogäische Arten = Mineralbodenbewohner, anözische *Nicodrilus* = Tiefgräber der Gattung *Nicodrilus*, anözische *Lumbricus* = Tiefgräber der Gattung *Lumbricus*)
 - Abundanzen und Biomassen der jeweils drei Untergruppen (Total = juvenile und adulte Tiere, nur Adulte, nur Juvenile)
- G) Mikrobiologie:
 - mikrobielle Biomasse FEM-N (mikrobieller Stickstoff)
 - mikrobielle Biomasse FEM-C (mikrobieller Kohlenstoff)
 - mikrobielle Biomasse SIR (mikrobieller Kohlenstoff)
 - Basalatmung (mikrobielle Aktivität)
 - metabolischer Quotient (berechneter Wert = Basalatmung dividiert durch mikrobielle Biomasse SIR)

Kationenaustauschkapazität (KAK) und beeinflusst damit auch den Nährstoffhaushalt wesentlich. Er wirkt strukturbildend und ist Nahrung für das Bodenleben. Deshalb ist in mi-

Fortsetzung auf Seite 24

Tabelle 9: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung des Humus aufbauenden Ackerbaus.

Ackerflächen				Haupteffekt		Nebeneffekte						kombinierte Effekte						
				BIO vs. ÖLN ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)			Beprobungstiefe (T ⁶)			Beprobungstiefe (T) x BIO oder ÖLN			Beprobungstiefe (T) x Erhebungszyklus (E)			
				Referenz = ÖLN		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T1 oder T2			Referenz = T2			Referenz = E2			
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
Sand	Gew. %	110	NP	0.648		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	61 83	0.001 ***	T3 zu T2	43							
Schluff	Gew. %	110	NP	0.745		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	42 13	0.711									
Ton	Gew. %	110	NP	0.684		0.019 **	E1 zu E2 E1 zu E3	38 47	0.698									
Humus	Gew. %	110	NP	0.032 **	67	0.277			0.000 ***	T3 zu T2	87							
pH (CaCl ₂)	-	110	P	0.026 **	-0.38	0.581			0.846									
Kalkgehalt	Gew. %	110	NP	0.123		0.154			0.298									
Basensättigung	%	88	P	0.613		0.010 **	E1 zu E2 E1 zu E3	9.50 4.86	0.158									
Calcium-Ionen (Ca ²⁺)	meq/100 g	88	NP	0.498		0.196			0.000 ***	T3 zu T2	64							
Magnesium-Ionen (Mg ²⁺)	meq/100 g	88	NP	0.039 **	75	0.727			0.000 ***	T3 zu T2	68							
Kalium-Ionen (K ⁺)	meq/100 g	88	NP	0.342		0.008 ***	E2 zu E3	37	0.000 ***	T3 zu T2	74							
Natrium-Ionen (Na ⁺)	meq/100 g	88	NP	0.567		0.010 **	E2 zu E3	75	0.478									
Wasserstoff-Ionen (H ⁺)	meq/100 g	88	NP	0.507		0.519			0.000 ***	T3 zu T2	69							
Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK _{eff})	meq/100 g	106	P	0.175		0.142			0.000 ***	T3 zu T1	1.29							
Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK _{pot})	meq/100 g	110	NP	0.110		0.341			0.000 ***	T3 zu T2	69							
Stickstoff-Gesamtgehalt (N _{tot})	Gew. ‰	110	NP	0.124		0.416			0.000 ***	T3 zu T2	86							
Phosphor-Gesamtgehalt (P _{tot})	ppm	110	NP	0.050 *	75	0.004 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	54 33	0.000 ***	T3 zu T2	78							
Phosphor (NH ₄ -aa-EDTA)	mg/kg TS	100	NP	0.320		0.545			0.000 ***	T3 zu T2	78							
Index P ₂ O ₅ (Dirks-Scheffer)	-	110	NP	0.123		0.003 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	63 18	0.000 ***	T3 zu T2	82							
Kalium (NH ₄ -aa-EDTA)	mg/kg TS	100	NP	0.353		0.670			0.000 ***	T3 zu T2	77							
Index K ₂ O (Dirks-Scheffer)	-	110	NP	0.200		0.703			0.000 ***	T3 zu T2	85							
Lagerungsdichte	g/cm ³	110	P	0.638		0.179			0.000 ***	T3 zu T2	-0.11 ⁷							
Gesamtporenvolumen	Vol. %	110	P	0.688		0.689			0.000 ***	T3 zu T2	3.62	0.008 ***	ÖLN: T3 zu T2 BIO: T3 zu T2	-0.69 2.20				
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	Vol. %	110	NP	0.845		0.063 *			0.030 **	T3 zu T2	36							
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	Vol. %	100	P	0.048 **	-1.37	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	1.99 2.21	0.000 ***	T3 zu T2	-1.80							
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	Vol. %	100	NP	0.723		0.005 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	38 37	0.000 ***	T3 zu T2	73							
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	Vol. %	110	NP	0.885		0.054 *			0.000 ***	T3 zu T2	75							
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	Vol. %	106	NP	0.640		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	27 34	0.000 ***	T3 zu T2	73							
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	Vol. %	106	NP	0.317		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	63 47	0.000 ***	T3 zu T2	67							
Gesättigte Wasserleitfähigkeit (pK _{sat})	-	55	P	0.536														
Luftdurchlässigkeit	µm ²	74	NP	0.020 **	71	0.038 **	E2 zu E3	40	0.000 ***	T3 zu T2	32							
Vorbelastung	kPa	74	P	0.010 **	-19.32 ⁷	0.001 ***	E2 zu E3	-13.02 ⁷	0.000 ***	T3 zu T2	-19.48 ⁷							
Kompressionsbeiwert	-	74	P	0.641		0.983			0.063 *			0.047 **	ÖLN: T3 zu T2 BIO: T3 zu T2	-0.01 0.01				
Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	74	NP	0.083 *	66	0.024 **	E2 zu E3	62	0.000 ***	T3 zu T2	73							
Grobporenvolumen nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	74	P	0.768		0.048 **	E2 zu E3	0.79	0.000 ***	T3 zu T2	-2.20							
Probensetzung nach Belastung mit 250 kPa	mm	74	NP	0.046 **	68	0.005 ***	E2 zu E3	63	0.000 ***	T3 zu T2	75				0.032 **	T2: E3 zu E2 T3: E3 zu E2	33 43	

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 9

Ackerflächen				Haupteffekt		Nebeneffekte						kombinierte Effekte					
				BIO vs. ÖLN ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)			Beprobungstiefe (T ⁶)			Beprobungstiefe (T) x BIO oder ÖLN			Beprobungstiefe (T) x Erhebungszyklus (E)		
				Referenz = ÖLN		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T1 oder T2			Referenz = T2			Referenz = E2		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Perkolationsstabilität	g/10 min	94	NP	0.296		0.592			0.000 ***	T3 zu T2	87	0.000 ***	ÖLN: T3 zu T2 BIO: T3 zu T2	81 100			
Mikrobielle Biomasse FEM-N	mg/kg Boden TS	31	NP	0.001 ***	86	0.224											
Mikrobielle Biomasse FEM-C	mg/kg Boden TS	39	NP	0.231		0.122											
Mikrobielle Biomasse SIR	mg/kg Boden TS	30	NP	0.069 *	74	0.674											
Basalatmung	mg CO ₂ /(kg Boden TS × h)	42	NP	0.013 **	71	0.000 ***	E2 zu E3	80									
Metabolischer Quotient qCO ₂	mg CO ₂ /g Biomasse	30	NP	0.940		0.013 **	E2 zu E3	74									
Regenwurm-Gesamtbiomasse	g/m ²	55	NP	0.438		0.433											
Total epigäische Arten	g/m ²	55	NP	0.837		0.927											
Total endogäische Arten	g/m ²	55	NP	0.619		0.078 *											
Total anözische Nicodrilus	g/m ²	55	NP	0.850		0.309											
Total anözische Lumbricus	g/m ²	55	NP	0.075 *	67	0.069 *											
Adulte epigäische Arten	g/m ²	55	NP	0.837		0.175											
Adulte endogäische Arten	g/m ²	55	NP	0.691		0.053 *											
Adulte anözische Nicodrilus	g/m ²	55	NP	0.855		0.218											
Adulte anözische Lumbricus	g/m ²	55	NP	0.043 **	67	0.294											
Juvenile epigäische Arten	g/m ²	55	NP	0.756		0.371											
Juvenile endogäische Arten	g/m ²	55	NP	0.541		0.090 *											
Juvenile anözische Nicodrilus	g/m ²	55	NP	0.979		0.519											
Juvenile anözische Lumbricus	g/m ²	55	NP	0.365		0.433											
Regenwurm-Gesamtabundanz	Individuen/m ²	55	PM	0.000 ***	17	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	1 -41									
Total epigäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.000 ***	78	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-43 -63									
Total endogäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.356		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	19 -41									
Total anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	55	PM	0.140		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	25 -7									
Total anözische Lumbricus	Individuen/m ²	55	PM	0.356		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-20 -47									
Adulte epigäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.957		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-10 2									
Adulte endogäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.400		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	21 -49									
Adulte anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	55	PM	0.118		0.003 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	56 26									
Adulte anözische Lumbricus	Individuen/m ²	55	PM	0.102		0.006 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	32 -12									
Juvenile epigäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.000 ***	85	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-45 -72									
Juvenile endogäische Arten	Individuen/m ²	55	PM	0.064 *	31	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	15 -39									
Juvenile anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	55	PM	0.474		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	5 -24									
Juvenile anözische Lumbricus	Individuen/m ²	55	PM	0.514		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-47 -63									

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt und kombinierte Effekte	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch: absoluter Wert	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch: relativer Wert	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
PM = Poisson-Modell: absoluter Wert mit relativem Bezug	< -20 %	< -20 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ -20 bis 0 %	≥ -20 bis 0 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	0 bis ≤ 20 %	0 bis ≤ 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 20 %	> 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ BIO = Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»; ÖLN = Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis»

⁵ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

⁶ T = Beprobungstiefe (T1 = OOB, T2 = OB, T3 = UB)

⁷ Inversion der Hypotheseninterpretation (z. B. führt ein kleiner pK_{sat}-Wert zu einer grossen gesättigten Wasserleitfähigkeit)

Tabelle 10: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung des Humus aufbauenden Futterbaus.

Grünlandnutzung	Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	Haupteffekt		Nebeneffekte					kombinierter Effekt			
					Wiese vs. Weide		Erhebungszyklus (E ⁴)		Beprobungstiefe (T ⁵)			Beprobungstiefe (T) x Erhebungszyklus (E)			
					Referenz = Weide		Referenz = E2 oder E3		Referenz = T1 oder T2			Referenz = Weide			
				p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
Sand	Gew. %	132	P		0.068 *	-10.82	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	3.66 11.49	0.001 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	-1.65 -3.41			
Schluff	Gew. %	132	P		0.054 *	4.49	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-2.06 -9.05	0.173					
Ton	Gew. %	132	NP		0.265		0.051 *			0.671					
Humus	Gew. %	132	P		0.114		0.068 *			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	2.15 4.17			
pH (CaCl ₂)	-	132	P		0.064 *	-0.48	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.35 -0.23	0.139					
Kalkgehalt	Gew. %	132	NP		0.044 **	34	0.222			0.300					
Basensättigung	%	110	P		0.439		0.009 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	15.10 12.20	0.089 *					
Calcium-Ionen (Ca ²⁺)	meq/100 g Boden TS	110	NP		0.774		0.201			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	61 66			
Magnesium-Ionen (Mg ²⁺)	meq/100 g Boden TS	110	P		0.974		0.006 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.33 -0.32	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	0.43 -0.67			
Kalium-Ionen (K ⁺)	meq/100 g Boden TS	110	NP		0.063 *	64	0.472			0.000 ***	T3 zu T2	93			
Natrium-Ionen (Na ⁺)	meq/100 g Boden TS	110	NP		0.704		0.001 ***	E2 zu E3	74	0.802					
Wasserstoff-Ionen (H ⁺)	meq/100 g Boden TS	110	P		0.012 **	2.01	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-3.32 -3.32	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	0.36 2.01			
Effektive Kationaustauschkapazität (KAK _{eff})	meq/100 g Boden TS	128	P		0.472		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-1.96 -1.35	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	2.89 5.11			
Potentielle Kationaustauschkapazität (KAK _{pot})	meq/100 g Boden TS	132	NP		0.211		0.009 ***	E1 zu E2	41	0.000 ***	T3 zu T2	69			
Stickstoff-Gesamtgehalt (N _{tot})	Gew. ‰	132	NP		0.129		0.035 **	E1 zu E2 E1 zu E3	34 41	0.000 ***	T3 zu T2	81			
Phosphor-Gesamtgehalt (P _{tot})	ppm	132	NP		0.247		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	31 41	0.000 ***	T3 zu T2	76			
Phosphor (NH ₄ -aa-EDTA)	mg/kg Boden TS	122	NP		0.787		0.166			0.000 ***	T3 zu T1	75			
Index P ₂ O ₅ (Dirks-Scheffer)	-	122	NP		0.596		0.037 **	E1 zu E2 E1 zu E3	63 61	0.000 ***	T3 zu T2	89	0.034 **	T2: E2 zu E1 T2: E3 zu E1	60 56
Kalium (NH ₄ -aa-EDTA)	mg/kg Boden TS	122	NP		0.150		0.460			0.000 ***	T2 zu T1	76			
Index K ₂ O (Dirks-Scheffer)	-	122	NP		0.388		0.014 **	E1 zu E2 E1 zu E3	43 35	0.000 ***	T3 zu T2	76			
Lagerungsdichte	g/cm ³	98	P		0.034 **	-0.13 ⁶	0.025 **	E1 zu E2 E1 zu E3	0.03 0.02	0.000 ***	T3 zu T2	-0.19 ⁶			
Gesamtporenvolumen	Vol. %	98	P		0.031 **	3.06	0.349			0.000 ***	T3 zu T2	5.34			
Poren > 50 µm (pF 0–1.8)	Vol. %	98	P		0.430		0.017 **	E1 zu E2 E1 zu E3	0.79 1.27	0.045 **	T3 zu T2	-0.74			
Poren > 128 µm (pF 0–1.4)	Vol. %	88	P		0.472		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	2.00 2.58	0.000 ***	T3 zu T2	-1.84			
Poren 128–50 µm (pF 1.4–1.8)	Vol. %	98	P		0.882		0.235			0.000 ***	T3 zu T2	0.81			
Poren 50–3.2 µm (pF 1.8–3.0)	Vol. %	98	NP		0.114		0.003 ***	E2 zu E3	44	0.000 ***	T3 zu T2	91			
Poren 3.2–0.2 µm (pF 3.0–4.2)	Vol. %	94	P		0.150		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-2.64 -2.20	0.000 ***	T3 zu T2	2.32			
Poren < 0.2 µm (pF 4.2–ofentrocken)	Vol. %	94	NP		0.350		0.000 ***	E2 zu E3	30	0.000 ***	T3 zu T2	70			
Gesättigte Wasserleitfähigkeit (pK _{sat})	-	49	P		0.026 **	0.49 ⁶	0.037 **	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.37 ⁶ -0.38 ⁶	0.694					
Luftdurchlässigkeit	µm ²	66	NP		0.347		0.437			0.004 ***	T3 zu T2	32			

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 10

Grünlandnutzung	Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	Haupteffekt		Nebeneffekte					kombinierter Effekt			
					Wiese vs. Weide		Erhebungszyklus (E ⁴)			Beprobungstiefe (T ⁵)		Beprobungstiefe (T) x Erhebungszyklus (E)			
					Referenz = Weide		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T1 oder T2		Referenz = Weide			
				p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
	Vorbelastung	kPa	66	NP	0.517		0.021 **	E2 zu E3	37 ⁶	0.244					
	Kompressionsbeiwert	-	66	P	0.009 ***	0.01	0.043 **	E2 zu E3	-0.01	0.000 ***	T3 zu T2	0.01			
	Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	66	P	0.616		0.329			0.011 **	T3 zu T2	0.44			
	Grobporenvolumen nach Belastung mit 250 kPa	Vol. %	66	P	0.576		0.467			0.001 ***	T3 zu T2	-1.67			
	Probensetzung nach Belastung mit 250 kPa	mm	66	P	0.208		0.340			0.000 ***	T3 zu T2	0.01			
	Perkolationsstabilität	g/10 min	82	P	0.583		0.389			0.000 ***	T3 zu T2	505.73			
	Mikrobielle Biomasse FEM-N (0–20 cm)	mg/kg Boden TS	29	NP	0.565		0.107								
	Mikrobielle Biomasse FEM-C (0–20 cm)	mg/kg Boden TS	34	NP	0.147		0.975								
	Mikrobielle Biomasse SIR (0–20 cm)	mg/kg Boden TS	28	NP	0.843		0.529								
	Basalatmung (0–20 cm)	mg CO ₂ /(kg Boden TS × h)	35	NP	0.465		0.000 ***	E2 zu E3	81						
	Metabolischer Quotient qCO ₂ (0–20 cm)	mg CO ₂ /g Biomasse	28	NP	0.648		0.007 ***	E2 zu E3	67						
	Mikrobielle Biomasse FEM-N (0–10 cm)	mg/kg Boden TS	27	NP	0.232		0.163								
	Mikrobielle Biomasse FEM-C (0–10 cm)	mg/kg Boden TS	32	NP	0.141		0.657								
	Mikrobielle Biomasse SIR qCO ₂ (0–10 cm)	mg/kg Boden TS	29	NP	0.870		0.520								
	Basalatmung (0–10 cm)	mg CO ₂ /(kg Boden TS × h)	34	NP	0.302		0.001 ***	E2 zu E3	82						
	Metabolischer Quotient (0–10 cm)	mg CO ₂ /g Biomasse	28	NP	0.748		0.019 **	E2 zu E3	66						
	Regenwurm-Gesamtbiomasse	g/m ²	49	NP	0.452		0.047 **	E1 zu E2 E1 zu E3	38 28						
	Total epigäische Arten	g/m ²	49	NP	0.641		0.099 *								
	Total endogäische Arten	g/m ²	49	NP	0.504		0.033 **	E1 zu E2 E1 zu E3	44 28						
	Total anözische Nicodrilus	g/m ²	49	NP	0.548		0.717								
	Total anözische Lumbricus	g/m ²	49	NP	0.636		0.017 **	E1 zu E2 E1 zu E3	43 25						
	Adulte epigäische Arten	g/m ²	49	NP	0.978		0.525								
	Adulte endogäische Arten	g/m ²	49	NP	0.365		0.048 **	E1 zu E2 E1 zu E3	34 30						
	Adulte anözische Nicodrilus	g/m ²	49	NP	0.941		0.945								
	Adulte anözische Lumbricus	g/m ²	49	NP	0.913		0.028 **	E1 zu E2 E1 zu E3	42 26						
	Juvenile epigäische Arten	g/m ²	49	NP	0.568		0.010 **	E1 zu E2 E1 zu E3	24 29						
	Juvenile endogäische Arten	g/m ²	49	NP	0.895		0.029 **	E2 zu E1 E1 zu E3	33 27						
	Juvenile anözische Nicodrilus	g/m ²	49	NP	0.235		0.710								
	Juvenile anözische Lumbricus	g/m ²	49	NP	0.682		0.107								
	Regenwurm-Gesamtabundanz	Individuen/m ²	49	PM	0.458		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-25 -46						
	Total epigäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.940		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-42 -60						
	Total endogäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.614		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-31 -43						
	Total anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	49	PM	0.197		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-2 -37						
	Total anözische Lumbricus	Individuen/m ²	49	PM	0.871		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-33 -69						
	Adulte epigäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.606		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	38 -36						

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung von Seite 20

neralischen Böden ein hoher Humusgehalt erwünscht (BLUME et al. 2009).

I BIO vs. ÖLN: Der Humusgehalt von ÖLN-AF ist statistisch gesichert höher als von BIO-AF (Wahrscheinlichkeit: 67 %, Tabelle 9). Gleichzeitig belegen die Mittelwerte einen um 19.62 % höheren Humusgehalt von ÖLN-AF gegenüber BIO-AF (Tabelle 11). Ersterer weist jedoch über die drei Erhebungszyklen gesehen im OB und UB leichte Gehaltsabnahmen auf. Dies könnte mit der 1993 vorgenommenen Einführung des flächenbezogenen Direktzahlungssystems mit ausgeglichener Düngerbilanz (Suisse-Bilanz) in Zusammenhang stehen: Ohne Suisse-Bilanz wurden vermutlich wesentlich mehr Nährstoffe ausgebracht und damit höhere Humusgehalte aufgebaut. Trifft dies zu, könnte der beobachtete Rückgang mit der Einstellung eines neuen Gleichgewichts beim Umsatz der organischen Substanz in den ÖLN-AF erklärt werden. BIO-AF sind wahrscheinlich wegen geringerer Nährstoffzufuhren humusärmer als ÖLN-AF. Sie weisen jedoch in beiden Bodentiefen konstante Gehaltszunahmen auf, welche möglicherweise durch den Einsatz organischer Dünger und weiter Fruchtfolgen gefördert werden. Auf BIO-AF ist somit die Bedeutung der Düngung auf die Humusentwicklung hervorzuheben, auch wenn sich die beobachtete Veränderung im Vergleich zu den ÖLN-AF auf einem deutlich niedrigeren absoluten Niveau bewegt.

Beim Vergleich von OB und UB lässt sich ein statistisch deutlich gesicherter Tiefeneffekt hervorheben (Wahrscheinlichkeit: 87 %, Tabelle 9). Vor allem in der oberen Bodenschicht ist die biologische Aktivität hoch, weil hier tierische und pflanzliche Abbaustoffe eingearbeitet werden, was zu einem Anstieg des Humusgehalts führt.

II Wiese vs. Weide: In NW ist der Humusgehalt im OB um 2.15 Gew. % und im UB um 4.17 Gew. % tiefer als im OOB (Tabelle 10). Diese Unterschiede sind signifikant (p < 0.01).

Gemäss Tabelle 11 sind die Humusgehalte in NW generell höher als in AF, im OB um 28.46 %, im UB um 14.12 %. Vom ersten zum dritten Erhebungszyklus weisen jedoch auch die NW-OB eine Abnahme um 14.32 % auf. Dies steht im Zusammenhang mit der Einführung ökologischer Ausgleichsflächen im Rahmen des ÖLN: Ein Grossteil der KABO-Wiesen wird heute extensiv genutzt und dadurch seit 20 Jahren nährstoffmässig ausgehungert. Beim Vergleich der Wiesen-OB zeigt sich zwischen dem ersten und dritten Erhebungszyklus eine Abnahme um 18.73 % (Tabelle 11). Die Weiden-OB weisen während demselben Zeitraum eine geringere Abnahme um lediglich 8.94 % auf. Damit sind die Abnahmen bei Wiesen deutlich höher als bei Weiden.

Fazit Humusgehalt: Die Humusgehalte sind in NW generell höher als in AF. Entsprechend der höheren biologischen Aktivität und des höheren Eintrages an organischen Rückständen sind die Gehalte im OB deutlich höher als im UB. Bei den ÖLN-AF nehmen die Humusgehalte über die drei Erhebungszyklen vermutlich wegen geringerem Nährstoffeinsatz nach der Einführung der Suisse-Bilanz geringfügig ab. Bei BIO steigen die Werte wegen der bei dieser Produktionsrichtlinie übergeordneten Bedeutung des Humus als Grundlage für die Pflanzenernährung leicht an; sie bewegen sich jedoch auf einem absolut gesehen tieferen Niveau als bei ÖLN.

Fortsetzung Tabelle 10

Grünlandnutzung				Haupteffekt		Nebeneffekte			kombinierter Effekt			
				Wiese vs. Weide		Erhebungszyklus (E ⁴)		Beprobungstiefe (T ⁵)		Beprobungstiefe (T) x Erhebungszyklus (E)		
				Referenz = Weide		Referenz = E2 oder E3		Referenz = T1 oder T2		Referenz = Weide		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
Adulte endogäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.238		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-28 -41				
Adulte anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	49	PM	0.190		0.359						
Adulte anözische Lumbricus	Individuen/m ²	49	PM	0.999		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-24 -55				
Juvenile epigäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.782		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-52 -63				
Juvenile endogäische Arten	Individuen/m ²	49	PM	0.968		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-25 -49				
Juvenile anözische Nicodrilus	Individuen/m ²	49	PM	0.182		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-9 -47				
Juvenile anözische Lumbricus	Individuen/m ²	49	PM	0.966		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-44 -65				

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt und kombinierter Effekt	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch: absoluter Wert	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch: relativer Wert	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
PM = Poisson-Modell: absoluter Wert mit relativem Bezug	< -20 %	< -20 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ -20 bis 0 %	≥ -20 bis 0 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	0 bis ≤ 20 %	0 bis ≤ 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 20 %	> 20 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

⁵ T = Beprobungstiefe (T1 = 00B, T2 = 0B, T3 = UB)

⁶ Inversion der Hypotheseninterpretation (z. B. führt ein kleiner pK_{sat}-Wert zu einer grossen gesättigten Wasserleitfähigkeit)

Mit der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises wurde der ökologische Ausgleich zur Pflicht; deshalb werden insbesondere Wiesen seither extensiver bewirtschaftet, was zu einer Abnahme der Humusgehalte führt.

Der Kalkgehalt des Bodens prägt die Bodenreaktion. Er wird durch Ausgangsgestein, Niederschlagsmenge und Bewirtschaftung entscheidend beeinflusst. Bewirtschaftungsbedingte Kalkverluste entstehen primär durch Auswaschung, den Neutralisationsbedarf von sauer wirkenden Düngern und den Calciumentzug durch die Kulturen. Bei einem Kalkgehalt von < 0.5 % fällt der pH-Wert in den sauren Bereich, und eine Düngung mit Einbezug der Erhaltungskalkung wird empfohlen. Durch die Kalkung wird die Konzentration basisch wirkender Stoffe erhöht, was neben der Erhöhung des pH-Werts auch zu einer verbesserten Sorption v. a. der Ca²⁺- und Mg²⁺-Ionen führt. Ein hoher Belegungsanteil dieser Kationen bewirkt ein hohes Speichervermögen u.a. für Phosphate (BLUME et al. 2009). Bei einem pH-Wert < 5.9 muss aus Sicht der Schadstoffmobilität und der Pflanzenernährung aufgekalkt werden (GRUDAF 2009); eine Erhaltungskalkung allein ist dann nicht mehr ausreichend.

An den KABO-Standorten Rüderswil (hier sogar mit erhöhten Gehalten bei den beiden Schwermetallen Cr und Cu), Langnau, Möriswil und Kirchlindach sinken im dritten Erhebungszyklus die pH-Werte in mindestens einer Bodentiefe auf < 5.9 (Tabelle 12). Gesamthaft betrachtet liegt der Säuregrad der KABO-Standorte im «schwach sauren» Bereich (pH 5.9–6.7). «Neutrale» bis «schwach alkalische» Böden sind in Rubigen, Schlosswil, Seedorf und Uettligen zu finden. Deutliche Zunahmen im OB oder im

UB (um mindestens 0.5 Einheiten) zwischen dem zweiten und dritten Erhebungszyklus wurden in Auswil, Clavaleyres, Grasswil (alle NW-UB) sowie Niederösch und Seedorf (beide AF-UB) festgestellt; dies lässt bei den genannten Standorten auf einen periodischen Einsatz von kalkhaltigen Düngern oder auf eine einmalige grössere Kalkgabe zwischen diesen beiden Erhebungszyklen schliessen. Deutliche Abnahmen des pH-Werts um 0.5 Einheiten sind in Buch und Uettligen (beide NW-UB) zu vermerken.

I BIO vs. ÖLN: Weil vermutlich viele Analyseergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze liegen, wurde beim Kalkgehalt kein statistisch relevanter Unterschied zwischen ÖLN-AF und BIO-AF festgestellt. Die OB in Auswil, Bantigen, Hindelbank, Niederösch, Seedorf und Treiten sowie die UB in Bantigen, Hindelbank, Kirchlindach, Treiten und Uettligen weisen beim dritten Erhebungszyklus Kalkgehalte ≥ 0.5 % auf (Tabelle 12). Da in allen anderen AF sowohl im OB als auch im UB die Kalkgehalte < 0.5 % liegen, ist auf 10 von 19 KABO-Standorten eine periodische Kalkgabe zu empfehlen; dies betrifft jedoch keinen der sechs BIO-Betriebe.

II Wiese vs. Weide: Mit einer statistisch gesicherten Wahrscheinlichkeit von 34 % haben Wiesen einen höheren Kalkgehalt als Weiden (Tabelle 10). Dies zeigt, dass bei extensiven Wiesen, vermutlich wegen fehlendem Einsatz von NH₄-haltigen Düngemitteln, ein geringerer Kalkbedarf besteht als bei intensiven Weiden. Kalkgehalte ≥ 0.5 % wurden in den NW-OB der KABO-Standorte Hindelbank, Kirchlindach, Rubigen, Schlosswil und Seedorf sowie in den NW-UB von Hindelbank, Rubigen, Schlosswil, Seedorf und Uettligen ermittelt (Tabelle 12). Nur eine dieser Flächen wird als Weide genutzt.

Tabelle 11: KABO Erst-, Zweit- und Drittbeprobungsresultate des Humusgehalts sowie Messgrössen zur Abschätzung des Kalkzustands und Kalkbedarfs.

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Humus			Kalkgehalt			pH-Wert (H ₂ O)			erforderliche Kalkgabe ²			KAK _{pot} ³			Basensättigung				erforderliche Kalkgabe ⁵		
			[Gew. %]			[Gew. %]			[-]			[dt CaO/ha]			[meq/100 g Boden TS]			[%]	VK ⁴	[%]	VK	[dt CaO/ha]		
Erhebungszyklus			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	2	3	3	2	3	
Auswil 1998 / 2003 / 2013	NW Weide	0–5		7.38	5.82		0.4	0.3		5.01	5.83					21.1	15.1	38.6		56.2				
	NW Weide	0–20	4.20	4.25	3.86	0.0	0.4	0.3	6.10	5.93	5.71	10.0	10.0	12.5	17.1	16.9	12.5	40.5	B	49.8	B	15.5	12.5	
	NW Weide	20–40	2.20	1.87	1.90	0.0	0.3	0.1	6.10	6.16	6.96	10.0	10.0	0.0	11.7	10.8	9.5	24.9	A	37.0	A	24.5	10.0	
	AF BSA	0–20	3.70	3.25	3.22	0.0	0.0	0.5	5.70	6.29	6.24	25.0	0.0	0.0	9.8	13.4	15.4	38.7	A	31.8	A	24.5	27.5	
	AF BSA	20–40	2.40	2.27	1.93	0.0	0.3	0.2	5.50	5.78	6.00	25.0	25.0	20.0	10.3	6.7	12.0	10.0	A	13.7	A	13.0	24.5	
Buch 1998 / 2005 / 2012	NW Weide	0–5		3.60	3.92		0.3	0.3		6.19	6.80					12.6	16.0	52.8		77.1				
	NW Weide	0–20	2.20	2.04	2.36	0.0	0.5	0.2	5.90	6.08	6.40	10.0	10.0	0.0	8.2	9.4	11.2	41.0	B	59.0	C	7.3	12.5	
	NW Weide	20–40	0.89	0.93	0.76	0.0	0.3	0.1	5.60	6.49	5.90	12.5	0.0	10.0	7.1	6.4	7.6	40.8	B	41.2	B	7.3	7.3	
	AF BSA	0–20	2.10	2.19	2.19	0.0	0.3	0.2	5.70	6.74	6.60	25.0	0.0	0.0	13.3	10.2	12.4	72.4	C	71.2	C	0.0	0.0	
	AF BSA	20–40	1.10	1.07	1.04	0.0	0.2	0.2	5.70	6.86	6.50	25.0	0.0	0.0	8.2	6.7	8.4	58.3	B	60.3	C	7.3	0.0	
Grasswil 1996 / 2004 / 2011	NW Weide	0–5		9.28	7.12		0.5	0.1		5.92	6.36					15.3	17.8	51.1		41.2				
	NW Weide	0–20	6.10	6.12	5.07	0.0	0.5	0.4	6.30	5.70	5.95	0.0	12.5	10.0	24.5	16.2	16.4	65.9	C	35.7	A	0.0	21.5	
	NW Weide	20–40	2.30	2.21	1.84	0.0	0.5	0.3	6.10	5.60	6.12	10.0	12.5	10.0	16.9	12.0	12.2	39.8	A	36.9	A	19.0	19.0	
	AF KPF	0–20	2.10	9.41 ⁶	2.64	0.0	0.4	0.2	6.00	6.02	6.21	20.0	20.0	0.0	11.9	9.2	9.8	35.5	A	32.6	A	13.0	13.0	
	AF KPF	20–40	1.10	1.52	1.58	0.0	0.4	0.4	5.90	5.96	6.25	20.0	20.0	0.0	9.9	7.8	8.7	33.2	A	33.9	A	13.0	13.0	
Langnau 1996 / 2003 / 2008	NW Weide	0–5		6.43	6.46		0.5	0.1		5.76	5.78					20.2	30.0	72.7		84.0				
	NW Weide	0–20	4.60	3.72	4.05	0.0	0.5	0.2	6.00	5.83	5.53	10.0	12.5	12.5	23.6	18.0	26.1	71.5	C	78.6	C	0.0	0.0	
	NW Weide	20–40	2.60	1.86	2.26	0.0	0.3	0.2	6.20	6.19	5.92	10.0	10.0	10.0	20.4	15.4	14.2	64.1	C	56.1	C	0.0	0.0	
	AF KPF	0–20	3.20	2.95	3.52	0.0	0.0	0.2	6.10	6.09	5.70	20.0	20.0	25.0	17.8	14.0	21.8	56.3	B	81.0	D	12.5	0.0	
	AF KPF	20–40	1.80	1.77	1.74	0.0	0.3	0.1	6.40	6.35	6.10	0.0	0.0	20.0	14.9	10.2	12.0	58.1	B	56.8	B	12.5	12.5	
Madiswil 1997 / 2006 / 2012	NW Wiese	0–5		6.81	5.67		0.3	0.2		6.45	6.60					22.1	22.4	70.7		76.1				
	NW Wiese	0–20	2.50	3.15	3.13	0.0	0.1	0.2	7.60	6.34	6.30	0.0	0.0	0.0	9.2	14.7	17.7	63.5	C	67.7	C	0.0	0.0	
	NW Wiese	20–40	1.20	1.36	1.38	0.0	0.3	0.2	6.70	6.20	6.30	0.0	10.0	0.0	6.7	10.2	9.9	52.0	C	50.5	C	0.0	0.0	
	AF KPF	0–20	2.20	2.40	2.80	0.0	0.1	0.2	6.80	5.98	6.30	0.0	20.0	0.0	6.7	13.2	15.9	52.5	B	64.4	C	12.5	0.0	
	AF KPF	20–40	1.10	1.15	1.51	0.0	0.1	0.1	6.40	6.06	6.20	0.0	20.0	20.0	7.1	10.4	11.0	45.9	A	51.2	B	19.0	12.5	
Niederösch 1999 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5		4.28	4.85		0.6	0.4		5.96	6.37					15.7	13.4	59.3		52.8				
	NW Wiese	0–20	3.10	2.59	2.65	0.5	0.0	0.4	6.24	5.91	6.32	0.0	10.0	0.0	22.5	13.4	11.1	54.8	C	44.3	B	0.0	12.5	
	NW Wiese	20–40	1.38	1.19	1.45	0.5	0.5	0.4	6.70	6.41	6.65	0.0	0.0	0.0	15.4	8.6	8.7	63.8	C	51.2	C	0.0	0.0	
	AF KPF	0–20	2.19	1.84	2.07	0.5	0.0	0.5	6.51	6.14	6.41	0.0	20.0	0.0	18.6	9.8	9.3	44.2	A	43.1	A	10.0	10.0	
	AF KPF	20–40	1.17	1.10	1.28	0.5	0.0	0.3	6.55	6.10	6.64	0.0	20.0	0.0	14.9	8.7	7.8	60.0	C	44.8	A	7.3	10.0	
Roggwil 1996 / 2005 / -	NW Wiese	0–5		7.88			0.4			6.29						38.7		80.0						
	NW Wiese	0–20	6.60	6.05		0.0	0.4		6.70	6.73		0.0	0.0		31.2	31.1		79.2	C			0.0		
	NW Wiese	20–40	3.60	3.18		0.0	0.5		6.80	6.95		0.0	0.0		22.4	26.1		81.0	D			0.0		
	AF KPF	0–20	1.70	2.04		0.0	0.3		6.20	6.80		20.0	0.0		14.0	14.0		61.1	C			0.0		
	AF KPF	20–40	1.30	1.38		0.0	0.4		6.60	6.93		0.0	0.0		13.4	12.2		64.5	C			0.0		
Rubigen 1994 / 2004 / 2011	NW Wiese	0–5		6.36	5.89		0.5	0.4		6.06	6.28					14.6	17.0	51.3		50.9				
	NW Wiese	0–20	4.30	3.88	3.24	1.6	0.6	0.5	7.10	6.33	6.49	0.0	0.0	0.0	18.3	11.6	11.6	49.6	B	47.6	B	12.5	12.5	
	NW Wiese	20–40	2.40	1.65	1.54	2.4	1.0	1.0	7.90	7.03	7.46	0.0	0.0	0.0	15.1	7.7	8.1	70.8	C	74.7	C	0.0	0.0	
	AF BSA	0–20	3.20	2.83	2.87	0.3	0.4	0.2	6.80	6.51	6.83	0.0	0.0	0.0	15.4	9.0	10.5	49.2	A	59.6	B	10.0	12.5	
	AF BSA	20–40	2.30	1.09	1.39	0.0	0.5	0.4	6.70	6.45	6.64	0.0	0.0	0.0	14.0	7.2	7.9	39.6	A	46.3	A	10.0	10.0	
Rüderswil 2000 / 2007 / 2015	NW Weide	0–5		7.24	7.22		0.0	0.1		5.63	5.42					16.7	13.6	58.7		68.3				
	NW Weide	0–20	4.71	5.46	3.93	0.5	0.0	0.2	5.91	5.65	5.42	10.0	12.5	12.5	19.6	13.0	13.3	47.8	B	46.5	B	12.5	12.5	
	NW Weide	20–40	2.02	2.65	2.07	0.5	0.0	0.2	6.09	5.71	5.64	10.0	12.5	12.5	14.7	10.8	11.9	46.6	B	40.4	B	12.5	12.5	
	AF KPF	0–20	2.97	4.05	3.28	0.3	0.0	0.2	6.02	5.73	5.62	20.0	25.0	25.0	16.4	12.8	12.5	58.9	B	54.5	B	12.5	12.5	
	AF KPF	20–40	1.81	2.52	1.93	0.5	0.0	0.2	6.19	5.84	5.88	20.0	25.0	25.0	13.7	11.0	10.8	56.4	B	56.4	B	12.5	12.5	

Fortsetzung nächste Seite

Die Bemessung des Kalkbedarfs aufgrund der Bodenkennwerte Ton- und Humusgehalt sowie pH-Wert stellt eine einfache Schätzmethode dar. Eine genauere Bemessung der benötigten Kalkmenge unter Einbezug der potentiellen Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) und der Basensättigung (BS) liefert zusätzlich wichtige Angaben zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit (GRUDAF 2009). Die eigentlich ausschliesslich für OB vorgesehene vertiefte Beurteilung des Kalkbedarfs wurde zusätzlich auch für UB angewendet.

I BIO vs. ÖLN: Zwischen BIO-AF und ÖLN-AF besteht einzig beim basischen Kation Mg²⁺ ein statistisch deutlich gesicherter Unterschied: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % sind die BIO-AF geringer mit diesem Nährelement versorgt als die ÖLN-AF (Tabelle 9). Dies ist ein Hinweis darauf, dass das eher leicht auswaschbare Mg²⁺ auf den BIO-AF mit ausschliesslich organischer Düngung kaum genügend gedüngt werden kann. Statistisch gesicherte nicht erklärbare zeitliche Effekte zeigen die basischen Kationen K⁺ (Abnahme zwischen Erhebungszyklus zwei und drei, Wahrscheinlichkeit 37 %) und Na⁺ (Zunahme zwischen Erhebungszyklus zwei und drei, Wahrscheinlichkeit 75 %). Ein statistisch relevanter Tiefeneffekt ist bei den basischen Kationen Ca²⁺, Mg²⁺ und K⁺ sowie beim Kation H⁺ festzustellen. Ihre Gehalte sind im UB mit Wahrscheinlichkeiten von 64 %, 68 %, 74 % sowie 69 % kleiner als im OB. Diese Ergebnisse entsprechen dem Auswaschungsverhalten der Kationen bzw. geben die Nachlieferung durch die Düngung wieder.

Bei der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) wurden beim Vergleich von OB und UB signifikant (p < 0.01) unterschiedliche Werte gefunden: Dabei sind die OB-Werte um 1.29 meq/100 g Einheiten höher (Tabelle 9). Ebenfalls ein statistisch gesicherter Unterschied liegt bei der KAK_{pot} vor. Die Werte im OB sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 69 % höher als im UB. Die höheren KAK-Werte in AF-OB können in erster Linie mit dem höheren Humusgehalt im OB erklärt werden.

Der prozentuale Anteil der im Boden vorhandenen Na⁺, K⁺, Mg²⁺- und Ca²⁺-Kationen an der KAK_{pot} wird als Basensättigung (BS) bezeichnet. Bei dieser Messgrösse liegt ein signifikanter zeitlicher Effekt vor (p < 0.05): Belegt sind um 9.5 % höhere Werte vom ersten zum zweiten Erhebungszyklus und um 4.86 % höhere Werte vom ersten zum dritten Erhebungszyklus (Tabelle 9). Die bereits diskutierten Wechsel der Produktionsrichtlinien von Betrieben zwischen den Erhebungszyklen könnte solche Unterschiede erklären (Kapitel 1, Tabelle 1). Für eine ackerbauliche Nutzung wird eine BS von 60 % als «genügend» betrachtet, d. h. eine Kalkung ist nicht erforderlich. Der beim dritten Erhebungszyklus durchschnittlich errechnete

AF-OB-Wert von 52.4 % wird als «mässig» eingestuft. Der entsprechende UB-Wert liegt bei noch tieferen 48.2 % und wird als «arm» klassiert (Tabelle 11). Im Vergleich zu den BIO-AF ist der Kalkbedarf der ÖLN-AF (OB und UB) im dritten Erhebungszyklus um durchschnittlich 69.23 % höher. Die erfolgte Düngung u.a. mit basisch wirkenden Düngemitteln (inkl. Kalkgaben) führte im OB zu keiner Erhöhung der BS. Vielmehr bewirkte der Einsatz von NH₄-haltigen Mineral- aber auch von organischen Düngern auf den ÖLN-AF eine erhöhte Nitrifikation und damit eine Bodenversauerung, welche die Kalkbedürftigkeit der ÖLN-AF sowohl im OB als auch im UB ansteigen lässt.

II Wiese vs. Weide: Gemäss Tabelle 10 sind sowohl im zweiten als auch im dritten Erhebungszyklus die Werte der BS signifikant höher als im ersten (um 15.10 % bzw. 12.10 %, p < 0.01). Diese zeitlichen Effekte sind wohl kaum nur auf die unterschiedliche Datenmenge zurückzuführen. Vielmehr haben sich Wiesen und Weiden bezüglich BS nutzungsbedingt unterschiedlich entwickelt. Die Gehalte an H⁺-Kationen sind in Weiden signifikant höher als in Wiesen (p < 0.05). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 64 % weist das Kation K⁺ bei Weiden statistisch gesichert höhere Werte auf als bei Wiesen: Trotz der durch Feldkalendereinträge belegten höheren N-Einsätze und den damit verbundenen intensiveren Nährstoffauswaschungsvorgängen bei Weiden sind aufgrund des gesteigerten Inputs höhere K-Konzentrationen auf Weiden vorhanden.

Signifikante zeitliche Effekte wurden beim basischen Kation Mg²⁺ (p < 0.01) und bei den H⁺-Ionen (p < 0.01) festgestellt (Tabelle 10). Im Vergleich zum ersten Erhebungszyklus ist der Gehalt dieser Kationen im zweiten und dritten Erhebungszyklus tiefer. Hier könnten der unterschiedliche Stichprobenumfang von Referenz und Vergleichsgruppe der Grund dafür sein. Nicht interpretiert werden kann hingegen der im Vergleich zum zweiten Erhebungszyklus mit einer Wahrscheinlichkeit von 74 % statistisch deutlich gesichert höhere Gehalt der basischen Kationen Na⁺ im dritten Erhebungszyklus.

Signifikante (p < 0.01) Tiefeneffekte lassen sich bei den Kationen Mg²⁺ (im Vergleich zum OOB tieferer Gehalt im OB und höherer Gehalt im UB) und H⁺ (im Vergleich zum OOB tieferer Gehalt sowohl im OB als auch im UB) finden (Tabelle 10). Statistisch gesicherte Tiefeneffekte sind ausserdem bei den Kationen Ca²⁺ (im Vergleich zum OOB tieferer Gehalt sowohl im OB als auch im UB) und K⁺ (im Vergleich zum OB höherer Gehalt im UB) festzustellen. Diese Unterschiede entsprechen dem Auswaschungsverhalten der einzelnen Kationen. Die Erklärung dafür ist, dass auf NW durch Weidehaltung und Gülleausstrag intensiver Kalium gedüngt wird

Fortsetzung Tabelle 11

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Humus			Kalkgehalt			pH-Wert (H ₂ O)			erforderliche Kalkgabe ²			KAK _{pot} ³			Basensättigung			erforderliche Kalkgabe ⁵			
			[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]	[Gew. %]
Erhebungszyklus			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	VK ⁴	[%]	VK	2	3	
Schlosswil 1994 / 2006 / 2014	NW Wiese	0–5		8.66	6.72		0.6	2.0		6.54	6.56					39.9	17.2	80.0		69.8				
	NW Wiese	0–20	6.60	5.20	5.25	2.0	1.0	0.5	7.40	6.68	6.68	0.0	0.0	0.0	29.4	31.2	18.3	82.8	D	65.1	C	0.0	0.0	
	NW Wiese	20–40	4.50	2.97	3.29	1.8	0.6	0.5	7.90	7.19	6.80	0.0	0.0	0.0	24.8	26.1	16.2	89.0	D	75.1	C	0.0	0.0	
	AF KPF	0–20	5.30	4.18	4.07	0.6	0.2	0.1	6.70	6.57	6.61	0.0	0.0	0.0	24.5	24.9	13.6	77.8	C	50.1	B	0.0	12.5	
	AF KPF	20–40	4.20	3.05	3.10	0.4	0.3	0.2	6.90	6.87	6.42	0.0	0.0	0.0	23.3	21.7	14.6	79.7	C	62.8	C	0.0	0.0	
Seedorf ⁷ 1995 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5		4.31	4.31		0.4	0.5		6.27	6.66					15.1	14.0	66.5		63.9				
	NW Wiese	0–20	3.30	2.95	2.67	1.3	0.4	0.6	7.00	6.61	6.72	0.0	0.0	0.0	19.5	12.5	9.8	68.4	C	55.7	C	0.0	0.0	
	NW Wiese	20–40	1.80	1.32	1.63	2.1	0.7	0.9	7.40	7.11	7.30	0.0	0.0	0.0	14.3	8.7	7.9	83.8	D	72.6	C	0.0	0.0	
	AF BSA	0–20	2.10	2.35	2.55	0.0	0.3	0.5	6.30	7.20	6.97	0.0	0.0	0.0	11.6	9.4	8.1	77.5	C	58.7	B	0.0	7.3	
	AF BSA	20–40	0.70	0.98	1.02	0.4	0.2	0.4	6.30	6.21	6.96	0.0	0.0	0.0	9.0	7.4	6.0	53.7	B	49.5	A	7.3	10.0	
Treiten 1995 / 2008 / 2014	NW Weide	0–5		15.54	14.86		0.4	0.2		5.90	6.57					69.9	34.5	90.2		62.6				
	NW Weide	0–20	11.60	14.80	13.05	0.3	0.2	0.3	7.10	5.96	6.30	0.0	10.0	0.0	50.4	52.7	36.5	77.1	C	64.4	C	0.0	0.0	
	NW Weide	20–40	8.40	11.78	10.57	0.5	0.6	0.2	7.10	6.53	6.36	0.0	0.0	0.0	45.4	51.6	33.7	81.5	D	73.2	C	0.0	0.0	
	AF KPF	0–20	10.30	11.18	10.97	6.8	3.0	2.0	7.50	6.90	6.62	0.0	0.0	0.0	52.7	50.0	28.3	90.1	D	81.9	D	0.0	0.0	
	AF KPF	20–40	11.30	11.62	10.87	5.9	3.9	2.0	7.60	6.83	6.72	0.0	0.0	0.0	53.6	43.3	29.3	91.5	D	84.7	D	0.0	0.0	
Zollikofen 1999 / 2003 / 2016	AF BSA	0–5		3.68	3.48		0.3	0.3		6.22	5.90					14.2	11.4	59.0		45.9				
	AF BSA	0–20	3.21	2.71	2.19	0.5	0.3	0.1	6.51	6.36	5.93	0.0	0.0	10.0	12.2	14.0	10.3	57.2	B	41.0	A	12.5	19.0	
	AF BSA	20–40	1.54	1.68	1.18	0.5	0.4	0.1	6.79	6.58	6.37	0.0	0.0	0.0	9.4	11.1	7.7	58.7	B	48.5	A	12.5	10.0	
	AF OLP	0–20	2.89	2.35	2.40	0.5	0.3	0.1	6.55	6.32	5.96	0.0	0.0	20.0	12.2	12.0	12.3	55.8	B	48.5	A	12.5	19.0	
	AF OLP	20–40	1.68	1.46	1.06	0.5	0.6	0.2	6.65	6.76	6.34	0.0	0.0	0.0	9.9	10.6	7.8	67.3	C	44.8	A	0.0	10.0	
Mittelwert der ÖLN⁸ Standorte (ohne Treiten)	NW	0–5		6.57	5.78		0.4	0.4		6.01	6.21					21.1	17.4	62.0		60.8				
	NW	0–20	4.38	4.13	3.59	0.5	0.4	0.3	6.57	6.16	6.09	3.6	6.1	5.8	20.3	17.1	14.8	60.4		52.3		4.3	9.7	
	NW	20–40	2.26	1.93	1.75	0.7	0.5	0.3	6.68	6.46	6.40	4.8	5.0	4.3	15.4	13.0	10.6	59.7		49.3		5.8	5.9	
	AF	0–20	2.84	2.76	2.75	0.2	0.2	0.2	6.30	6.37	6.22	10.0	8.1	8.3	14.2	12.7	12.6	56.7		50.5		9.2	11.6	
	AF	20–40	1.71	1.62	1.57	0.2	0.3	0.2	6.35	6.37	6.32	6.9	8.5	7.1	12.2	10.1	9.7	52.7		45.5		8.8	10.7	
Bantigen 1997 / 2004 / 2009	NW Wiese	0–5		6.02	4.84		0.5	0.6		5.96	5.76					12.1	15.6	41.2		72.3				
	NW Wiese	0–20	2.60	2.95	2.66	0.0	0.4	0.4	6.40	5.84	5.68	0.0	12.5	12.5	9.0	12.1	11.9	65.7	C	65.1	C	0.0	0.0	
	NW Wiese	20–40	1.10	1.33	1.27	0.0	0.5	0.4	6.30	6.03	5.97	0.0	10.0	10.0	8.0	7.8	8.5	42.0	B	36.8	A	7.3	10.0	
	AF KPF	0–20	2.40	2.53	2.77	0.0	0.6	0.8	6.20	6.06	6.12	20.0	20.0	20.0	7.4	9.9	11.2	36.9	A	38.7	A	13.0	24.5	
	AF KPF	20–40	1.10	1.18	1.20	0.0	0.4	0.5	6.20	6.10	5.94	20.0	20.0	20.0	7.9	7.9	9.1	34.8	A	34.7	A	13.0	13.0	
Clavaleyres ⁹ 1999 / 2006 / 2011	NW Wiese	0–5		4.07	4.08		0.2	0.2		5.84	6.08					11.7	11.3	58.9		31.9				
	NW Wiese	0–20	1.94	2.11	2.40	0.5	0.0	0.3	6.13	5.67	6.13	10.0	12.5	10.0	9.4	9.3	9.4	49.4	B	28.7	A	7.3	13.0	
	NW Wiese	20–40	1.07	0.70	1.01	0.5	0.2	0.3	6.04	5.69	6.25	10.0	12.5	0.0	9.9	8.7	8.1	46.8	B	30.0	A	7.3	10.0	
	AF KPF	0–20	1.66	1.71	1.76	0.5	0.3	0.4	6.30	6.08	6.18	0.0	20.0	20.0	8.4	10.5	7.2	51.3	B	28.6	A	12.5	13.0	
	AF KPF	20–40	0.95	0.95	1.15	0.5	0.3	0.4	6.36	6.19	6.48	0.0	20.0	0.0	7.5	8.6	7.1	51.7	B	26.1	A	7.3	13.0	
Hindelbank - / - / 2009	NW Wiese	0–5			4.04			0.8			6.59						12.2			66.6				
	NW Wiese	0–20			2.60			0.5			6.27			0.0			9.9			54.8	C		0.0	
	NW Wiese	20–40			1.46			0.5			6.36			0.0			7.8			50.7	C		7.3	
	AF OLP	0–20			2.10			0.5			6.66			0.0			8.6			57.1	B		7.3	
	AF OLP	20–40			1.29			0.5			6.68			0.0			6.7			51.0	B		7.3	
Kirchlindach - / - / 2009	NW Weide	0–5			7.07			0.4			5.88						20.7			80.7				
	NW Weide	0–20			4.56			0.6			6.00			10.0			14.7			41.0	B		12.5	
	NW Weide	20–40			2.09			0.3			5.82			12.5			12.7			70.4	C		0.0	
	AF OLP	0–20			2.62			0.4			6.23			0.0			11.5			55.4	B		12.5	
	AF OLP	20–40			1.62			0.5			6.20			0.0			9.8			52.8	B		7.3	

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 11

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Humus [Gew. %]			Kalkgehalt [Gew. %]			pH-Wert (H ₂ O) [-]			erforderliche Kalkgabe ² [dt CaO/ha]			KAK _{pot} ³ [meq/100 g Boden TS]			Basensättigung				erforderliche Kalkgabe ⁵ [dt CaO/ha]		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	VK ⁴	3	VK	2	3				
Möriswil 1995 / 2002 / 2008	NW Wiese	0–5		4.73	5.60		0.3	0.1		5.78	5.45					11.7	17.1	50.8		68.6				
	NW Wiese	0–20	2.30	2.80	2.68	0.0	0.3	0.1	6.10	5.75	5.47	10.0	12.5	12.5	12.8	9.4	13.2	46.2	B	64.1	C	7.3	0.0	
	NW Wiese	20–40	0.60	1.09	0.83	0.0	0.3	0.0	6.30	6.43	6.21	0.0	0.0	0.0	9.6	7.3	6.3	38.7	A	29.6	A	10.0	13.0	
	AF KPF	0–20	2.10	2.32	2.27	0.0	0.4	0.1	6.40	5.81	5.76	0.0	25.0	25.0	13.1	9.2	13.1	49.5	A	68.8	C	10.0	0.0	
	AF KPF	20–40	1.00	1.19	0.93	0.0	0.3	0.4	6.30	6.40	6.03	0.0	0.0	20.0	11.9	8.8	8.3	45.1	A	42.0	A	10.0	10.0	
Uettligen 1997 / 2005 / 2014	NW Wiese	0–5		6.24	5.46		0.4	0.2		6.52	6.09					22.7	14.1	71.8		60.3				
	NW Wiese	0–20	4.70	4.09	3.52	0.0	0.4	0.2	7.40	6.48	6.87	0.0	0.0	0.0	15.7	18.6	11.9	78.9	C	63.0	C	0.0	0.0	
	NW Wiese	20–40	1.10	1.75	1.64	3.7	4.9	4.0	8.40	7.50	6.98	0.0	0.0	0.0	11.2	14.2	8.3	94.4	D	100.0	D	0.0	0.0	
	AF OLP	0–20	2.70	3.07	2.62	0.0	0.4	0.2	7.60	7.04	6.79	0.0	0.0	0.0	14.5	16.2	10.0	76.7	C	57.9	B	0.0	7.3	
	AF OLP	20–40	1.20	1.57	1.45	3.8	4.5	3.2	8.30	7.43	6.84	0.0	0.0	0.0	12.1	12.4	8.8	94.2	D	92.8	D	0.0	0.0	
Mittelwert der BIO ¹⁰ Standorte	NW	0–5		5.27	5.22		0.4	0.4		6.03	6.07					14.5	15.6	55.7		68.7				
	NW	0–20	2.89	2.99	3.12	0.1	0.3	0.4	6.51	5.94	6.17	5.0	9.4	5.8	11.7	12.4	11.9	60.1		57.3		3.7	2.1	
	NW	20–40	0.97	1.22	1.49	1.1	1.5	1.0	6.76	6.41	6.44	2.5	5.6	3.8	9.7	9.5	8.6	55.5		60.0		6.2	5.1	
	AF	0–20	2.22	2.41	2.49	0.1	0.4	0.4	6.63	6.25	6.42	5.0	16.3	7.5	10.9	11.4	10.4	53.6		56.1		8.9	9.8	
	AF	20–40	1.06	1.22	1.25	1.1	1.4	0.9	6.79	6.53	6.44	5.0	10.0	6.7	9.9	9.4	8.1	56.4		53.8		7.6	7.9	
Mittelwert der Naturwiesen (Weiden ohne Treiten)	NW Weiden	0–5		6.79	6.27		0.3	0.2		5.70	6.01					17.2	18.9	54.8		67.9				
	NW Weiden	0–20	4.36	4.32	3.97	0.1	0.4	0.3	6.04	5.84	5.84	8.0	11.5	9.6	18.6	14.7	15.7	53.3		51.8		7.1	11.9	
	NW Weiden	20–40	2.00	1.90	1.82	0.1	0.3	0.2	6.02	6.03	6.06	10.5	9.0	9.2	14.2	11.1	11.3	43.2		47.0		12.7	8.1	
	NW Wiesen	0–5		5.94	5.15		0.4	0.5		6.17	6.24					20.4	15.4	63.1		61.3				
	NW Wiesen	0–20	3.79	3.58	3.08	0.6	0.4	0.4	6.81	6.23	6.29	2.0	4.8	3.5	17.7	16.4	12.5	63.8		55.6		2.7	3.8	
	NW Wiesen	20–40	1.88	1.65	1.55	1.1	0.9	0.8	7.04	6.65	6.63	1.0	3.3	1.0	13.7	12.5	9.0	66.2		57.1		2.5	4.0	
Mittelwert aller Standorte (ohne Treiten)	NW	0–5		6.22	5.57		0.4	0.4		6.01	6.16					19.3	16.7	60.3		63.8				
	NW	0–20	3.98	3.82	3.41	0.4	0.4	0.4	6.55	6.10	6.12	4.0	7.0	5.8	18.0	15.8	13.7	60.3		54.2		4.2	6.8	
	NW	20–40	1.92	1.74	1.65	0.8	0.7	0.6	6.70	6.45	6.42	4.2	5.2	4.1	13.9	12.0	9.9	58.6		53.3		5.9	5.6	
	AF	0–20	2.69	2.67	2.66	0.2	0.3	0.3	6.38	6.34	6.28	8.8	10.0	8.1	13.4	12.4	11.9	56.0		52.4		9.1	11.0	
	AF	20–40	1.56	1.53	1.47	0.4	0.5	0.5	6.46	6.40	6.36	6.5	8.8	6.9	11.6	10.0	9.2	53.6		48.2		8.5	9.8	

¹ NW = Naturwiese; AF = Ackerfläche (KPF = konventioneller Pflug; OLP = On Land-Pflug; BSA = Boden schonende Anbausysteme [= Mulch-, Streifenfräs- und Direktsaat])

² erforderliche Kalkgabe der groben Beurteilung mit pH-Wert und Tongehalt (die Mittelwerte sind nur für Standorte mit Kalkbedarf berechnet)

³ KAK_{pot} = potentielle Kationenaustauschkapazität

⁴ Kalk-VK = Kalk-Versorgungsklasse aufgrund der Basensättigung: A = «sehr arm» und «arm»; B = «mässig»; C = «genügend»; D = «Vorrat»

⁵ erforderliche Kalkgabe der vertieften Beurteilung mit Basensättigung und Kationenaustauschkapazität (die Mittelwerte sind nur für Standorte mit Kalkbedarf berechnet)

⁶ infolge Analysen- oder Probenahmefehler ist Humuswert bei der Mittelwertberechnung nicht berücksichtigt

⁷ Seedorf wird ab 2004 nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau» bewirtschaftet

⁸ ÖLN = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinien «Ökologischer Leistungsnachweis»

⁹ Clavaleyres wird ab 2009 nach Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis» bewirtschaftet

¹⁰ BIO = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»

= im Vergleich zum vorderen Erhebungszyklus ist Kalkbedarf gesunken

= im Vergleich zum vorderen Erhebungszyklus ist Kalkbedarf gestiegen

und dass Kalium in den Wiesen mit geringem N-Input generell weniger ausgewaschen wird.

Wegen unterschiedlicher Stichprobengrösse zeigen sich bei der KAK_{off} signifikante zeitliche Effekte (p < 0.01): Die Werte des ersten Erhebungszyklus sind im Vergleich zum zweiten um 1.96 meq/100 g Boden und im Vergleich zum dritten um 1.35 meq/100 g Boden tiefer (Tabelle 10). Signifikante Tiefeneffekte (p < 0.01) liegen vor beim Vergleich von OOB vs. OB (im OB um 2.98 meq/100 g Boden tiefer) und OOB vs. UB (im UB um 5.11 meq/100 g Boden tiefer), wobei die KAK_{pot}-Werte im OB mit einer Wahrscheinlichkeit von 69 % statistisch gesichert höher sind als im UB. Wie bei den AF lassen sich auch bei den NW die im OB höheren KAK-Werte mit den höheren Humusgehalten der OB erklären.

Für die futterbauliche Nutzung wird eine BS von 50 % als «genügend» betrachtet (GRUDAF 2009). Die entsprechenden Resultate der NW im dritten Erhebungszyklus weisen einen durchschnittlichen Wert im OB von 54.2 % und im UB von 53.3 % auf (Tabelle 11). Verglichen mit Wiesen ist der berechnete Kalkbedarf bei Weiden (OB und UB) im dritten Erhebungszyklus deutlich höher (bei OB +256.4 % oder +6.1 dt CaO/ha). Ein im Vergleich zu Wiesen erhöhter Nährstoffinput bei Weiden bewirkt eine verstärkte Versauerung, was höhere Kalkgaben erfordert.

Fazit Kalkzustand und Kalkbedarf: Generell haben die Standortfaktoren «Ausgangsgestein» und «Niederschlagsmenge» einen grossen Einfluss auf den Kalkzustand. Einzelne KABO-Standorte befinden sich im «sauren» bzw. «basischen» Bereich, die meisten jedoch im optimalen Bereich «schwach sauer», welcher für Landwirtschaftsböden empfohlen wird. Wegen unterschiedlicher Humusgehalte (OB > UB) sind die KAK-Werte im OB höher als im UB, und auch die Tiefenverteilung der Kationen (OB > UB) ist analog zur Humusverteilung in den Bodenprofilen. Trotzdem ergeben sich aus der Bilanz von Nährstoffeintrag via Pflanzenrückstände, Weidehaltung und Düngung (insbesondere NH₄-haltige Düngemittel) und Nährstoffaustrag über Dürrfutterernte und kationentypischem Auswaschungsverhalten tiefe Basensättigungswerte (und pH-Werte). ÖLN-AF haben einen höheren Kalkbedarf als BIO-AF, und Weiden einen höheren als Wiesen. Demzufolge ist insbesondere auf ÖLN-AF und Weiden der pH-Entwicklung und -Kontrolle eine hohe Aufmerksamkeit zu schenken und bei Bedarf eine Erhaltungskalkung durchzuführen.

2.2 Nährstoffe

Stickstoff, hier als Stickstoff-Totalgehalt (N_{tot}), gehört zu den Hauptnährelementen, ist jedoch nur in sehr geringen Mengen im Muttergestein und in der mineralischen Bodensubstanz vorhanden. Deshalb muss N bei landwirtschaftlicher Nutzung regelmässig zugeführt werden. In humosen OB ist N meist zu mehr als 90 % in organischer Form gebunden, d.h. nicht pflanzenverfügbar (BLUME et al. 2009). Leicht pflanzenverfügbare N-Verbindungen im Boden sind Nitrat und Ammonium, welche durch mikrobielle Umwandlung von organischen in mineralische N-Formen (N-Mineralisation) für die Pflanzen verfügbar gemacht werden. Eine N-Fixierung findet statt, wenn organisches Material in den Boden eingearbeitet wird und die Mikroorganismen für dessen Abbau den leicht verfügbaren mineralischen N beanspruchen.

I BIO vs. ÖLN: Die Korrelation zwischen N_{tot} und Humusgehalt (VOL 2003) zeigt, dass durch den N-Anteil in der organischen Substanz der N_{tot} -Gehalt im Boden erklärt werden kann. Unterstützt wird diese These durch den statistisch deutlich gesicherten Tiefeneffekt: Im OB der AF sind die N_{tot} -Gehalte mit einer Wahrscheinlichkeit von 86 % höher als im UB (Tabelle 9).

II Wiese vs. Weide: Die N_{tot} -Gehalte der NW sind im zweiten Erhebungszyklus mit einer Wahrscheinlichkeit von 34 % statistisch gesichert tiefer als im ersten (Tabelle 10). Dieses Ergebnis bestätigt am Beispiel von N_{tot} , dass auf NW, insbesondere bei ökologischen Ausgleichsflächen, die Nährstoffgehalte abgenommen haben. Wie schon beim Humusgehalt ist auch beim N_{tot} -Gehalt auf den NW ein statistisch deutlich gesicherter Tiefeneffekt festzustellen: Im Vergleich zum UB sind die Werte im OB deutlich erhöht (Wahrscheinlichkeit 81 %).

Phosphor ist ein Hauptnährelement und liegt im Boden zum weitaus grössten Teil in gebundener Form vor. Der P-Gehalt in der Bodenlösung beträgt meist weniger als 0.1 % des gesamten Phosphorgehalts (P_{tot}). Die Bindung erfolgt hauptsächlich an Bestandteile der Tonfraktion und an Huminstoffe, wobei der Anteil an organisch gebundenem P variiert: Im gedüngten OB eines Mineralbodens liegt er zwischen 5 % und 35 % und nimmt analog zum Humusgehalt im Bodenprofil von oben nach unten ab (BLUME et al. 2009).

In Abbildung 1 ist zu sehen, dass die durchschnittlichen P_{tot} -Gehalte im OB im dritten Erhebungszyklus der NW (784 mg/kg) ähnliche Werte aufweisen wie jene in der AF (827 mg/kg). Diese sind mit den Werten der NABO Untersuchung (NW: 932 mg/kg, AF: 815 mg/kg) vergleichbar (MEULI R.G. et al., 2014). Sowohl bei AF als auch bei NW weisen die P_{tot} seit dem ersten Erhebungszyklus im OB und im UB

Tabelle 12: KABO Erst-, Zweit- und Drittbeprobungsergebnisse von Messgrössen zum Nährstoffzustand inkl. ihrer Versorgungsklasse.

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	P_{tot} [ppm]			Index P_2O_5 (Dirks-Scheffer)						Index K_2O (Dirks-Scheffer)						N_{tot} (Kjeldahl) [Gew. %]		
						[P-Test]						[K-Test]								
						Testzahl	VK ²	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK			
Erhebungszyklus			1	2	3	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3	1	2	3
Auswil 1998 / 2003 / 2013	NW Weide	0–5		1470	1090			15.98		7.10				10.67		3.50			0.27	0.27
	NW Weide	0–20	1113	930	1460	3.70	B	2.90	B	3.10	B	7.30	D	3.09	C	2.20	C	0.19	0.19	0.20
	NW Weide	20–40	648	640	560	1.00	B	0.48	A	0.50	A	2.90	C	1.91	C	0.90	B	0.13	0.12	0.12
	AF BSA	0–20	1037	1000	880	2.60	B	3.39	B	2.50	B	6.20	D	3.21	C	3.90	D	0.19	0.19	0.17
	AF BSA	20–40	651	640	570	1.00	A	0.00	A	0.70	A	1.90	C	0.92	A	0.70	A	0.14	0.14	0.12
Buch 1998 / 2005 / 2012	NW Weide	0–5		600	530			15.90		23.30				3.90		4.40			0.16	0.19
	NW Weide	0–20	573	470	420	4.70	B	5.00	C	4.50	B	1.10	A	1.30	B	1.00	A	0.13	0.12	0.13
	NW Weide	20–40	355	300	290	1.50	A	1.40	A	1.60	A	0.60	A	0.60	A	0.28	A	0.08	0.07	0.07
	AF BSA	0–20	607	600	520	14.50	D	31.50	E	29.00	E	2.50	C	2.40	C	4.00	D	0.12	0.12	0.14
	AF BSA	20–40	484	360	370	5.50	C	5.50	C	7.40	C	1.80	B	1.00	A	1.10	A	0.07	0.07	0.08
Grasswil 1996 / 2004 / 2011	NW Weide	0–5		1470	1250			76.65		33.40				26.15		11.80			0.35	0.35
	NW Weide	0–20	1212	1220	980	16.70	D	16.94	D	10.30	C	7.90	E	7.69	E	6.10	D	0.40	0.30	0.27
	NW Weide	20–40	709	680	570	2.40	B	1.94	B	1.00	B	3.50	C	1.89	C	2.00	C	0.17	0.15	0.13
	AF KPF	0–20	806	890	1050	9.20	C	12.91	C	12.10	C	7.40	D	5.56	D	5.20	D	0.14	0.14	0.15
	AF KPF	20–40	667	700	630	3.10	B	5.33	C	5.20	C	2.30	C	2.66	C	2.90	C	0.07	0.10	0.10
Langnau 1996 / 2003 / 2008	NW Weide	0–5		1280	1180			17.43		20.10				3.32		3.80			0.29	0.28
	NW Weide	0–20	1198	1060	820	6.40	C	5.00	C	4.50	B	1.40	B	1.03	B	1.20	B	0.30	0.25	0.21
	NW Weide	20–40	851	720	570	2.30	B	2.10	B	1.60	A	0.60	A	0.53	A	0.50	A	0.17	0.10	0.12
	AF KPF	0–20	1094	1100	900	6.80	C	8.88	C	9.60	C	3.80	C	2.24	C	2.40	C	0.21	0.18	0.18
	AF KPF	20–40	770	780	660	3.50	B	4.84	B	5.00	C	1.30	B	1.28	B	1.30	B	0.12	0.11	0.11
Madiswil 1997 / 2006 / 2012	NW Wiese	0–5		1010	950			33.60		33.80				20.90		19.10			0.22	0.28
	NW Wiese	0–20	1054	830	630	2.60	B	9.50	C	6.90	C	13.00	E	12.90	E	6.80	D	0.18	0.18	0.19
	NW Wiese	20–40	915	680	580	0.80	A	3.20	B	2.30	B	6.20	D	5.80	D	4.50	D	0.11	0.12	0.10
	AF KPF	0–20	1319	1090	920	9.20	C	26.90	E	24.10	E	4.50	D	3.90	C	6.50	D	0.13	0.15	0.17
	AF KPF	20–40	1035	780	720	0.80	A	10.50	C	11.30	C	3.00	C	2.40	C	2.50	C	0.10	0.11	0.10
Niederörsch 1999 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5		1030	910			33.24		67.90				4.68		5.00			0.24	0.22
	NW Wiese	0–20	1004	870	750	11.74	C	11.13	C	8.30	C	2.20	C	1.27	B	0.90	A	0.17	0.19	0.18
	NW Wiese	20–40	800	710	700	3.70	B	5.00	C	4.00	B	1.20	A	0.78	A	0.60	A	0.08	0.11	0.11
	AF KPF	0–20	825	790	790	10.29	C	9.84	C	19.80	D	2.65	C	2.31	C	3.70	C	0.11	0.14	0.11
	AF KPF	20–40	680	660	620	4.66	B	3.07	B	6.90	C	1.31	B	0.84	A	1.30	B	0.08	0.08	0.09
Roggwil 1996 / 2005 / -	NW Wiese	0–5		1020				22.50						2.30					0.35	
	NW Wiese	0–20	965	870		5.10	C	9.50	C			0.80	B	1.10	C			0.44	0.29	
	NW Wiese	20–40	722	630		1.00	B	3.70	B			0.40	A	0.60	A			0.25	0.17	
	AF KPF	0–20	793	790		5.10	C	10.30	C			1.90	C	3.10	C			0.12	0.12	
	AF KPF	20–40	674	640		1.60	B	3.10	B			1.90	C	1.40	B			0.09	0.09	
Rubigen 1994 / 2004 / 2011	NW Wiese	0–5		1280	1250			51.96		67.30				3.00		3.40			0.27	0.25
	NW Wiese	0–20	959	1040	1010	1.10	B	17.10	D	11.10	C	1.10	B	0.91	B	0.80	B	0.25	0.22	0.20
	NW Wiese	20–40	729	760	600	0.00	A	6.45	C	4.40	B	0.60	A	0.41	A	0.30	A	0.16	0.13	0.09
	AF BSA	0–20	871	880	790	1.90	B	11.62	C	18.20	E	4.90	D	2.05	C	2.30	C	0.20	0.16	0.16
	AF BSA	20–40	721	600	530	1.80	B	2.26	B	2.60	B	2.20	C	0.78	B	0.60	A	0.14	0.09	0.10
Rüderswil 2000 / 2007 / 2015	NW Weide	0–5		2390	1340			11.60		12.10				5.20		4.80			0.30	0.29
	NW Weide	0–20	1600	2260	1200	8.90	C	5.80	C	4.80	B	2.00	C	1.80	C	0.70	A	0.22	0.23	0.22
	NW Weide	20–40	1070	1730	810	1.80	A	1.90	A	1.30	A	0.40	A	0.40	A	0.30	A	0.17	0.15	0.13
	AF KPF	0–20	1390	2140	1260	11.30	C	9.80	C	8.60	C	2.40	C	3.20	C	3.10	C	0.19	0.19	0.21
	AF KPF	20–40	1060	1720	720	4.20	B	3.70	B	5.30	C	1.10	A	1.30	B	1.50	B	0.14	0.06	0.11

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 12

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	P _{tot} [ppm]			Index P ₂ O ₅ (Dirks-Scheffer)						Index K ₂ O (Dirks-Scheffer)						N _{tot} (Kjeldahl) [Gew. %]		
						[P-Test]						[K-Test]						[Gew. %]		
						Testzahl	VK ²	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	1
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Schlosswil 1994 / 2006 / 2014	NW Wiese	0–5		1350	1090			14.50		11.30				2.50		1.60		0.31	0.32	
	NW Wiese	0–20	1182	1050	970	0.00	A	5.80	C	6.10	C	1.40	C	1.10	B	0.90	B	0.39	0.08	0.23
	NW Wiese	20–40	995	880	740	0.00	A	1.90	B	2.10	B	0.90	B	0.60	B	0.50	B	0.28	0.16	0.17
	AF KPF	0–20	1450	1160	1030	0.00	A	11.60	D	10.90	C	2.70	C	3.20	C	2.20	C	0.31	0.24	0.25
	AF KPF	20–40	1013	960	940	0.00	A	6.80	C	5.50	C	1.40	C	1.60	C	0.80	B	0.26	0.17	0.20
Seedorf ³ 1995 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5		830	760			25.50		47.80				3.82		5.60		0.22	0.22	
	NW Wiese	0–20	823	740	680	11.10	C	13.88	D	11.70	C	2.60	C	1.42	B	1.50	B	0.25	0.18	0.17
	NW Wiese	20–40	630	570	560	5.60	C	5.97	C	8.20	C	1.30	B	0.78	A	0.80	A	0.16	0.11	0.11
	AF BSA	0–20	805	970	890	24.70	E	84.55	E	129.10	E	2.90	C	9.26	E	5.90	D	0.15	0.14	0.15
	AF BSA	20–40	553	680	610	22.30	E	15.40	D	50.10	E	1.30	B	1.87	B	2.70	C	0.08	0.08	0.07
Treiten 1995 / 2008 / 2014	NW Weide	0–5		1190	1250			31.40		17.70				11.30		3.30		0.55	0.59	
	NW Weide	0–20	1188	1070	1090	7.70	D	13.20	E	10.00	D	4.10	E	4.30	E	1.50	C	0.71	0.47	0.50
	NW Weide	20–40	896	690	740	3.10	C	4.30	C	4.30	C	2.40	D	1.60	C	0.90	C	0.52	0.47	0.38
	AF KPF	0–20	1335	1130	1150	6.60	C	7.70	C	11.30	D	3.00	D	4.10	D	2.30	D	0.72	0.49	0.41
	AF KPF	20–40	1095	900	1120	3.70	C	4.80	C	7.70	C	0.90	C	1.70	C	1.10	C	0.68	0.49	0.49
Zollikofen 1999 / 2003 / 2015	AF BSA	0–5		1240	950			75.36		34.80				12.49		9.60		0.19	0.26	
	AF BSA	0–20	1140	1270	890	43.58	E	48.09	E	23.40	E	3.39	C	6.23	C	2.30	C	0.15	0.16	0.15
	AF BSA	20–40	810	910	490	11.10	C	17.75	D	9.90	C	1.02	A	1.39	B	0.90	A	0.10	0.12	0.08
	AF OLP	0–20	1310	1220	970	28.30	E	27.27	E	13.30	D	1.65	B	2.09	C	1.80	C	0.13	0.15	0.14
	AF OLP	20–40	740	890	630	9.81	C	7.10	C	7.70	C	1.18	A	1.90	C	1.20	A	0.12	0.10	0.08
Mittelwert der ÖLN⁴- Standorte (ohne Treiten)	NW	0–5		1248	1003			28.99		28.26				7.86		5.93		0.27	0.26	
	NW	0–20	1062	1031	862	6.55		9.32		6.12		3.71		3.06		2.13		0.26	0.20	0.19
	NW	20–40	766	755	568	1.83		3.09		1.98		1.69		1.30		1.01		0.16	0.13	0.11
	AF	0–20	1034	1069	873	12.88		22.82		14.52		3.61		3.75		3.17		0.17	0.16	0.16
	AF	20–40	758	794	608	5.34		6.57		5.80		1.67		1.49		1.26		0.12	0.10	0.11
Bantigen 1997 / 2004 / 2009	NW Wiese	0–5		1010	860			44.70		19.30				7.86		2.30		0.23	0.25	
	NW Wiese	0–20	1048	880	780	4.70	B	11.46	C	6.30	C	2.40	C	1.54	B	0.60	B	0.07	0.17	0.15
	NW Wiese	20–40	718	570	430	0.80	A	4.68	B	3.40	B	0.50	A	0.55	A	0.30	A	0.10	0.11	0.08
	AF KPF	0–20	1195	1020	910	6.10	C	19.04	D	15.80	D	2.20	C	6.03	D	6.50	A	0.14	0.15	0.16
	AF KPF	20–40	909	660	560	0.80	A	6.29	C	6.30	C	1.70	B	2.02	C	2.30	C	0.09	0.07	0.08
Clavaleyres ⁵ 1999 / 2006 / 2011	NW Wiese	0–5		530	440			8.00		6.30				1.80		1.90		0.20	0.18	
	NW Wiese	0–20	410	390	380	2.09	B	2.40	B	1.60	A	0.59	A	0.60	A	0.70	A	0.12	0.13	0.10
	NW Wiese	20–40	290	290	260	0.97	A	0.60	A	1.00	A	0.33	A	0.30	A	0.20	A	0.07	0.07	0.07
	AF KPF	0–20	590	540	480	6.11	C	5.80	C	2.70	B	0.99	A	1.10	A	0.60	A	0.11	0.12	0.10
	AF KPF	20–40	420	410	410	2.73	B	2.60	B	2.10	B	0.44	A	0.90	A	0.30	A	0.08	0.08	0.09
Hindelbank - / - / 2009	NW Wiese	0–5			860					71.20						4.90			0.21	
	NW Wiese	0–20			740					34.00	E					1.60	B		0.13	
	NW Wiese	20–40			600					20.70	E					0.70	A		0.09	
	AF OLP	0–20			770					49.40	E					3.10	A		0.13	
	AF OLP	20–40			590					28.00	E					1.20	A		0.09	
Kirchlindach - / - / 2009	NW Weide	0–5			1020					44.10						13.60			0.30	
	NW Weide	0–20			710					11.70	C					3.70	C		0.25	
	NW Weide	20–40			420					2.40	B					1.20	B		0.13	
	AF OLP	0–20			690					20.30	D					1.10	A		0.16	
	AF OLP	20–40			430					8.80	C					0.40	A		0.11	

Fortsetzung nächste Seite

eine konstante Konzentrationsabnahme auf. Die Abnahme vom zweiten zum dritten Erhebungszyklus verläuft ausgeprägter als diejenige vom ersten zum zweiten. Der durchschnittliche OB-Gehalt an löslichem, pflanzenverfügbarem P (NH₄-aa-EDTA-Extraktion) ist im dritten Erhebungszyklus bei den NW mit 34 mg/kg überproportional tiefer als bei den AF mit 86 mg/kg.

I BIO vs. ÖLN: BIO-AF weisen gegenüber ÖLN-AF einen statistisch gesichert tieferen P_{tot}-Gehalt auf (Wahrscheinlichkeit 75 %, Tabelle 9). Die durchschnittlichen Gehalte über alle Erhebungszyklen betragen bei BIO-AF 668 mg/kg und bei ÖLN-AF 856 mg/kg (Tabelle 12). Bei den löslichen Gehalten ist in den BIO-AF ein deutlicher zeitlicher Anstieg zu beobachten, der im dritten Erhebungszyklus auf die beiden neu in die KABO aufgenommenen BIO-Betriebe zurückgeführt werden kann. Das Verhältnis zwischen P_{tot}- und löslichem P-Gehalt ist dementsprechend in BIO-AF um den Faktor 2.9 (Daten nicht publiziert) höher als in ÖLN-AF. Inwiefern diese Tatsache auf die bei den BIO-Betrieben verbreitete Mistkompostierung, auf den geringeren Humusgehalt oder gar auf den geringeren Hilfsmittelsatz zurückzuführen ist, kann nicht beurteilt werden.

Der P_{tot}-Gehalt auf den AF nimmt vom ersten zum dritten Erhebungszyklus statistisch gesichert ab (Wahrscheinlichkeit 33 %, Tabelle 9). Dies könnte mit der extensivierten Düngung (wegen der Suisse-Bilanz) erklärt werden. Auch beim löslichen P-Gehalt (Methode Dirks-Scheffer) sind statistisch gesicherte zeitliche Effekte sowohl zwischen dem ersten und zweiten als auch zwischen dem ersten und dritten Erhebungszyklus nachzuweisen.

Zwischen OB und UB bestehen statistisch deutlich gesicherte Unterschiede sowohl bei P_{tot} als auch bei den löslichen P-Gehalten (Wahrscheinlichkeit 78–82 %, Tabelle 9). Die Gehalte im OB sind dabei durchwegs höher als im UB: Im dritten Erhebungszyklus betragen sie im OB durchschnittlich 827 mg/kg und übersteigen damit die P_{tot}-Gehalte im UB mit 571 mg/kg deutlich. Im OB steht auch 1.9-mal mehr lösliches P zur Verfügung als im UB (Abbildung 1). Die ausgeprägten Tiefeneffekte lassen sich mit dem höheren Humusgehalt im OB und dem düngungsbedingten Nährstoffaustrag auf die Bodenoberfläche erklären.

II Wiese vs. Weide: Sowohl P_{tot}- als auch lösliche P-Gehalte verzeichnen statistisch gesicherte zeitliche Effekte (Tabelle 10): Die P_{tot}-Gehalte verringern sich vom ersten zum zweiten Erhebungszyklus (Wahrscheinlichkeit 31 %) und bleiben dann gleich hoch. Die löslichen P-Gehalte (Methode Dirks-Scheffer) steigen zwischen dem ersten und zweiten Zyklus an (Wahrscheinlichkeit 63 %) und bleiben beim dritten Zyklus unverändert. Statistisch deutlich

gesicherte Tiefeneffekte werden sowohl bei P_{tot} wie auch bei den beiden Methoden zur Bestimmung der löslichen P-Gehalte gefunden. Dabei sind die Werte der UB höher als diejenigen der OB bzw. der OOB (Wahrscheinlichkeiten 75–89%). Die abnehmenden P_{tot} -Gehalte in Wiesen widerspiegeln die negative Bilanz zwischen Nährstoffzug via Ernteprodukt und reduzierter Düngung aufgrund der Vorschriften für ökologische Ausgleichsflächen. Im dritten Erhebungszyklus verfügen Wiesen über höhere lösliche P-Gehalte als Weiden (Tabelle 12).

Für alle Lebewesen ist Kalium (K) ein essentieller Nährstoff; in den Pflanzen ist K u. a. für die Regulierung des osmotischen Drucks und des Wasserhaushalts verantwortlich. Die organischen Bindungsformen von K sind unbedeutend. In Mineralböden ist der überwiegende Teil des K in der Tonfraktion fixiert und daher nicht pflanzenverfügbar. Für die Landwirtschaft bedeutend ist das austauschbare K, welches im Zwischenschichtraum von Tonmineralen spezifisch gebunden wird. Solange die Fixierungskapazität der inneren Tonmineral-Oberflächen nicht gesättigt ist, wird auch eine Düngung den Vorrat an pflanzenverfügbarem K nicht erhöhen. Hohe Erträge bzw. Biomasseentzüge können jedoch mit der Zeit eine K-Unterversorgung bewirken, welche durch regelmässige Düngung ausgeglichen werden sollte.

Die zeitliche Entwicklung des löslichen K-Gehalts (K_2O) ist insgesamt abnehmend, wobei die Abnahme bei den NW stärker ausfällt als bei den AF.

I BIO vs. ÖLN: Beim löslichen K-Gehalt zeigt der Vergleich BIO-AF vs. ÖLN-AF nur bezüglich Bodentiefe statistisch deutlich gesicherte Unterschiede (Tabelle 9): In den OB finden sich mit beiden Methoden (NH_4 -aa-EDTA und Dirks-Scheffer) höhere Werte als in den UB (Wahrscheinlichkeiten 77 % bzw. 85 %). Düngung und vorwiegend an der Oberfläche anfallende Erntereste werden als Hauptursache für diesen Tiefengradienten betrachtet. Das Verhältnis zwischen OB und UB ist bei ÖLN höher als bei BIO (2.3 bzw. 1.9, Daten nicht publiziert). Die löslichen K-Gehalte in den AF sind nur bei 16 von 72 Beurteilungen als «genügend» einzustufen (Tabelle 12).

II Wiese vs. Weide: Auch in Wiesen und Weiden sind beim löslichen K-Gehalt nur Nebeneffekte statistisch gesichert. Ein zeitlicher Effekt mit tieferen Werten im dritten gegenüber dem ersten Erhebungszyklus kann bei der Methode Dirks-Scheffer nachgewiesen werden (Tabelle 10). Bei beiden löslichen K-Formen wurde jeweils ein statistisch deutlich gesicherter Tiefeneffekt festgestellt (Wahrscheinlichkeit 76 %). Während die mit der Methode NH_4 -aa-EDTA bestimmten löslichen K-Gehalte im OOB höhere

Fortsetzung Tabelle 12

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	P_{tot} [ppm]			Index P_2O_5 (Dirks-Scheffer)						Index K_2O (Dirks-Scheffer)						N_{tot} (Kjeldahl) [Gew. %]		
						[P-Test]						[K-Test]								
						Testzahl	VK ²	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK	Testzahl	VK			
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
Mörswil 1995 / 2002 / 2008	NW Wiese	0–5		740	590			8.40		12.20				1.00		2.00			0.19	0.19
	NW Wiese	0–20	548	550	380	3.90	B	4.30	B	3.70	B	0.60	A	0.60	A	0.70	A	0.16	0.12	0.12
	NW Wiese	20–40	275	260	190	0.50	A	1.00	A	0.60	A	0.20	A	0.50	A	0.20	A	0.07	0.05	0.05
	AF KPF	0–20	676	680	420	11.50	C	8.50	C	9.20	C	1.80	C	1.00	B	2.10	C	0.17	0.13	0.12
	AF KPF	20–40	385	330	240	2.30	B	2.30	B	2.40	B	0.80	B	1.00	B	0.80	B	0.08	0.08	0.06
Uettligen 1997 / 2005 / 2014	NW Wiese	0–5		920	760			35.90		32.30				5.00		2.50			0.32	0.29
	NW Wiese	0–20	960	810	640	6.80	C	11.60	C	9.60	C	2.70	C	2.10	C	0.90	B	0.24	0.24	0.21
	NW Wiese	20–40	773	560	490	0.80	A	1.30	B	2.60	B	2.50	C	1.40	B	0.80	B	0.11	0.14	0.11
	AF OLP	0–20	1100	780	730	5.50	C	13.00	D	11.70	C	2.40	C	2.50	C	1.70	B	0.19	0.18	0.18
	AF OLP	20–40	818	600	550	0.80	A	4.70	B	4.80	B	2.10	C	2.00	C	1.30	B	0.11	0.11	0.10
Mittelwert der BIO⁶- Standorte	NW	0–5		800	808			24.25		37.82				3.92		5.15			0.23	0.24
	NW	0–20	742	658	655	4.37		7.44		12.83		1.57		1.21		1.50		0.15	0.16	0.17
	NW	20–40	514	420	448	0.77		1.90		6.32		0.88		0.69		0.67		0.09	0.09	0.10
	AF	0–20	890	755	735	7.30		11.59		39.25		1.85		2.66		3.40		0.15	0.15	0.15
	AF	20–40	633	500	497	1.66		3.97		16.73		1.26		1.48		1.45		0.09	0.09	0.08
Mittelwert der Naturwiesen (Weiden ohne Treiten)	NW Weiden	0–5		1442	1068			27.51		23.35				9.85		6.98			0.27	0.28
	NW Weiden	0–20	1139	1188	932	8.08		7.13		6.48		3.94		2.98		2.48		0.25	0.22	0.21
	NW Weiden	20–40	727	814	537	1.80		1.56		1.40		1.60		1.07		0.86		0.14	0.12	0.12
	NW Wiesen	0–5		972	847			27.83		36.94				5.29		4.83			0.25	0.24
	NW Wiesen	0–20	895	803	696	4.91		9.67		9.93		2.74		2.35		1.54		0.23	0.18	0.17
	NW Wiesen	20–40	685	591	515	1.42		3.38		4.93		1.41		1.17		0.89		0.14	0.12	0.10
Mittelwert aller Standorte (ohne Treiten)	NW	0–5		1129	930			27.72		31.84				6.81		5.64			0.26	0.26
	NW	0–20	977	931	784	5.97		8.82		8.64		3.14		2.56		1.89		0.23	0.19	0.18
	NW	20–40	699	665	523	1.54		2.77		3.61		1.48		1.14		0.88		0.14	0.12	0.11
	AF	0–20	1000	995	827	11.57		20.18		22.76		3.19		3.49		3.24		0.16	0.16	0.16
	AF	20–40	729	725	571	4.47		5.96		9.44		1.57		1.49		1.32		0.11	0.10	0.10

¹ NW = Naturwiese; AF = Ackerfläche (KPF = konventioneller Pflug; OLP = On Land-Pflug; BSA = Boden schonende Anbausysteme [= Mulch-, Streifenfräs- und Direktsaat])

² VK = Versorgungsklasse für löslichen Phosphor resp. lösliches Kalium: A = «arm»; B = «mässig»; C = «genügend»; D = «Vorrat»; E = «angereichert»

³ Seedorf wird ab 2004 nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau» bewirtschaftet

⁴ ÖLN = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis»

⁵ Clavaleyres wird ab 2009 nach Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis» bewirtschaftet

⁶ BIO = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»

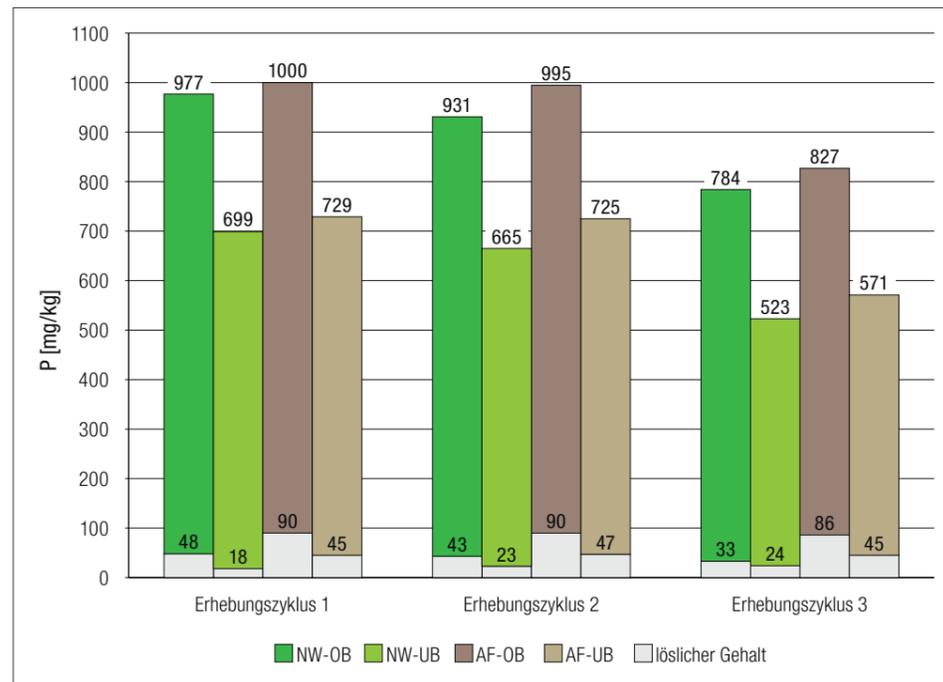


Abbildung 1: Mittelwerte von P_{tot} - und löslichem P-Gehalt (NH_4 -aa-EDTA-Extraktion) der KABO-Standorte.

Werte als im OB aufweisen, belegt die Methode Dirks-Scheffer höhere lösliche K-Konzentrationen in den OB gegenüber den UB. Generell ist die K-Versorgung der NW als unterversorgt «arm» bis «genügend» einzustufen.

Fazit Nährstoffe: Generell korreliert N_{tot} stark mit dem Humusgehalt: Weil N_{tot} überwiegend organisch gebunden ist, gibt es entsprechend deutliche Tiefeneffekte wie beim Humus.

P liegt im Boden sowohl in mineralischer als auch in organischer Form vor. Die P_{tot} -Gehalte der AF und NW sind vergleichbar, der lösliche P-Gehalt in AF ist jedoch grösser als in NW, was mit dem stärkeren Humusabbau durch die Bodenbearbeitung und damit verbunden mit der höheren Nährstoffverfügbarkeit in AF zusammenhängt.

Beim überwiegend mineralisch gebundenen K nehmen die löslichen Werte über die Zeit ab, bei NW stärker als bei AF.

2.3 Gefügebau

I BIO vs. ÖLN: In Tabelle 9 findet man bei der Lagerungsdichte einen signifikanten Tiefeneffekt ($p < 0.01$): Die AF-OB sind im Vergleich zu den AF-UB um 0.11 g/cm^3 lockerer gelagert (durchschnittliche Lagerungsdichte AF: 1.44 g/cm^3 , Tabelle 6). Dieser Unterschied lässt sich mit dem höheren Humusgehalt im OB und

Die N_{tot} -Gehalte der ÖLN-AF sind höher als diejenigen der BIO-AF. Die Gehalte nehmen generell ab. Möglicherweise ist die reduzierte Düngung gemäss Suisse-Bilanz der Grund dafür.

Bei P_{tot} sowie den löslichen P- und K-Formen sind generell deutliche Abnahmen von OB zu UB festzustellen, der Gehalt an löslichem K wird als «genügend» eingestuft.

In NW werden wegen der extensiveren Nutzung der Wiesen als ökologische Ausgleichsflächen abnehmende N_{tot} - und P_{tot} -Gehalte festgestellt. Der Tiefengradient bei P_{tot} unterscheidet sich bei NW und AF: Bei NW sind die Gehalte im OB höher als im UB, bei AF genau umgekehrt. Der Gehalt an löslichem P ist in Wiesen höher als in Weiden und derjenige an löslichem K im OB höher als im UB.

dem auf den UB ausgeübten Druck durch die Auflast des OB erklären.

AF haben ein durchschnittliches Gesamtporenvolumen von 45.75 Vol. \% . (Tabelle 6). Im UB ist dieses Volumen signifikant um 3.62 Vol. \% kleiner als im OB ($p < 0.01$, Tabelle 9). Dieses geringere Gesamtporenvolumen ist auf die Zu-

nahme der Lagerungsdichte durch die Auflast des OB zurückzuführen. Bei den BIO-AF ist im UB ebenfalls ein um 2.20 Vol. \% signifikant kleineres Gesamtporenvolumen als im OB festzustellen; bei den ÖLN AF beträgt der Volumenverlust in den UB im Vergleich zu den OB nur 0.69 Vol. \% ($p < 0.01$).

Bei einem durchschnittlichen Volumenanteil von 9.55 Vol. \% (Tabelle 6) weisen die groben Grobporen ($pF 0-1.4$) als einzige Porenklasse einen statistisch signifikanten ($p < 0.05$) Unterschied zwischen den Produktionsrichtlinien aus: Die ÖLN-AF haben ein um 1.37 Vol. \% kleineres Volumen als die BIO-AF (Tabelle 9).

Bei derselben Porenklasse treten zwischen dem ersten und dem zweiten Erhebungszyklus eine Volumenzunahme von 1.99 Vol. \% auf und vom ersten zum dritten Zyklus um 2.21 Vol. \% ($p < 0.01$, Tabelle 9). Ein weiterer zeitlicher Effekt ist bei den im Durchschnitt mit 11.45 Vol. \% (Tabelle 6) vertretenen Feinporen ($pF 4.2$ bis ofentrocken) statistisch gesichert festzustellen: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 63% hat diese Porenklasse im zweiten Erhebungszyklus ein grösseres Volumen als im ersten. Gerade umgekehrt verhalten sich die feinen Grobporen ($pF 1.4-1.8$, Durchschnitt 2.90 Vol. \% , Tabelle 6) und die feinen Mittelporen ($pF 3.0-4.2$; Durchschnitt 13.85 Vol. \%): Bei diesen beiden Porenklassen sind Volumenabnahmen vom ersten zum zweiten bzw. zum dritten Erhebungszyklus statistisch gesichert (Wahrscheinlichkeiten zwischen 27% und 38% , Tabelle 9). Dies bedeutet, dass eine Umverteilung von den Mittel- zu den Feinporen stattgefunden hat.

In den AF-UB haben die groben Grobporen ($pF 0-1.4$) im Vergleich zu den AF-OB ein um 1.8 Vol. \% signifikant grösseres Volumen ($p < 0.01$, Tabelle 9). Dies zeigt sich auch beim Volumen der gesamten Grobporen ($pF 0-1.8$, Durchschnitt 12.60 Vol. \% , Tabelle 6). Bei dieser Porenklasse sind die Volumina der AF-OB im Vergleich zu den AF-UB mit einer Wahrscheinlichkeit von 36% kleiner (um durchschnittlich 1.20 Vol. \% , Tabelle 6). Alle übrigen Porenklassen (d.h. $pF 1.4-1.8$, $pF 1.8-3.0$, $pF 3.0-4.2$ und $pF 4.2$ bis ofentrocken) zeigen im OB um 0.60 Vol. \% bzw. 2.10 Vol. \% bzw. 2.70 Vol. \% bzw. 1.10 Vol. \% statistisch gesichert grössere Volumina. Dabei liegen die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zwischen 67% und 75% in einem engen Bereich (Tabelle 9).

In ÖLN-AF gibt es weniger grobe Grobporen als in BIO-AF. Unabhängig von der Produktionsrichtlinie ist bei den Mittel- und Feinporen der Volumenanteil im OB höher als im UB, bei den Grobporen (insbesondere bei den groben Grobporen) ist es umgekehrt.

II Wiese vs. Weide: Wie in Tabelle 10 dargestellt, ist in Wiesen die Lagerungsdichte si-

gnifikant um 0.13 g/cm^3 höher als in Weiden ($p < 0.05$, Durchschnitt NW: 1.41 g/cm^3 , Tabelle 6). Mit demselben Signifikanzniveau wurden auch zeitliche Effekte festgestellt: Die Lagerungsdichte nimmt vom ersten zum zweiten Erhebungszyklus um 0.03 g/cm^3 , vom ersten zum dritten um 0.02 g/cm^3 zu. Verglichen mit den NW-OB haben die UB eine um 0.19 g/cm^3 signifikant höhere Lagerungsdichte ($p < 0.01$, Tabelle 10).

Verglichen mit den Wiesen ist das Gesamtporenvolumen auf den Weiden signifikant um 3.06 Vol. \% grösser ($p < 0.05$, Tabelle 10; Durchschnitt NW: 46.95 Vol. \% , Tabelle 6). Dies bestätigt das Resultat der Messgrösse Lagerungsdichte: Die Druckbelastung durch weidendes Vieh (Trittschäden) scheint kleiner zu sein als die Druckbelastung bei der maschinellen Raufutterernte der Wiesen. Verglichen mit den NW-OB haben die NW-UB ein um 5.34 Vol. \% signifikant kleineres Gesamtporenvolumen ($p < 0.01$, Tabelle 10), was ebenfalls mit den Ergebnissen der Lagerungsdichte übereinstimmt.

In Tabelle 10 sind bei den Grobporen, d.h. $pF 0-1.8$, nur signifikante zeitliche Effekte festzustellen ($p < 0.05$, Durchschnitt NW: 12.65 Vol. \% , Tabelle 6): Gegenüber dem ersten sind beim zweiten und dritten Erhebungszyklus Volumenzunahmen um 0.79 Vol. \% bzw. 1.27 Vol. \% zu beobachten (Tabelle 10). Diese Zunahmen sind überwiegend der Unterklasse der groben Grobporen ($pF 0-1.4$) zuzuschreiben (Durchschnitt NW: 9.30 Vol. \% , Tabelle 6): Bei einem Signifikanzniveau von $p < 0.01$ beträgt die Zunahme 2.00 Vol. \% beim zweiten und 2.58 Vol. \% beim dritten Erhebungszyklus (Tabelle 10). Hingegen nahmen die feinen Mittelporen ($pF 3.0-4.2$; Durchschnitt NW: 13.25 Vol. \% , Tabelle 6) vom ersten zum zweiten um 2.64 Vol. \% und vom ersten zum dritten Erhebungszyklus um 2.20 Vol. \% signifikant ab ($p < 0.01$, Tabelle 10). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% haben auch Feinporen ($pF 4.2$ bis ofentrocken; Durchschnitt NW: 12.00 Vol. \% , Tabelle 6) vom zweiten zum dritten Erhebungszyklus einen statistisch gesicherten Volumenverlust erlitten (Tabelle 10).

Signifikante Tiefeneffekte zwischen NW-OB und NW-UB sind festzustellen bei den Porenklassen $pF 0-1.4$ mit 1.84 Vol. \% tieferen OB-Werten sowie bei $pF 3.0-4.2$ mit 2.32 Vol. \% und $pF 1.4-1.8$ mit 0.81 Vol. \% tieferen UB-Werten (jeweils $p < 0.01$, Tabelle 10). Zudem sind bei den Porenklassen $pF 1.8-3.0$ (Durchschnitt NW: 8.05 Vol. \% , Tabelle 6) bzw. 4.2 bis ofentrocken (Durchschnitt NW: 12.00 Vol. \%) die Volumina der OB im Vergleich zu den UB um 3.10 Vol. \% bzw. 2.10 Vol. \% statistisch relevant grösser (Wahrscheinlichkeit 91% bzw. 70% , Tabelle 10).

NW haben im OB weniger Grobporen als im UB, insbesondere weniger grobe Grobporen.

Weiden weisen höhere Lagerungsdichten und Gesamtporenvolumina auf als Wiesen.

2.4 Transporteigenschaften

I BIO vs. ÖLN: Auf den AF belegt die statistische Auswertung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (Durchschnitt pK_{sat} -Wert: 2.20) keine statistischen Unterschiede zwischen den Produktionsrichtlinien BIO und ÖLN (Tabelle 6).

Bei einer durchschnittlichen AF-Luftdurchlässigkeit von $911 \mu\text{m}^2$ (Tabelle 6) ist in BIO-AF die Durchlässigkeit statistisch deutlich gesichert geringer als in ÖLN-AF (Wahrscheinlichkeit 71 %, Tabelle 9). Gleichzeitig liegt ein statistisch deutlich gesicherter Tiefeneffekt vor mit höheren Werten im UB als im OB (Durchschnitt im OB: $697 \mu\text{m}^2$, Durchschnitt im UB: $1137 \mu\text{m}^2$, Tabelle 6; Wahrscheinlichkeit 32 %, Tabelle 9).

Die ÖLN-AF und die UB weisen ein Porensystem auf, welches die Luft besser zirkulieren lässt als die BIO-AF und die OB. Wobei das allgemeine absolute Niveau als «sehr durchlässig» eingestuft wird.

II Wiese vs. Weide: Bei einem pK_{sat} -Durchschnittswert von 5.20 (Tabelle 6) haben Wei-

den einen um 0.49 signifikant höheren Wert als Wiesen ($p < 0.05$, Tabelle 10). D. h., die Wasserinfiltration auf Weiden ist geringer. Offensichtlich reduzieren Trittschäden weidender Tiere das Infiltrationsvermögen.

In den untersuchten NW ist die Luftdurchlässigkeit der humusarmen und grobporenenreichen UB (Durchschnitt $1180 \mu\text{m}^2$, Tabelle 6) statistisch deutlich gesichert höher als diejenige der humusarmen und grobporenenreichen OB (Durchschnitt $666 \mu\text{m}^2$; Wahrscheinlichkeit 32 %, Tabelle 10). Dieser Tiefeneffekt wurde schon bei den AF festgestellt: AF und NW zeigen beim Vergleich von OB und UB fast identische Gesamtporenvolumina und Grobporenmittelwerte (Tabelle 6). Im Vergleich zu den AF jedoch gewährleisteten die ungestörten Bedingungen der NW mit den langjährig bestehenden und bis in den UB reichenden Bioporen (Regenwurmgänge und Wurzelröhren) eine Porenkontinuität, was zu einer besseren Wasserleitfähigkeit führt.

2.5 Gefügestabilität

I BIO vs. ÖLN: Bei einem durchschnittlichen AF-Vorbelastungswert von 68.60 kPa (Tabelle 6) weisen ÖLN-AF im Vergleich zu BIO-AF einen um 19.32 kPa signifikant kleineren Vorbelastungswert auf ($p < 0.05$, Tabelle 9). Gleichzeitig zeigen sich signifikante zeitliche und Tiefen-Effekte ($p < 0.01$): Im zweiten Erhebungszyklus sind die Werte um 13.02 kPa grösser als im dritten bzw. im humusärmeren und dichteren UB um 19.48 kPa grösser als im humusreicheren und lockereren OB.

Bei den Messgrössen «Gesamtporenvolumenverlust nach Belastung mit 250 kPa» (Durchschnitt AF: 3.80 Vol. %, Tabelle 6) zeigen sich bei der Produktionsrichtlinie, dem Erhebungszyklus und der Beprobungstiefe statistisch gesicherte Unterschiede (Tabelle 9): Bei einem durchschnittlichen Verlust von 3.80 Vol. % treten bei ÖLN-AF grössere Volumenverluste auf als bei BIO-AF (Wahrscheinlichkeit 66 %). Die Gesamtporenvolumenverluste durch Druckbelastung sind im zweiten Erhebungszyklus statistisch gesichert kleiner als diejenigen im dritten (Wahrscheinlichkeit 62 %) und im UB kleiner als im OB (Wahrscheinlichkeit 73 %). Jedoch ist das verbleibende Grobporenvolumen nach einer Belastung mit 250 kPa im UB signifikant um 2.20 Vol. % grösser als im OB ($p < 0.01$, Durchschnitt Grobporen AF 12.60, Durchschnitt verbleibender Grobporen 5.85 Vol. %, Tabelle 6).

Die dargestellten Probensetzungen nach einer Belastung mit 250 kPa bestätigen statistisch gesichert diejenigen des Gesamtporenvolumenverlustes: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % werden die ungestörten Zylinderproben bei ÖLN-AF stärker zusammengedrückt als bei BIO-AF und mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % im OB stärker als im UB (Tabelle 9).

Statistisch relevant ist bei der Messgrösse Perkolationsstabilität nur der Tiefeneffekt: Die OB sind mit einer durchschnittlichen Perkolationsstabilität von 1525 g/10 min stabiler als die UB mit einem Durchschnitt von 643 g/10 min (Tabelle 6); die entsprechende Wahrscheinlichkeit liegt bei 87 %, Tabelle 9).

Die diskutierten Messgrössen zur Gefügestabilität zeigen, dass ungestörte Zylinderproben aus den humusreicheren ÖLN-AF bzw. OB bei Druckeinwirkung eher aus dem Wiederverdichtungsbereich in den Erstverdichtungsbereich gelangen als Zylinderproben aus BIO-AF bzw. UB. Mit anderen Worten: kleinere Vorbelastungswerte, d. h. geringere Stabilitätswerte, werden unter gleicher Auflast häufiger überschritten. Dies führt nach einer Belastung mit 250 kPa zu einem grösseren Gesamtporenvolumenverlust und einer grösseren Probensetzung, d. h. zu einer plastischen Verformung. Hingegen verweilen die humusärmeren BIO-AF bzw. UB bei Lastein-

wirkung länger im Wiederverdichtungsbereich und lassen sich somit weniger zusammendrücken – sie reagieren stabiler. Inwiefern diese Stabilität auf die grössere Bodendichte (tieferer Humusgehalt) oder auf eine durch strukturbildende Prozesse erhöhte Stabilität zurückzuführen ist, kann nicht beurteilt werden. Bei der Perkulationsstabilität hingegen spielt der Humusgehalt eine zentrale Rolle: Im humusreicheren OB neigen die Aggregate weniger zu Verschlammung als im UB.

II Wiese vs. Weide: Bei der durchschnittlichen NW-Vorbelastung von 65.45 kPa (Tabelle 6) findet sich in Tabelle 10 ein statistisch gesicherter zeitlicher Effekt: Die Werte der NW-Böden haben im dritten Erhebungszyklus im Vergleich zum zweiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 37 % abgenommen.

Der Kompressionsbeiwert ist zwar bei Wiesen im Vergleich zu Weiden signifikant verschieden, der höhere Wert auf Weiden beträgt absolut jedoch nur 0.01 bzw. relativ ausgedrückt 8.20 % (Tabelle 6).

Wird eine Belastung mit 250 kPa auf NW-OB bzw. NW-UB ausgeübt, so tritt bei OB im Mittel ein um 0.44 Vol. % grösserer Gesamtporenvolumenverlust auf ($p < 0.05$) und es verbleiben um 1.67 Vol. % weniger Grobporen als in UB ($p < 0.01$, Tabelle 10), was sich auch auf die Probesetzung auswirkt. Der von Häusler und Buchter (2004) vorgeschlagene Richtwert von 7 Vol. % wird bei den Grobporen deutlich unterschritten (Tabelle 6).

Durch die OB (im Durchschnitt 1597 g/10 min, Tabelle 6) perkoliert statistisch gesichert doppelt so viel Wasser wie durch die UB (im Durchschnitt 649 g/10 min). Diese höhere Perkulationsstabilität im OB ist wie beim Vergleich der Produktionsrichtlinie mit dem unterschiedlichen Humusgehalt zwischen OB und UB begründbar.

2.6 Regenwurmpopulation

I BIO vs. ÖLN: Sechs der insgesamt 26 unterschiedenen faunistischen Messgrössen (Abundanzen und Biomassen) weisen als Folge der Produktionsrichtlinie statistische Unterschiede auf (Tabelle 9): Böden, welche gemäss ÖLN-Richtlinien bewirtschaftet werden, haben im Vergleich zu biologisch bewirtschafteten zwar eine um 17 % höhere Gesamtabundanz, diese Differenz ist allerdings statistisch nicht gesichert und daher vernachlässigbar. Streubewohner und juvenile Mineralbodenbewohner jedoch finden sich gesichert häufiger in ÖLN-AF als in BIO-AF (plus 31–85 %). Bei den Biomassen zeigen die Tiefgräber der Art *Lumbricus terrestris* (Total und Adulte) statistisch gesichert

Fazit Bodenphysik: UB von AF und NW weisen generell höhere Lagerungsdichten und damit kleinere Gesamtporenvolumina auf als OB. Die Perkulationsstabilität der Aggregate dagegen ist wegen dem tieferen Humusgehalt in UB geringer als in OB; bei einem tiefen Pflugeinsatz werden humusärmere UB-Aggregate an die Bodenoberfläche befördert, was die Gefahr für eine Verschlammung vergrössert.

ÖLN-AF sind insgesamt luftdurchlässiger als BIO-AF, wobei die absoluten Werte im UB grösser sind als im OB. Bei den NW führt die Weidenutzung zu einer geringeren Wasserleitfähigkeit als die Wiesennutzung; die Trittschäden weidender Tiere reduzieren offensichtlich das oberflächen-nahe Infiltrationsvermögen.

Die humusreicheren ÖLN-AF sowie generell die lockereren OB weisen einen kleineren Vorbelastungswert auf als die humusärmeren BIO-AF und die dichteren UB. Je kleiner die Vorbelastung des Bodens und damit je grösser sein Gesamtporenvolumenverlust bzw. seine Probenetzung ist, desto schneller erfolgt bei Druckbelastungen eine plastische Verformung. Demgegenüber weisen BIO-AF nach Druckbelastungen geringere Gesamtporenvolumenverluste auf; zusammen mit den höheren Restvolumina an groben Grobporen bestätigt sich damit deren grössere Stabilität gegenüber ÖLN-AF. Bei den NW deuten die tieferen pH-Werte und höheren Kompressionsbeiwerte in Weiden auf instabilere Verhältnisse hin als in Wiesen. Generell reagieren NW-OB gegenüber Druckbelastungen empfindlicher als NW-UB. Über alle Standorte gesehen zeigen sich zeitliche Unterschiede bezüglich Vorbelastung und Porenvolumen, mit einer Stabilitätsabnahme von der zweiten zur dritten Erhebung, die jedoch keiner speziellen Porenklasse zuzuordnen ist.

höhere Werte in ÖLN-AF (Wahrscheinlichkeiten je 67 %). Hier wird vermehrt oder ganz aufs Pflügen verzichtet – ein Vorteil für Tiefgräber, während BIO-AF regelmässig zur Beikrautregulierung wendend bearbeitet und Tiefgräber deshalb reduziert werden. Die durch Bodenschonende Bewirtschaftung geförderte Mulchschicht begünstigt Streubewohner. Die allgemein höhere Ertragsleistung sowie der höhere Nährstoffinput in ÖLN-Böden bedeuten mehr Nahrung für die Regenwürmer und damit eine grössere Population.

Sämtliche unterschiedenen Messgrössen der Abundanzen, jedoch keine der Biomassen,

zeigen zeitliche Effekte, also Unterschiede zwischen den drei Erhebungszyklen unabhängig von der Bewirtschaftungsrichtlinie: Bei den meisten Gruppen unterscheiden sich die Werte kaum zwischen Erst- und Zweiterhebung, im dritten Zyklus werden die Differenzen grösser, z. B. wurden insgesamt 41 % weniger Regenwürmer ausgetrieben (Gesamtabundanz). Insbesondere Streubewohner und *L. terrestris* zeigen statistisch gesichert geringere Abundanzen in den Erhebungszyklen zwei und drei gegenüber der Ersterhebung; nur die Tiefgräber-Gruppe *Adulte Nicodrilus* findet sich zunehmend häufiger. Diese zeitlichen Effekte mit zunehmend geringeren Werten könnten klimatischer bzw. methodischer Art sein, indem wegen der gehäuft auftretenden wärmeren und trockeneren Spätsommer- und Herbstmonaten weniger Tiere ausgetrieben werden können; oder aber die Unterschiede könnten mit der Produktionsrichtlinie (Bodenbearbeitung und Nahrungsangebot) zusammenhängen.

2.7 Mikrobiologie

I BIO vs. ÖLN: Nach ÖLN-Richtlinie bewirtschaftete AF weisen gegenüber biologisch bewirtschafteten statistisch deutlich gesichert mehr mikrobiellen Stickstoff (mikrobielle Biomasse FEM-N), mikrobiellen Kohlenstoff (SIR) und eine höhere mikrobielle Aktivität (Basalatmung) auf (Wahrscheinlichkeiten 71–86 %, Tabelle 9). Dies hängt mit der besseren Nährstoffversorgung der ÖLN-AF zusammen, was sich auch im höheren Humusgehalt widerspiegelt.

Bei der Basalatmung und beim metabolischen Quotienten liegen statistisch deutlich gesicherte zeitliche Effekte vor, indem die Werte der dritten Erhebung höher sind als diejenigen der zweiten (Wahrscheinlichkeit 80 % bzw. 74 %).

II Wiese vs. Weide: Mikrobiologisch unterscheiden sich Wiesen und Weiden nicht, keine Messgrösse zeigt eine Signifikanz (Tabelle 10).

Bei der Basalatmung und dem metabolischen Quotienten gibt es sowohl in den Tiefen 0–20 cm als auch 0–10 cm zeitliche Unterschiede, indem im dritten Erhebungszyklus

II Wiese vs. Weide: Weder bei den Abundanzen noch bei den Biomassen können signifikante Effekte bei unterschiedlicher Naturwiesennutzung nachgewiesen werden (Tabelle 10).

Unabhängig von der Nutzung zeigen beinahe alle Messgrössen der Abundanzen und rund die Hälfte der unterschiedenen Biomasse-Messgrössen signifikante zeitliche Effekte: Bei den Abundanzen nehmen mit einer Ausnahme die Werte mit jedem Erhebungszyklus im Vergleich zur Ersterhebung zum Teil deutlich ab. Bei den Biomassen sind Erst- und Zweiterhebung nicht oder nur leicht verschieden, bei der dritten Erhebung dagegen sind die Werte statistisch deutlich gesichert tiefer als bei der Ersterhebung.

Wiesen und Weiden unterscheiden sich nicht in ihrer Regenwurmpopulation. Die zeitlichen Abnahmen könnten klimatischer bzw. methodischer oder bewirtschaftungsbedingter Art sein.

höhere Werte gemessen wurden als im zweiten; bei der Basalatmung sind die Unterschiede statistisch deutlich, beim qCO_2 gesichert.

Fazit Bodenbiologie: ÖLN-AF weisen bezüglich Abundanzen der Streubewohner (Total und Juvenile), Abundanz der juvenilen Mineralbodenbewohner und Biomassen der Tiefgräber-Gruppe *Lumbricus terrestris* (Total und Adulte) höhere Werte auf als BIO-AF. Mikrobielle Biomasse (Methoden FEM-N und SIR) und Aktivität (Basalatmung) sind in ÖLN-AF höher. Diese haben gegenüber BIO-AF einen höheren Humusgehalt, was das Bodenleben fördert. Zusätzlich wirkt sich ein dauernder oder wiederholter Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung in ÖLN-AF positiv aus, was sich in höheren Zahlen der Tiefgräber-Gruppen *Nicodrilus* und *Lumbricus* gegenüber BIO-AF zeigt. Wiesen und Weiden unterscheiden sich weder in ihrer Regenwurmpopulation noch in ihrer Mikrobiologie.

2.8 Schlussfolgerungen

Humusgehalt und pH-Wert bzw. Kalkgehalt bestimmen die Ton-Humus-Komplexe, die eine wichtige Voraussetzung sind für fruchtbare Böden. Bodengefüge, Wasser-, Luft- und Nährstofftransport sowie die Ernährung von Bodenorganismen und Pflanzen basieren auf einem genügend hohen Eintrag an organischem Material durch Ernterückstände, eine ausgewogene Fruchtfolge, permanente Bodenbedeckung und organische Düngung.

Nach ÖLN-Richtlinie bewirtschaftete Ackerflächen weisen einen höheren Humusgehalt auf als biologisch bewirtschaftete. Seit Einführung der Suisse-Bilanz nimmt jedoch dieser geringfügig ab, bei den BIO-Ackerflächen steigen die Werte auf tieferem Niveau leicht an. Weil ÖLN-Ackerflächen meistens einen tieferen pH-Wert aufweisen als BIO-Ackerflächen, ist deren Kalkbedarf erhöht, so dass der pH-Entwicklung und -Kontrolle hohe Aufmerksamkeit zu schenken ist. Ein grobporenreicher Gefüge-

aufbau mit einem durchgehenden Porensystem gewährleistet eine rasche Wasserinfiltration, einen geregelten Wasser- und Lufthaushalt für die Tätigkeit der Bodenorganismen und für ein optimales Pflanzenwachstum. ÖLN-Ackerflächen bzw. generell die Oberböden von Ackerflächen werden in Folge einer physikalischen Belastung frühzeitiger verdichtet; dadurch sind Wasserleitfähigkeit und Luftdurchlässigkeit bei Druckbelastungen beeinträchtigt. BIO-Ackerflächen bzw. generell die Unterböden von Ackerflächen sind stabiler und lassen sich erst bei höheren physikalischen Belastungen verdichten. Weil hier der Anteil (grober) Grobporen höher ist, könnte dies auf einer durch intensive Strukturbildung (höherer pH-Wert) verursachte grössere Bodenstabilität beruhen. Das Bodenleben ist in BIO-Ackerflächen gegenüber ÖLN wegen dem tieferen Humusgehalt und der regelmässigen wendenden Bodenbearbeitung weniger aktiv. Weil Pflügen zu Humusabbau führt, ist der Zufuhr von organischem Material in BIO-, aber auch in tiefwendenden ÖLN-Betrieben, hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Humusgehalte sind in Naturwiesen höher als in Ackerflächen und in Oberböden deutlich höher als in Unterböden. Insbesondere Wiesen zeigen seit der Einführung des ÖLN mit der Pflicht zum ökologischen Ausgleich eine extensivere Bewirtschaftung und damit eine Abnahme des Humusgehalts bzw. des Gehalts an totalem N und P. Wie die ÖLN-Ackerflächen sind auch Weiden bezüglich pH-Entwicklung und -Kontrolle im Auge zu behalten; bei Bedarf muss eine Erhaltungskalkung durchgeführt werden. Wegen des kleineren Gesamtporenvolumens sind Wiesenböden im Vergleich zu Weiden dichter gelagert. Anscheinend wirkt

2.9 Wirkungsbeurteilung

Mit einer ausgewogenen Fruchtfolge, mit Winterbegrünung, Untersaat und Mistkompostierung, wie mit den Massnahmen 4, 5, 6 und 8 postuliert wurde, wird der Humusgehalt stabilisiert oder sogar erhöht. Je mehr Nährstoffe eingesetzt werden, desto zentraler ist die Kontrolle des pH-Wertes. Als Drehscheibe für alle wichtigen Bodenfunktionen ist der Humus von zentraler Bedeutung: Ein aktiver, strukturierter Boden hat eine zügige Wasserinfiltration, ist gut

die maschinelle Raufutterernte auf Wiesen Boden belastender als die Trittschäden des weidenden Viehs. Diese reduzieren hingegen das oberflächennahe Infiltrieren des Wassers in den Boden. Wiesen und Weiden unterscheiden sich bodenbiologisch nicht.

Generell haben Naturwiesen einen grobporeneren Gefügebau als Ackerflächen. Das Wasser infiltriert besser in Naturwiesen, die Luftdurchlässigkeit ist jedoch schlechter als in Ackerflächen. Da Oberböden generell eine bessere Aggregatstabilität (Perkolation) haben als Unterböden, ist das Risiko von Verschlammungen in Ackerflächen durch Pflügen nicht zu unterschätzen, zumal mit jedem Pflugeinsatz strukturlabiles Bodenmaterial aus der Tiefe an die Oberfläche befördert wird.

Die vorliegende Hypothese wird bezüglich Ackerflächen mit den Messgrössen Magnesium-Ionen, Phosphor-Totalgehalt, Luftdurchlässigkeit, Vorbelastung, Gesamtporenvolumenverlust bzw. Probensetzung nach Belastung mit 250 kPa, Mikrobielle Biomassen FEM-N und SIR, Basalatmung, Total und Adulte anözische Lumbricus, Total und Juvenile epigäische Arten sowie Juvenile endogäische Arten unterstützt – z.T. deutlich. Lediglich die Messgrösse Grobe Grobporen (pF 0–1.4) sichert die Nullhypothese.

Bezüglich Naturwiesen wird die Hypothese mit den Messgrössen Kalium-Ionen, Wasserstoff-Ionen, Lagerungsdichte, Gesamtporenvolumen und Kompressionsbeiwert unterstützt. Nur die Messgrösse Gesättigte Wasserleitfähigkeit sichert die Nullhypothese.

durchlüftet und stabil. Weil regelmässig wendende Bodenbearbeitung den Humusanteil, die Aggregatstabilität und Luftdurchlässigkeit reduzieren und zu Verdichtung und (innerer) Erosion führen kann, ist mit den genannten Massnahmen eine quasi permanente Bodenbedeckung anzustreben. Die Pflugtiefe ist auf 15 cm zu reduzieren, und die Traktorräder sind auf dem gewachsenen, durchwurzelt und damit tragfähigen Boden zu führen.

8 Wirkungsbeurteilung der Massnahme Herbizidverzicht und des höheren Anreizes für biologischen Landbau

Hypothese: je mehr Dünger und Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, desto höher ist auf diesen Standorten der Schadstoffeintrag an Schwermetallen und PAK (I: Ackerflächen und Naturwiesen, II: Grünlandnutzung).

Nullhypothese: je weniger Dünger und Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, desto geringer sind die Schadstoffeinträge.

1 Gruppierung, Vorabklärung und Messgrössen

Diese Hypothese untersucht den Einfluss des Hilfsstoffeinsatzes (synthetisch hergestellte Dünger und Pflanzenschutzmittel) auf die Konzentrationen von Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Ober- (OB) und Unterböden (UB). Dazu wurden die Daten von Naturwiesen (NW) und Ackerflächen (AF) der Produktionsrichtlinie «biologischer Landbau» (BIO) mit den entsprechenden Flächen beim «ökologischen Leistungsnachweis» (ÖLN = Referenz) verglichen (I). Bei der Grünlandnutzung (II) werden, unter Einbezug des obersten Oberbodens (OOB), die eher nährstoffarmen, extensiv genutzten Wiesen den nährstoffreichen, intensiv genutzten Weiden (= Referenz) gegenübergestellt.

Eine Analyse der durchschnittlichen Bodenkennwerte Ton-, Schluff-, Sand- und Humusgehalt sowie pH (H₂O) soll prüfen, ob diese Gruppierungen bezüglich Standorteigenschaften vergleichbar sind.

I BIO vs. ÖLN: Die Auswertung zeigt statistisch gesichert geringere Humusgehalte in BIO-Flächen gegenüber ÖLN (Wahrscheinlichkeit 68 %, Tabelle 13). Der Unterschied beträgt im dritten Erhebungszyklus 13.5 %, was durchschnittlich 0.29 Gew. % entspricht (Tabelle 11). Mit jedem Erhebungszyklus verringert sich die Differenz zwischen den beiden Produktionsrichtlinien, was sich in der Tabelle 13 auch anhand der mit jedem weiteren Erhebungszyklus abnehmenden Wahrscheinlichkeit für statistisch signifikante Unterschiede erkennen lässt (Wahrscheinlichkeiten 75 % => 67 % => 64 %). Die Ursache dieser Entwicklung liegt teilweise in der wechselnden Zuteilung bzw. in der Neuaufnahme von KABO-Standorten: Beispielsweise hat der Untersuchungsstandort Clavaleyres in der dritten Erhebungsperiode die Produktionsrichtlinie von BIO zu ÖLN geändert und trägt mit seinen unterdurchschnittlichen Werten zur Absenkung des mittleren Humusgehalts der ÖLN-Böden bei; die beiden neuen Betriebe Hindelbank und Kirchlindach dagegen steigern den mittleren Humusgehalt der BIO-Standorte. Die Unterschiede zwischen dem ersten und zweiten Erhebungszyklus können damit jedoch nicht erklärt werden. Messungen von

Ringversuchsproben zeigten eine sehr gute Reproduzierbarkeit. Nachmessungen weisen jedoch Messunterschiede auf, welche möglicherweise die Abweichungen begründen könnten. Der Vergleich der Humusgehalte zeigt im UB grössere Differenzen zwischen den beiden Produktionsrichtlinien als im OB – zu Ungunsten der BIO-Produktionsrichtlinie (Wahrscheinlichkeit UB 73 %, OB 63 %). Sowohl bei ÖLN als auch bei BIO weisen die OB höhere Humusgehalte auf als die UB (Wahrscheinlichkeiten 84 % bzw. 93 %). Die Ton-, Schluff- und Sandgehalte sowie die pH-Werte der Vergleichsgruppen unterscheiden sich statistisch nicht (Tabelle 13).

II Wiese vs. Weide: Da die Gruppierung der Daten derjenigen der Wirkungsbeurteilung des Humus aufbauenden Futterbaus (Kapitel 3.1.5.7) entspricht, gelten dieselben Aussagen zur Überprüfung bezüglich der Bodenkennwerte Ton-, Schluff-, Sand- und Humusgehalt sowie pH-Wert (CaCl₂).

Folgende Messgrössen wurden im Rahmen der Hypothesenüberprüfung untersucht:

- A) Schwermetalle: Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Zink (Zn)
- B) Organische Schadstoffe: PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)-Einzelwerte, PAK_{tot} (Summe von 14 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen)

Der Datensatz zur Hypothesenüberprüfung wurde mit der gesetzlichen Grundlage der Richtwertbeurteilung gemäss VBBo ergänzt (Tabelle 14). Die Richtwerte gelten für OB (0–20 cm), zur umfangreicheren Einschätzung der Schadstoffbelastung wird auch der UB (20–40 cm) nach denselben Kriterien beurteilt. Tabelle 14 zeigt die vom Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern (GBL) analysierten Resultate, eingeteilt in die folgenden vier Klassen:

- Gehalt < 50 % des Richtwerts (weiss)
- Gehalt < 50–80 % des Richtwerts (gelb)
- Gehalt < 80–100 % des Richtwerts (orange)
- Gehalt > 100 % des Richtwerts (rot)

2 Resultate und Diskussion

Schadstoffe sind umweltrelevante chemische Verbindungen, welche schädlich für Organismen und Ökosysteme sein können. Sie gelangen durch unsachgemässe Ablagerung von Abfällen, durch Lufteinträge und Überschwemmungen, aber auch durch Pflanzenschutzmittel und Dünger in landwirtschaftliche Böden. Sie beeinträchtigen das Grundwasser, reichern sich in Nahrungsmitteln an und dringen durch Feinstaubemissionen in unsere Lungen. Man un-

terscheidet zwischen anorganischen (Schwermetalle) und organischen Schadstoffen (z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)). Alle Böden enthalten natürlicherweise, d. h. geogen bzw. pedogen, anorganische Schadstoffe. Diese gelangen auch durch menschliche Tätigkeiten (anthropogen) über die Atmosphäre (atmogen) in den Boden.

2.1 Schwermetalle

Die Schwermetallkonzentration und -mobilität im Boden wird massgeblich durch den pH-Wert beeinflusst. Um die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe in schwach sauren Böden (pH-Wert < 5.9) zu erhalten, wird in den Grundlagen im Acker- und Futterbau (GRUDAF 2009) empfohlen, durch geeignete Düngung den pH-Wert zu stabilisieren. Mit abnehmendem pH-Wert nimmt die Löslichkeit der Metalle zu, deshalb reduziert die Stabilisierung des pH-Werts neben dem Risiko einer Bodenversauerung auch das Auswaschungspotential für Schwermetalle. Weniger Auswaschung bedeutet jedoch auch eine mögliche Schadstoff-Akkumulierung im Boden. Die wichtigsten Bindungspartner für Schwermetalle sind Huminstoffe, Tonminerale und Eisenoxide. Die Verwendung von Mineraldüngern kann zu einem erhöhten Eintrag von toxischen Metallen in den Boden führen und somit Ernteprodukte und Grundwasser belasten (MAR und OKAZAKI 2012). Vor allem mineralische Phosphordünger können, je nach Herkunft des Rohphosphats, erhöhte Schwermetallgehalte aufweisen (McLAUGHLIN et al. 1996).

I BIO vs. ÖLN: Auf BIO-Betrieben sind wahrscheinlich wegen des Verzichts auf mineralische Dünger und Pflanzenschutzmittel statistisch deutlich gesichert geringere Schwermetallgehalte von Cd, Pb, Cu, Hg und Zn festzustellen als auf ÖLN-Betrieben (Wahrscheinlichkeiten 68 %–83 %). Bezüglich Ni und Cr unterscheiden sich die Produktionsrichtlinien nicht. Für Co ist auf den untersuchten BIO-Flächen von höheren Konzentrationen auszugehen (Wahrscheinlichkeit 38 %, Tabelle 13). Eine Erklärung dafür konnte bisher nicht gefunden werden, jedoch bestehen Messunsicherheiten, da sich einige Werte nahe der Bestimmungsgrenze befinden. Allgemein ist bekannt, dass hohe Humusgehalte und pH-Werte, insbesondere im OB, die Schadstoffbindung fördern und damit das Risiko einer Aufnahme durch die Pflanzen senken. In allen drei Erhebungszyklen sind für die Mehrheit der untersuchten Schwermetalle die Gehalte im UB signifikant tiefer als im OB (Wahrscheinlichkeiten > 65 %). Dagegen zeigen Co, Ni und Hg keine Akkumulation im OB. Bei diesen beiden

2.2 Organische Schadstoffe

Die Stoffklasse der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) umfasst organische Verbindungen, die überwiegend aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen zusammengesetzt sind. In der Regel entstehen PAKs bei unvollständigen Verbrennungsprozessen und Pyrolysereaktionen organischer Verbindungen. Die räumliche Verbreitung der PAKs ist primär an die Verbrennung fossiler Energieträger gebunden (BRÄNDLI et al. 2008). Daher ist mit erhöhtem Belastungsrisiko in der Nähe von grösseren Siedlungen, Industriearealen und

Elementen könnten eine relativ erhöhte Mobilität und ein grösserer geogener Belastungsgrad vorliegen. Im dritten Erhebungszyklus trat ein höherer Ni-Wert auf als im ersten (Wahrscheinlichkeit 67 %, Tabelle 13). Da Hofdünger generell nur geringfügige Ni-Konzentrationen aufweisen, ist diese kontinuierliche Anreicherung mit dem Einsatz von Mineraldüngern erklärbar (ALLOWAY 1999).

II Wiese vs. Weide: Die Auswertung zeigt, dass sich Wiesen und Weiden in Bezug auf die Schwermetallbelastung nicht signifikant unterscheiden. Eine Ausnahme bildet Cr, welches bei Wiesen statistisch gesichert tiefere Gehalte aufweist als bei Weiden (Wahrscheinlichkeit 72 %, Tabelle 15). Eine Begründung dafür konnte nicht gefunden werden. Im OOB von NW wurden Co und Ni nicht akkumuliert. Co und Ni verfügen möglicherweise über eine relativ geringe Sorption und damit eine niedrigere Bindungsaffinität. Somit könnte die gesteigerte Tiefenverlagerung erklärt werden. Die übrigen Schwermetalle zeigen aufgrund der höheren Humusgehalte Anreicherungstendenzen im OB bzw. im OOB (Tabelle 15).

Schwermetallgehalte > 80 % des Richtwerts werden ausschliesslich auf ÖLN-Flächen beobachtet: Der Richtwert für Cu wird im dritten Erhebungszyklus auf den NW in Seedorf, Schlosswil, Langnau, Niederösch und Treiten (auch AF) überschritten (Tabelle 14). Erhöhte Cu-Konzentrationen (80–100 % des Richtwerts) werden in Grasswil (nur NW) sowie Zollikofen (NW und AF) festgestellt, hohe Ni-Werte finden sich in Treiten (NW, Tabelle 14). Die Richtwertüberschreitungen für Cu sind möglicherweise in Zusammenhang mit dem Einsatz von Hofdüngern und Pflanzenschutzmitteln zu bringen. Zn und Cu werden dem Tierfutter als Nahrungsergänzung und zur Leistungssteigerung beigegeben und gelangen via Hofdünger aufs Feld. Bei den Standorten Niederösch und Langnau wird vermutet, dass in der Hochstamm-Obstanlagen langjährig Kupferpräparate gegen Schadorganismen eingesetzt wurden (VOL 2009).

entlang von stark befahrenen Strassen zu rechnen. PAKs sind schlecht wasser- aber stark fettlöslich (lipophil). Die Bindung in Böden erfolgt hauptsächlich an Huminstoffe. Tongehalt und pH-Wert wirken sich nur begrenzt auf die Sorption der organischen Schadstoffe aus (MEANS et al. 1980). Die wichtigsten Ursachen von Tiefenverlagerungen sind Mischungsvorgänge sowie Lösungstransporte in Grobporen (GUGGENBERGER et al. 1996).

Fortsetzung auf Seite 40

Tabelle 13: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung des Hilfsmittel armen Ackerbaus.

Ackerflächen und Naturwiesen				Haupteffekt		Nebeneffekte						kombinierte Effekte											
				BIO vs. ÖLN ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)			Beprobungstiefe (T ⁶)			Beprobungstiefe (T) × Haupteffekt und Beprobungstiefe (T) × BIO oder ÖLN					Erhebungszyklus (E) × Haupteffekt			Erhebungszyklus (E) × Beprobungstiefe (T)			
				Referenz = ÖLN		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T2			Referenz = ÖLN					Referenz = T2			Referenz = ÖLN		Referenz = T2	
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
Sand	Gew. %	208	NP	0.115		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	59 83	0.000 ***	T3 zu T2	44												
Schluff	Gew. %	208	NP	0.507		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	44 12	0.755														
Ton	Gew. %	208	NP	0.328		0.002 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	41 38	0.730	T3 zu T2													
Humus	Gew. %	208	NP	0.001 ***	68	0.301			0.000 ***	T3 zu T2	86	0.026 **	T2 T3	63 73	ÖLN: T3 zu T2 BIO: T3 zu T2	84 93	0.009 ***	E1 E2 E3	75 67 64	0.809			
pH (H2O)	-	208	NP	0.637		0.003 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	41 40	0.001 ***	T3 zu T2	42	0.644						0.377			0.004 ***	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	47 38 59
Blei (Pb)	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	82	0.002 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	50 52	0.000 ***	T3 zu T2	70	0.196						0.076 *			0.071 *		
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	208	NP	0.003 ***	68	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	57 57	0.000 ***	T3 zu T2	66	0.509						0.000 ***	E1 E2 E3	84 74 51	0.824		
Cobalt (Co)	mg/kg TS	208	NP	0.062 *	38	0.042 **	E1 zu E2 E1 zu E3	38 39	0.008 ***	T3 zu T2	46	0.431						0.482			0.313		
Chrom (Cr)	mg/kg TS	208	NP	0.691		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	38 43	0.000 ***	T3 zu T2	65	0.569						0.102			0.086 *		
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	83	0.364			0.000 ***	T3 zu T2	68	0.198						0.900			0.042 **	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	70 67 67
Nickel (Ni)	mg/kg TS	208	NP	0.959		0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	58 67	0.001 ***	T3 zu T2	45	0.347						0.203			0.918		
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	77	0.055 *			0.000 ***	T3 zu T2	60	0.632						0.679			0.053 *		
Zink (Zn)	mg/kg TS	208	NP	0.006 ***	71	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	54 58	0.000 ***	T3 zu T2	71	0.222						0.247			0.083 *		
Acenaphten	mg/kg TS	208	NP	0.071 *	51	0.350			0.565	T3 zu T2		0.565						0.350			0.655		
Acenaphtylen	mg/kg TS	208	NP	0.444		0.121			0.351	T3 zu T2		0.341						0.210			0.356		
Anthracen	mg/kg TS	208	NP	0.114		0.191			0.547	T3 zu T2		0.609						0.165			0.870		
Benzoanthracen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	70	0.050 *	E1 zu E2 E1 zu E3	53 55	0.000 ***	T3 zu T2	65	0.655						0.544			0.116		
Benzofluoranthen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	71	0.058			0.000 ***	T3 zu T2	72	0.143						0.993			0.165		
Benzoperylen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	71	0.774			0.000 ***	T3 zu T2	70	0.030 **	T2 T3	75 66				0.082 *			0.009 ***	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	64 69 77
Benzopyren	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	66	0.610			0.000 ***	T3 zu T2	70	0.053 *						0.328			0.039 **	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	63 72 75
Chrysen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	72	0.066 *			0.000 ***	T3 zu T2	70	0.981						0.065 *			0.045 **	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	67 66 76
Dibenzoanthracen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	59	0.672			0.000 ***	T3 zu T2	58	0.005 ***	T2 T3	63 55	ÖLN: T3 zu T2 BIO: T3 zu T2	60 52	0.172				0.890		

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 13

Ackerflächen				Haupteffekt		Nebeneffekte						kombinierte Effekte										
				BIO vs. ÖLN ⁴		Erhebungszyklus (E ⁵)			Beprobungstiefe (T ⁶)			Beprobungstiefe (T) × Haupteffekt und Beprobungstiefe (T) × BIO oder ÖLN			Erhebungszyklus (E) × Haupteffekt			Erhebungszyklus (E) × Beprobungstiefe (T)				
				Referenz = ÖLN		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T2			Referenz = ÖLN			Referenz = T2			Referenz = ÖLN			Referenz = T2	
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Fluoranthen	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	72	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	70 62	0.000 ***	T3 zu T2	71	0.971					0.223			0.001 ***	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	69 65 78
Fluoren	mg/kg TS	208	NP	0.554		0.003 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	35 34	0.063 *			0.493					0.517			0.988		
Indenopyren	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	67	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	63 54	0.000 ***	T3 zu T2	71	0.828					0.518			0.002 ***	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	61 73 78
Phenanthren	mg/kg TS	208	NP	0.001 ***	67	0.146			0.000 ***	T3 zu T2	60	0.921					0.224			0.004 ***	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	56 56 68
Pyren	mg/kg TS	208	NP	0.003 ***	65	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	60 61	0.000 ***	T3 zu T2	72	0.786					0.223			0.017 **	E1: T3 zu T2 E2: T3 zu T2 E3: T3 zu T2	71 66 79
PAK _{tot} ⁷	mg/kg TS	208	NP	0.000 ***	71	0.164			0.000 ***	T3 zu T2	74	0.200					0.864			0.307		

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt und kombinierte Effekte	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch: absoluter Wert	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch: relativer Wert	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ BIO = Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»; ÖLN = Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis»

⁵ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

⁶ T = Beprobungstiefe (T1 = 00B, T2 = 0B, T3 = UB)

⁷ Summe von 14 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

Fortsetzung von Seite 38

Weil PAKs toxisch sind, wird deren Entstehung und Verbreitung durch verschiedene Gesetzesvorschriften eingeschränkt. Im Anhang der VBBo sind 16 Leitverbindungen definiert (VBBo 1998). Diese werden in Tabelle 13 und Tabelle 15 unter der Bezeichnung PAK_{tot} zusammengefasst. Die vorliegende statistische Auswertung enthält 14 der 16 PAK-Leitverbindungen; Benzo(b)fluoranthen und Benzo(k)fluoranthen wurden dabei zu einem Wert zusammengefasst, Naphthalin nicht berücksichtigt.

I BIO vs. ÖLN: Die statistische Analyse zeigt bei 9 der 14 PAK-Leitverbindungen sowie dem PAK_{tot}-Gehalt statistisch gesichert höhere Konzentrationen in ÖLN-Böden verglichen mit BIO (Wahrscheinlichkeiten 65–72 %). Eine generelle Zunahme über die Zeit, unabhängig von der Produktionsrichtlinie, kann nicht festgestellt werden (Tabelle 13). Auch bei den organischen Schadstoffen beeinflusst insbesondere der Humusgehalt die Konzentrationen. Im pH-Wert unterscheiden sich die beiden Produktionsrichtlinien statistisch nicht signifikant. Die OB des dritten Erhebungszyklus der NW sind um den Faktor 2.4 höher mit PAKs belastet als die entsprechenden OB der AF (Tabelle 14); damit wird die Bedeutung der Huminsäure als einflussreicher Bindungspartner deutlich. Auf NW kann davon ausgegangen werden, dass der Konzentrationsgradient in der Bodentiefe nicht gestört wird. Zusätzlich ist hier von erhöhten Akkumulationsraten, im Falle von mittelintensiven NW auch von höherer Schadstoffakkumulation durch Hofdünger auszugehen. Die durchschnittlichen PAK-Gehalte der OB aller KABO-Standorte sind gegenüber den UB im

Durchschnitt aller drei Erhebungszyklen erhöht (Tabelle 14); das zeigt auch die statistische Auswertung (Wahrscheinlichkeit 74 %, Tabelle 13). Dies stellt ein Indiz für rückläufige PAK-Einträge dar: Die AF unterliegen bedeutsamen anthropogenen Einflüssen, welche den Konzentrationsgradienten in Kombination mit rückläufigen Einträgen vom OB in den UB abschwächen. Betrachtet man die Interaktion zwischen Bearbeitungstiefe und Erhebungszyklus, unterscheiden sich die meisten PAK-Einzelwerte im dritten Erhebungszyklus zunehmend vom vorhergehenden (Wahrscheinlichkeit > 75 %, Tabelle 13). Diese Differenzzunahmen können, zusammen mit der allgemeinen Gehaltsabnahme, mit einer geringeren Tiefenverlagerung z. B. durch Bioturbation und Bodenbearbeitung erklärt werden. Auch eine Verlagerung der Belastungsquelle zu anteilmässig höherer atmosphärischer Disposition könnte ein solches Muster beschreiben.

II Wiese vs. Weide: Schnitt- und Weidenutzung zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich PAK_{tot} oder den PAK-Leitverbindungen. Die OB-Akkumulation kann auch auf den NW sowohl anhand der einzelnen Leitverbindungen als auch anhand von PAK_{tot} eindeutig nachgewiesen werden (Wahrscheinlichkeiten zwischen 62 und 82 %, Tabelle 15).

Im NW-OB am Standort Rüderswil wurde im dritten Erhebungszyklus eine Konzentration von 1.7 mg/kg PAK_{tot} gemessen. Damit besteht hier eine deutliche Richtwertüberschreitung. Betrachtet man jedoch den Konzentrationsverlauf über die drei Zyklen sowohl für Rüders-

Fortsetzung auf Seite 44

Tabelle 14: KABO Erst-, Zweit- und Drittbeprobungsergebnisse der Schadstoffgehalte.

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Pb [mg/kg TS]			Cd [mg/kg TS]			Cr [mg/kg TS]			Cu [mg/kg TS]			Co [mg/kg TS]			Ni [mg/kg TS]			Hg [mg/kg TS]			Zn [mg/kg TS]			PAK _{tot} [mg/kg TS]		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Auswil 1998 / 2003 / 2013	NW Weide	0–5	22.0	17.9	23.0	0.13	0.12	0.19	37.0	29.0	32.0	21.0	17.4	17.0	5.2	0.0	4.8	11.3	10.6	14.0	0.07	0.07	0.09	46.0	46.0	51.0	0.05	0.02	0.05
	NW Weide	0–20	19.8	16.7	23.0	0.11	0.13	0.17	32.0	25.0	29.0	15.3	14.4	17.0	5.4	0.0	5.2	11.7	11.3	14.0	0.08	0.07	0.09	41.0	39.0	45.0	0.03	0.03	0.02
	NW Weide	20–40	14.2	11.2	15.0	0.00	0.00	0.12	20.0	17.2	21.0	8.8	8.4	10.0	5.8	0.0	5.5	11.3	11.4	14.0	0.07	0.07	0.08	34.0	34.0	38.0	0.02	0.01	0.00
	AF BSA	0–20	16.2	13.4	17.0	0.10	0.12	0.15	25.0	21.0	23.0	11.1	10.6	12.0	5.8	0.0	5.3	12.0	11.3	14.0	0.07	0.07	0.07	39.0	37.0	43.0	0.04	0.02	0.03
	AF BSA	20–40	12.5	10.3	13.0	0.00	0.00	0.11	19.5	16.8	19.0	7.7	7.5	8.2	5.6	0.0	5.2	11.1	11.3	14.0	0.06	0.06	0.06	33.0	33.0	35.0	0.04	0.06	0.01
Buch 1998 / 2005 / 2012	NW Weide	0–5	10.4	10.0	10.0	0.00	0.00	0.12	17.4	17.0	16.0	7.4	8.0	7.6	5.3	5.1	4.7	12.6	15.0	14.0	0.00	0.00	0.04	31.0	35.0	33.0	0.01	0.03	0.03
	NW Weide	0–20	10.3	10.0	10.0	0.00	0.00	0.11	17.8	17.0	16.0	7.0	7.4	7.6	5.5	5.5	4.9	12.9	15.0	15.0	0.00	0.00	0.04	30.0	33.0	31.0	0.01	0.02	0.06
	NW Weide	20–40	0.0	7.6	8.1	0.00	0.00	0.08	14.8	14.0	14.0	5.2	5.8	5.6	5.7	5.3	5.1	12.4	15.0	15.0	0.00	0.00	0.03	26.0	28.0	27.0	0.00	0.01	0.01
	AF BSA	0–20	11.1	10.0	12.0	0.00	0.00	0.12	17.8	16.0	18.0	17.5	19.0	19.0	5.3	5.1	5.1	13.0	14.0	15.0	0.00	0.00	0.04	33.0	35.0	39.0	0.07	3.06	0.16
	AF BSA	20–40	0.0	8.3	9.6	0.00	0.00	0.10	16.5	15.0	16.0	10.4	10.0	12.0	5.8	5.7	5.3	13.9	15.0	16.0	0.00	0.00	0.03	29.0	31.0	33.0	0.01	0.03	0.04
Grasswil 1996 / 2004 / 2011	NW Weide	0–5	20.5	21.0	21.0	0.25	0.30	0.25	29.5	23.0	25.0	40.0	31.0	35.0	7.3	5.9	6.2	17.4	21.0	22.0	0.07	0.06	0.06	67.5	68.0	68.0	0.26	0.12	0.12
	NW Weide	0–20	20.5	21.0	21.0	0.24	0.30	0.23	28.5	26.0	26.0	34.0	38.0	33.0	8.3	6.1	6.9	20.2	22.0	24.0	0.07	0.06	0.07	62.5	65.0	68.0	0.08	0.09	0.08
	NW Weide	20–40	13.7	15.0	14.0	0.17	0.22	0.17	22.5	23.0	22.0	15.7	19.0	16.0	8.3	6.6	7.1	19.0	23.0	24.0	0.00	0.00	0.04	43.5	49.0	47.0	0.06	0.02	0.01
	AF KPF	0–20	14.4	15.0	15.0	0.16	0.21	0.18	22.0	18.0	20.0	16.8	16.0	17.0	6.6	5.2	5.4	13.9	16.0	17.0	0.00	0.00	0.04	40.0	44.0	44.0	0.05	0.02	0.03
	AF KPF	20–40	12.2	14.0	13.0	0.17	0.21	0.17	18.5	20.0	18.0	12.1	16.0	15.0	7.3	5.5	5.9	16.2	20.0	19.0	0.00	0.00	0.03	36.5	44.0	41.0	0.04	0.01	0.01
Langnau 1996 / 2003 / 2008	NW Weide	0–5	23.5	22.0	23.0	0.22	0.21	0.24	34.5	27.0	30.0	84.0	62.0	58.0	8.3	5.6	7.3	24.0	23.0	27.0	0.26	0.22	0.22	63.5	62.0	68.0	0.13	0.14	0.14
	NW Weide	0–20	24.0	20.0	23.0	0.22	0.20	0.28	34.5	26.0	30.0	78.5	47.0	55.0	7.9	5.9	7.7	25.5	25.0	28.0	0.28	0.27	0.27	62.0	57.0	62.0	0.13	0.10	0.14
	NW Weide	20–40	18.2	15.3	19.0	0.18	0.16	0.23	28.0	21.0	26.0	49.0	26.0	28.0	8.3	6.0	8.0	25.5	27.0	31.0	0.21	0.14	0.17	52.5	49.0	55.0	0.06	0.00	0.00
	AF KPF	0–20	16.9	15.4	18.0	0.19	0.19	0.25	29.5	25.0	29.0	22.5	23.0	26.0	7.5	5.3	7.5	23.0	23.0	27.0	0.10	0.10	0.10	49.0	52.0	60.0	0.04	0.07	0.09
	AF KPF	20–40	13.1	12.0	14.0	0.15	0.15	0.15	25.5	22.0	26.0	16.8	16.1	19.0	7.0	5.4	7.1	22.5	24.0	28.0	0.07	0.06	0.08	41.0	43.0	48.0	0.03	0.01	0.03
Madiswil 1997 / 2006 / 2012	NW Wiese	0–5	18.8	20.0	18.0	0.13	0.14	0.15	24.5	21.0	21.0	43.0	33.0	30.0	5.9	4.9	4.4	12.4	14.0	14.0	0.06	0.05	0.05	46.0	52.0	51.0	0.15	0.58	0.30
	NW Wiese	0–20	22.5	19.0	18.0	0.12	0.15	0.14	23.0	20.0	21.0	29.5	26.0	27.0	5.8	5.0	4.6	11.8	14.0	15.0	0.05	0.05	0.06	40.0	44.0	43.0	0.14	0.30	0.35
	NW Wiese	20–40	12.6	30.0	14.0	0.00	0.10	0.10	19.4	19.0	19.0	13.5	14.0	14.0	5.6	5.2	4.6	11.1	15.0	15.0	0.00	0.00	0.04	29.5	36.0	33.0	0.03	0.14	0.08
	AF KPF	0–20	15.0	16.0	15.0	0.12	0.16	0.15	24.0	22.0	21.0	14.5	15.0	14.0	5.9	5.2	4.5	12.1	15.0	14.0	0.00	0.00	0.05	36.0	44.0	44.0	0.07	0.18	0.14
	AF KPF	20–40	10.2	12.0	13.0	0.00	0.12	0.12	20.5	20.0	21.0	10.4	12.0	12.0	5.9	5.5	4.9	12.1	16.0	16.0	0.00	0.00	0.04	29.5	36.0	38.0	0.06	0.13	0.05
Niederörsch 1999 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5	16.0	14.9	17.0	0.19	0.22	0.00	22.0	17.4	21.0	65.0	66.0	62.0	0.0	5.2	5.4	16.1	17.0	20.0	0.00	0.00	0.00	48.0	48.0	53.0	0.12	0.03	0.02
	NW Wiese	0–20	15.4	14.7	16.0	0.20	0.20	0.00	21.0	16.3	20.0	64.0	57.0	54.0	5.4	5.2	5.3	16.6	16.7	20.0	0.05	0.00	0.00	43.0	45.0	47.0	0.02	0.03	0.02
	NW Wiese	20–40	11.1	11.2	13.0	0.15	0.17	0.00	18.1	13.9	18.0	23.0	24.0	28.0	5.2	0.0	5.6	17.2	17.3	21.0	0.00	0.00	0.00	36.0	36.0	42.0	0.05	0.01	0.00
	AF KPF	0–20	13.8	12.8	14.0	0.18	0.17	0.00	19.5	16.8	18.0	25.0	24.0	24.0	0.0	0.0	5.0	15.7	15.9	18.0	0.00	0.00	0.00	38.0	38.0	43.0	0.06	0.02	0.01
	AF KPF	20–40	9.9	11.6	11.0	0.18	0.14	0.00	17.7	15.6	17.0	16.3	16.2	20.0	5.0	0.0	5.4	17.7	17.2	19.0	0.00	0.00	0.00	34.0	34.0	40.0	0.05	0.01	0.00
Roggwil 1996 / 2005 / -	NW Wiese	0–5	45.5	52.0		0.42	0.34		62.5	52.0		44.0	40.0		9.1	7.9		24.0	27.0		0.21	0.17		119.0	110.0		1.26	1.61	
	NW Wiese	0–20	50.0	50.0		0.33	0.33		55.5	46.0		43.0	44.0		9.0	7.9		24.5	28.0		0.20	0.16		97.0	96.0		0.97	1.35	
	NW Wiese	20–40	33.0	34.0		0.25	0.23		41.0	38.0		28.5	29.0		8.5	7.5		22.0	25.0		0.12	0.10		64.5	63.0		0.44	0.67	
	AF KPF	0–20	18.1	15.0		0.21	0.17		24.5	18.0		17.7	15.0		7.3	5.8		16.5	17.0		0.05	0.00		44.0	41.0		0.07	0.20	
	AF KPF	20–40	14.3	13.0		0.16	0.12		22.0	18.0		12.0	12.0		6.9	5.9		16.6	18.0		0.00	0.00		35.5	35.0		0.04	0.05	
Rubigen 1994 / 2004 / 2011	NW Wiese	0–5	21.0	19.0	20.0	0.22	0.29	0.25	22.0	20.0	21.0	21.0	17.0	18.0	0.0	4.1	4.5	13.3	13.0	14.0	0.11	0.06	0.07	69.0	57.0	59.0	0.62	0.39	0.55
	NW Wiese	0–20	18.0	18.0	19.0	0.18	0.22	0.22	18.4	18.0	20.0	16.7	16.0	17.0	0.0	4.5	4.7	13.1	13.0	15.0	0.10	0.06	0.07	58.0	50.0	52.0	0.20	0.28	0.34
	NW Wiese	20–40	15.9	14.0	17.0	0.15	0.17	0.17	14.0	15.0	16.0	14.1	13.0	14.0	0.0	4.4	4.5	13.3	13.0	14.0	0.09	0.05	0.06	44.0	37.0	37.0	0.16	0.08	0.14
	AF BSA	0–20	19.1	17.0	18.0	0.17	0.18	0.19	15.6	16.0	16.0	20.0	21.0	20.0	0.0	4.3	4.5	12.7	13.0	13.0	0.11	0.07	0.07	46.0	40.0	42.0	0.17	0.08	0.14
	AF BSA	20–40	16.9	14.0	13.0	0.14	0.15	0.15	14.5	14.0	14.0	15.6	15.0	14.0	0.0	4.6	4.7	13.4	14.0	14.0	0.09	0.00	0.04	41.0	34.0	34.0	0.07	0.01	0.04
Rüderswil 2000 / 2007 / 2015	NW Weide	0–5	20.0	20.0	20.0	0.21	0.23	0.24																					

Fortsetzung Tabelle 14

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Pb [mg/kg TS]			Cd [mg/kg TS]			Cr [mg/kg TS]			Cu [mg/kg TS]			Co [mg/kg TS]			Ni [mg/kg TS]			Hg [mg/kg TS]			Zn [mg/kg TS]			PAK _{tot} [mg/kg TS]		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Schlosswil 1994 / 2006 / 2014	NW Wiese	0–5	31.0	35.0	33.0	0.31	0.43	0.39	19.3	20.0	21.0	35.0	35.0	42.0	0.0	6.1	5.8	16.0	18.0	18.0	0.17	0.13	0.13	82.0	72.0	74.0	0.18	0.29	0.20
	NW Wiese	0–20	28.0	34.0	33.0	0.30	0.40	0.36	17.0	20.0	20.0	30.0	33.0	35.0	0.0	6.1	5.8	15.3	18.0	18.0	0.18	0.12	0.12	71.0	66.0	66.0	0.11	0.24	0.14
	NW Wiese	20–40	24.0	23.0	30.0	0.24	0.30	0.31	15.5	17.0	18.0	21.0	18.0	23.0	0.0	5.9	5.7	16.1	17.0	19.0	0.14	0.08	0.09	62.0	50.0	53.0	0.14	0.19	0.05
	AF KPF	0–20	25.0	26.0	27.0	0.26	0.23	0.34	21.0	22.0	23.0	27.0	20.0	22.0	5.1	6.1	6.0	17.9	18.0	20.0	0.09	0.06	0.07	64.0	59.0	64.0	0.17	0.20	0.13
	AF KPF	20–40	22.0	21.0	23.0	0.21	0.28	0.29	19.7	19.0	21.0	17.1	16.0	18.0	5.1	6.0	5.7	18.1	18.0	19.0	0.09	0.05	0.06	60.0	52.0	54.0	0.09	0.15	0.16
Seedorf ² 1995 / 2003 / 2010	NW Wiese	0–5	14.6	12.6	16.0	0.18	0.17	0.00	35.0	21.0	23.0	45.0	42.0	41.0	8.4	0.0	4.9	21.0	15.3	17.0	0.05	0.00	0.00	53.0	43.0	48.0	0.12	0.13	0.46
	NW Wiese	0–20	15.0	12.9	16.0	0.18	0.16	0.00	37.0	23.0	25.0	40.0	39.0	43.0	9.0	5.1	5.3	22.0	15.9	18.0	0.05	0.00	0.00	51.0	42.0	46.0	0.07	0.02	0.20
	NW Wiese	20–40	11.0	11.7	13.0	0.15	0.13	0.00	31.0	20.0	22.0	23.0	21.0	26.0	8.8	0.0	5.2	21.0	16.1	18.0	0.00	0.00	0.00	42.0	36.0	39.0	0.05	0.03	0.05
	AF BSA	0–20	12.2	9.6	12.0	0.16	0.14	0.00	22.0	14.9	18.0	19.5	17.6	19.0	6.8	0.0	4.7	15.5	13.3	16.0	0.05	0.00	0.00	44.0	42.0	49.0	0.08	0.08	0.10
	AF BSA	20–40	0.0	6.5	9.3	0.13	0.12	0.00	17.9	13.9	16.0	12.1	12.2	13.0	6.6	0.0	4.8	15.0	14.9	17.0	0.00	0.05	0.00	31.0	31.0	35.0	0.03	0.01	0.03
Treiten 1995 / 2008 / 2014	NW Weide	0–5	24.0	24.0	26.0	0.37	0.43	0.47	45.0	35.0	37.0	40.0	42.0	44.0	10.8	9.0	8.5	31.0	35.0	37.0	0.10	0.09	0.11	72.0	70.0	69.0	0.18	0.09	0.09
	NW Weide	0–20	21.0	24.0	27.0	0.30	0.39	0.46	43.0	37.0	38.0	41.0	43.0	45.0	10.0	9.6	8.9	36.0	38.0	39.0	0.09	0.09	0.11	68.0	70.0	66.0	0.15	0.20	0.07
	NW Weide	20–40	22.0	23.0	25.0	0.22	0.31	0.33	42.0	35.0	37.0	34.0	39.0	39.0	12.6	10.0	11.0	40.0	40.0	45.0	0.06	0.08	0.08	70.0	69.0	71.0	0.10	0.05	0.04
	AF KPF	0–20	16.7	21.0	23.0	0.19	0.30	0.47	28.0	26.0	27.0	33.0	41.0	42.0	6.6	7.2	6.5	23.0	30.0	30.0	0.07	0.08	0.10	45.0	57.0	56.0	0.18	0.08	0.10
	AF KPF	20–40	17.4	23.0	21.0	0.21	0.30	0.37	34.0	27.0	27.0	34.0	38.0	37.0	8.0	7.3	6.5	29.0	33.0	31.0	0.07	0.08	0.08	56.0	57.0	54.0	0.14	0.08	0.11
Zollikofen 1999 / 2003 / 2015	AF BSA	0–5	29.0	25.0	27.0	0.17	0.16	0.16	20.0	15.7	18.0	36.0	30.0	31.0	0.0	0.0	4.6	15.1	15.2	17.0	0.19	0.19	0.15	49.6	46.0	80.0	0.28	0.09	0.10
	AF BSA	0–20	26.0	25.0	30.0	0.14	0.17	0.17	18.6	15.6	20.0	33.0	32.0	34.0	0.0	0.0	5.0	14.6	14.9	18.0	0.18	0.20	0.17	44.0	46.0	64.0	0.21	0.12	0.10
	AF BSA	20–40	17.7	18.9	18.0	0.13	0.14	0.13	16.4	14.2	17.0	21.0	23.0	22.0	0.0	0.0	5.3	14.8	15.1	18.0	0.14	0.15	0.12	34.0	39.0	39.0	0.10	0.06	0.02
	AF OLP	0–20	28.0	25.0	26.0	0.16	0.16	0.15	19.2	15.4	20.0	34.0	32.0	34.0	0.0	0.0	4.8	14.5	14.2	17.0	0.23	0.23	0.19	45.0	43.0	61.0	0.22	0.10	0.15
	AF OLP	20–40	17.7	18.6	17.0	0.11	0.13	0.12	17.0	14.7	17.0	20.0	22.0	20.0	0.0	0.0	5.4	14.5	14.5	18.0	0.15	0.18	0.12	35.0	38.0	39.0	0.17	0.13	0.04
Mittelwert³ der ÖLN⁴ Standorte	NW	0–5	22.1	22.2	19.6	0.21	0.22	0.19	29.6	24.9	23.0	38.9	34.2	30.5	5.0	4.6	5.4	16.8	17.4	17.8	0.10	0.07	0.08	61.4	59.8	55.6	0.41	0.54	0.39
	NW	0–20	22.0	21.5	19.4	0.19	0.21	0.18	28.0	24.1	22.6	34.7	31.4	28.0	5.6	5.3	5.7	17.3	17.9	18.5	0.10	0.08	0.08	55.0	53.8	50.3	0.37	0.40	0.29
	NW	20–40	15.6	17.3	15.5	0.13	0.15	0.14	22.2	20.1	19.7	19.8	17.8	16.4	5.6	4.3	5.9	16.9	18.1	19.2	0.06	0.04	0.06	43.3	42.4	41.0	0.15	0.16	0.06
	AF	0–20	17.8	16.7	18.2	0.16	0.16	0.17	21.6	18.9	20.8	20.9	19.9	20.6	4.3	3.3	5.3	15.2	15.6	17.0	0.07	0.06	0.08	43.5	44.2	48.8	0.11	0.33	0.10
	AF	20–40	12.3	13.4	14.1	0.12	0.13	0.13	18.9	17.4	18.8	14.0	14.5	15.1	4.7	3.4	5.5	15.5	16.5	17.8	0.05	0.04	0.06	36.7	37.9	39.6	0.06	0.06	0.07
Bantigen 1997 / 2004 / 2009	NW Wiese	0–5	13.5	13.0	14.0	0.13	0.17	0.18	24.0	20.0	22.0	7.5	6.7	7.2	6.1	4.8	4.8	12.2	14.0	15.0	0.06	0.06	0.05	32.0	35.0	40.0	0.16	0.04	0.06
	NW Wiese	0–20	13.3	14.0	14.0	0.13	0.16	0.15	24.5	22.0	22.0	7.2	6.8	7.5	6.1	5.2	5.0	12.0	15.0	15.0	0.07	0.07	0.06	31.0	35.0	36.0	0.05	0.10	0.06
	NW Wiese	20–40	0.0	11.0	11.0	0.00	0.12	0.13	21.5	18.0	19.0	5.8	5.4	5.2	6.5	5.0	5.4	13.1	14.0	16.0	0.00	0.05	0.00	29.0	30.0	33.0	0.07	0.02	0.02
	AF KPF	0–20	14.0	13.0	14.0	0.11	0.16	0.18	26.5	22.0	23.0	15.1	13.0	13.0	6.8	5.4	5.6	13.6	17.0	17.0	0.05	0.00	0.00	38.5	40.0	43.0	0.13	0.01	0.01
	AF KPF	20–40	0.0	11.0	11.0	0.00	0.11	0.12	22.5	21.0	21.0	8.1	9.6	8.2	6.9	5.7	5.9	13.8	17.0	18.0	0.00	0.00	0.00	31.5	36.0	36.0	0.01	0.04	0.02
Clavaleyres ⁵ 1999 / 2006 / 2011	NW Wiese	0–5	0.0	10.0	11.0	0.00	0.00	0.09	18.1	18.0	18.0	10.3	11.0	11.0	0.0	5.7	5.4	13.1	16.0	17.0	0.00	0.00	0.05	31.0	36.0	36.0	0.05	0.11	0.02
	NW Wiese	0–20	10.2	11.0	11.0	0.00	0.00	0.09	19.6	18.0	19.0	9.4	10.0	9.9	5.2	6.2	5.8	14.2	17.0	18.0	0.00	0.00	0.06	30.0	36.0	34.0	0.07	0.06	0.02
	NW Wiese	20–40	0.0	10.0	10.0	0.00	0.00	0.08	23.0	20.0	21.0	8.7	8.8	8.9	5.8	7.1	6.4	16.7	20.0	20.0	0.00	0.00	0.04	32.0	34.0	34.0	0.01	0.01	0.01
	AF KPF	0–20	0.0	10.0	10.0	0.00	0.00	0.09	18.6	17.0	18.0	10.5	11.0	11.0	0.0	5.7	5.2	11.4	15.0	15.0	0.00	0.00	0.05	28.0	33.0	33.0	0.03	0.04	0.01
	AF KPF	20–40	0.0	9.0	10.0	0.00	0.00	0.08	17.7	16.0	18.0	8.3	8.6	10.0	0.0	5.8	5.4	11.8	15.0	16.0	0.00	0.00	0.04	25.0	30.0	33.0	0.01	0.03	0.00
Hindelbank - / - / 2009	NW Wiese	0–5			13.0			0.19			16.0			15.0			5.6		17.0			0.00			50.0			0.06	
	NW Wiese	0–20			14.0			0.20			17.0			15.0			5.8		18.0			0.05			49.0			0.07	
	NW Wiese	20–40			12.0			0.16			16.0			13.0			5.7		18.0			0.00			43.0			0.02	
	AF OLP	0–20			12.0			0.17			16.0			20.0			5.1		15.0			0.00			44.0			0.07	
	AF OLP	20–40			11.0			0.14			15.0			15.0			5.2		15.0			0.00			38.0			0.02	
Kirchlindach - / - / 2009	NW Weide	0–5			17.0			0.18			23.0			14.0			5.4		18.0			0.00			49.0			0.09	
	NW Weide	0–20			18.0			0.20			23.0			13.0			5.8		19.0			0.00							

Fortsetzung Tabelle 14

Standort	Nutzung ¹	Tiefe	Pb [mg/kg TS]			Cd [mg/kg TS]			Cr [mg/kg TS]			Cu [mg/kg TS]			Co [mg/kg TS]			Ni [mg/kg TS]			Hg [mg/kg TS]			Zn [mg/kg TS]			PAK _{tot} [mg/kg TS]		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Uettligen 1997 / 2005 / 2014	NW Wiese	0–5	12.9	15.0	15.0	0.16	0.19	0.21	23.5	21.0	20.0	18.5	19.0	18.0	7.1	5.9	5.5	19.7	23.0	21.0	0.00	0.00	0.05	45.0	53.0	48.0	0.09	0.12	0.09
	NW Wiese	0–20	12.6	14.0	15.0	0.12	0.19	0.21	23.0	22.0	21.0	17.0	20.0	18.0	7.0	6.1	5.6	17.9	23.0	22.0	0.00	0.00	0.05	40.0	48.0	45.0	0.05	0.08	0.07
	NW Wiese	20–40	0.0	11.0	11.0	0.00	0.16	0.17	21.0	21.0	18.0	11.3	15.0	13.0	6.9	5.9	5.4	17.9	23.0	21.0	0.00	0.00	0.03	31.0	38.0	36.0	0.00	0.03	0.02
	AF OLP	0–20	13.9	15.0	16.0	0.14	0.19	0.21	25.0	23.0	23.0	18.5	18.0	19.0	6.9	6.1	5.6	18.0	22.0	22.0	0.00	0.00	0.04	37.5	43.0	44.0	0.04	0.06	0.06
	AF OLP	20–40	0.0	10.0	11.0	0.00	0.15	0.17	22.0	19.0	19.0	12.0	14.0	13.0	6.8	5.8	5.4	18.7	21.0	22.0	0.00	0.00	0.03	31.0	36.0	37.0	0.01	0.03	0.00
Mittelwert der BIO⁶ Standorte	NW	0–5	10.4	12.7	14.7	0.12	0.13	0.16	22.2	19.7	20.2	12.0	11.5	17.4	5.3	5.4	5.3	15.2	16.8	17.3	0.03	0.01	0.02	38.3	41.3	46.2	0.10	0.09	0.14
	NW	0–20	12.2	12.7	15.0	0.10	0.12	0.16	21.8	20.2	20.8	12.3	11.4	17.5	6.7	5.8	5.6	14.7	17.3	18.0	0.02	0.02	0.03	35.5	39.3	43.5	0.06	0.08	0.10
	NW	20–40	0.0	10.0	11.7	0.00	0.07	0.13	20.5	18.3	18.3	8.9	9.3	12.6	7.4	6.0	5.7	16.0	18.0	18.2	0.00	0.01	0.01	32.5	34.3	37.7	0.03	0.02	0.02
	AF	0–20	10.7	12.5	13.7	0.10	0.12	0.16	23.0	20.3	20.3	14.0	13.1	16.0	5.7	5.8	5.5	15.0	17.4	17.5	0.03	0.00	0.01	38.8	40.0	44.8	0.07	0.04	0.08
	AF	20–40	2.7	9.7	10.7	0.03	0.09	0.12	20.6	18.5	18.7	9.9	10.6	11.5	6.2	6.2	5.8	16.0	18.0	18.7	0.00	0.00	0.00	33.6	36.5	38.3	0.02	0.03	0.02
Mittelwert der Naturwiesen	NW Weiden	0–5	19.3	18.2	19.0	0.16	0.17	0.20	28.1	24.6	25.2	34.9	28.7	25.9	6.3	4.5	5.6	16.4	17.5	18.8	0.09	0.08	0.08	51.6	55.2	55.3	0.42	0.57	0.49
	NW Weiden	0–20	18.6	17.5	19.2	0.16	0.18	0.20	27.2	24.4	24.8	31.8	26.2	24.9	6.5	4.8	6.0	17.4	18.3	19.7	0.10	0.09	0.09	49.1	49.8	50.8	0.52	0.43	0.36
	NW Weiden	20–40	12.8	13.2	14.2	0.10	0.11	0.15	21.0	19.6	21.0	18.9	15.4	14.4	6.8	4.9	6.3	17.0	19.1	20.3	0.07	0.05	0.06	39.6	41.6	41.2	0.16	0.12	0.05
	NW Wiesen	0–5	18.8	20.4	17.0	0.19	0.21	0.17	27.4	23.0	20.0	30.1	27.9	25.3	4.4	5.0	5.2	16.4	17.1	16.9	0.07	0.05	0.04	57.0	54.7	50.1	0.28	0.34	0.19
	NW Wiesen	0–20	19.8	20.0	16.9	0.17	0.19	0.15	25.9	22.4	20.2	27.2	26.0	23.5	5.6	5.7	5.4	16.2	17.5	17.5	0.07	0.05	0.05	50.2	50.0	45.9	0.17	0.25	0.13
Mittelwert aller Standorte	NW	0–5	19.0	19.7	17.8	0.18	0.20	0.18	27.6	23.5	21.9	31.7	28.1	25.6	5.1	4.8	5.4	16.4	17.3	17.6	0.08	0.06	0.06	55.2	54.9	52.1	0.33	0.42	0.30
	NW	0–20	19.4	19.1	17.8	0.17	0.19	0.17	26.3	23.1	21.9	28.7	26.1	24.0	5.9	5.4	5.6	16.6	17.7	18.3	0.08	0.06	0.06	49.8	49.9	47.8	0.29	0.31	0.22
	NW	20–40	11.4	15.3	14.1	0.09	0.13	0.14	21.7	19.6	19.2	16.9	15.6	15.0	6.1	4.8	5.8	16.6	18.1	18.8	0.05	0.04	0.04	40.4	40.2	39.8	0.12	0.12	0.04
	AF	0–20	16.1	15.7	16.7	0.14	0.15	0.16	21.9	19.2	20.7	19.3	18.3	19.1	4.6	3.9	5.4	15.1	16.0	17.2	0.06	0.05	0.05	42.4	43.2	47.4	0.10	0.26	0.09
	AF	20–40	10.0	12.5	12.9	0.10	0.12	0.13	19.3	17.7	18.8	13.0	13.6	13.9	5.0	4.1	5.6	15.6	16.9	18.1	0.04	0.03	0.04	35.9	37.6	39.2	0.05	0.05	0.05
RW⁷-Überschreitungen ÖLN			0	1	0	0	0	0	2	1	0	10	9	10				0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	5	2
RW-Überschreitungen BIO			0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
RW-Überschreitungen total			0	1	0	0	0	0	2	1	0	10	9	10				0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	5	2
VBBo ⁸ -Richtwerte			50			0.8			50			40			-			50			0.5			150			1		
VBBo-Prüfwerte			200			2			-			150			-			-			-			-			20		
VBBo-Sanierungswerte			2000			30			-			1000			-			-			-			2000			100		

¹ NW = Naturwiese; AF = Ackerfläche (KPF = konventioneller Pflug; OLP = On Land-Pflug; BSA = Boden schonende Anbausysteme [=Mulch-, Streifenfräs- und Direktsaat])

² Seedorf wird ab 2003 nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau» bewirtschaftet

³ alle Mittelwerte wurden berechnet unter Mitberücksichtigung der Werte unterhalb der Analysegrenze. Werte unterhalb der Analysegrenze erscheinen in der Tabelle mit der Grösse 0

⁴ ÖLN = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Ökologischer Leistungsnachweis»

⁵ Clavaleyres wird ab 2009 nach Produktionsrichtlinie «ökologischer Leistungsnachweis» bewirtschaftet

⁶ BIO = Standorte mit Bewirtschaftung nach Produktionsrichtlinie «Biologischer Landbau»

⁷ RW = Richtwert (für Co existiert kein Richtwert)

⁸ VBBo = Verordnung über Belastungen des Bodens (1998)

	< 50 % Richtwert
	50 - 80 % Richtwert
	80 % - 100 % Richtwert
	> Richtwert, < Prüfwert

Tabelle 15: Resultate der statistischen Auswertung zur Wirkungsbeurteilung des Hilfsmittel armen Futterbaus.

Naturwiesen				Haupteffekt		Nebeneffekte						
				Wiese vs. Weide		Erhebungszyklen (E ⁴)			Beprobungstiefen (T ⁵)			
				Referenz = Weide		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T1 oder T2			
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt	
Ton	Gew. %	132	NP	0.265		0.051 *			0.671			
Schluff	Gew. %	132	P	0.054 *	4.49	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-2.06 -9.05	0.173			
Sand	Gew. %	132	P	0.068 *	-10.82	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	3.36 11.49	0.001 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	-1.65 -3.41	
Humus	Gew. %	132	P	0.114		0.068 *			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	2.15 4.17	
pH (CaCl ₂)	-	132	P	0.064 *	-0.48	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	-0.35 -0.23	0.139			
Blei (Pb)	mg/kg TS	147	NP	0.326		0.948			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	51 69	
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	147	NP	0.482		0.395			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	53 68	
Cobalt (Co)	mg/kg TS	147	NP	0.232		0.109			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	43 41	
Chrom (Cr)	mg/kg TS	147	NP	0.082 *	72	0.019 **	E1 zu E2 E1 zu E3	39 39	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	51 67	
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	147	NP	0.679		0.171			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	53 70	
Nickel (Ni)	mg/kg TS	147	NP	0.408		0.004 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	57 63	0.001 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	47 45	
Quecksilber (Hg)	mg/kg TS	147	NP	0.153		0.468			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	49 61	
Zink (Zn)	mg/kg TS	147	NP	0.415		0.828			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	58 75	
Acenaphthylen	mg/kg TS	147	NP	0.431		0.337			0.316			
Acenaphthen	mg/kg TS	147	NP	0.898		0.557			0.233			
Anthracen	mg/kg TS	147	NP	0.529		0.204			0.523			
Benzoanthracen	mg/kg TS	147	NP	0.740		0.374			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	54 69	
Benzofluoranthen	mg/kg TS	147	NP	0.813		0.236			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	53 73	
Benzoperylen	mg/kg TS	147	NP	0.984		0.395			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	58 76	
Benzopyren	mg/kg TS	147	NP	0.602		0.500			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	63 82	
Chrysen	mg/kg TS	147	NP	0.894		0.876			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	55 73	
Dibenzoanthracen	mg/kg TS	147	NP	0.852		0.292			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	53 62	
Fluoranthen	mg/kg TS	147	NP	0.821		0.006 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	66 59	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	55 76	
Fluoren	mg/kg TS	147	NP	0.059 *	58	0.000 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	33 31	0.197			
Indenopyren	mg/kg TS	147	NP	0.796		0.069 *			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	56 77	

Fortsetzung nebenstehend

Fortsetzung Tabelle 15

Naturwiesen				Haupteffekt		Nebeneffekte					
				Wiese vs. Weide		Erhebungszyklen (E ⁴)			Beprobungstiefen (T ⁵)		
				Referenz = Weide		Referenz = E2 oder E3			Referenz = T1 oder T2		
Messgrösse	Einheit	N ¹	M ²	p ³	Effekt	p	Vergleich	Effekt	p	Vergleich	Effekt
Phenanthren	mg/kg TS	147	NP	0.852		0.143			0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	55 67
Pyren	mg/kg TS	147	NP	0.644		0.003 ***	E1 zu E2 E1 zu E3	63 61	0.000 ***	T2 zu T1 T3 zu T1	46 78
PAK _{tot} ⁶	mg/kg TS	147	NP	0.801		0.071 *			0.000 ***	T3 zu T2	75

¹ N = Anzahl Stichproben

² M = statistisches Testverfahren:

	Haupteffekt	Nebeneffekt	Positionierung	Interpretation
P = parametrisch:	< 0	< 0	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
absoluter Wert	> 0	> 0	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt
NP = nicht parametrisch:	< 40 %	< 40 %	Referenz < Vergleichsgruppe	Nullhypothese wird unterstützt
relativer Wert	≥ 40 bis < 50 %	≥ 40 bis < 50 %	Referenz < Vergleichsgruppe	
	> 50 bis ≤ 60 %	> 50 bis ≤ 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	
	> 60 %	> 60 %	Referenz > Vergleichsgruppe	Hypothese wird unterstützt

³ p = Signifikanzniveau (p*** = < 0.01; p** = < 0.05; p* = < 0.1)

⁴ E = Erhebungszyklus (E1 = Erhebungszyklus 1; E2 = Erhebungszyklus 2; E3 = Erhebungszyklus 3)

⁵ T = Beprobungstiefe (T1 = OOB, T2 = OB, T3 = UB)

⁶ Summe von 14 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

Fortsetzung von Seite 40

wil als auch für den Durchschnittswert aller KABO-Standorte, handelt es sich hierbei um Konzentrationsabnahmen (Tabelle 14). Das seit dem 30. September 2008 im Kanton Bern gültige Klärschlamm-Ausbringverbot auf landwirtschaftliche Flächen ist wahrscheinlich für den allgemeinen Rückgang der organischen Schad-

stoffkonzentration verantwortlich. Dennoch gibt es Indizien, welche auf frühere Belastungsursachen schliessen lassen, insbesondere weit zurückliegende Klärschlammgaben oder das Verbrennen von Schnittgut auf Streuobstwiesen. Aktuell wird die atmosphärische Deposition als Haupteintragsfaktor betrachtet.

3 Schlussfolgerungen

Der Vergleich der beiden Produktionsrichtlinien BIO und ÖLN weist für fünf der acht untersuchten Schwermetalle und für die überwiegende Anzahl an PAK-Leitverbindungen statistisch gesichert erhöhte Werte auf ÖLN-Flächen auf. Es zeigt sich eine starke Tendenz zur Akkumulation im OB bzw. im OOB. Die Kupfer-Richtwertüberschreitungen gemäss VBBo verlangen eine Ursachenabklärung in den NW der KABO-Standorte Seedorf, Langnau, Niederösch, Schlosswil und Treiten. Diese stehen möglicherweise in Zusammenhang mit Pflanzenschutzmitteln im Obstbau. Bei den PAK_{tot} besteht am Standort Rüderswil in der NW eine Richtwertüberschreitung, jedoch ist über alle Standorte betrachtet von keiner Gefährdung durch Konzentrationszunahmen auszugehen. Da sowohl bei den Schwermetallen als auch bei den organischen Schadstoffen die Huminsäuren zu den bedeu-

tenden Bindungspartnern gehören, sind höhere Schadstoff-Konzentration auf NW und insbesondere im OB zu erwarten und auch nachgewiesen worden. Statistisch gesicherte Unterschiede zwischen Wiesen und Weiden konnten nur für Chrom festgestellt werden.

Die vorliegende Hypothese wird bezüglich Produktionsrichtlinie mit den fünf Schwermetallen Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink, den PAK-Leitverbindungen Benzoanthracen, Benzofluoranthen, Benzoperylen, Chrysen, Fluoranthen, Idenopyren, Phenanthren und Pyren sowie mit dem PAK_{tot}-Gehalt meist deutlich unterstützt. Die Nullhypothese wird lediglich durch die Messgrösse Kobalt unterstützt. Bezüglich Grünlandnutzung unterscheiden sich Wiesen und Weiden schadstoffmässig nicht.

4 Wirkungsbeurteilung

Ob mit dem Herbizidverzicht, wie er in Massnahme 7 postuliert wird, der Eintrag von Schadstoffen in den Boden reduziert werden kann,

ist mit dem vorliegenden Datensatz nicht abschliessend zu beurteilen. Der Vergleich der beiden Produktionsrichtlinien BIO vs. ÖLN zeigt

aber, dass mit dem Verzicht auf mineralische Dünger, Pflanzenschutzmittel und Futtermittelzusätzen deutlich weniger der im KABO-BE untersuchten anorganischen und organischen Schadstoffe in den Boden gelangen.

