



# Untersuchung der Eigenschaften und Fruchtbarkeit von Gewächshausböden

Schlussbericht, Dezember 2019



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

## Impressum

---

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Boden und Biotechnologie, CH-3003 Bern  
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

---

Auftragnehmer: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR,  
CH-8820 Wädenswil

---

Autorinnen und Autoren: Simon Hafner  
Luzius Matile  
Beat Frey  
Roman Berger  
Monika Hutter  
Beatrice Kulli Honauer

---

Unter Mitarbeit von: Rahel Wanner  
Gabriel Gerner  
Alexander Dharmarajah  
Samuel Gunz

---

Titelbild: Monika Hutter

---

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst.  
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

---

# Inhalt

<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2. REFERENZBEREICHE DER GEMESSENEN PARAMETER .....</b>	<b>4</b>
2.1 Vergleichs- und Referenzwerte für bodenbiologische Messungen .....	4
2.2 Richt- und Massnahmenwerte für bodenphysikalische Messungen .....	6
<b>3. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>7</b>
3.1 Auswahl der Gewächshäuser .....	7
3.2 Untersuchung des Bodenaufbaus mittels Bodenprofilansprache .....	8
3.3 Biologische Bodenparameter .....	9
3.4 Molekulargenetische Bestimmung der Bodenorganismen und Biodiversität .....	10
3.5 Physikalische Bodenparameter .....	11
3.6 Befragung zu Planung, Bau und Betrieb der Gewächshäuser .....	12
3.7 Statistik .....	12
<b>4. RESULTATE .....</b>	<b>13</b>
4.1 Charakteristik der Gewächshäuser und der Produktionssysteme .....	13
4.2 Bodenaufbau in den Gewächshäusern und auf den Referenzflächen .....	17
4.3 Biologische Bodenparameter .....	23
4.4 Mikrobielle Diversität .....	30
4.5 Physikalische Bodenparameter .....	45
4.6 Befragung zum Gewächshausbau .....	51
<b>5. DISKUSSION .....</b>	<b>53</b>
5.1 Biologische Bodenparameter .....	53
5.2 Biodiversität .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.3 Physikalische Bodenparameter .....	59
<b>6. FAZIT .....</b>	<b>62</b>
<b>7. AUSBLICK .....</b>	<b>63</b>
<b>8. DANK .....</b>	<b>64</b>
<b>9. REFERENZEN .....</b>	<b>65</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>69</b>
Anhang A: Fragebogen Gewächshaus-Bau .....	70
Anhang B: Probenahme-Pläne .....	72
Anhang C: Digitalisierte Profilblätter .....	76
Anhang D: Penetrogramme .....	102



## **Glossar**

BIO	Biologische Produktion
BK	Bodenkultur
GWH	Gewächshaus
HS	Hors-sol-Kultur
SGA	Suisse Garantie
VBB	Vollzug Bodenbiologie
VBBö	Verordnung über Belastung des Bodens
VSGP	Verband Schweizer Gemüseproduzenten
W	Wechsel von Bodenkultur und Hors-sol-Kultur



## Zusammenfassung

Die Fruchtfolgeflächen in der Schweiz sind unter Druck. Beim Bau von Gewächshäusern stellt sich die Frage, ob diese weiterhin als Fruchtfolgeflächen angerechnet werden könnten oder nicht. Über die Qualität von Gewächshausböden in Abhängigkeit vom Anbausystem gibt es nur wenige Daten. Um für diese Diskussion und allfällige Entscheide eine Datengrundlage zu schaffen, sollen im vorliegenden Projekt die Qualität unterschiedlich genutzter Gewächshausböden untersucht werden. Der Fokus liegt auf folgenden Forschungsfragen: Inwieweit beeinflussen der Bau und Betrieb von Gewächshäusern die betroffenen Böden? Welche Rolle spielt die Bewirtschaftungsart? Unter welchen Bedingungen erfüllen Gewächshausböden die Kriterien eines fruchtbaren Bodens?

Für die Untersuchungen wurden sieben Gewächshäuser (GWH) mit unterschiedlicher Bewirtschaftung ausgewählt: Bodenkultur (BK), Hors-sol (HS) und saisonale Wechsel zwischen Bodenkultur und Hors-sol (W). Auf jeweils drei Plots in den Gewächshäusern und auf ausserhalb der Gewächshäuser liegenden Referenzflächen wurden biologische und physikalische Bodenparameter erhoben und Profilsprachen durchgeführt. Die biologischen Parameter sollen eine Aussage über die biologische Aktivität und die Biodiversität in den Böden ermöglichen, die physikalischen den Einfluss des Baus und der Bewirtschaftung auf die Dichte und den Wasserhaushalt des Bodens untersuchen. Auch das Erfassen chemischer Parameter wurde verzichtet, da in der Diskussion um Fruchtfolgeflächen nicht von zentraler Bedeutung sind.

Obwohl die Vergleichbarkeit zwischen Gewächshäusern und Referenzflächen und auch die Einheitlichkeit der Eigenschaften der Gewächshausböden nicht in allen Fällen optimal war, ist es möglich, den Einfluss der Bewirtschaftung auf die Gewächshausböden zu erkennen. Sowohl in den GWH mit BK, als auch in denjenigen mit W sind die Gehalte an organischem Material erhöht, vermutlich wegen der mit den Setzlingen eingebrachten Torfpreslingen. Biologische Parameter wie mikrobielle Biomasse, DNA Menge und Bodenatmung korrelieren üblicherweise stark mit  $C_{org}$ . In den GWH mit BK ist dies der Fall. Bei den GWH W ist die Korrelation aber um einiges weniger stark, als man es erwarten würde. Dies und die Tatsache, dass in den letzteren der metabolische Koeffizient deutlich erhöht war, lässt auf nicht ideale Bedingungen für die Bodenorganismen unter W schliessen. Die Gewächshäuser mit HS weisen die geringsten Gehalte an  $C_{org}$  auf und zeigten auch sonst eine tiefere biologische Aktivität als die übrigen Versuchsflächen. Mithilfe der molekularbiologischen Untersuchungen konnten standortspezifische aber auch gewächshauspezifische Lebensgemeinschaften in den Böden nachgewiesen werden. Generell war der Artenreichtum in den Gewächshausböden tiefer als in den dazugehörigen Referenzflächen. Interessanterweise konnten viele erwünschte oder unerwünschte Zielorganismen neben phytopathogenen auch pflanzenstärkende und bodenbelebende Mikroben nachgewiesen werden.

Durch die Messung von bodenphysikalischen Grössen konnten bei allen untersuchten Standorten mit mineralischen Böden in den Gewächshäusern und/oder auf den Referenzflächen mindestens Richtwertüberschreitungen festgestellt werden. Nicht immer ist aber die Beeinträchtigung im Gewächshaus grösser als ausserhalb und die Unterschiede zwischen Gewächshäusern im gleichen Betrieb waren teilweise gross. Ein Vergleich zwischen dem Verdichtungszustand der Böden und den Aussagen der Bewirtschafter zum Gewächshausbau zeigen einen Zusammenhang zwischen nassen Bedingungen beim Bau und Verdichtungen innerhalb und in der Umgebung des Gewächshauses. Bei den untersuchten Gewächshäusern verlangten die Bewilligungsbehörden in keinem Fall eine bodenkundliche Baubegleitung (BBB). Bezüglich Verdichtung wären klarere Vorgaben für den Ablauf sicher sinnvoll.

Die Frage, ob Gewächshausböden grundsätzlich die Kriterien von Fruchtfolgeflächen erfüllen, lässt sich aufgrund unserer kleinen Stichprobe nicht abschliessend beantworten. Weitere Untersuchungen, vor allem bei Gewächshäusern mit Hors-sol oder Wechsel zwischen Hors-sol und Bodenkultur wären interessant. Dazu wäre eine grössere Stichprobe an Gewächshäusern wichtig. Vertiefte Untersuchungen mit molekularbiologischen Methoden könnten zeigen, ob sich die Habitat-Gebundenheit von mikrobiellen Gemeinschaftsstrukturen ausnutzen lässt, um typische Gemeinschaften von "gestörten" oder "geschädigten" zu unterscheiden.



## 1. Einleitung

Die Fruchtfolgeflächen in der Schweiz sind unter Druck. Nicht nur innerhalb, sondern auch ausserhalb der Bauzonen geht immer mehr Boden durch Überbauung verloren. Der Bau von Gewächshäusern nimmt auf der Landwirtschaftsfläche im Talgebiet immer grösseren Raum ein (Charles et al., 2018). Um die durch den Bau von Gewächshäusern betroffene Fläche nicht kompensieren zu müssen, wurde schon verschiedentlich vorgeschlagen, Gewächshausböden als Fruchtfolgeflächen auszuscheiden, auch wenn in den betreffenden Gewächshäusern nicht ganzjährig direkt auf dem Boden produziert wird.

Daten über die Eigenschaften von Gewächshausböden, vor Allem für in der Schweiz übliche Anbausysteme und Bewirtschaftungsformen, sind kaum vorhanden (Clément et al., 2017; Tobias, 2018). Um für diese Diskussion und allfällige Entscheide im Rahmen der Überarbeitung/Stärkung des Sachplans Fruchtfolgeflächen eine Datengrundlage zu schaffen, sollen im vorliegenden Projekt die Qualität unterschiedlich genutzter Gewächshausböden untersucht werden.

*Innerhalb dieses Forschungsprojektes wurden folgende Fragen untersucht:*

- (1) Inwieweit beeinflussen der Bau und Betrieb von Gewächshäusern die betroffenen Böden?
- (2) Welche Rolle spielt die Bewirtschaftungsart? Unter welchen Bedingungen erfüllen Gewächshausböden die Kriterien eines fruchtbaren Bodens?

*Die genannten Ziele sollten durch folgende Untersuchungen erreicht werden:*

In sieben Gewächshäusern mit unterschiedlicher Bewirtschaftung wurden biologische und physikalische Bodenparameter aufgenommen und mit Parametern von vergleichbaren, aber ausserhalb der Gewächshäuser gelegenen Referenzflächen verglichen. Des Weiteren wurden Profilsprachen inner- und ausserhalb der Gewächshäuser durchgeführt, welche als Grundlage für eine Bodenbewertung dienen und Aufschluss über durch den Bau verursachte Veränderungen im Bodenaufbau geben.

Die physikalischen Bodenparameter wurden für eine Beurteilung allfälliger Verdichtungsschäden beim Bau und Betrieb der Gewächshäuser erhoben. Auf die Untersuchung der biologischen Bodenaktivität wurde besonderes Augenmerk gerichtet, da diese für die Erfüllung der Bodenfunktionen besonders wichtig ist. Für alle Untersuchungsparameter wurden in einer Literaturrecherche vorgängig Referenzbereiche oder Grenzwerte festgelegt, die für fruchtbare Schweizer Ackerböden üblich sind.

Auf die Messung chemischer Bodenparameter wie pflanzenverfügbare Nährstoffe, Schwermetalle oder Pflanzenschutzmittel wurde verzichtet, weil diese in der Diskussion um Fruchtfolgeflächen nicht von zentraler Bedeutung sind.

## 2. Referenzbereiche der gemessenen Parameter

Gewächshausböden werden im Vergleich zu Ackerböden unterschiedlich bewirtschaftet, wodurch sich der Boden möglicherweise anders entwickelt als auf Ackerland. Je nach Anbausystem in den Gewächshäusern (GWH) wird der Boden das ganze Jahr genutzt (Anbausystem BK = Bodenkultur), nur in der kalten Jahreszeit genutzt (Anbausystem W = Wechsel von Bodenkulturen und Hors-sol) oder nur als Standfläche gebraucht (Anbausystem HS = Hors-sol). Beim Anbausystem BK werden in der Regel mehrere Kulturen pro Jahr im Boden angebaut. Beim Anbausystem W wird die Winterkultur im Boden produziert. Wenn beim Anbausystem W nicht im Boden produziert wird, dann werden im GWH Hors-sol-Anlagen installiert und es findet vorübergehend keine Produktion im Boden statt. Gänzlich auf eine Produktion im Boden wird bei reinen Hors-sol-GWH verzichtet.

Es gibt wenige Informationen darüber, wie sich die unterschiedlichen Anbausysteme auf den Boden auswirken. Um die erzielten Messergebnisse einordnen zu können, sollen in diesem Kapitel vorgängig Referenzbereiche für bodenbiologische Messgrößen und Grenzwerte für bodenphysikalische Messwerte aus der Landwirtschaft vorgestellt werden, damit die Messergebnisse aus den GWH besser eingeordnet werden können.

### 2.1 Vergleichs- und Referenzwerte für bodenbiologische Messungen

In der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) werden Ziele zur langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit formuliert. Gemäss VBBo gilt ein Boden als fruchtbar, wenn er eine für seinen Standort typische artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft, eine typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist (Maurer-Troxler et al., 2009; Verordnung über Belastungen des Bodens, 1998). Deshalb ist es wichtig, den bodenbiologischen Zustand zu erfassen. Allerdings werden im Vollzug kaum bodenbiologische Parameter eingesetzt, da vielfältige physikalische und chemische Prozesse die biologischen Parameter beeinflussen und dadurch die Interpretation von biologischen Parametern erschwert wird (Maurer-Troxler et al., 2009).

Die Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB) hat verschiedene Untersuchungen bodenbiologischer Parameter auf Acker- resp. Grünlandstandorten ausgewertet und diese in der *Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter* (Maurer-Troxler et al., 2009) verwendet, um festzulegen, welche Messbereiche für landwirtschaftlich genutzte Böden zu erwarten sind. Da die biologischen Eigenschaften von unterschiedlichen Böden sehr variabel sind, wurde davon abgesehen, Richt-, Prüf-, und Sanierungswerte zu definieren. An ihrer Stelle werden mit Vergleichs- und Referenzwerten Instrumente zu Verfügung gestellt, um bodenbiologische Parameter und die damit verbundene Bodenfruchtbarkeit integrativ zu beurteilen.

Die durch die Fachgruppe VBB zusammengetragenen Vergleichswerte beschreiben über Medianwerte inklusive Streubreiten einzelne bodenbiologische Parameter in einem durchschnittlichen Bereich (Maurer-Troxler et al., 2009). Die Vergleichswerte sind Ergebnisse verschiedener Messungen mit standortspezifischen chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften. Als Grundlage für die Vergleichs- und Referenzwerte wurden Daten von Böden verwendet, welche bezüglich der Bodenfruchtbarkeit eine nachhaltige Landwirtschaft repräsentieren. Die vorgeschlagenen Werte basieren auf der heutigen Situation und schliessen dadurch menschliche Einflüsse mit ein.

Für bestimmte bodenbiologische Parameter stellt die Fachgruppe VBB in ihrem Bericht Referenzmodelle zur Verfügung, mit deren Hilfe mittels einer Regressionsgleichung und bekannten chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften Referenzwerte für den zu untersuchenden Standort berechnet werden können (Maurer-Troxler et al., 2009). Der Vergleich zwischen den errechneten Referenzwerten und neu erhobenen Parameter erlaubt eine Beurteilung des Bodenzustands hinsichtlich seiner biologischen Aktivität.

Die biologischen Vergleichswerte sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Referenzwerte unter Berücksichtigung der standorttypischen chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften werden zu einem späteren Zeitpunkt berechnet.

**Tabelle 1:** Vergleichswerte Bodenbiologie nach VBB mit zusätzlichen Werten aus der NABObio

<b>Mikrobielle Biomasse CFE [mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> Boden TS]</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Unteres Quartil</b>	<b>Oberes Quartil</b>
Ackerland (n=220) <sup>1</sup>	518	216	1692	412	744
Ackerland (n=32) <sup>1</sup>	548	269	1254	402	737
Ackerland (n=98) <sup>1</sup>	601	220	1286	440	741
<b>Basalatmung CO<sub>2</sub> [mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> Boden TS h<sup>-1</sup>]</b>					
Ackerland (n=220) <sup>1</sup>	0.493	0.185	1.136	0.394	0.638
Ackerland (n=32) <sup>1</sup>	0.452	0.226	1.382	0.392	0.689
<b>Metabolischer Quotient qCO<sub>2</sub> [mg CO<sub>2</sub>-C g<sup>-1</sup> C<sub>mic</sub> h<sup>-1</sup> (SIR)]</b>					
Ackerland (n=220) <sup>1</sup>	1.05	0.71	1.94	0.92	1.22
Ackerland (n=32) <sup>1</sup>	1.06	0.78	1.76	0.97	1.19
<b>Verhältnis C<sub>mic</sub>/C<sub>org</sub> [mg C<sub>mic</sub> g<sup>-1</sup> C<sub>org</sub>]</b>					
Ackerland (n=220) <sup>1</sup>	27.1	6.5	52	23.3	31
Ackerland (n=32) <sup>1</sup>	27.7	19	40.7	21.2	30.9
Ackerland (n=98) <sup>1</sup>	23.8	4.5	39.7	21.3	28.2
<b>Mikrobielle Biomasse CFE [mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup> Boden TS]</b>					
Ackerland (n=33) <sup>2</sup>	595.1	229.9	1247	nv	nv
<b>Basalatmung CO<sub>2</sub> [mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> Boden TS h<sup>-1</sup>]</b>					
Ackerland (n=33) <sup>2</sup>	0.7	0.3	1.6	nv	nv
<b>DNA-Menge [mg DNA kg<sup>-1</sup> Boden TS]</b>					
Ackerland (n=33) <sup>2</sup>	19.2	12.3	41.7	nv	nv
<b>Metabolischer Quotient qCO<sub>2</sub> [mg CO<sub>2</sub>-C g<sup>-1</sup> C<sub>mic</sub> h<sup>-1</sup>]</b>					
Ackerland (n=33) <sup>2</sup>	1.2	0.8	1.5	nv	nv

<sup>1</sup> (Maurer-Troxler et al., 2009), <sup>2</sup> (Hug et al., 2018), nv: nicht vorhanden

## 2.2 Richt- und Massnahmenwerte für bodenphysikalische Messungen

Bodenschadverdichtungen beeinträchtigen langfristig die Fruchtbarkeit von Böden und müssen nach VBBo (Verordnung über Belastungen des Bodens, 1998) vermieden werden (Buchter & Häusler, 2009). Zur Beurteilung der bodenphysikalischen Parameter effektive Lagerungsdichte, Grobporenvolumen, wassergesättigte Leitfähigkeit und Eindringwiderstand kann das Flussdiagramm aus der Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen (Buchter & Häusler, 2009) verwendet werden. Die Richt- und Massnahmenwerte sind in Tabelle 2 dargestellt. Die neueste Messmethode, für die innerhalb des STRUDEL-Projektes Richt- und Massnahmenwerte auf der Grundlage von einer VESS-Strukturbeurteilung des Bodens (Ball et al., 2007; Ball et al., 2015) hergeleitet wurde, betrifft den Luftgehalt bei -100 hPa (Johannes et al., 2019). Dieser Parameter entspricht im Prinzip dem Grobporenvolumen der Arbeitshilfe.

**Tabelle 2:** Richt- und Massnahmenwerte für bodenphysikalische Messergebnisse

Messgrösse	Richtwert	Massnahmenwert
Effektive Lagerungsdichte	1.70 g cm <sup>-3</sup>	1.85 g cm <sup>-3</sup>
Grobporenvolumen	7 Vol.-%	5 Vol.-%
Gesättigte Wasserleitfähigkeit	$p_{k_{sat}} = 6$	$p_{k_{sat}} = 7$
Eindringwiderstand	2.0 MPa	3.5 MPa
Luftgehalt bei -100 hPa	0.067 cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	0.045 cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Auswahl der Gewächshäuser

Eine Auswahl von interessierten Gewächshausbetreibern mit unterschiedlichen Anbausystemen wurde der Forschungsgruppe Bodenökologie durch den Verband Schweizer Gemüseproduzenten (VSGP) zur Verfügung gestellt. Der VSGP verschickte eine Umfrage an seine Mitglieder, um interessierte Produzenten für diese Studie zu finden, und hat nach einer Vorselektion in Frage kommende Betriebe vorgeschlagen. Es wurden gleichermassen Betriebe mit den Anbausystemen Bodenkultur (BK), Hors-sol-Produktion (HS) sowie Bodenkultur und Hors-sol-Produktion im Wechsel (W) ausgewählt; die Betriebe mussten eine Mindestgrösse von 30 Aren und seit ca. zehn Jahren eine kontinuierliche Gemüseproduktion im zu untersuchenden GWH aufweisen sowie aus verschiedenen Regionen der Schweiz stammen. Fünfzehn Betriebe haben diese Kriterien erfüllt und wurden vom VSGP für die Forschungsgruppe Bodenökologie zusammengestellt.

Die Forschungsgruppe Bodenökologie traf eine weitere Auswahl aus den fünfzehn vom VSGP selektierten Betrieben. Dabei waren folgende Kriterien entscheidend (wichtigste Kriterien zuerst):

- Es sollen gleich viele Betriebe mit den Anbausystemen HS, BK und W untersucht werden.
- Es muss bei jedem Betrieb eine Referenzfläche ausserhalb des GWH geben, welche vom Produzenten bewirtschaftet wird, untersucht werden kann und wo ebenfalls Gemüse angebaut wird.
- Die GWH sollen mindestens seit acht Jahren in Betrieb sein und es soll keine Bodendesinfektion durch Dämpfen stattfinden.
- Wenn möglich soll der GWH-Typ Venlo-Glashaus untersucht werden, da diese GWH dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und häufig zur Anwendung kommen.
- Die GWH sollen in unterschiedlichen Regionen der Schweiz liegen.

##### 3.1.1 Untersuchte Gewächshäuser

Aufgrund der oben genannten Kriterien wurden sieben GWH ausgewählt. Folgende Anbausystem waren dabei enthalten: Zwei GWH mit Anbausystem HS, zwei GWH mit Anbausystem BK und drei GWH mit Anbausystem W. Die Betreiber der GWH wurden in diesem Bericht anonymisiert. Die verwendeten Bezeichnungen, die Produktionsart sowie die angebauten Kulturen zum Zeitpunkt der Untersuchungen sind in Tabelle 3 ersichtlich.

**Tabelle 3:** Gewächshausbezeichnung, Anbausystem und Kulturen zum Zeitpunkt der Untersuchung (Kultur 1 = zum Zeitpunkt der Probenahme für die bodenbiologischen Untersuchungen (September 2018), Kultur 2 = Kultur vor bodenphysikalischer Untersuchung (Dezember 2018 - März 2019)). BK = Bodenkultur, HS = Hors-sol, W = BK und HS im Wechsel, SGA = Suisse Garantie, BIO = biologische Produktion nach Bio Suisse

Gewächshaus	Anbausystem	Kultur 1	Kultur 2	Produktionsart
GWH-1-BK	BK	Tomaten	Nüsslisalat	SGA
GWH-2-BK	BK	Tomaten	Nüsslisalat	BIO
GWH-3-HS	HS	Tomaten	Tomaten	SGA
GWH-4-HS	HS	Tomaten	Tomaten	SGA
GWH-5-W	W	Tomaten	Radies	SGA
GWH-6-W	W	Gurken	Radies	SGA
GWH-7-W	W	Gurken	Nüsslisalat	SGA

### 3.1.2 Referenzflächen

Bei allen GWH wurde so nah wie möglich bei den GWH eine Referenzfläche bestimmt und beprobt, damit der Einfluss durch das GWH auf den Boden abgeschätzt werden kann. Dabei wurde angestrebt, dass ähnlicher Boden wie im GWH beprobt wurde, dass ebenfalls Gemüse angebaut wird und dass derselbe Produzent den Boden bewirtschaftet. Trotz diesen Anforderungen kann es Unterschiede in den Bodeneigenschaften zwischen den GWH-Böden und den Böden der Referenzflächen geben. Die angebauten Kulturen sind aus Tabelle 4 ersichtlich.

**Tabelle 4:** Bezeichnung der Referenzfläche, Anbausystem im dazugehörigen Gewächshaus sowie Kulturen zum Zeitpunkt der Untersuchung (Kultur 1 = zum Zeitpunkt der Probenahme für die bodenbiologischen Untersuchungen (September 2018), Kultur 2 = Kultur vor bodenphysikalischer Untersuchung (Dezember 2018 - März 2019)). BK = Bodenkultur, HS = Hors-sol, W = BK und HS im Wechsel, SGA = Suisse Garantie, BIO = biologische Produktion nach Bio Suisse

Referenzfläche	Anbausystem	Kultur 1	Kultur 2	Produktionsart
REF-1	BK	Salat <sup>2</sup>	keine	SGA
REF-2	BK	Nüsslisalat <sup>3</sup>	keine	BIO
REF-3	HS	Salat <sup>1</sup>	keine <sup>4</sup>	SGA
REF-4	HS	Nüsslisalat	Nüsslisalat <sup>5</sup>	SGA
REF-5 = REF-6	W	Kunstwiese <sup>6</sup>	Kunstwiese	SGA
REF-7	W	Salat <sup>1</sup>	keine	SGA

<sup>1</sup> frisch gesetzt; <sup>2</sup> kurz vor Ernte; <sup>3</sup> frisch abgeerntet; <sup>4</sup> nicht geerntete Salate von Vorkultur standen noch;

<sup>5</sup> stark verunkrautet; <sup>6</sup>frisch gesät (nach Chicorée)

### 3.1.3 Beprobung der Gewächshäuser und der Referenzflächen

In jedem GWH und auf jeder Referenzfläche wurden drei Plots von je 8 m<sup>2</sup> (2 m x 4 m) bestimmt und beprobt. Die drei Plots wurden in den GWH regelmässig verteilt, um den Boden in den GWH möglichst repräsentativ zu erfassen. Die Plots wurden bis auf eine Ausnahme quer zu den Reihen bzw. Rinnen in den GWH angelegt und deckten während der Kultur 1 (Tabelle 3) in den meisten Fällen drei Reihen und zwei Zwischengänge ab. Die Plots wurden in jedem GWH mittels Messband eingemessen und dokumentiert (siehe Anhang B). Die Referenzflächen wurden nach Möglichkeit ausserhalb des GWH über dieselbe Breite oder Länge des GWH verteilt und etwa 5-20 m vom GWH entfernt angelegt. Wenn eindeutige Fixpunkte vorhanden waren, wurden die Referenzflächen relativ zum GWH ausgemessen, ansonsten mittels GPS-Koordinaten (Genauigkeit 3 m) lokalisiert.

## 3.2 Untersuchung des Bodenaufbaus mittels Bodenprofilansprache

Die Bodenprofile wurden nach Möglichkeit im mittleren der drei Plots, dem Plot 2, gegraben. Wo dies aus betriebswirtschaftlichen oder sonstigen Gründen nicht möglich war, wurde ein Profil im Plot 1 geöffnet. Dies war bei den folgenden Standorten der Fall: GWH-2-BK, GWH-3-HS, Ref-4, GWH-4-HS und GWH-5-W.

Die Bodenprofile wurden gemäss den Handbüchern 'Klassifikation der Böden der Schweiz' (Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz, 2010) sowie 'Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden' (Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich-Reckenholz, 1997) angesprochen. Die Pflanzennutzbare Gründigkeit wurde gemäss der Revision Teilprojekt 1A der Klassifikation der Böden der Schweiz (Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz, 2005) berechnet.

Die Feldschätzungen für den ersten A-Horizont wurden durch die Laborwerte der in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Mischproben der obersten 20 cm ergänzt. Es gilt zu beachten, dass der erste A-Horizont in den meisten Fällen etwas mächtiger als 20 cm war. Da die Böden bearbeitet sind und somit immer wieder homogenisiert

werden, dürfte der Fehler aber klein sein. Bei grösseren Differenzen im A-Horizont zwischen Laborwert und Schätzwert wurden auch die entsprechenden Schätzwerte der restlichen Horizonte durch einen angepassten Schätzwert ergänzt.

Die Ansprache gewisser Bodenprofil-Parameter war an einigen Standorten aufgrund von sehr trockenen Verhältnissen (Gewächshausböden der Standorte 2, 3 und 4) oder sehr feuchten Verhältnissen (Referenzboden des Standorts 2) schwierig. Dies gilt vor allem für die Beurteilung einer allfälligen Verdichtung sowie der Gefüge-Qualität (VESS-Rating). In diesen Fällen wurden die Laborwerte stärker zu gewichten.

### **3.3 Biologische Bodenparameter**

Für die Bestimmung der Basalrespiration mikrobiellen Biomasse, organische Substanz ( $C_{org}$ ), pH und Körnung wurde auf jedem Plot eine feldfeuchte Mischprobe entnommen. Dazu wurden pro Plot in den obersten 20 cm des Bodens zwischen 30 und 50 Einstiche mit dem Hohlmeissel gemacht. Kontakt zwischen dem Bodenmaterial und Haut wurde bei der Probenahme und Aufbereitung strikt vermieden. Beim Wechsel zwischen den Plots wurden alle verwendeten Gerätschaften gereinigt. Die Proben wurden gekühlt transportiert. Ein Teil jeder Probe wurde im Labor bei 40°C getrocknet und auf 2 mm gesiebt, um für die spätere Interpretation der Daten wichtige Begleitparameter zu messen. Der restliche Teil der Mischprobe wurde feucht auf 2 mm gesiebt und bei 4°C gelagert.

Für die molekulargenetischen Untersuchungen wurden mit einem zweiten Hohlmeissel je Plot separat Mischproben aus sechs Einstichen entnommen, separat gelagert und verarbeitet.

#### **3.3.1 Umwelt- und Begleitparameter**

Um die Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen besser einordnen zu können, wurden folgende Umwelt- und Begleitparameter erhoben: Bodentemperatur und volumetrischer Wassergehalt zum Zeitpunkt der Probenahme, pH-Wert, Gehalt organische Substanz ( $C_{org}$ ) und Körnung des Bodens. Alle Messgrößen mit Ausnahme der Körnung wurden auf allen Plots erhoben. Die Körnung wurde jeweils auf Plot Nr. 2 der GWH und der Referenzflächen gemessen (siehe Anhang B).

##### *Bodentemperatur*

Die Bodentemperatur wurde mit dem Gerät Vernier LABQUEST und der Temperatursonde TMP-BTA (Vernier Software & Technology, Beaverton, US) in den obersten 10 cm des Bodens gemessen.

##### *Volumetrischer Wassergehalt*

Der volumetrische Wassergehalt wurde mit dem mobilen HD2 TDR Bodenfeuchtheitsmessgerät und der TRIME-PICO 64 Sonde (IMKO GmbH, Ettlingen, Deutschland) gemessen.

##### *pH-Wert*

Das pH wurde im Labor in 0.01 M  $CaCl_2$  Lösung mit der Multisonde HQ11d und der dazugehörenden pH-Elektrode (HACH Lange GmbH, Düsseldorf, Deutschland) gemessen. Der Boden wurde im Verhältnis 1:2.5 mit  $CaCl_2$  Lösung versetzt und während 30 Minuten vier Mal geschüttelt. Danach liess man den Boden während 10 Minuten sedimentieren; das pH wurde im Überstand gemessen.

##### *Organische Substanz ( $C_{org}$ )*

Der Gehalt an organischer Substanz wurde auf die gemahlene Feinerde des Bodens mit dem TruSpec® Makro (Leco Instrumente GmbH, Mönchengladbach, Deutschland) bei 550°C gemessen.

##### *Körnung*

Die Körnung wurde nach der Agroscope Referenzmethode KOM mit dem Sedimentationsverfahren bestimmt. Diese Methode eignet sich für Proben bis zu einem  $C_{org}$ -Gehalt von 10%. Mehrere Proben wiesen  $C_{org}$ -Gehalte

zwischen 10 und 15% auf. Bei diesen Proben ist das Ergebnis der Körnungsmessung möglicherweise fehlerbehaftet.

### 3.3.2 Basalrespiration

Für die Basalrespiration wurden die feucht auf 2 mm gesiebten Proben auf 50% der maximalen Wasserhaltekapazität eingestellt. Mit OxiTop-Messköpfen (Xylem Analytics Germany Sales GmbH, Weilheim, Deutschland) wurde der Sauerstoffverbrauch der Bodenorganismen in einem geschlossenen System gemessen. Der Sauerstoffverbrauch der Bodenorganismen wurde über die Druckabnahme im geschlossenen System von den OxiTop-Messköpfen während einer Woche aufgezeichnet. Daraus liess sich anschliessend stöchiometrisch die Basalrespiration berechnen.

### 3.3.3 Mikrobielle Biomasse

Die Fumigation und Extraktion der mikrobiellen Biomasse wurde nach den Agroscope Referenzmethoden B-BM-FE und B-CN-EX durchgeführt. Dazu wurde ein Teil der Proben mit 2-Methyl-2-butan stabilisiertem Chloroform begast und anschliessend von allen Proben der Kohlenstoff mit Kaliumsulfat ( $K_2SO_4$ ) extrahiert. Der total gelöste Kohlenstoff in den Extrakten wurde mit dem Shimadzu TOC-5050A-Analyzer (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) gemessen.

### 3.3.4 Metabolischer Koeffizient

Der metabolische Koeffizient wurde aus dem Quotienten der Basalrespiration und der mikrobiellen Biomasse berechnet.

## 3.4 Molekulargenetische Bestimmung der Bodenorganismen und Biodiversität

Um die DNA aus der Bodenprobe zu erhalten, wurden die 2 mm feucht gesiebten Proben mit dem DNeasy PowerSoil Kit von QIAGEN extrahiert. Die Extraktion verläuft über folgende Schritte (i) Homogenisierung der Probe sowie Lysierung der Zellen, (ii) DNA Aufkonzentration auf einer Silikamembran, (iii) DNA Endreinigung mit Ethanol.

### 3.4.1 DNA-Menge

Die DNA-Menge im gewonnen Extrakt wurde mit dem Gerät Q5000 UV-Vis Spectrophotometer (Quawell Technology, San Jose, US) gemessen.

### 3.4.2 Amplikonsequenzierung

Die DNA-Extrakte wurden zur PCR an die WSL gebracht. Mittels phylogenetischer Markergene wurden Prokaryoten (Bakterien und Archaea) und Pilze aus der extrahierten DNA isoliert und vervielfältigt. Danach wurde das Bodenmikrobiom (=alle in der Bodenprobe vorhandenen Arten) mittels Hochdurchsatz-Sequenzierung (Illumina MiSeq Platform) analysiert. Die Sequenzierung wurde im kommerziellen Labor von Génome Québec Innovation Center in Montréal, Canada durchgeführt. Die erhaltenen Sequenzdaten wurden mittels bioinformatischen Pipelines am WSL analysiert. Diese Analysen erlauben es uns, die Diversität (Alphadiversität wie Anzahl Taxa und Shannondiversitätsindex), Struktur (Ordination, Betadiversität) und den Verwandtschaftsgrad der mikrobiellen Lebensgemeinschaften im Boden zu erfassen.

Um die DNA aus der Bodenprobe zu erhalten, wurden die 2 mm feucht gesiebten Proben mit dem DNeasy PowerLyzer PowerSoil Kit von QIAGEN extrahiert. Die Extraktion verläuft über folgende Schritte (i) Homogenisierung der Probe sowie Lysierung der Zellen, (ii) DNA Aufkonzentration auf einer Silikamembran, (iii) DNA Physikalische Bodenparameter

## 3.5 Physikalische Bodenparameter

### 3.5.1 Probenahme für bodenphysikalische Messungen

Am Standort des Bodenprofils wurden in 30 cm Tiefe jeweils 6 sogenannte ungestörte Bodenproben der folgenden Typen entnommen:

- 100 ml-Zylinderproben (Stahlzylinder mit Durchmesser 57 mm , Höhe = 39 mm): Lagerungsdichte und Grobporenvolumen.
- 10-14 cm lange Proben in Transportzylinder mit Durchmesser 57 mm für die Messung der gesättigten Leitfähigkeit.
- Ca. 4 cm lange Proben in Transportzylinder mit Durchmesser 57 mm für die Messung des Luftvolumens bei 100 hPa mit der STRUDEL-Methode (Johannes et al., 2019)
- Sackprobe für die Messung der Aggregatstabilität.

### 3.5.2 Eindringwiderstand

Der Eindringwiderstand wurde mit der PANDA-Sonde 2 von SolSolution gemessen. Es wurden pro Messung mit der 4 cm<sup>2</sup>-Spitze 10 Einstiche mit Tiefe 70 cm in einem horizontalen Abstand von 20 cm gemacht (FaBo ZH, 1999). Pro Standort wurden nach Möglichkeit je drei Messungen im Gewächshaus und auf der Referenzfläche durchgeführt. Für die Berechnung der Penetrogramme wurden mit dem Vortrieb gewichteten Eindringwiderstände aus jeweils 10 cm dicken Schichten statistisch ausgewertet und als Medianwerte mit Vertrauensintervall dargestellt. Parallel zur Messung des Eindringwiderstandes wurde jeweils die Saugspannung in 20 und 40 cm Tiefe mit einem Tensiometer (Tensio 100 von UGT) gemessen.

Bei der Auswertung als Penetrogramme wurde der Boden in 10 cm-Schichten unterteilt, von den 10 Wiederholungen wurden von allen mit dem Vortrieb gewichteten Werten des Eindringwiderstandes der Median und das Vertrauensintervall berechnet.

### 3.5.3 Lagerungsdichte

Die effektive Lagerungsdichte wurde mit der Referenzmethode PYZYL-D (ART / ACW, 2008) an den 100 ml –Zylinderproben, an denen das Grobporenvolumen bestimmt wurde. Der Skelettgehalt wurde durch Nasssieben ermittelt. Die effektive Lagerungsdichte durch

### 3.5.4 Grobporenvolumen und Porosität

Die Messung des Grobporenvolumens erfolgte im Drucktopf nach der Referenzmethode PYZYL-P (ART / ACW, 2008). Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde sowohl die Druckstufe  $pF = 1.8$  als auch  $pF = 2.0$  gemessen.

### 3.5.5 Luftgehalt bei -100 hPa

Der Luftgehalt wurde mit der STRUDEL-Methode (Johannes et al., 2019) gemessen. Die Proben wurden dabei zuerst bei 10 hPa equilibriert und darauf bei  $pF = 2.0$  im Drucktopf entwässert. Die Probe wurde darauf gewogen und das Volumen der Probe wurde mit der Auftriebsmethode mit einer Genauigkeit von 1% bestimmt. Vor dem Trocknen bei 105°C wurde die CoreVESS-Gefügebeurteilung durchgeführt (Johannes, Weisskopf, Schulin, & Boivin, 2017). Nach dem Wägen der trockenen Probe wurde der Skelettgehalt durch Nasssieben bestimmt.

### 3.5.6 Gesättigte Leitfähigkeit

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde im Labor bei fallender Druckhöhe gemessen (FaBo ZH, 2000). Die 10 cm langen Proben wurden mit einem Parafinmantel gegen aussen abgedichtet. Die Resultate wurden in  $pK_{sat}$  (=  $\log_{10}[K_s \text{ in m/s}]$ ) Einheiten angegeben.

### **3.5.7 Aggregatstabilität**

Mit dem Nasssiebeapparat von Eijkelkamp (No. 08.13) wurde der Anteil stabiler Aggregate (1-2mm) bestimmt (Kemper & Rosenau, 1986; Nimmo & Perkins, 2002).

### **3.6 Befragung zu Planierung, Bau und Betrieb der Gewächshäuser**

Die Produzenten wurden in Interviews zu Bau, Installationen und Betrieb der Gewächshäuser befragt. Bezüglich Betrieb wurden Mulchmaterial, Transportsystem, Bodenbearbeitung und weitere Kulturmassnahmen bei den Produzenten erfragt oder während den Beprobungen erhoben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.1 zu finden.

Des Weiteren wurden Informationen zur Bauphase der Gewächshäuser erhoben. Die Fragen gliederten sich in Angaben zum Gewächshaus, zu den Fundamenten sowie zur Planierung und dem Bodenschutz auf der Baustelle. Die Liste der Fragen befindet sich in Anhang A. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.6 dargestellt.

### **3.7 Statistik**

Für die statistische Auswertung der Daten wurde jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung von drei Plots pro GWH bzw. pro Referenzfläche berechnet. Dies ist in den Balkendiagrammen entsprechend dargestellt. Für die Vergleiche der Gewächshaustypen wurden zuerst die Bedingungen für eine ANOVA geprüft (Shapiro-Test und Bartlett-Test) und anschliessend je nach Ergebnis entweder eine ANOVA gemacht mit anschliessendem paarweisem t-Test oder aber ein Kruskal-Wallis-Test mit anschliessendem paarweisem Wilcoxon-Test durchgeführt. Für die molekulargenetischen Untersuchungen wurde eine nicht parametrische ANOVA (PERMANOVA) angewendet um den Einfluss von verschiedenen Parametern auf die mikrobiellen Gemeinschaften zu testen.

## 4. Resultate

### 4.1 Charakteristik der Gewächshäuser und der Produktionssysteme

#### 4.1.1 Technische Installationen

Dieses Kapitel enthält eine Zusammenstellung der technischen Installationen, welche möglicherweise einen Einfluss auf biologische oder physikalische Bodenparameter haben. Tabelle 5 gibt Aufschluss über die Installationen zum Zeitpunkt der Probenahme für die biologischen Untersuchungen. In den reinen Hors-sol-Gewächshäusern (GWH3-HS, GWH4-HS) waren diese zum Zeitpunkt der physikalischen Untersuchungen unverändert. Bei den Gewächshäusern mit Bodenkultur und Hors-sol-Produktion im Wechsel (GWH-5, GWH-6 und GWH-7) gab es zum Zeitpunkt der physikalischen Untersuchungen keine technischen Installationen wie Mulchfolien.

In den beiden Gewächshäusern mit reiner Bodenkultur (GWH-1, GWH-2) war der Boden in der Pflanzreihe bzw. zwischen den Reihen (Weg) mit unterschiedlichem Mulchmaterial bedeckt. Bei allen Hors-sol-Kulturen war der Boden durchgehend mit einheitlichem Mulchmaterial bedeckt, wobei nur im GWH-4-HS ein wasser-durchlässiges Material gewählt wurde. In allen untersuchten Gewächshäusern waren die wasserundurchlässigen Mulchfolien oben weiss, um das Licht zu reflektieren. Unten waren diese Folien für eine bessere Unkrautunterdrückung schwarz. Im Gegensatz dazu waren die wasserdurchlässigen Kunststoffmulchfolien beidseitig dunkelgrau bis schwarz. Alle Tomaten- und Gurkenkulturen wurden über Tropfbewässerung bewässert und gedüngt.

In den Gewächshäusern wurden während der Tomaten- bzw. Gurkenkultur verschiedene Systeme verwendet, um die Ernte bis zum befestigten Weg am Ende der Reihen zu transportieren. Diese werden in Tabelle 6 aufgelistet und in Abbildung 1 anhand eines Beispiels gezeigt. Es kamen Rohschienenwagen und Monorail Systeme, welche nicht direkt auf dem Boden fahren, zum Einsatz. Bei den Erntewagen, welche direkt auf dem Boden fahren, wurden unterschiedliche Modelle verwendet, wobei alle mit luftgefüllten Pneus ausgestattet waren. Letztere wurden auch in den winterlichen Bodenkulturen Nüsslisalat und Radies eingesetzt.

**Tabelle 5:** In den Tomaten- und Gurkenkulturen verwendetes Mulchmaterial. Die Dauer der Bodenbedeckung des Bodens durch das Mulchmaterial ist eine ungefähre Angabe. Weg = zwischen den Pflanzreihen.

Gewächs- haus	Kultur 1	Lage	Material	wasserdurchlässig	Dauer (Wochen)
GWH-1-BK	Tomaten	in der Reihe	Kunststoffmulchfolie	ja	30
		Weg	Kunststoffmulchfolie	nein	
GWH-2-BK	Tomaten	in der Reihe	Kunststoffmulchfolie	ja	33
		Weg	Bändchengewebe dunkel	ja	
GWH-3-HS	Tomaten	durchgehend	Kunststoffmulchfolie	nein	47
GWH-4-HS	Tomaten	durchgehend	Bändchengewebe hell	ja	48
GWH-5-W	Tomaten	durchgehend	Kunststoffmulchfolie	nein	36
GWH-6-W	Gurken	durchgehend	Kunststoffmulchfolie	nein	20
GWH-7-W	Gurken	durchgehend	Kunststoffmulchfolie	nein	23

**Tabelle 6:** In den Tomaten- und Gurkenkulturen verwendete Systeme für den Transport des Erntegutes.

Gewächshaus	Kultur 1	Transportsystem	Heizrohre auf Boden
GWH-1-BK	Tomaten	Erntewagen	nein
GWH-2-BK	Tomaten	Erntewagen	nein
GWH-3-HS	Tomaten	Rohrschienenwagen	ja
GWH-4-HS	Tomaten	Rohrschienenwagen	ja
GWH-5-W	Tomaten	Rohrschienenwagen	ja
GWH-6-W	Gurken	Rohrschienenwagen	ja
GWH-7-W	Gurken	teils Monorail-Wagen, teils Erntewagen	nein



**Abbildung 1:** In den untersuchten Gewächshäusern verwendete Systeme für den Transport des Erntegutes: Erntewagen mit luftgefüllten Pneus (links), Rohrschienenwagen (Mitte), Monorail-Wagen (rechts).

#### 4.1.2 Bodenbearbeitung, Zusatz Kompost und Pflanzenstärkungsmittel

Organisches Material wird auf Gemüsebaubetrieben meist in Form von Kompost, aber auch über die Topfsubstrate der Setzlinge ausgebracht, welche häufig zu hundert Prozent aus Torf bestehen. In Gewächshäusern ist die Fruchtfolge in der Regel eingeschränkt, weshalb teilweise der Boden gedämpft wird. Diese energie- und arbeitsaufwändige Methode zur Bodendesinfektion wurde jedoch in den untersuchten Gewächshäusern in den sechs Jahren vor der Probenahme nicht angewendet. Tabelle 7 zeigt die Angaben der Produzenten zur Bodenbearbeitung, zur Düngung mit Kompost bzw. Mist sowie zur Bodendesinfektion. Der Einsatz von Mikroorganismen zur Bodenbelebung sowie zur Pflanzenstärkung ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

**Tabelle 7:** Zusammenstellung der Bodenbearbeitung, Düngung mit Kompost oder Mist sowie der Bodendesinfektion (Dämpfung)

Standort	Bodenbearbeitung	Kompost, Mist	Dämpfung
GWH-1-BK	spaten (30 cm) fräsen (5–10 cm)	Champignonmist; letztmals Okt. 17	nein
REF-1	Scheibenegge (15 cm) Beetkreiselegge (8-15 cm) 2018 kein Pflug (25 cm)	Pferdemist (60% Strohanteil), Hühnerkot, Azoplum (Feder- mehl)	nein
GWH-2-BK	grubbern (25–30 cm), spaten (20-25 cm), fräsen (5 cm)	nein	nein
REF-2	grubbern (40 – 45 cm) pflügen (20 - 25 cm) Kreiselegge (5 cm)	nein	nein
GWH-3-HS	keine	nein	nein
REF-3	Scheibenegge (15 cm) Beetkreiselegge (8-15 cm) 2018 kein Pflug (25 cm)	Pferdemist (60% Strohanteil), Hühnerkot, Azoplum (Feder- mehl)	nein
GWH-4-HS	keine	nein	nein
REF-4	pflügen (25 cm) fräsen (5-10 cm)	Pflanzenmaterial	nein
GWH-5-W	spaten (30 cm), fräsen	Kompost; letztmals vor ca. 4-5 J.	nicht mehr; letztmals vor 7-8 J.
REF-5	pflügen (ca. 30 cm), Schei- benegge	Kompost	nein
GWH-6-W	spaten (30 cm), fräsen	Kompost; letztmals vor ca. 4-5 J.	nicht mehr; letztmals vor 7-8 J.
REF-6	=REF5		
GWH-7-W	vor Gurke: keine vor Nüssler: spaten (20 cm), Kreiselegge (10 cm) vor Salat: Kreiselegge (10 cm)	nein	nein
REF-7	1. Kultur: pflügen (25 cm) Kreiselegge (10 cm) 2. Kultur: grubbern (20 cm) Kreiselegge (10 cm)	nein	nein

## Resultate

**Tabelle 8:** Übersicht der eingesetzten Pilze (*Trichoderma* sp., *Gliocladium* sp., *Penicillium* sp, *Coniothyrium* sp) sowie Bakterien (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.) zur Bodenbelebung bzw. Pflanzenstärkung. In den Hors-sol Gewächshäusern (GWH-2-HS, GWH-3-HS) wurden keine Mikroorganismen eingesetzt. Bei den Referenzflächen wurde einzig auf der Fläche REF-1 ein Pflanzenstärkungsmittel verwendet. Bei den Mitteln Bactiva und Lignotiva ist die genaue Zusammensetzung nicht bekannt. KBE = Kolonie bildende Einheit. *B. velezensis* = *B. amyloliquefaciens*

Standort	Tage im Boden <sup>1</sup>	Mittel	Hersteller	Mikroorganismen	ausgebracht [KBE / ha]	Ausbringverfahren
<b>GWH-1-BK</b>	77	Vici Rhyzo	Koppert	<i>Trichoderma</i> spp.	4x10 <sup>10</sup>	Tropfbewässerung aufgeteilt auf 4 Gaben
<b>REF-1</b>	11	RhizoVital 42	Andermatt Biocontrol	<i>Bacillus velezensis</i> (Stamm FZB42)	7.5x10 <sup>13</sup>	Spritzbrühe auf Boden
<b>GWH-2-BK</b>	228	RhizoVital 42	Andermatt Biocontrol	<i>Bacillus velezensis</i> (Stamm FZB42)	5x10 <sup>13</sup>	Spritzbrühe auf Boden
	290	Contans WG	Andermatt Biocontrol	<i>Coniothyrium minitans</i>	6x10 <sup>12</sup>	Spritzbrühe rasch eineggen
<b>GWH-5-W</b>	262	RhizoVital 42	Andermatt Biocontrol	<i>Bacillus velezensis</i> (Stamm FZB42)	1.25x10 <sup>13</sup>	Spritzbrühe auf Boden
	246	Naturalis-L	Andermatt Biocontrol	<i>Beauveria bassiana</i>	3.45x10 <sup>10</sup>	Spritzbrühe auf Boden
<b>GWH-6-W</b>	139	RhizoVital 42	Andermatt Biocontrol	<i>Bacillus velezensis</i> (Stamm FZB42)	1.25x10 <sup>13</sup>	Spritzbrühe auf Boden
	135	Naturalis-L	Andermatt Biocontrol	<i>Beauveria bassiana</i>	3.45x10 <sup>10</sup>	Spritzbrühe auf Boden
<b>GWH-7-W</b>	267	Bactiva	Bactiva GmBH	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma reesei</i> <i>Gliocladium virans</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>T. harzianum</i> : 2.5x10 <sup>10</sup> Bacillus sp.: 2.5x10 <sup>10</sup> andere Pilze, <i>P. fluorescens</i> : tiefer Anteil	Übergiessen der Jungpflanzen
	244	Lignotiva	Bactiva GmBH	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Penicillium janthinellum</i> <i>Bacillus velezensis</i> <i>Bacillus licheniformis</i> <i>Bacillus pumilus</i>	<i>T. harzianum</i> : 3x10 <sup>11</sup> <i>P. janthinellum</i> : 1.5x10 <sup>11</sup> Bacillus sp.: 5x10 <sup>12</sup>	Spritzbrühe auf Boden

<sup>1</sup> Anzahl Tage seit der letzten Ausbringung der Mikroorganismen bis zur Probenahme für die bodenbiologischen Analysen

## 4.2 Bodenaufbau in den Gewächshäusern und auf den Referenzflächen

Die Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Bodenparameter mit einer groben Klassierung ihrer Ausprägung. Im Anschluss werden die beschriebenen Gewächshaus- und Referenzbodenprofile pro Standort erörtert und ihre Vergleichbarkeit beurteilt. Die digitalisierten Profilblätter sind im Anhang C zu finden. Jegliche Angaben, welche einen Hinweis auf den genauen Standort geben, sind entfernt worden.

### 4.2.1 Standort 1 Bodenkultur

Beim Standort 1 Bodenkultur zeigen der Gewächshausboden und der Referenzboden nur geringe Abweichungen (Abbildung 2). Der Standort 1 ist somit für vergleichende Interpretationen gut geeignet.

Bei beiden Böden handelt es sich um den Bodentyp Kalkbraunerde. Die verbrauchten Böden sind offenbar im Zuge der Bewirtschaftung durch kalkhaltiges Brunnenwasser aufgekalkt worden und haben mittlerweile wieder durchgehend einen basischen pH. Sie sind beide tiefgründig, der Wasserhaushalt ist senkrecht durchwaschen, und die Körnung ist durchgehend Lehm. Im Unterboden wurde bei beiden Böden eine vermutlich bewirtschaftungsbedingte mittlere Verdichtung festgestellt. Das VESS-Rating des Gefüges ist für den Gewächshausboden sowohl im Ober- als auch im Unterboden minim besser geschätzt worden.

Ein markanter Unterschied liegt im massiv unterschiedlichen Humusgehalt in 0 - 20 cm Tiefe. Während beim Referenzboden 4 % gemessen wurden, waren es beim Gewächshausboden erstaunliche 20.4 %. Die Gewächshausoberböden mit Bodenkultur weisen, ausser beim ehemaligen Moorboden vom Standort 7, immer einen höheren Humusgehalt als ihre Referenzböden auf. Bei keinem anderen Standort war der Unterschied aber so gross. Dieser Punkt ist für die weiteren Interpretationen zu berücksichtigen.



**Abbildung 2:** Bodenprofile am Standort 1. Gewächshausboden links, Boden der Referenzfläche rechts. An diesem Standort wurden beim Gewächshausbau keine Eingriffe in den Bodenaufbau gemacht und das Ausgangsmaterial ist auf beiden Flächen das gleiche.

## Resultate

**Tabelle 9:** Übersicht über die wichtigsten Bodenprofilparameter; grün: gut ausgeprägt, gelb: eher gut ausgeprägt, orange: eher nicht gut ausgeprägt, rot: nicht gut ausgeprägt

Standort	Bodentyp	PNG [cm]	Wasserhaushalt	Humusgehalt OB [Gew.-%]	Verdichtung OB	Verdichtung UB	Körnung OB [Klasse]	Körnung UB [Klasse]	Skelett OB [Klasse]	Skelett UB [Klasse]	pH OB	pH UB	Kalkgehalt OB [KI.]	Kalkgehalt UB [KI.]	VESS-Rating OB	VESS-Rating UB
GWH-1-BK	Kalkbraunerde	81	senkrecht durchwaschen	20.4	keine	mittel	Lehm	Lehm	schwach skeletthaltig	skelettarm	7.2	7	++	++	1.5	3
Ref-1	Kalkbraunerde	81	senkrecht durchwaschen	4.0	keine	mittel	Lehm	Lehm	schwach skeletthaltig	skelettarm	7.2	7	++	++	2	3.5
GWH-2-BK	Auffüllung	49	stauwasser-geprägt (I2)	13.0	leicht	leicht	toniger Lehm	toniger Lehm	schwach skeletthaltig	skelettarm	7.1	7	+	+	2.5	3
Ref-2	Buntgley	29	grundwasser-geprägt (G5)	3.7	keine	mittel	Lehm	Lehm	skelettarm	skelettarm	7.2	7.2	++	++	1.5	4.5
GWH-3-HS	Kalkbraunerde	21	siehe Kapitel 4.2.4	1.5	keine	stark	Lehm	saniger Lehm	kiesreich	skelettarm	7.4	7	++	++	5	4.5
Ref-3	Kalkbraunerde	84	senkrecht durchwaschen	3.1	keine	mittel	Lehm	Lehm	skelettfrei	skelettfrei	7.4	7.5	+	++	2.5	3
GWH-4-HS	Kalkbraunerde	52	senkrecht durchwaschen	2.9	leicht	leicht	Lehm	Lehm	skelettarm	skelettarm	6.5	7	+	+	3	3
Ref-4	Braunerde	80	senkrecht durchwaschen	2.4	keine	mittel	Lehm	Lehm	skelettarm	skelettarm	4.8	5.2	-	-	2	2.5
GWH-5-W	Kalkbraunerde	68	stauwasser-geprägt (I2)	5.6	keine	mittel	lehmiger Schluff	lehmiger Schluff	skelettarm	skelettarm	6.6	7	+/-	+/-	1	4
GWH-6-W	Braunerde	66	stauwasser-geprägt (I2)	7.8	keine	leicht	Lehm	Lehm	skelettarm	skelettarm	6.6	5.1	+	-	1	4
Ref-5 / Ref-6	Auffüllung	69	stauwasser-geprägt (I2)	3.7	keine	stark	Lehm	Lehm	skelettarm	skelettarm	6.9	5.3	+	-	1	4.5
GWH-7-W	Fluvisol	87	grundwasser-beinflusst (G3)	21.7	keine	keine	Lehm	org.	schwach skeletthaltig	skelttarm	6.8	7	++	+	1.5	2.5
Ref-7	Braunerde-Gley	65	grundwasser-geprägt (G4)	29.7	keine	keine	Lehm	org.	skelettarm	skelettfrei	6.4	6.4	-	-	1	2

#### 4.2.2 Standort 2 Bodenkultur

Die beiden Böden des Standorts 2 unterscheiden sich in einigen Punkten beträchtlich, was für vergleichende Interpretationen beachtet werden muss.

Der Gewächshausboden ist während des Baus des Gewächshauses neu aufgeschüttet worden. Da der Bau zum Untersuchungszeitpunkt vor gut 14 Jahre stattgefunden hatte, sollte die Bodenstruktur in Bezug auf diesen Eingriff mittlerweile wieder regeneriert sein. Der Boden ist im Ober- und Unterboden als leicht verdichtet beurteilt worden, und es gab Hinweise auf leichte Staunässe. Dies ist vermutlich auf die Bewirtschaftung des Bodens und nicht mehr auf die Aufschüttung zurückzuführen, aber das konnte nicht eindeutig beurteilt werden.

Der Referenzboden am Hangfuss unterhalb des Gewächshauses ist hingegen stark grundwassergeprägt. Der Oberboden ist, anders als beim Gewächshausboden, nicht verdichtet. Der Unterboden ist hingegen ziemlich stark verdichtet, vermutlich aufgrund der oftmals sehr feuchten Verhältnisse bei der Bearbeitung. Die Gefügestruktur ist im Unterboden entsprechend ungünstig. Ein gefundenes Ziegelstück in 55 cm Tiefe lässt auch bei diesem Boden auf eine anthropogene Prägung bis in eine grosse Tiefe schliessen.

Die beiden Böden unterscheiden sich zudem markant in der pflanzennutzbaren Gründigkeit. Diese wurde für den Gewächshausboden auf 49 cm geschätzt, für den Referenzboden aufgrund des starken Grundwassereinflusses und des verdichteten Unterbodens nur auf 29 cm. Zudem ist die Körnung des Gewächshausbodens gemäss den Laboranalysen deutlich tonreicher als die des Referenzbodens (Körnungsart toniger Lehm versus Lehm). Der hohe Tonanteil im Gewächshausboden manifestiert sich in markanten Schwundrissen, welche durch eine verstärkte Quellung und Schrumpfung entstehen. Auch der Humusgehalt in 0 - 20 cm Tiefe ist im Gewächshausboden markant höher (fast 10 % Unterschied).

#### 4.2.3 Standort 3 Hors-Sol

Der Gewächshausboden des Standorts 3 Hors-Sol unterscheidet sich in Bezug auf den Bodenaufbau erheblich vom Referenzboden, was den weiteren Vergleich schwierig macht.

Der Hauptgrund dafür ist eine 40 cm mächtige Überschüttung, welche bei der Erstellung des Gewächshauses zur Ausnivellierung der Bodenoberfläche gemacht wurde (Abbildung 3). Das aufgeschüttete Material ist als C-Material klassiert worden, da es kalkhaltig ist, einen geringen Humusgehalt hat und ein Kohärentgefüge sowie einen sehr hohen Skelettgehalt aufweist. Die unter der Überschüttung begrabenen A- und B-Horizonte stimmen von der Körnung und vom Skelettgehalt her gut mit den A- und B-Horizonten des Referenzbodens überein. Sie sind aber stark verdichtet und weisen ein ungünstiges Klumpen- / Kohärentgefüge mit einem entsprechend schlechten VESS-Rating auf.

Es ist schwierig zu beurteilen, ob der schlechte Zustand des Gewächshausbodens durch die Bewirtschaftung, bei der Erstellung des Gewächshauses, oder durch beides verursacht worden ist. Der Wasserhaushalt kann aufgrund der Hors-Sol-Bewirtschaftung nicht gut eingeschätzt werden, aber der Boden dürfte aufgrund der Verdichtung stauend sein. Die Pflanzennutzbare Gründigkeit ist auf lediglich 21 cm geschätzt worden.

Der Referenzboden weist hingegen landwirtschaftlich günstige Eigenschaften auf und ist den untersuchten Böden des Standorts 1 auf dem gleichen Betrieb sehr ähnlich. Der Boden ist eine tiefgründige Kalkbraunerde, und im Unterboden ist eine mittlere Verdichtung festgestellt worden.

Die markantesten Unterschiede zwischen dem Gewächshausboden und dem Referenzboden liegen in der Gefügequalität im Ober- und Unterboden (VESS-Rating von 4.5 / 5 versus 2.5 / 3), im Skelettgehalt des Oberbodens (32 % versus 0 %), im Humusgehalt in 0 - 20 cm Tiefe (1.5 % versus 3.4 %) und in der Pflanzennutzbaren Gründigkeit (2 cm versus 84 cm).



**Abbildung 3:** Bodenprofile am Standort 3. Gewächshausboden links, Boden der Referenzfläche rechts. Auf der linken Abbildung ist deutlich die Überschüttung zu sehen, die im Gewächshaus gemacht wurde.

#### 4.2.4 Standort 4 Hors-Sol

Die beiden Böden des Standorts 4 unterscheiden sich in einigen Punkten beträchtlich, was für vergleichende Interpretationen beachtet werden muss.

Der Wasserhaushalt der beiden Böden ist senkrecht durchwaschen. Ebenso haben beide Böden die Körnungsart Lehm und sind skelettarm. Ein grosser Unterschied besteht allerdings im Chemismus. Der Referenzboden hat bis zum Bodenprofilabschluss in 110 cm Tiefe einen sauren pH, im Oberboden sogar stark sauer, und der Boden wurde somit als Braunerde klassiert. Der Gewächshausboden hat hingegen im Oberboden einen neutralen pH, und im Unterboden wurde der pH basisch geschätzt. Da dieser Boden vermutlich durch die Bewirtschaftung aufgekalkt wurde (gemäss Bewirtschafter durch biologische Bakterienbekämpfung), wurde er als Kalkbraunerde klassiert.

Zudem ist der Referenzboden deutlich tiefgründiger eingeschätzt worden (80 cm versus 52 cm), da beim Gewächshausboden in 60 cm Tiefe bereits das mehr oder weniger unverwitterte Ausgangsmaterial erreicht worden ist.

#### 4.2.5 Standort 5 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur

Beim Standort 5 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur zeigen der Gewächshausboden und der Referenzboden zwei gewichtige Unterschiede (Abbildung 4). Somit müssen für vergleichende Interpretationen gewisse Vorbehalte beachtet werden.

Der eine Unterschied ist, dass der Referenzboden eine Aufschüttung ist. Glücklicherweise ist die Auffüllung mit lokalem Material gemacht worden. Der Unterboden des Referenzbodens ist jedoch stärker verdichtet als der Unterboden des Gewächshausbodens, was vermutlich auf die Erstellung der Auffüllung zurückzuführen

ist. Der andere Unterschied liegt im pH im Unterboden, welcher beim Referenzboden sauer und beim Gewächshausboden neutral ist. Ein weiterer, kleiner Unterschied liegt im Humusgehalt in 0 - 20 cm Tiefe (2 % höher im Gewächshausboden).

Abgesehen davon sind die beiden Böden sehr ähnlich. Beide Böden haben Löss aus Ausgangsmaterial und haben deshalb eine sehr schluffreiche Körnung. Der leicht erhöhte Stein- und Kiesgehalt im Oberboden des Referenzbodens ist gemäss Bewirtschafter durch den Eintrag von stein- und kieshaltigem Kompost zu erklären. Die Pflanzennutzbare Gründigkeit wurde bei den beiden Böden mit 68 cm und 69 cm fast gleich hoch berechnet. Obwohl der Referenzboden im Unterboden stärker verdichtet ist, weisen beide Böden ungefähr gleich starke, moderate Stauässemerkmale auf.



**Abbildung 4:** Bodenprofile am Standort 5. Gewächshausboden links, Boden der Referenzfläche rechts. Hier unterscheiden sich die Bodenprofile, weil im Zuge des Baus von Gewächshaus 5 auf der Referenzfläche eine Aufschüttung gemacht wurde.

#### 4.2.6 Standort 6 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur

Der Gewächshausboden des Standorts 6 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur ist ebenfalls mit dem Referenzboden des Standorts 5 auf dem gleichen Betrieb verglichen worden. Auch hier müssen gewisse Vorbehalte für vergleichende Interpretationen beachtet werden.

Da der Unterboden des Gewächshausbodens zwar planiert aber nicht neu aufgeschüttet worden ist, besteht auch hier ein grundlegender Unterschied zur Auffüllung der Referenzfläche. Der Unterboden ist im Gegensatz zum Referenzboden nur leicht verdichtet, zeigt erstaunlicherweise aber einen ähnlichen Stauwassereinfluss. Beim Humusgehalt in 0 - 20 cm Tiefe ist beim Gewächshausboden ein um ca. 4 % höherer Wert gemessen worden.

Abgesehen von diesen Unterschieden sind die beiden Böden sehr ähnlich. Die Körnung ist in beiden Fällen im verbrauchten Bereich durchgehend Lehm, die Pflanzennutzbare Gründigkeit ist praktisch identisch, und im Gegensatz zum Standort 5 ist der pH des Gewächshausunterbodens sauer, was dem Referenzboden entspricht.

### **4.2.7 Standort 7 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur**

Beim Standort 7 Hors-Sol im Wechsel mit Bodenkultur zeigen der Boden im Gewächshaus und der Referenzboden nur einen markanten Unterschied. Deshalb ist dieser Standort grundsätzlich für vergleichende Interpretationen einigermaßen gut geeignet.

Bei beiden Böden handelt es sich um drainierte ehemalige Moorböden. Die Drainierung solcher Böden führt zu einem Humusabbau und zu einer entsprechenden Bodensackung. Der Referenzboden ist offenbar stärker grundwassergeprägt als der Gewächshausboden, entweder, weil die Drainage nicht (mehr) gleich gut funktioniert, und / oder weil der Flurabstand im Jahresmittel deutlich geringer ist. Dieser markante Unterschied ist zum einen aufgrund der Humusgehalte unterhalb des gepflügten A-Horizonts zu erkennen. Im Referenzboden wird der Humusgehalt dieses Horizonts auf 60 % geschätzt, im Gewächshausboden auf nur noch 25 %. Zum anderen sind die Vernässungsmerkmale im Unterboden des Referenzbodens stärker, und auf 120 cm Tiefe konnte während der Profilbeschreibung der Grundwasserstand registriert werden. Dies konnte beim Gewächshausboden bis zum Profilabschluss in 125 cm Tiefe nicht beobachtet werden. Als Konsequenz resultiert für den Referenzboden eine geringere Pflanzennutzbare Gründigkeit (65 cm versus 86 cm).

Ansonsten weisen die beiden Böden grundsätzlich ähnliche Bodeneigenschaften und einen ähnlichen Bodenaufbau aus, vor allem im Oberboden. Der pH ist jeweils im neutralen oder knapp basischen Bereich gemessen / geschätzt worden. Die Körnung in den mineralischen Horizonten ist durchgehend Lehm. Auffallend sind die Steine und der Kies im Oberboden bei beiden Böden, insbesondere beim Gewächshausboden, was bei ehemaligen Moorböden grundsätzlich nicht zu erwarten wäre. Der Ursprung dieses Skeletts ist vermutlich anthropogen.

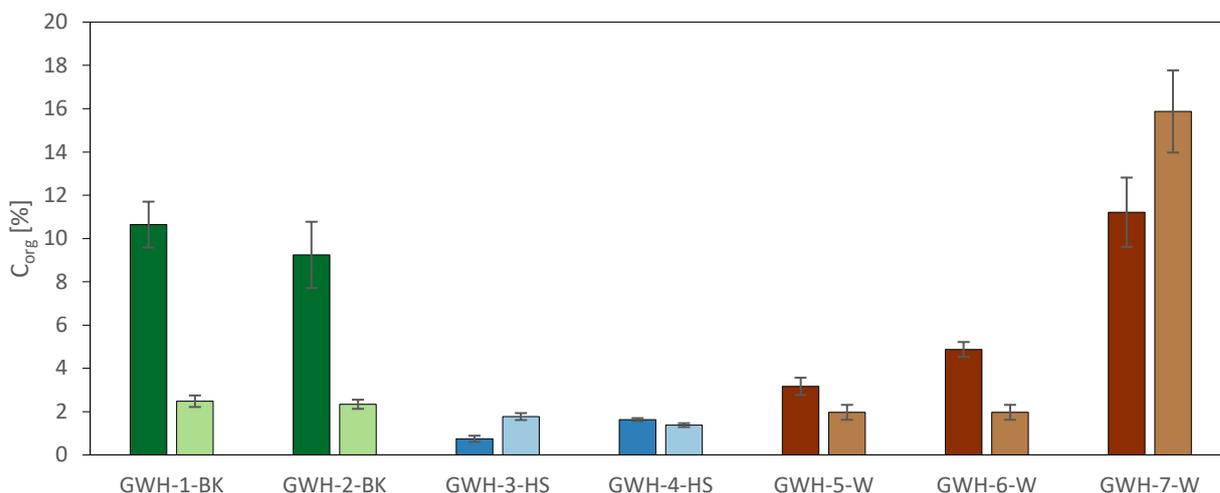
### 4.3 Biologische Bodenparameter

Zur Beurteilung der biologischen Aktivität in den Böden wurden in den GWH und auf den Referenzflächen die mikrobielle Biomasse, die DNA-Menge und die Basalrespiration untersucht. Die Resultate zur Zusammensetzung und Diversität der mikrobiellen Gemeinschaft sind in Kapitel 4.4 zu finden. Tabelle 10 zeigt eine Zusammenstellung aller Messgrößen und Begleitparameter. Die Ergebnisse zu den einzelnen biologischen Parametern werden in den folgenden Unterkapiteln genauer veranschaulicht und erläutert.

Bei der Probenahme für die biologischen Bodenuntersuchungen wurde auf jedem beprobten Plot im Oberboden die Bodentemperatur und die Bodenfeuchtigkeit (volumetrischer Wassergehalt) gemessen, da diese die biologischen Parameter beeinflussen (Sardans & Peñuelas, 2005). Die Proben wurden alle im September 2018 entnommen. Der September 2018 war eher von warmem Wetter geprägt. In allen GWH bewegten sich die Bodentemperaturen zwischen 19 und 22°C (Tabelle 10). Die Bodenfeuchtigkeit zeigte zwischen den GWH grössere Unterschiede als die Bodentemperatur. Die Temperatur- und Feuchtigkeitswerte auf den Referenzflächen waren im Vergleich zu denjenigen in den GWH witterungsabhängig. Bei allen Probenahmen gab es vor und während der Beprobung keinen Niederschlag.

Abbildung 5 zeigt die Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) für die untersuchten Flächen. Die Werte sind in Gewächshäusern der Bewirtschaftungsart BK oder W im Allgemeinen deutlich höher als in den dazugehörigen Referenzflächen. Eine Ausnahme bildet Standort 7. Dieser Standort befindet sich auf einem organischen Boden und enthält daher von Natur aus mehr  $C_{org}$  als alle anderen Böden. An diesem Standort ist der Gehalt an  $C_{org}$  im Gewächshaus tiefer als auf der Referenzfläche. An den HS Standorten bewegt sich der Gehalt an  $C_{org}$  in und ausserhalb der Gewächshäuser in einem ähnlichen Rahmen. Es ist zu beachten, dass die  $C_{org}$  Werte in diesem Kapitel sich vom Humusgehalt aus Kapitel 4.2 (Tabelle 9) unterscheiden. Der Humusgehalt beinhaltet das gesamte abgestorbene organische Material im Boden, während  $C_{org}$  nur den organischen Kohlenstoff angibt.

Leicht abweichende Angaben beim pH Wert in Tabelle 9 und Tabelle 10 kommen dadurch zustande, dass letztere die Mediane der jeweils drei Versuchsflächen pro Behandlung an einem Standort zeigt, erstere aber nur das pH auf der Fläche, auf der die Profilsprache gemacht wurde.



**Abbildung 5:** Gehalte an organischer Substanz der einzelnen GWHs (dunkel) und Referenzflächen (hell) nach Standort.

## Resultate

**Tabelle 10:** Zusammenstellung der Umwelt- und Begleitparameter, sowie der biologische Bodenparameter.

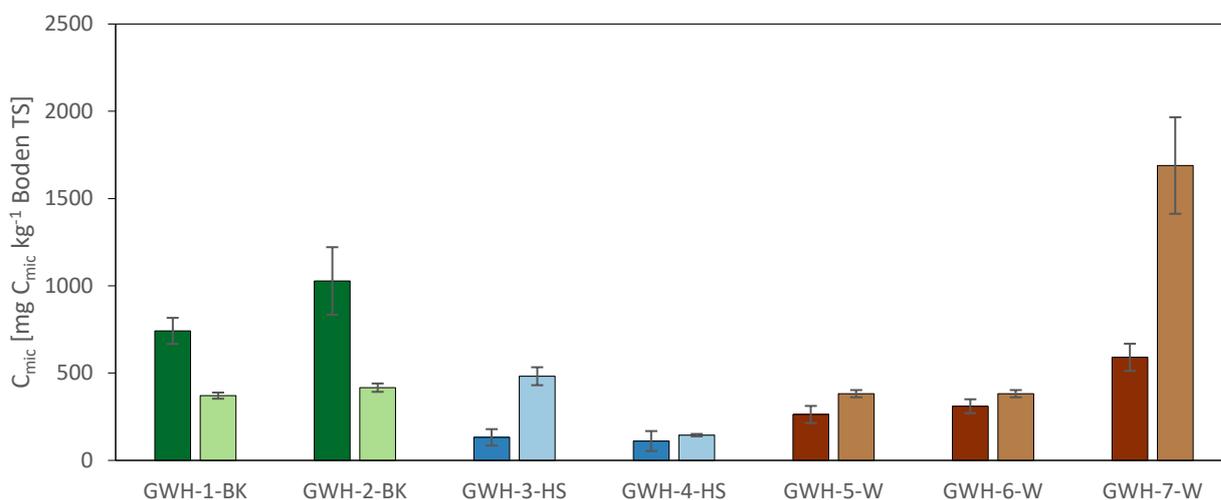
Standort	Bodenart	Jahreszeit	Temperatur bei Probenahme [°C]	Volumetrischer Wassergehalt [%]	pH	C <sub>org</sub> [%]	C <sub>mic</sub> [mg C <sub>mic</sub> kg <sup>-1</sup> Boden TS]	DNA-Menge [µg DNA g <sup>-1</sup> Boden TS]	Basalrespiration [mg C kg <sup>-1</sup> TS h <sup>-1</sup> ]	qCO <sub>2</sub> [mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
GWH-1-BK	tL	Sep	22.2 (1.06)	26.8 (12.9)	7.0 (0.11)	10.6 (1.05)	742.0 (74.6)	28. (7.4)	1.17 (0.19)	1.57 (0.17)
REF-1	L	Sep	19.2 (0.43)	14.8 (1.4)	7.2 (0.05)	2.4 (0.26)	371.0 (17.6)	17.7 (4.9)	0.49 (0.05)	1.33 (0.16)
GWH-2-BK	IT	Sep	19.9 (0.11)	19.4 (8.7)	7.1 (1.08)	9.2 (1.53)	1028.1 (193.4)	25.7 (5.6)	0.95 (0.18)	0.93 (0.07)
REF-2	L	Sep	17.8 (0.15)	21.6 (5.8)	7.2 (0.05)	2.3 (0.21)	416.6 (23.9)	20.5 (2.3)	0.46 (0)	1.11 (0.07)
GWH-3-HS	L	Sep	20.6 (0.88)	20.8 (7.8)	7.4 (0.05)	0.7 (0.14)	132.0 (46.9)	9.2 (1.5)	0.14 (0.02)	1.17 (0.46)
REF-3	L	Sep	21.9 (0.61)	37.0 (1.6)	7.3 (0.05)	1.7 (0.16)	482.2 (51.4)	21.5 (2.4)	0.48 (0.06)	0.99 (0.08)
GWH-4-HS	L	Sep	21.0 (0.45)	13.8 (0.2)	6.6 (0.20)	1.6 (0.07)	110.5 (57.4)	12.2 (0.6)	0.25 (0.05)	2.7 (1.29)
REF-4	L	Sep	23.6 (1.67)	16.6 (0.7)	4.7 (0.05)	1.3 (0.08)	144.5 (6.9)	14.8 (1.2)	0.32 (0.02)	2.2 (0.12)
GWH-5-W	IU	Sep	19.4 (0.30)	28.0 (5.1)	6.6 (0.05)	3.1 (0.40)	263.0 (48.9)	16.4 (3.5)	0.49 (0.02)	1.87 (0.25)
REF-5	L	Sep	16.9 (0.17)	31.1 (4.2)	6.9 (1.08)	1.9 (0.34)	382.1 (20.7)	24.6 (2.3)	0.46 (0.02)	1.21 (0.1)
GWH-6-W	IU	Sep	20.2 (0.25)	33.0 (2.6)	6.5 (0.05)	4.8 (0.34)	310.1 (40.0)	17.7 (1.7)	0.63 (0.01)	2.06 (0.26)
REF-6	L	Sep	16.9 (0.17)	31.1 (4.2)	6.9 (1.08)	1.9 (0.34)	382.1 (20.7)	24.6 (2.3)	0.46 (0.02)	1.21 (0.1)
GWH-7-W	L	Sep	21.1 (0.45)	44.4 (2.0)	6.8 (0.05)	11.2 (1.60)	590.4 (77.9)	99.2 (21.6)	1.06 (0.2)	1.79 (0.24)
REF-7	L	Sep	18.0 (0.36)	38.0 (1.5)	6.6 (0.34)	15.8 (1.89)	1689.4 (276.6)	123.7 (7.6)	0.64 (0.07)	0.38 (0.03)

Die Zahlenwerte in der Tabelle sind Mittelwerte inklusive Standardabweichung in Klammer. Bei der Körnung handelt es sich um Einfachbestimmungen.

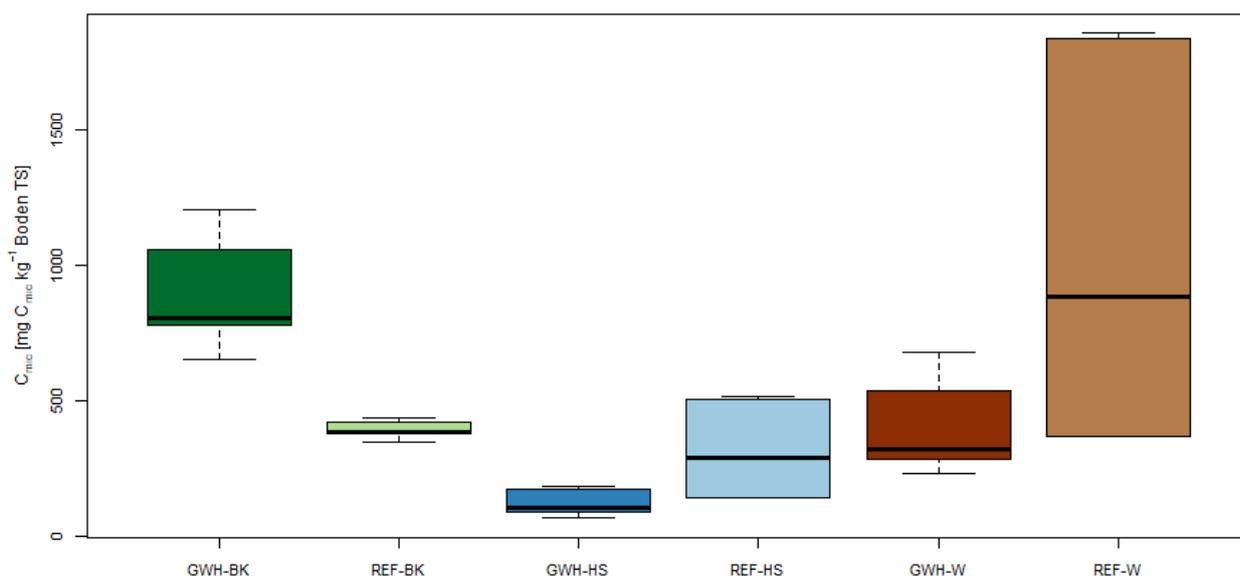
### 4.3.1 Mikrobielle Biomasse ( $C_{mic}$ )

Die GWH mit den Anbausystemen BK zeigten die grössten Konzentrationen an mikrobiellem Kohlenstoff ( $C_{mic}$ ), gefolgt von den GWH mit Anbausystem W. Die kleinsten Gehalte wurden in den GWH mit Anbausystem HS gemessen. Bei den GWH mit Anbausystem BK wurden Werte für  $C_{mic}$  zwischen 742 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS und 1028 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> gemessen. Die GWH mit Anbausystem W zeigten Gehalte von  $C_{mic}$  zwischen 263 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS (GWH-5-W) und 590 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS (GWH-7-W). Bei allen Standorten mit Anbausystem W wurde auf den Referenzflächen höhere Gehalte an  $C_{mic}$  gemessen als in den dazugehörigen GWH-Böden (Abbildung 6). Die GWH mit Anbausystem HS zeigten durchschnittliche Gehalte an  $C_{mic}$  zwischen 111 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS (GWH-3-HS) und 132 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS (GWH-4-HS). Bei beiden GWH wurde auf den Referenzflächen höhere Gehalte an  $C_{mic}$  gemessen

Damit wurden die grössten Gehalte an  $C_{mic}$  in den GWH mit Anbausystem BK gefunden (Abbildung 7). Die GWH mit Anbausystem BK wiesen signifikant grössere Gehalte an  $C_{mic}$  auf als die zugehörigen Referenzflächen (Pairwise-Wilcox-Test,  $p = 0.002$ ) und auch als die GWH mit Anbausystem W (Pairwise-Wilcox-Test,  $p = 0.002$ ) und HS (Pairwise-Wilcox-Test,  $p = 0.001$ ) (Abbildung 6). Im Vergleich zu den GWH mit Anbausystem BK wurden bei den GWH mit Anbausystem HS und W kleinere Gehalte an mikrobieller Biomasse in den GWH als auf den Referenzflächen gefunden (HS: Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.065$ ; W: Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.036$ )



**Abbildung 6:** Mikrobielle Biomasse ( $C_{mic}$ ) d einzelnen GWHs (dunkel) und Referenzflächen (hell) nach Standort.



**Abbildung 7:** Mikrobielle Biomasse ( $C_{mic}$ ) in den untersuchten Anbausystemen

#### 4.3.2 DNA-Menge

Die DNA-Menge (Abbildung 8) zeigte ähnliche Trends wie die mikrobielle Biomasse (Abbildung 6). In den beiden GWH mit Anbausystem BK wurden durchschnittliche DNA-Mengen von  $28.1 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS und von  $25.7 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS gemessen (Tabelle 10). An beiden Standorten wiesen die Referenzflächen geringere DNA-Mengen als die GWH auf. In den GWH mit Anbausystem W und HS wurden in den GWH überall kleinere DNA-Mengen als auf den Referenzflächen gemessen. Die GWH mit Anbausystem W zeigten durchschnittliche DNA-Mengen zwischen  $16.4 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden und  $99.2 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS. Das GWH-7-W wies sowohl im GWH wie auch auf der Referenzfläche deutlich grössere DNA-Mengen auf als alle anderen GWH und Referenzflächen (Abbildung 8). Die GWH mit Anbausystem HS zeigten die kleinsten DNA-Mengen. Im GWH-3-HS wurden durchschnittlich  $9.2 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS gemessen und im GWH-4-HS  $12.2 \mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS (Abbildung 8).

Im Anbausystem BK konnte beobachtet werden, dass die DNA-Menge in den GWH signifikant grösser ausfiel als auf den dazugehörigen Referenzflächen (Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.041$ ) und ebenfalls als in den GWH mit Anbausystem HS (Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.002$ ) (Abbildung 9). Zudem zeigte sich beim Vergleich der DNA-Menge zwischen GWH und Referenzflächen bei den Anbausystemen W und HS einen komplementären Trend zu den GWH mit Anbausystem BK. Bei den Anbausystemen W und HS war die DNA-Menge signifikant kleiner als auf den Referenzflächen (Anbausystem HS: Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.049$ ; Anbausystem W: Pairwise-Wilcox-Test,  $p=0.002$ ) (Abbildung 9).

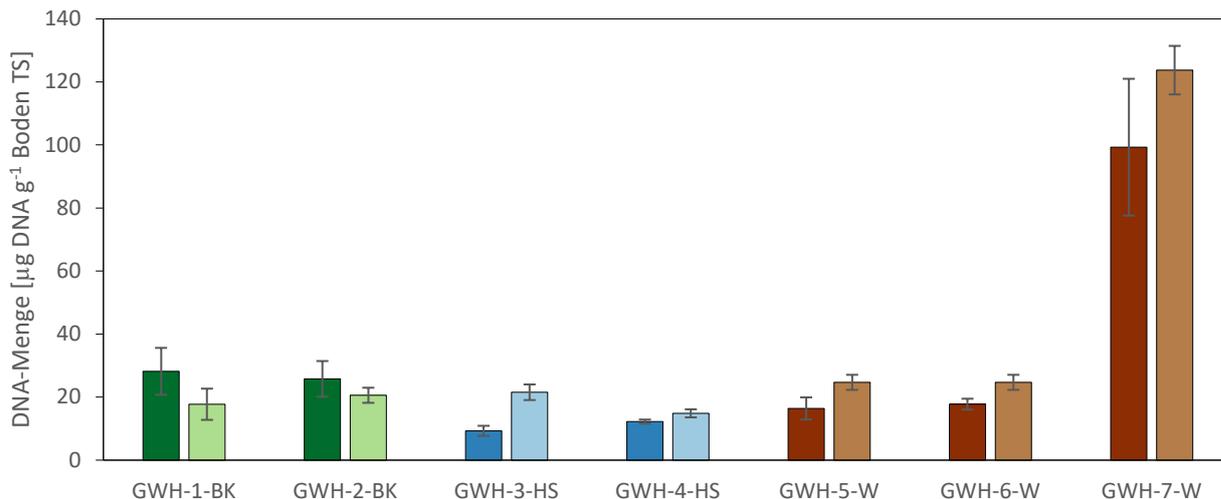


Abbildung 8: DNA-Menge der einzelnen GWHs (dunkel) und Referenzflächen (hell) nach Standort.

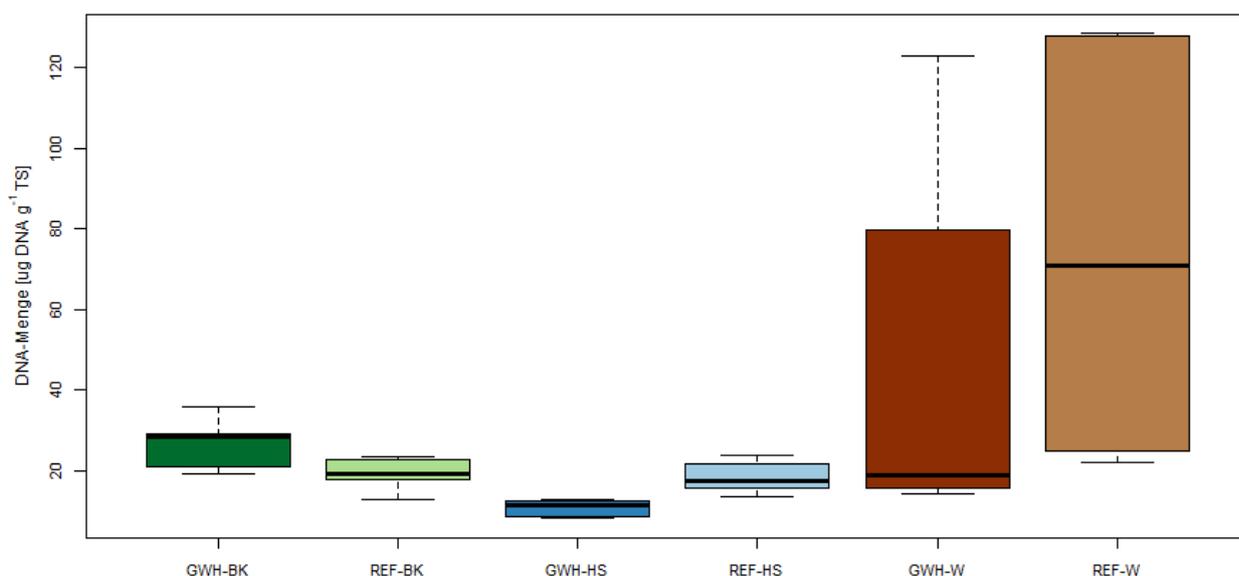


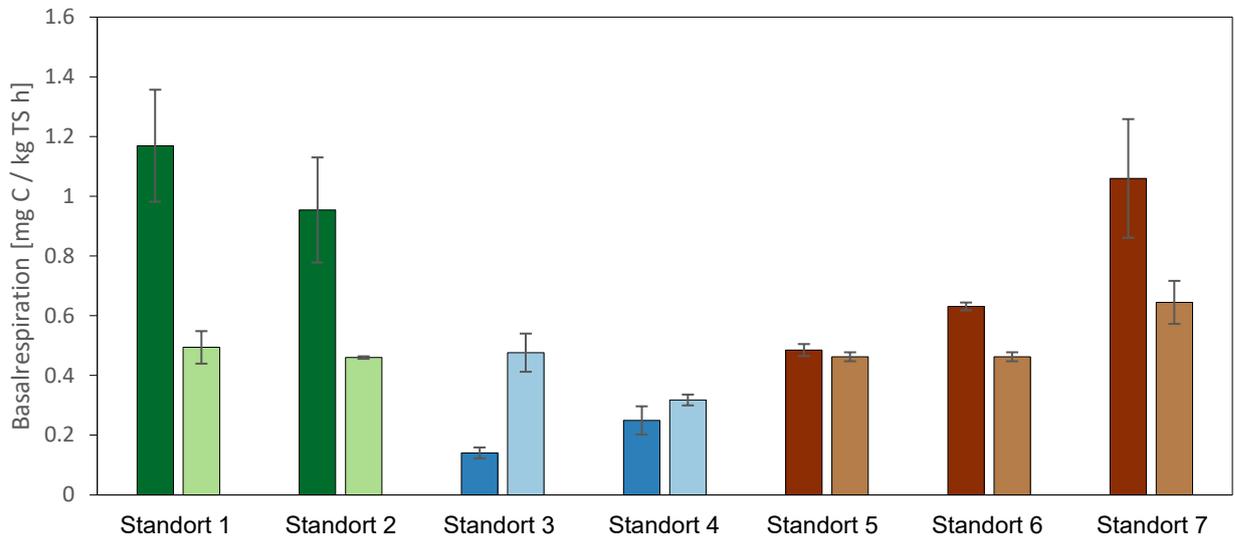
Abbildung 9: DNA-Menge in den untersuchten Anbausystemen

### 4.3.3 Basalrespiration

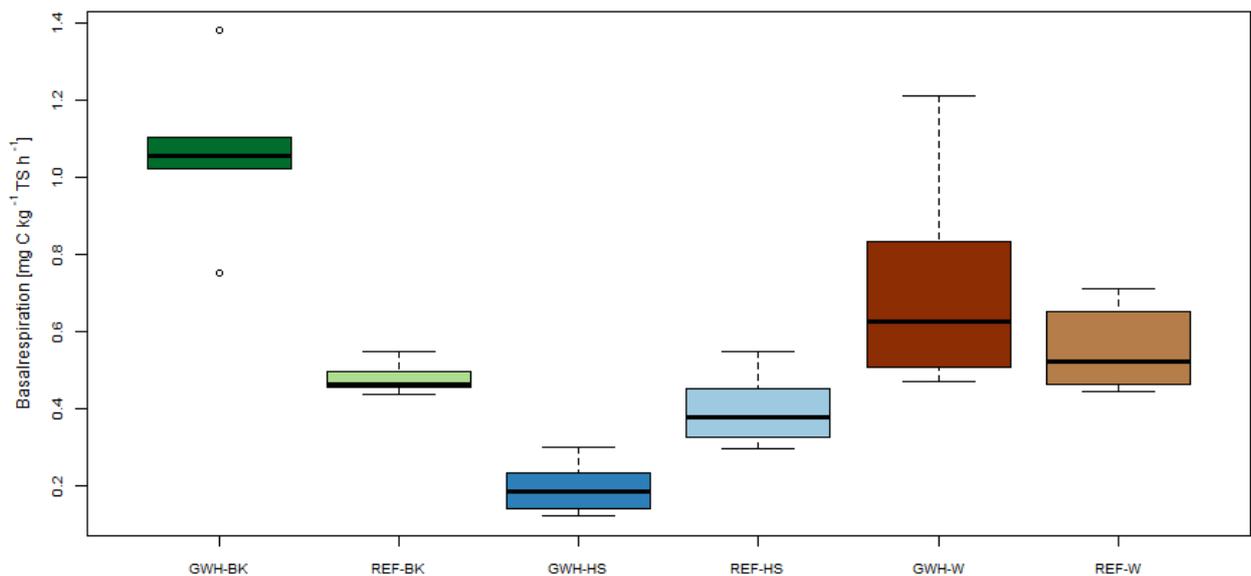
Die GWH mit Anbausystem BK wiesen leicht höhere durchschnittliche Werte der Basalrespiration als die GWH mit Anbausystem W und HS auf. Die Basalrespiration aller Referenzflächen bewegten sich in einem schmalen Bereich und zeigten keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 10, Abbildung 11). Die beiden GWH mit Anbausystem BK zeigten zusammen mit dem GWH auf organischem Boden die höchsten Werte der Basalrespiration von allen untersuchten Böden. Eine leicht kleinere Basalrespiration wurde in den GWH-5-W und GWH-6-W beobachtet. Die tiefste Basalrespiration wiesen die GWH-3-HS und GWH-4-HS auf. Im Vergleich mit den Referenzflächen zeigten alle GWH mit Anbausystem BK und W leicht bis deutlich höhere Werte der Basalrespiration auf als die Referenzflächen. In den GWH mit Anbausystem HS wurde weniger organisches Material

## Resultate

veratmet als auf den Referenzflächen (Abbildung 10). Im Vergleich der Anbausysteme wurde beim Anbausystem BK eine durchschnittliche Basalrespiration von  $1.1 \text{ mg C kg}^{-1} \text{ TS h}^{-1}$ , beim Anbausystem HS  $0.2 \text{ mg C kg}^{-1} \text{ TS h}^{-1}$  und beim Anbausystem W  $0.7 \text{ mg C kg}^{-1} \text{ TS h}^{-1}$  gemessen. Damit unterscheidet sich die durchschnittliche Basalrespiration der Anbausysteme BK und W signifikant vom Anbausystem HS (Pairwise-Wilcox-Test  $p < 0.05$ ).



**Abbildung 10:** Basalrespiration der einzelnen GWHs (dunkel) und Referenzflächen (hell) nach Standort.



**Abbildung 11:** Basalrespiration nach Anbausystemen

### 4.3.4 Metabolischer Quotient

Der metabolische Quotient errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Basalatmung und mikrobieller Biomasse. Aus ihm lassen sich Rückschlüsse auf die Effizienz der Mikroorganismen bei der Nutzung des Substrats ziehen. Je grösser der Wert ist, desto mehr Substrat wird veratmet und desto weniger in die mikrobielle Biomasse eingebaut (Hug et al., 2018; Maurer-Troxler et al., 2009).

Die Quotienten bewegten sich in ähnlichen Grössenordnungen. Es konnten zwei Trends beobachtet werden (Abbildung 12). Einerseits war der metabolische Quotient an allen Standorten mit Ausnahme von Standort 2 im GWH höher als auf der Referenzfläche, und andererseits war bei den GWH mit Anbausystem W der metabolische Quotient in den GWH gegenüber der dazu gehörenden Referenzfläche sogar signifikant höher (Pairwise-Wilcox-Test,  $p < 0.05$ ) (Abbildung 13).

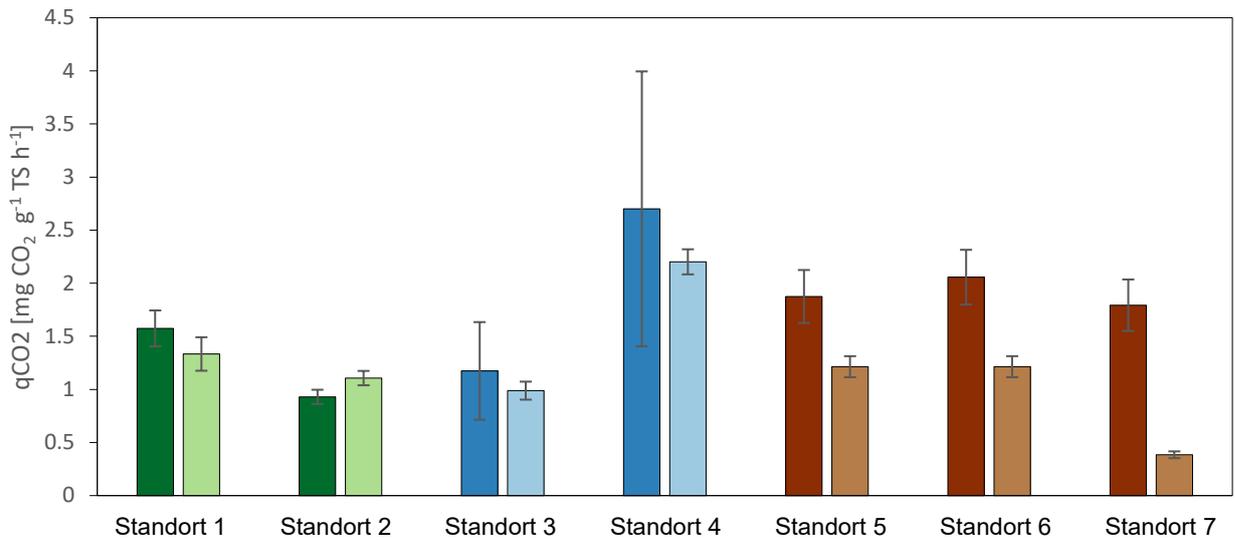


Abbildung 12: Metabolischer Quotient der einzelnen GWHs (dunkel) und Referenzflächen (hell) nach Standort.

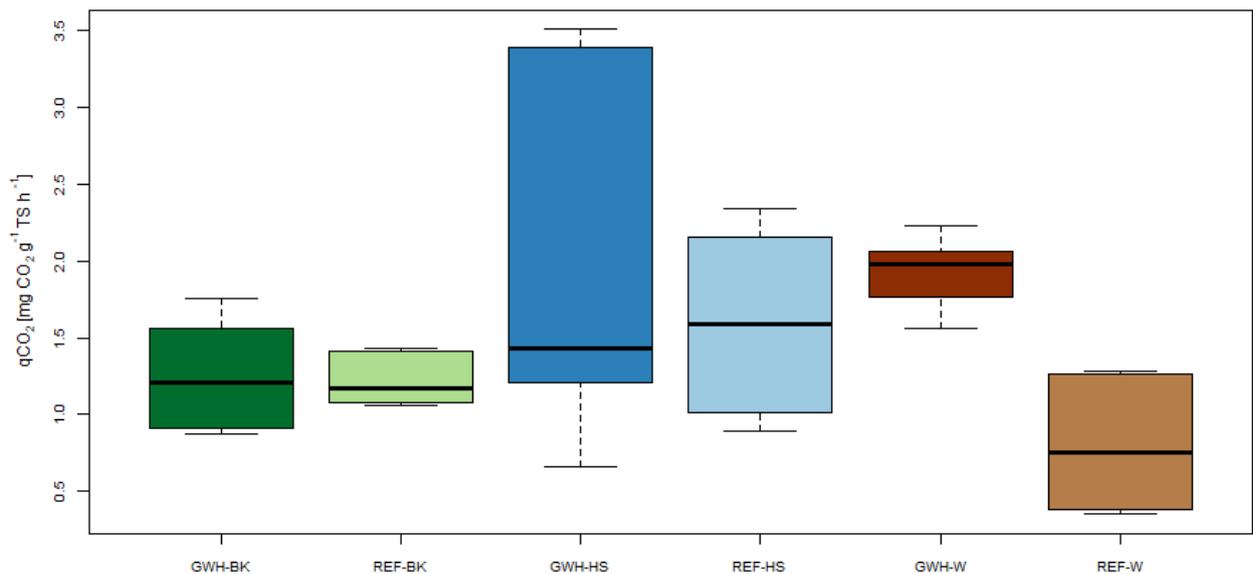


Abbildung 13: Metabolischer Quotient nach Anbausystemen

#### 4.4 Mikrobielle Diversität

Die Bestimmung der amplifizierten DNA-Extrakte mittels Amplicon-Sequenzierung fand extern statt, und die Daten wurden an der WSL ausgewertet. Der Gewächshaus-Datensatz enthielt 359'219 qualitativ hochwertige prokaryotische (bakterielle und archaeale) und 622'634 pilzliche Sequenzen. Insgesamt wurden 4'614 prokaryotische Operational Taxonomic Units (OTU = Art) und 1'565 pilzliche OTUs in den Böden nachgewiesen. Tabelle 11 zeigt die dominierenden Phyla (Stämme) und Generi (Gattungen) der Prokarioten und Pilze.

**Tabelle 11:** Wichtigste prokaryotische (links) und pilzliche (rechts) Phyla (oben) und Genera (unten) mit ihrer relativen Abundanz und der Anzahl Operational Taxonomic Units (OUT).

<b>Prokaryotische Phyla</b>	<b>Relative Abundanz</b>	<b>OUT</b>		<b>Pilzliche Phyla</b>	<b>Relative Abundanz</b>	<b>OUT</b>
Proteobacteria	27%	1'000		Ascomycota	88%	779
Actinobacteria	13%	355		Basidiomycota	6.5%	226
Planctomycetes	12%	672		Mucoromycota	2.5%	17
Thaumarchaeota	11%	21		Mortierellomycota	1.4%	43
Acidobacteria	11%	391				
Chloroflexi	10%	561				
Bacteroidetes	6%	256				

<b>Prokaryotische Generi</b>	<b>Relative Abundanz</b>		<b>Pilzliche Generi</b>	<b>Relative Abundanz</b>
Sphingomonas	2.4%		Pencillium	17.2%
Bacillus	1.6%		Pseudogymnoascus	16.5%
Pedomicrobium	1.5%		Leucothecium	15.6%
Pseudoarthrobacter	1.1%		Trichoderma	11.4%
Pirellula	1.1%		Apiotrichum	4.8%
Gaiella	1.1%		Gymnoascus	2.8%
Lysobacter	0.9%		Mucor	2.5%
Knoellia	0.9%		Chrysosporium	2.0%
Streptomyces	0.9%		Humicola	1.7
Anaerolinea	0.9%		Auxarthon	1.6

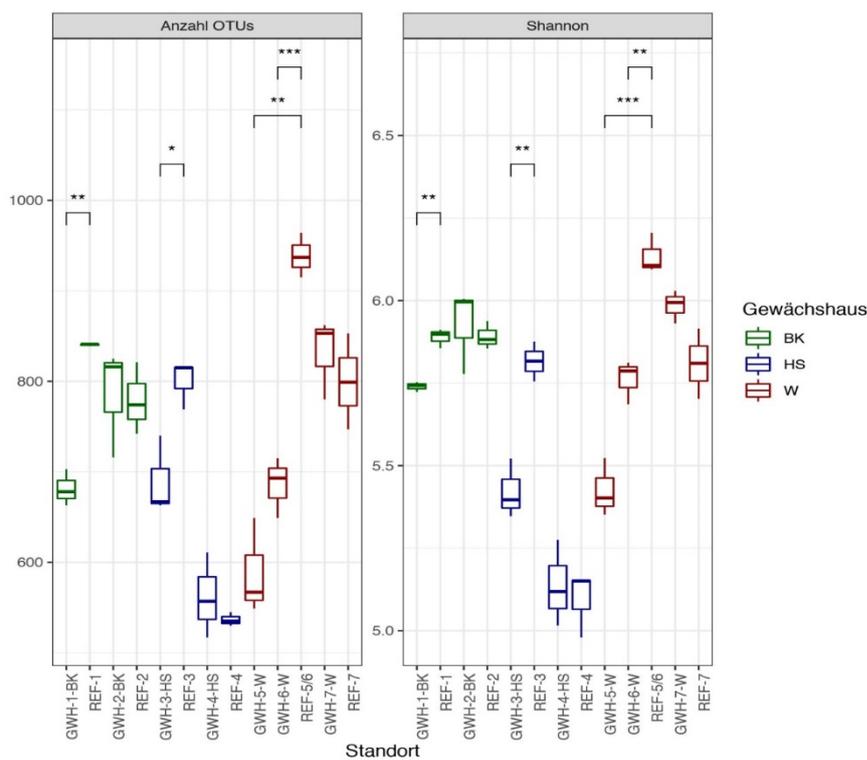
##### 4.4.1 Gewächshauseinflüsse auf die mikrobielle Alphadiversität

Es gibt verschiedene Messwerte zur Erhebung der Alphadiversität. Hier dokumentieren wir den Artenreichtum (Anzahl Taxa oder Anzahl OTUs) und den Shannondiversitätsindex. Die Anzahl der nachgewiesenen bakteriellen Taxa lag zwischen 550 und 950 (Abbildung 14). Es gab grössere Unterschiede zwischen den Standorten in den Gewächshäusern. Am tiefsten war die Alphadiversität beim Standort 4 (550 OTUs) und am höchsten am Standort 7 (830 OTUs). Die bakterielle Alphadiversität (Anzahl Taxa; Shannon) wurde durch Gewächshäuser beeinflusst. Generell war die Alphadiversität von Bakterien in den Referenzböden höher als in Gewächshausböden (z.B. statistisch erhöht in GWH-1-BK; GWH-3-HS, GWH-5-W, GWH-6-W).

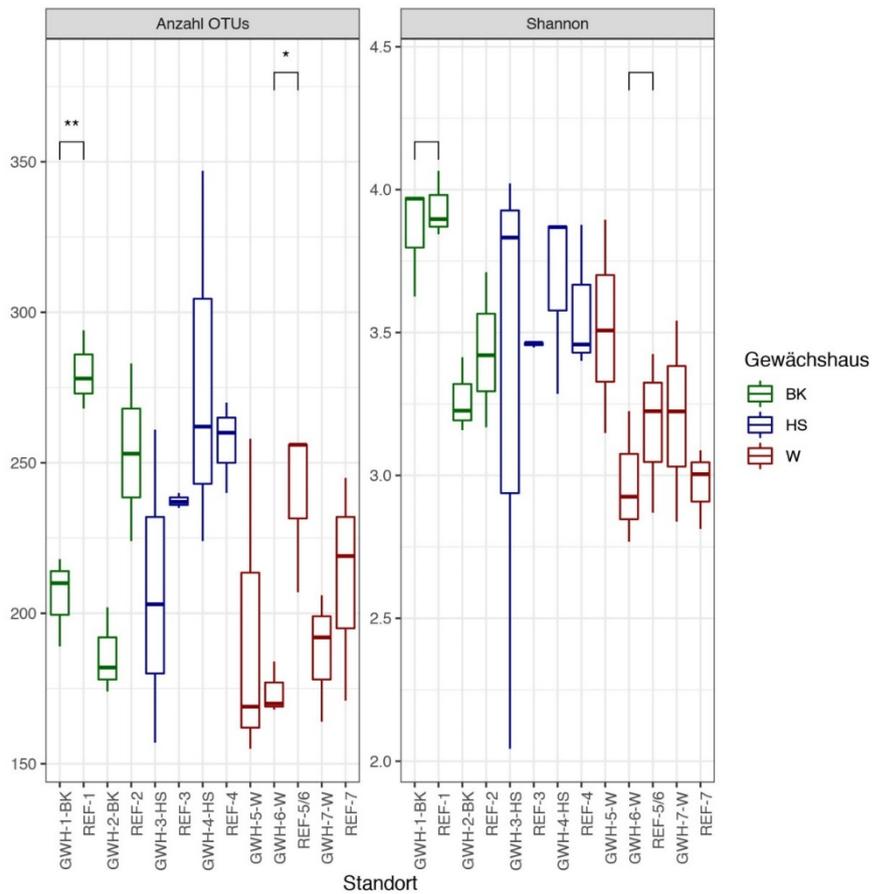
Die Anzahl der nachgewiesenen pilzlichen Taxa lag zwischen 160 und 350 (Abbildung 15). Generell gab es keine grossen Unterschiede zwischen den Standorten in den Gewächshäusern. Jedoch war wie auch schon bei den Bakterien tendentiell eine grössere Vielfalt in den Referenzböden als in den Gewächshausböden zu beobachten. An zwei Standorten war die Alphadiversität (Anzahl Taxa) von Pilzen signifikant höher in den Referenzböden als in den Gewächshausböden (z.B. GWH-1-BK; GWH-6-W).

#### 4.4.2 Gewächshauseinflüsse auf die mikrobiellen Gemeinschaftsstrukturen (Betadiversität)

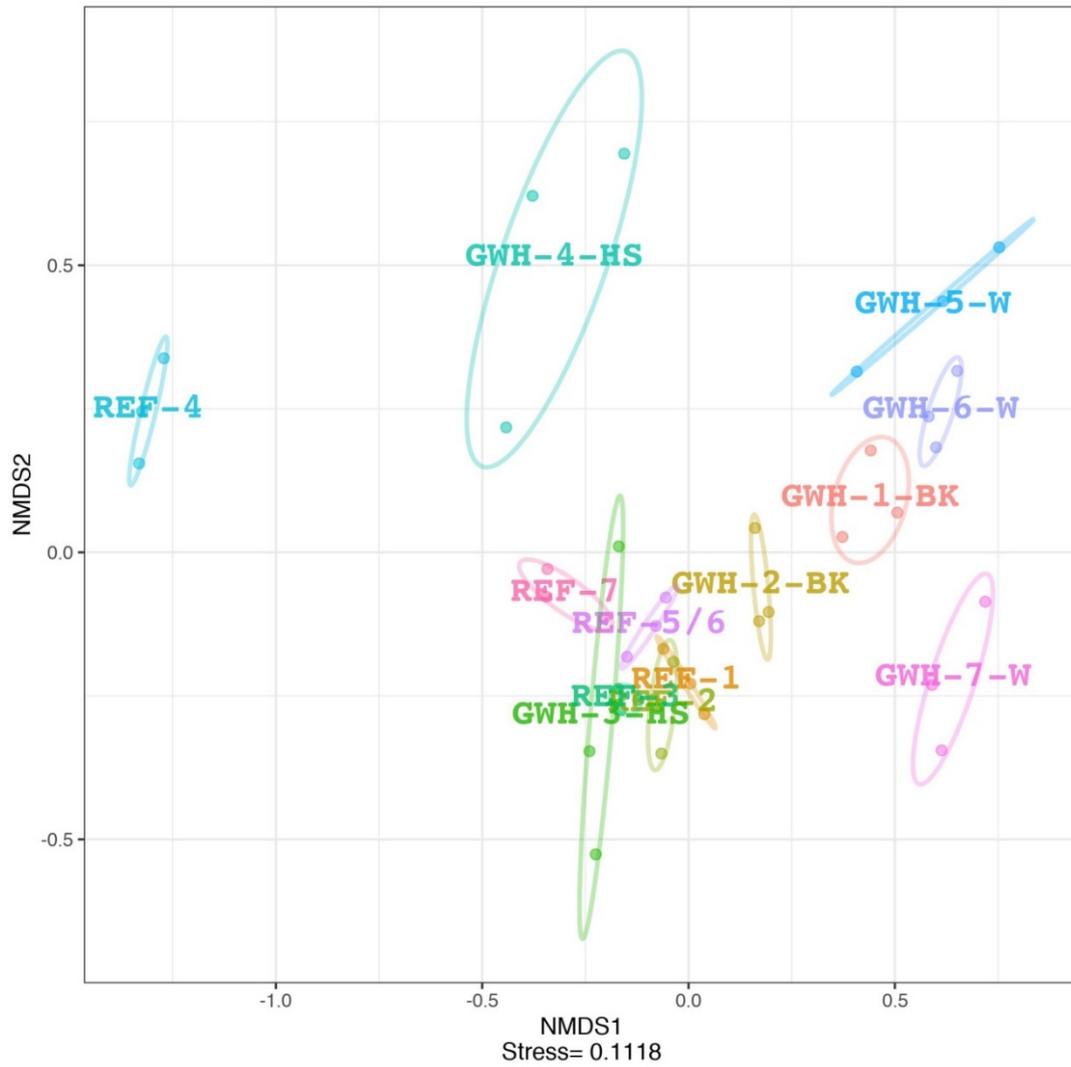
Unsere Untersuchungen zeigten, dass sowohl der Standort als auch die Art GWH Anbausystem einen signifikanten Einfluss auf die bakteriellen (Abbildung 16 - Abbildung 18) und pilzlichen (Abbildung 19 - Abbildung 21) Gemeinschaftsstrukturen haben. Dabei war der Standort der am stärksten bestimmende Faktor, folgend von Gewächshaus (Referenz versus GWK) und dem Anbausystem (BK, HS, W) im Gewächshaus (Abbildung 17). Die bakteriellen Gemeinschaften in REF-4 (tiefer Boden-pH) unterscheiden sich stark von den anderen Standorten mit neutralem pH (Abbildung 16). Eine Ordination erlaubt eine graphische Darstellung (Abbildung 16 - Abbildung 21), wobei die Differenz der mikrobiellen Gemeinschaftsstrukturen in den unterschiedlichen Gewächshäusern ersichtlich ist (Abbildung 17, Abbildung 20). Dies wird auch durch eine kanonische Analyse der Hauptkoordinaten (CAP) gestützt (Abbildung 18, Abbildung 21). Eine nicht parametrische ANOVA (PERMANOVA) erlaubt den Einfluss von Gewächshausboden auf die mikrobiellen Gemeinschaften zu testen. Für Bakterien gab es signifikante Unterschiede zwischen Referenzboden und Gewächshausboden für die folgenden Anbausysteme (REF BK versus GWH BK,  $P = 0.045$ ; REF W versus GWH W,  $P = 0.015$ ). Aber es wurden keine signifikanten Unterschiede im Anbausystem HS (REF HS versus GWH HS,  $P = 0.645$ ) festgestellt. Pilze dagegen wurden stärker durch die Anbausysteme in Gewächshäusern verändert als die Bakterien. So unterschieden sich die Pilzgemeinschaften in allen GWH Anbausystemen (REF BK versus GWH BK,  $P = 0.015$ ; REF W versus GWH W,  $P = 0.03$ ; REF HS versus GWH HS,  $P = 0.045$ ) von deren Referenzböden.



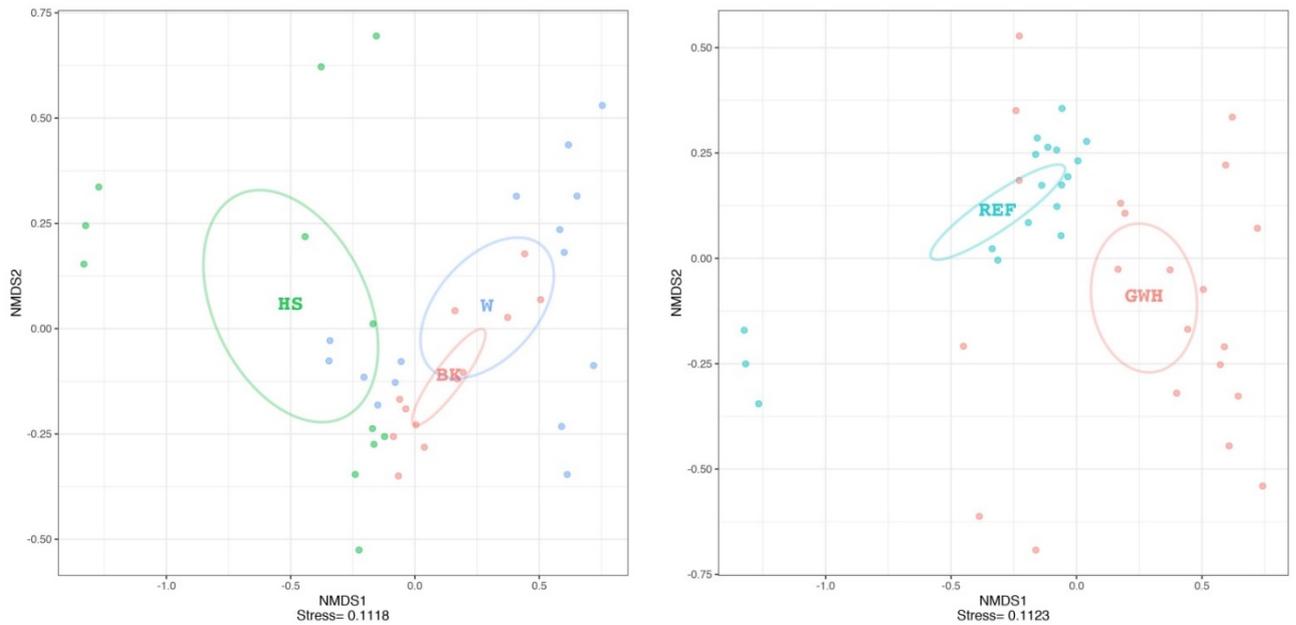
**Abbildung 14:** Alphadiversität (Anzahl OTUs und Shannondiversitätsindex) der Bakterien. Gewächshausboden wurden jeweils mit dem Referenzboden des entsprechenden Standorts verglichen. Sterne bedeuten statische Unterschiede ( $P$ -Wert < 0.05) zwischen Gewächshausboden und Referenzböden.



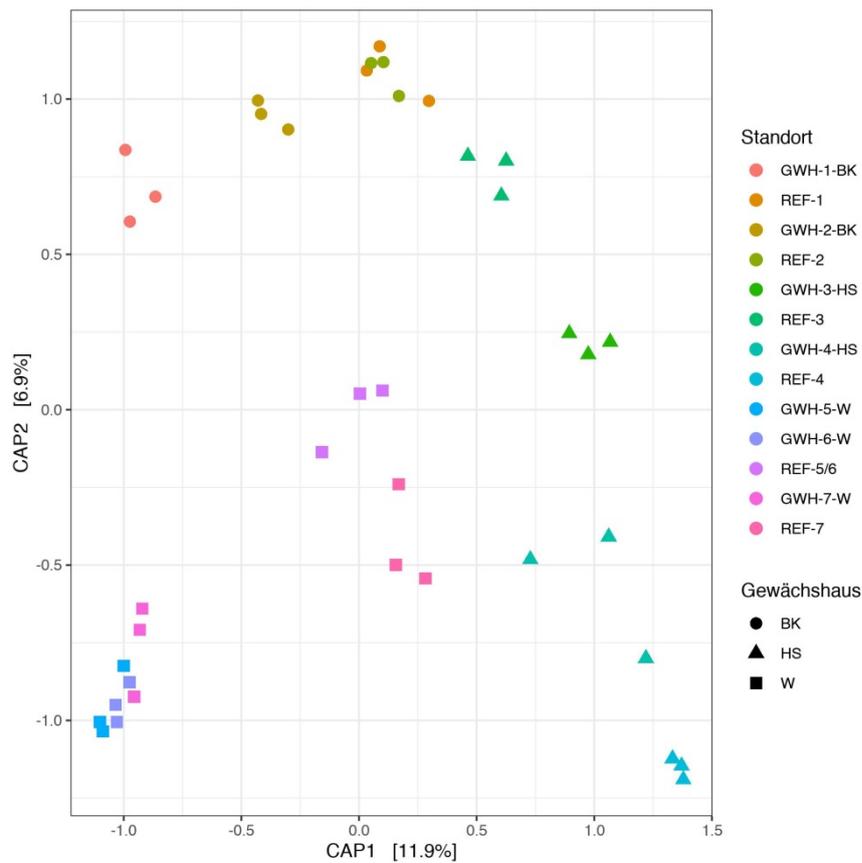
**Abbildung 15:** Alphadiversität (Anzahl OTUs und Shannondiversitätsindex) der Pilze. Gewächshausboden wurden jeweils mit dem Referenzboden des entsprechenden Standorts verglichen. Sterne bedeuten statische Unterschiede ( $P$ -Wert  $< 0.05$ ) zwischen Gewächshausboden und Referenzboden.



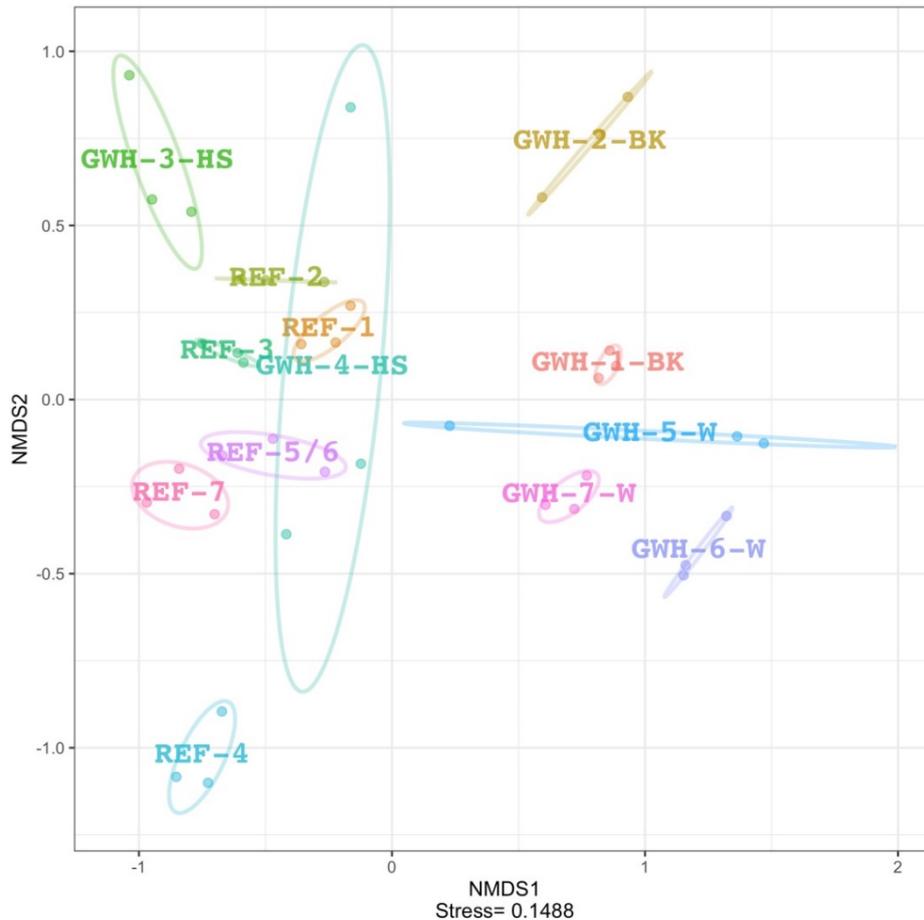
**Abbildung 16:** Ordination (NMDS, nicht-metrische multidimensionale Skalierung) der bakteriellen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWHs (GWH) und Referenzflächen (REF). Die Standorte wurden durch verschiedene Farben dargestellt. Die Kreise stellen das 95% Konfidenzintervall (Präzision der Lageschätzung) dar.



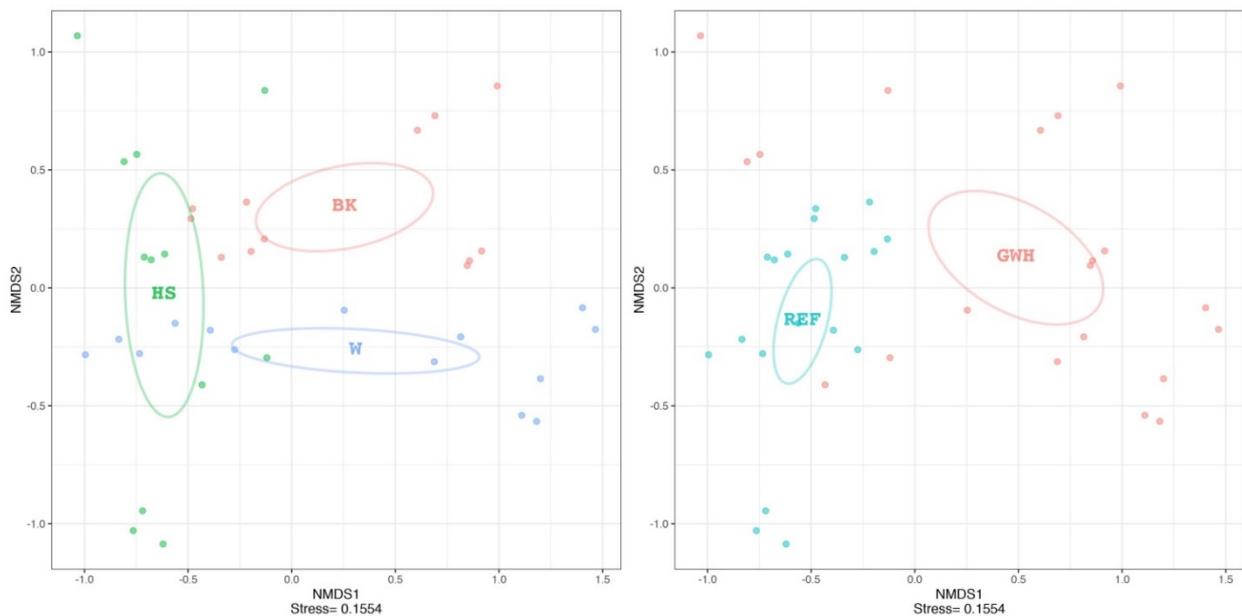
**Abbildung 17:** Ordination (NMS, nicht-metrische multidimensionale Skalierung) der bakteriellen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWH Anbausystemen BK, HS und W (links) und zwischen GWH und Referenzböden (rechts). Die Kreise stellen das 95% Konfidenzintervall (Präzision der Lageschätzung) dar. Die bakteriellen Gemeinschaftsstrukturen unterscheiden sich zwischen den Anbausystemen in den Gewächshäusern (links) und zwischen den Gewächshausböden und Referenzböden (rechts).



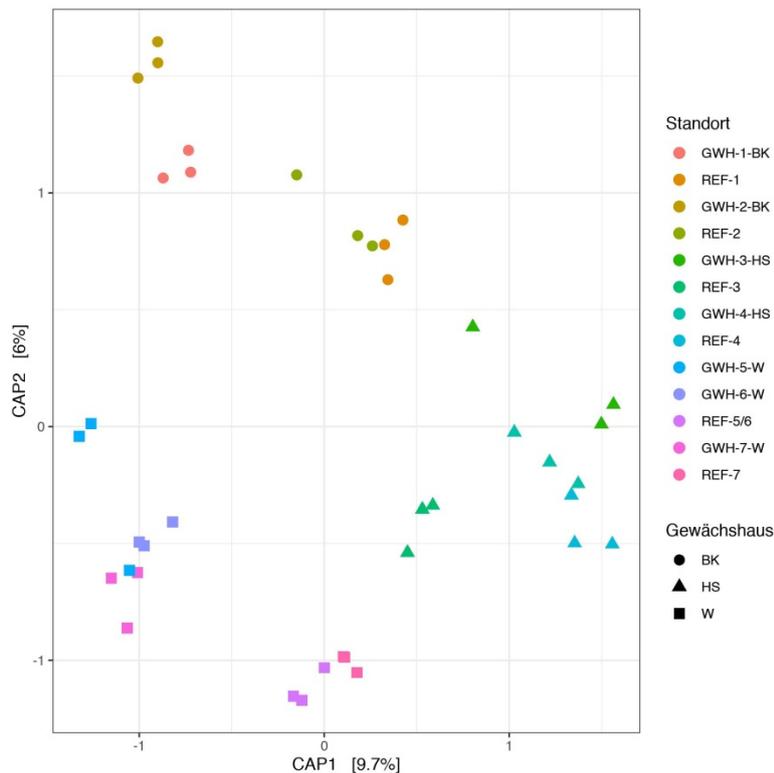
**Abbildung 18:** Ordination (CAP, kanonische Analyse der Hauptkoordinaten) der bakteriellen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWHs und Referenzflächen. Die GWH Anbausysteme wurden durch verschiedene Symbole und die Standorte durch verschiedene Farben dargestellt.



**Abbildung 19:** Ordination (NMDS, nicht-metrische multidimensionale Skalierung) der pilzlichen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWHs (GWH) und Referenzflächen (REF). Die Standorte wurden durch verschiedene Farben dargestellt. Die Kreise stellen das 95% Konfidenzintervall (Präzision der Lageschätzung) dar.



**Abbildung 20:** Ordination (NMDS, nicht-metrische multidimensionale Skalierung) der pilzlichen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWH Anbausystemen BK, HS und W (links) und zwischen GWH und Referenzböden (rechts). Die Kreise stellen das 95% Konfidenzintervall (Präzision der Lageschätzung) dar. Die pilzlichen Gemeinschaftsstrukturen unterscheiden sich zwischen den Anbausystemen in den Gewächshäusern (links) und zwischen den Gewächshausböden und Referenzböden (rechts).

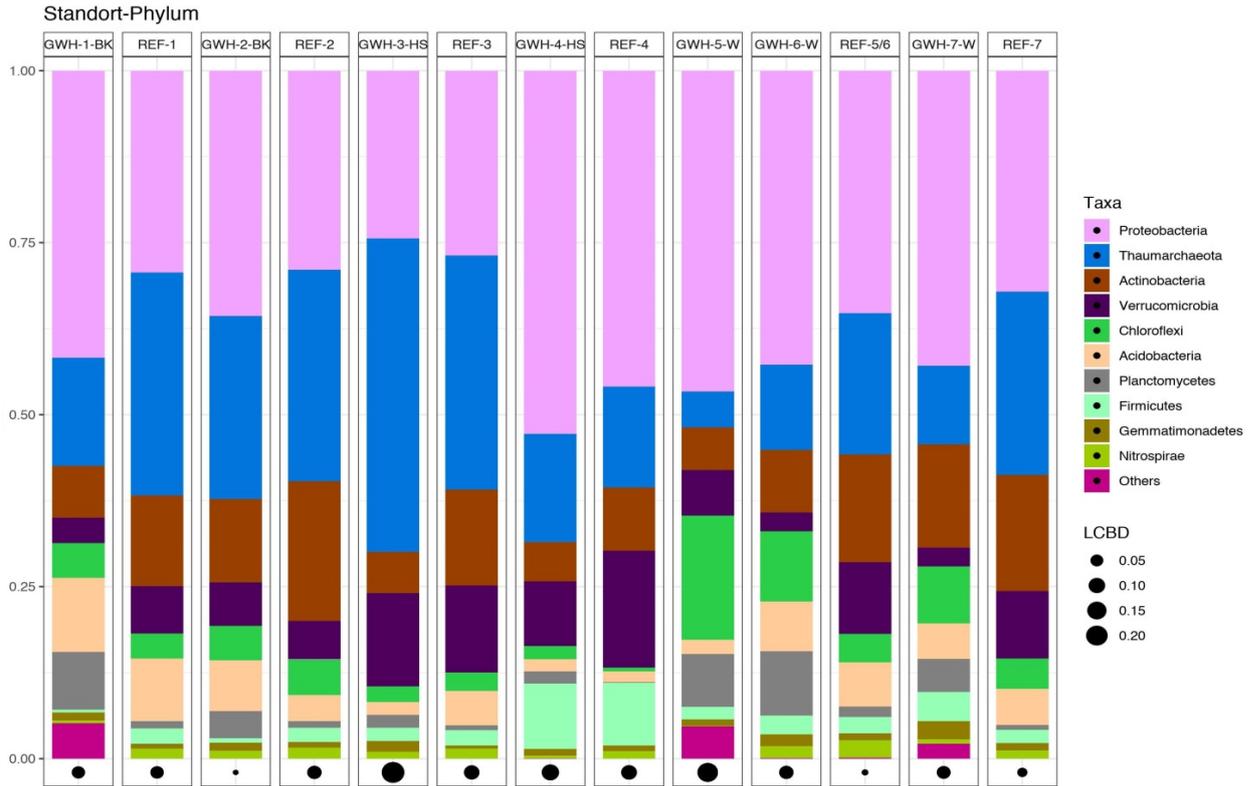


**Abbildung 21:** Ordination (CAP, kanonische Analyse der Hauptkoordinaten) der pilzlichen Gemeinschaftsstrukturen in den einzelnen GWHs und Referenzflächen. Die GWH Anbausysteme wurden durch verschiedene Symbole und die Standorte durch verschiedene Farben dargestellt.

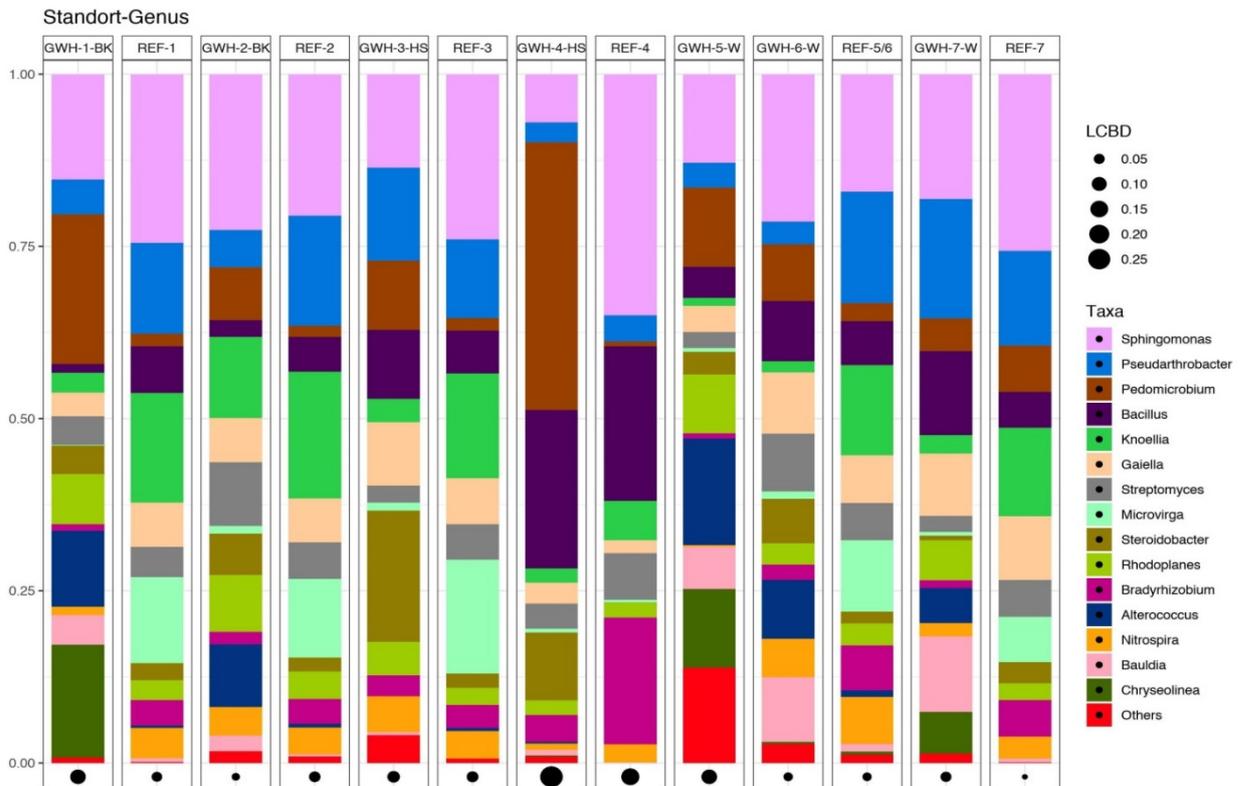
#### 4.4.3 Taxonomische Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften

Die taxonomische Zusammensetzung der Mikroben in den verschiedenen Gewächshausböden und Referenzböden ist in den Abbildungen 22 bis 25 dargestellt. Die Zusammensetzung der Pilze auf höchster taxonomischer Stammesebene (Phylum) sind sehr ähnlich zwischen den Proben, wogegen die Bakterien zwischen den Referenz- und Gewächshausböden stärker variieren (Abbildung 22, Abbildung 24). Bei den Bakterien ist auffallend, dass die Gattung *Streptomyces* in einigen Gewächshausböden (z.B. in GWH-1-BK, GWH-2-BK und GWH-6-W) vermehrt vorkommen verglichen mit den entsprechenden Referenzböden (Abbildung 23). *Streptomyces* hat antibiotische Eigenschaften und wird in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt. In einigen Gewächshausböden (GWH-1-BK, GWH-2-BK, GWH-5-W und GWH-6-W und GWH-7-W) wurde auch die Gattung *Bauldia* vermehrt nachgewiesen. In allen Gewächshausböden traten auch vermehrt *Pedomicrobium* auf (Abbildung 23). Beide Gattungen haben die Fähigkeit Stickstoff aus der Luft im Boden zu fixieren.

Auffallend ist, dass in einigen Gewächshausböden vermehrt *Trichoderma* Pilze (z.B. in GWH-1-BK, GWH-2-BK, GWH-5-W und GWH-6-W) gefunden wurden (Abbildung 25). Diese Pilze werden in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt. Auffällig ist auch das vermehrte Vorkommen von *Pseudogymnoascus* Pilzen (in GWH-1-BK, GWH-2-BK, GWH-5-W und GWH-7-W). In einigen Gewächshäusern finden wir auch vermehrt pathogene Pilze wie *Penicillium* (GWH-1-BK, GWH-2-BK, GWH-3-HS).

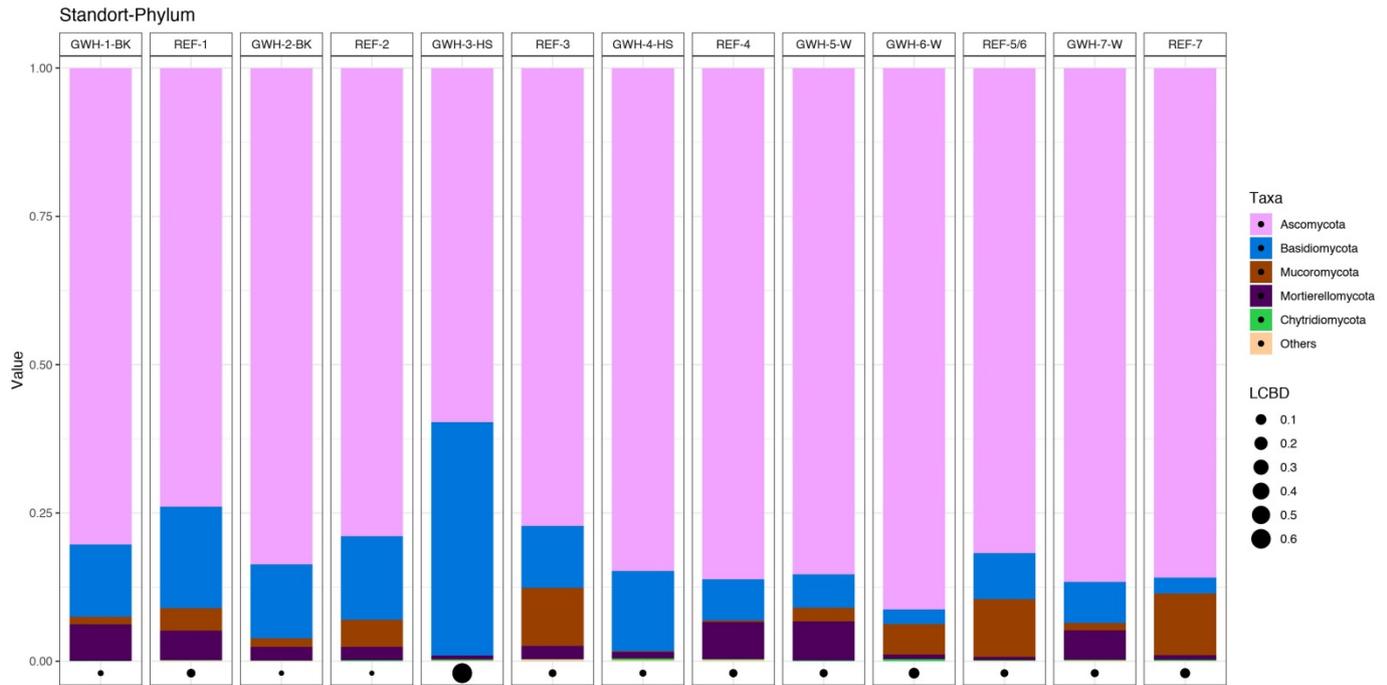


**Abbildung 22:** Taxonomische Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaften auf höchster taxonomischer Ebene (Phylum) in den einzelnen GWHs und Referenzböden. Die Legende zeigt die 10 häufigsten vorkommenden Gruppen. Der lokale Beitrag zur Betadiversität (LCBD) wird durch die Grösse des Kreises unterhalb der Balken dargestellt.

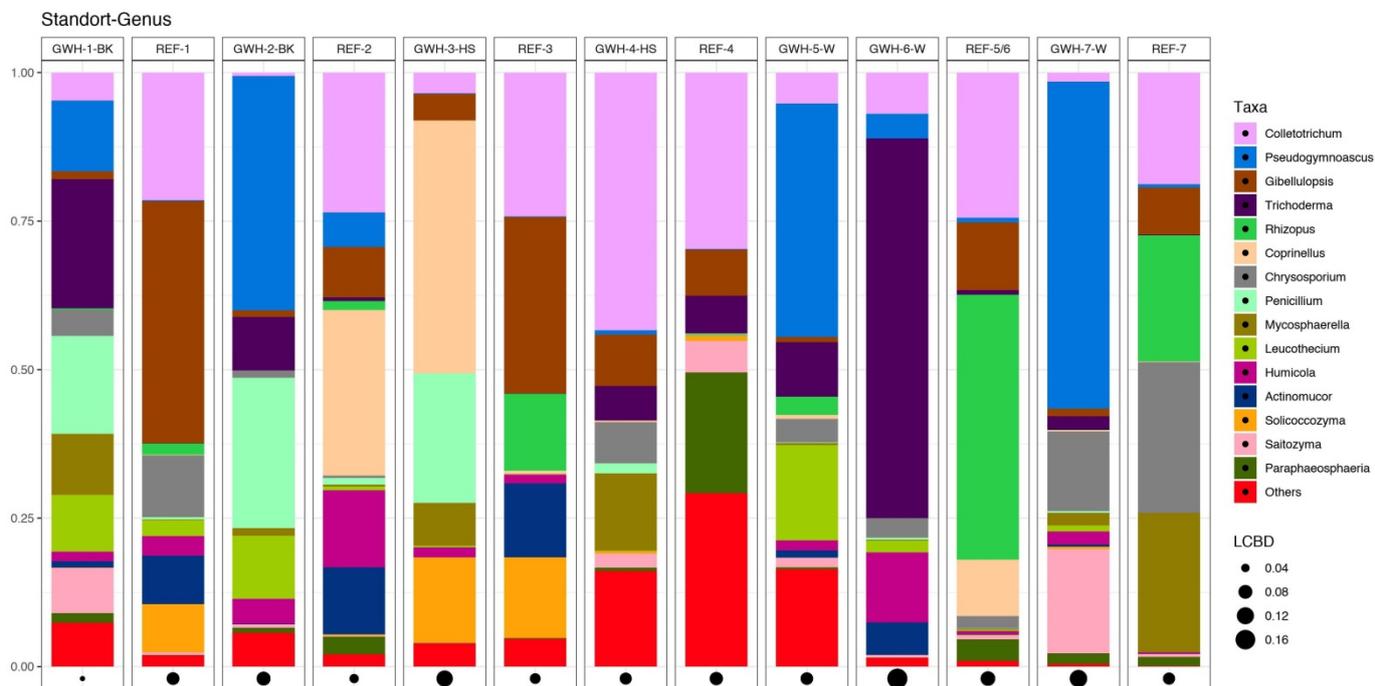


**Abbildung 23:** Taxonomische Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaften auf tiefster taxonomischer Ebene (Gattung) in den einzelnen GWHs und Referenzböden. Die Legende zeigt die 15 häufigsten vorkommenden Genera. Der lokale Beitrag zur Betadiversität (LCBD) wird durch die Grösse des Kreises unterhalb der Balken dargestellt.

## Resultate



**Abbildung 24:** Taxonomische Zusammensetzung der pilzlichen Gemeinschaften auf höchster taxonomischer Ebene (Phylum) in den einzelnen GWHs und Referenzböden. Die Legende zeigt die 5 häufigsten vorkommenden Gruppen. Der lokale Beitrag zur Betadiversität (LCBD) wird durch die Grösse des Kreises unterhalb der Balken dargestellt.



**Abbildung 25:** Taxonomische Zusammensetzung der pilzlichen Gemeinschaften auf tiefster taxonomischer Ebene (Gattung) in den einzelnen GWHs und Referenzböden. Die Legende zeigt die 15 häufigsten vorkommenden Genera. Der lokale Beitrag zur Betadiversität (LCBD) wird durch die Grösse des Kreises unterhalb der Balken dargestellt.

#### 4.4.4 Differentielle Häufigkeitsanalyse von Bakterien und Pilzen

Um mikrobielle Zeiger für Gewächshausböden nachweisen zu können, braucht es eine Bestimmung auf tieferer taxonomischer Ebene mit besserer Auflösung (Ebene Gattung oder Genus). Dazu wurden die häufigsten bakteriellen und pilzlichen Taxa in Gewächshausböden und Referenzböden dargestellt. Dazu wurde auch eine differentielle Häufigkeitsanalyse durchgeführt, die eine Ansammlung von Gattungen (Arten) in den Gewächshausböden anzeigen.

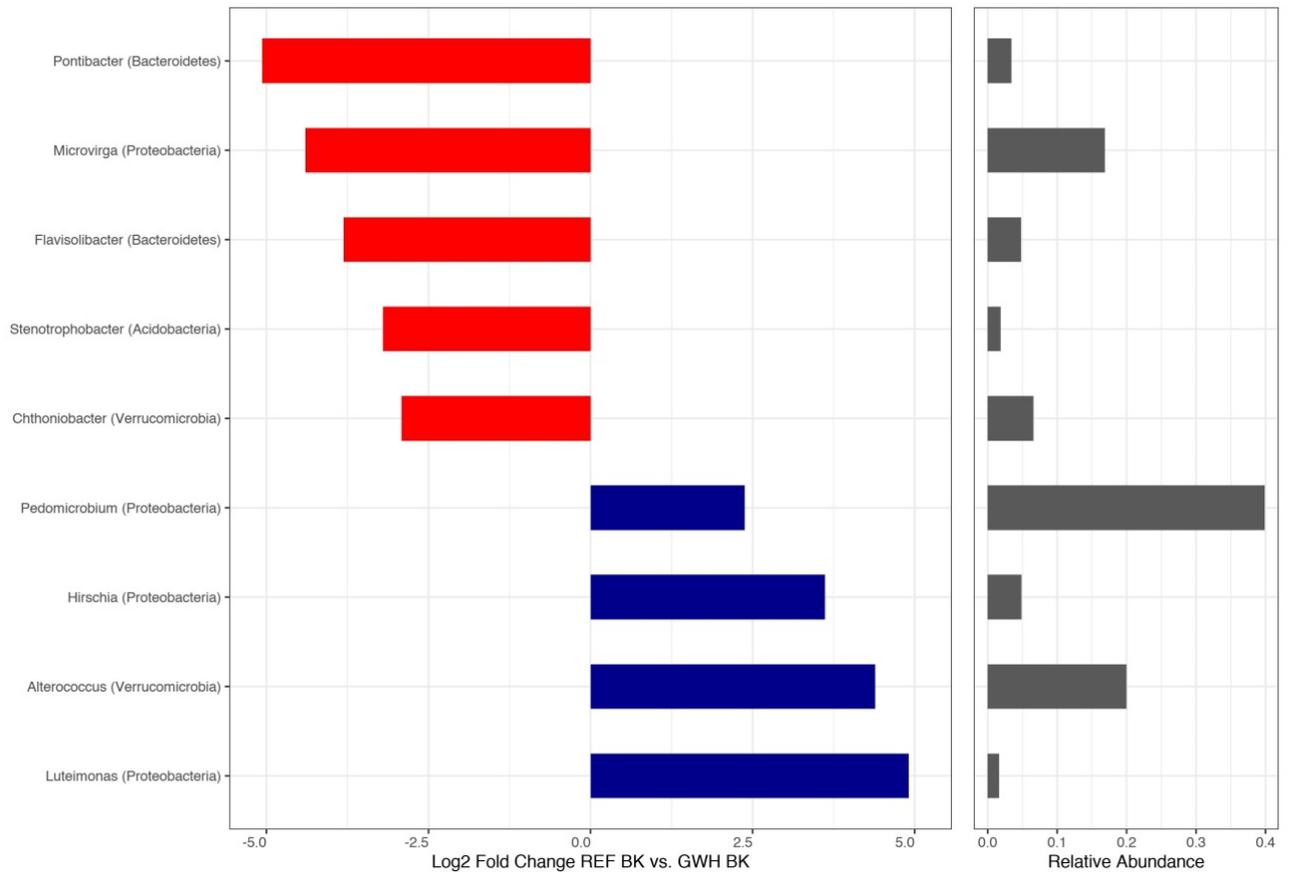
Die folgenden Abbildungen zeigen eine differenzierte Häufigkeitsanalyse zwischen Gewächshausböden und Referenzböden für Bakterien (Abbildung 26, Abbildung 27) und Pilze (Abbildung 28, Abbildung 29). Gezeigt sind alle signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlichen Taxa auf Ebene Gattung (Arten), deren Häufigkeit durch die GWH Anbausysteme verändert wurde. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) sind resp. häufiger in den Referenzböden vorkommen. Diese Abbildungen informieren über mögliche Zeiger für Gewächshausböden.

Gewächshaus-assoziierte Bakterien (Abbildung 26, Abbildung 27) waren vorwiegend die Gattungen *Luteimonas* (Proteobacteria), *Alterococcus* (Verrucomicrobia), *Rhodomicrobium* (Proteobacteria), *Pedomicrobium* (Proteobacteria) und *Hirschia* (Proteobacteria).

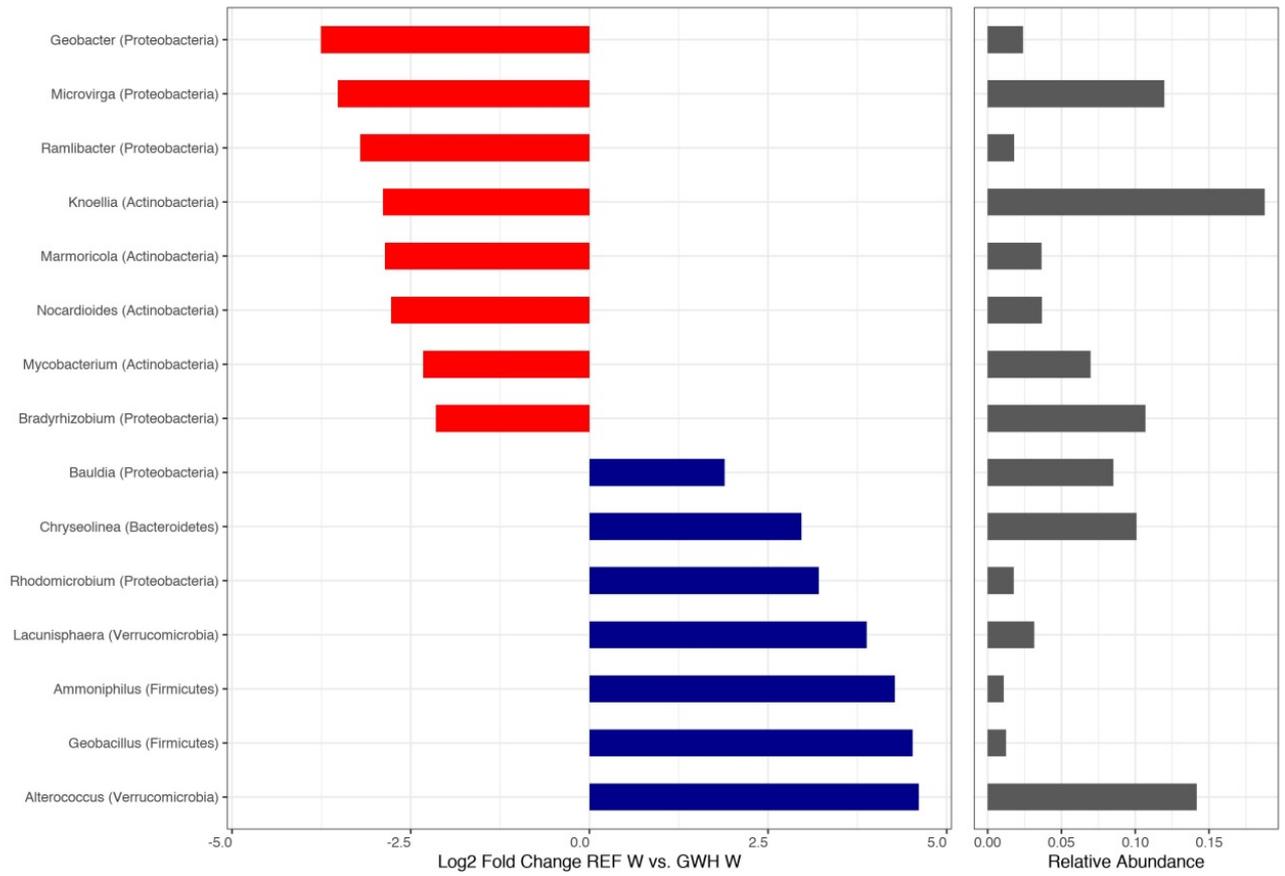
Gewächshaus-assoziierte Pilze (Abbildung 28 - Abbildung 30) dagegen waren vorwiegend phytopathogene Gattungen wie *Penicillium* (Ascomycota), *Verticillium* (Ascomycota), *Aspergillus* (Ascomycota) und *Pseudogymnoascus* (Ascomycota); saprophytische Pilze wie *Coprinellus* (Basidiomycota), *Humicola* (Ascomycota) und *Mucor* (Mucoromycota); Hefepilze wie *Candida* (Ascomycota) und *Saitozyma* (Ascomycota) und Biocontrol-Pilze aus dem Phylum Ascomycota wie *Metarhizium*, *Trichoderma* und *Beauveria*.

## Resultate

---

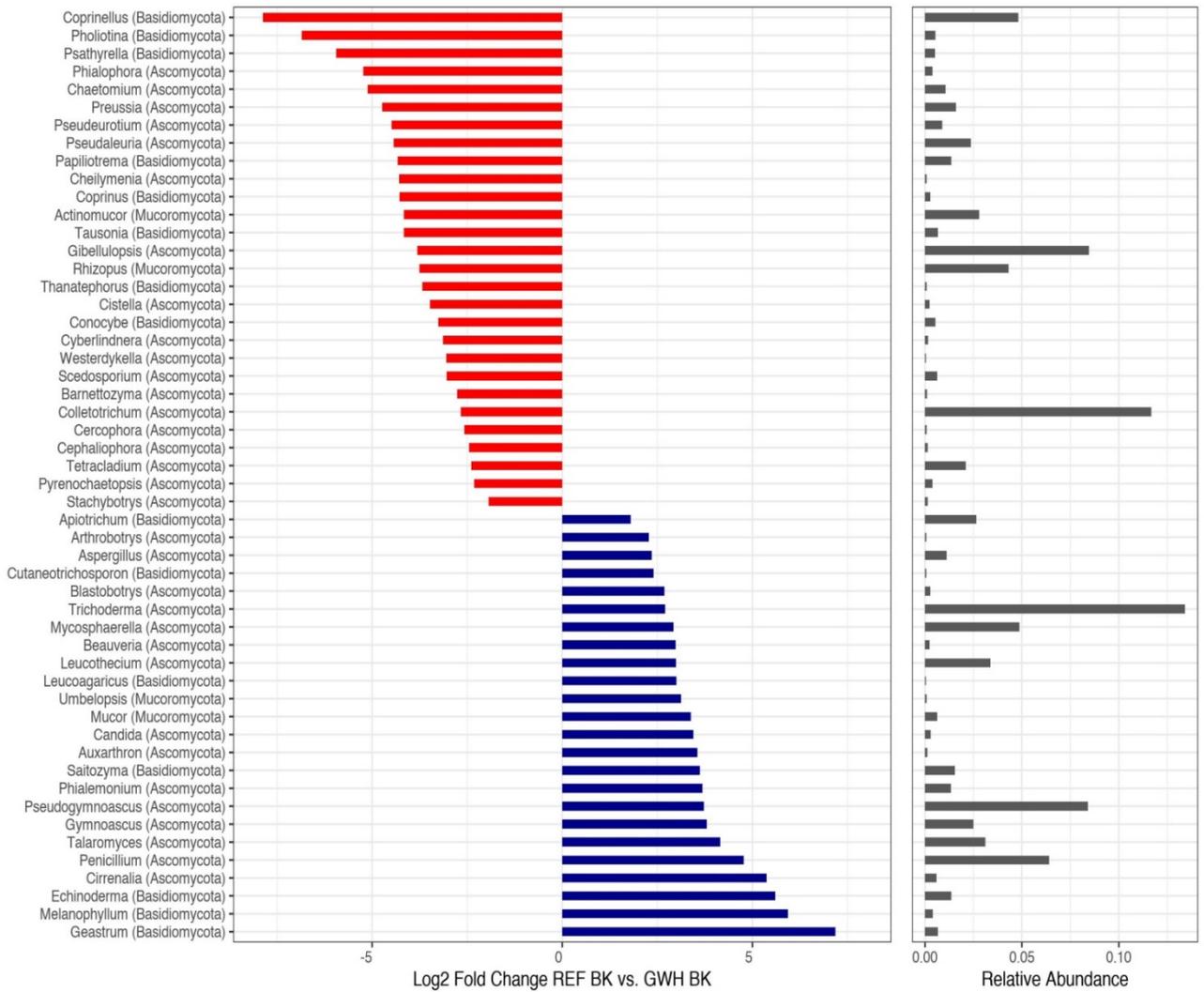


**Abbildung 26:** Differenzierte Häufigkeitsanalyse (2-fache Erhöhung) zwischen Gewächshausböden und Referenzböden. Signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlich häufig vorkommenden Bakterien Gattungen (Genera) in Gewächshausböden (links). Vergleich zwischen GWH Anbausystem BK und Referenzböden. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) auftreten. Die relative Häufigkeit der einzelnen Gattungen sind auf dem rechten Bild angezeigt.

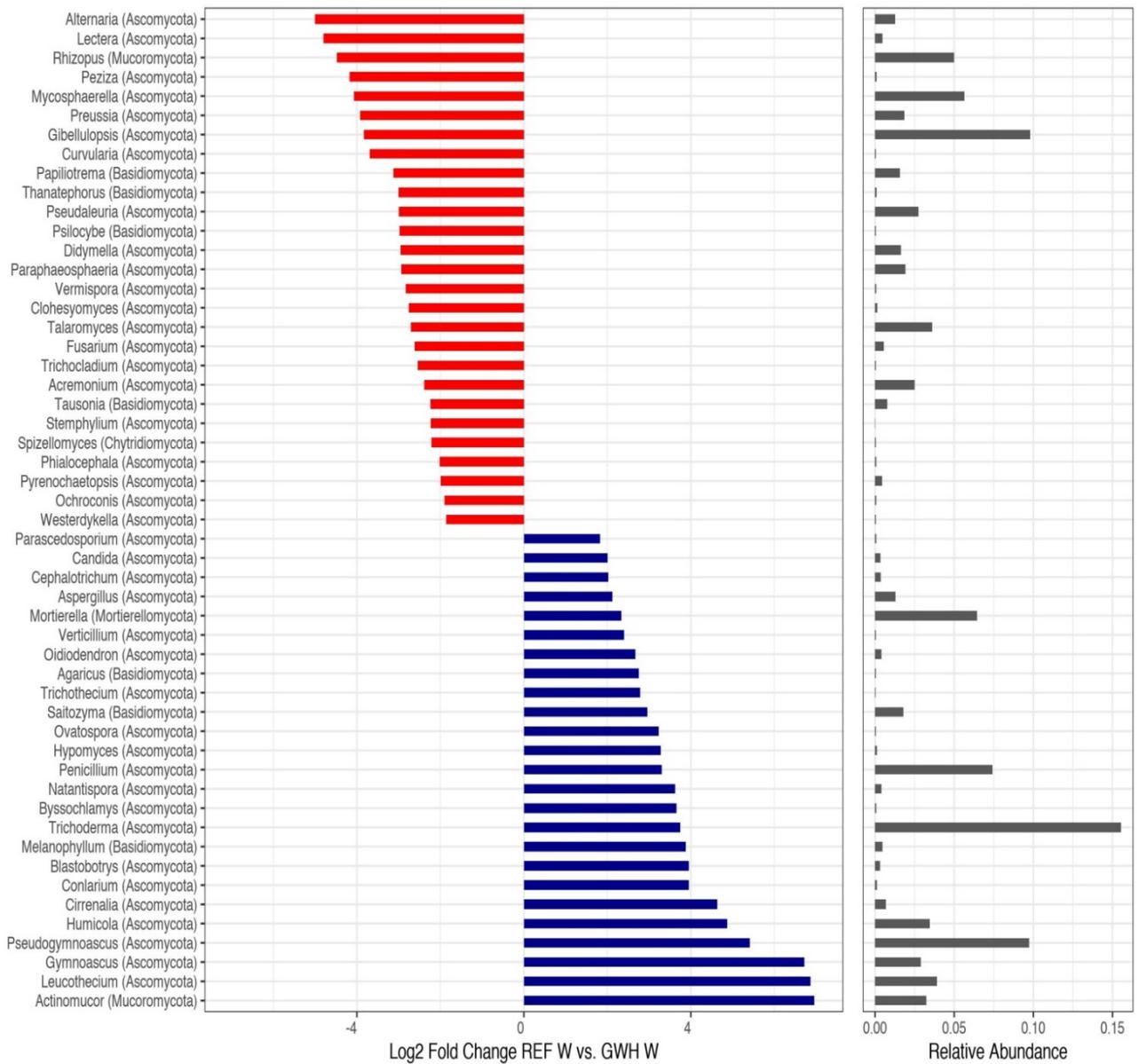


**Abbildung 27:** Differenzierte Häufigkeitsanalyse (2-fache Erhöhung) zwischen Gewächshausböden und Referenzböden. Signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlich häufig vorkommenden Bakterien Gattungen (Genera) in Gewächshausböden (links). Vergleich zwischen GWH Anbausystem W und Referenzböden. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) auftreten. Die relative Häufigkeit der einzelnen Gattungen sind auf dem rechten Bild angezeigt.

## Resultate

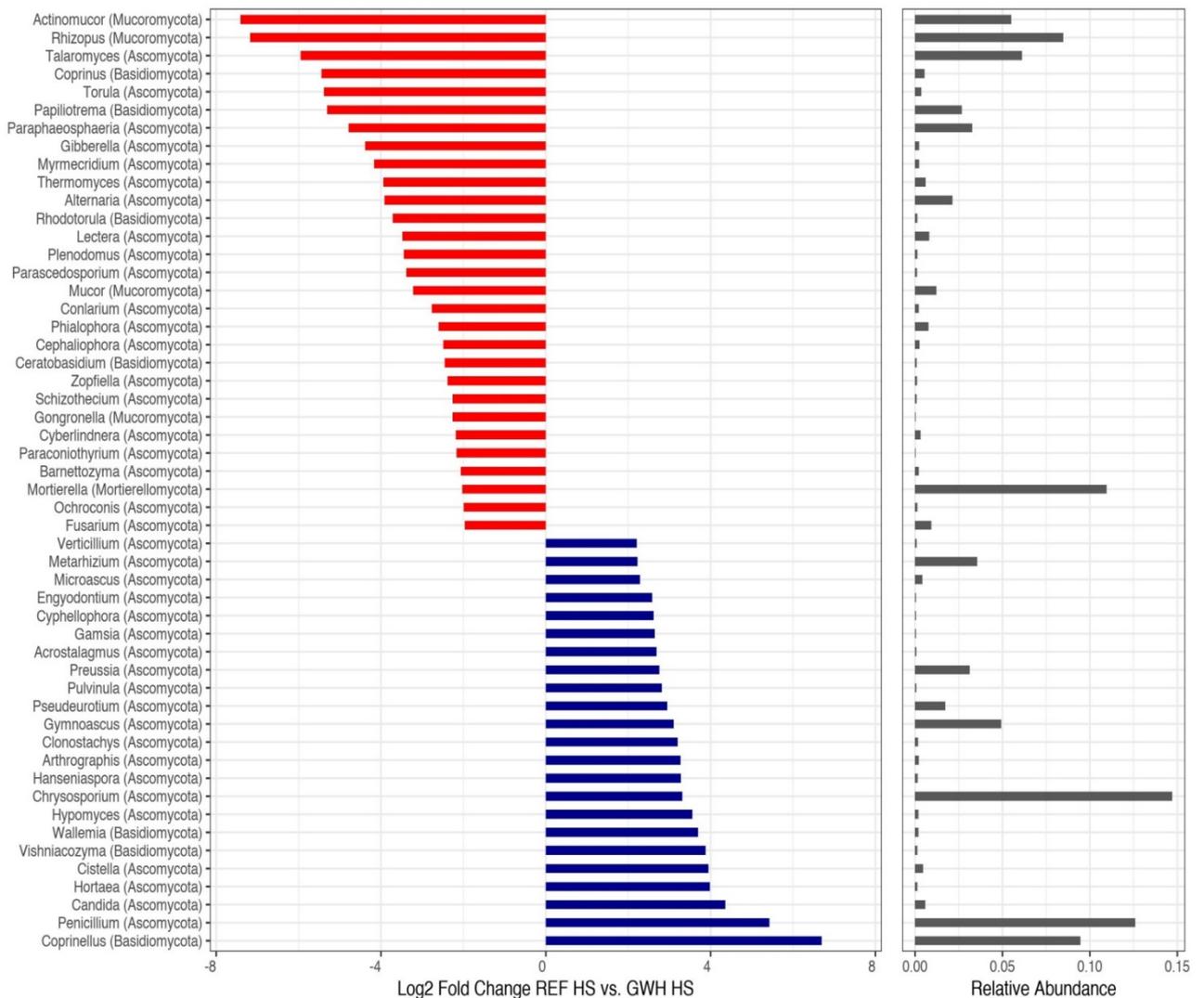


**Abbildung 28:** Differenzierte Häufigkeitsanalyse (2-fache Erhöhung) zwischen Gewächshausböden und Referenzböden. Signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlich häufig vorkommende Pilz Gattungen (Genera) in Gewächshausböden (links). Vergleich zwischen GWH Anbausystem BK und Referenzböden. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) auftreten. Die relative Häufigkeit der einzelnen Gattungen sind auf dem rechten Bild angezeigt.



**Abbildung 29:** Differenzierte Häufigkeitsanalyse (2-fache Erhöhung) zwischen Gewächshausböden und Referenzböden. Signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlich häufig vorkommenden Pilz Gattungen (Genera) in Gewächshausböden (links). Vergleich zwischen GWH Anbausystem W und Referenzböden. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) auftreten. Die relative Häufigkeit der einzelnen Gattungen sind auf dem rechten Bild angezeigt.

## Resultate



**Abbildung 30:** Differenzierte Häufigkeitsanalyse (2-fache Erhöhung) zwischen Gewächshausböden und Referenzböden. Signifikant ( $P < 0.05$ ) unterschiedlich häufig vorkommenden Bakterien Gattungen (Genera) in Gewächshausböden (links). Vergleich zwischen GWH Anbausystem HS und Referenzböden. Blau zeigt die Taxa, die in Gewächshausböden vermehrt auftreten („upregulated“) und rot, die in Gewächshausböden vermindert („downregulated“) auftreten. Die relative Häufigkeit der einzelnen Gattungen sind auf dem rechten Bild angezeigt.

## 4.5 Physikalische Bodenparameter

### 4.5.1 Eindringwiderstand

Die Untersuchungsflächen wiesen alle eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte dichte Schicht in einer Tiefe von 30 bis 40 cm auf, wie die Penetrogramme im Anhang zeigen (Anhang D). Die verdichtete Schicht befand sich aber nicht immer in der gleichen Tiefe, was zu Unterschieden beim Eindringwiderstand in 35 cm Tiefe zwischen den drei Wiederholungen führte wie beispielsweise bei GWH-1-BK (Abbildung 31). In der Regel lagen Eindringwiderstände in 35 cm Tiefe über dem Richtwert, mit der Ausnahme von Standort 7 (Abbildung 32). Für einen organischen Boden waren die Werte an Standort 7 dennoch relativ hoch. Eindringwiderstände deutlich über dem Massnahmewert traten teilweise in sehr trockenem Boden auf, wie bei GWH-4-HS mit einer Saugspannung von 70 cbar. Es gab aber auch Massnahmewertüberschreitungen unter 40 cbar wie bei GWH-5-W und GWH-6-W. Die Gewächshaustypen unterscheiden sich aufgrund der vorliegenden Daten nicht systematisch.

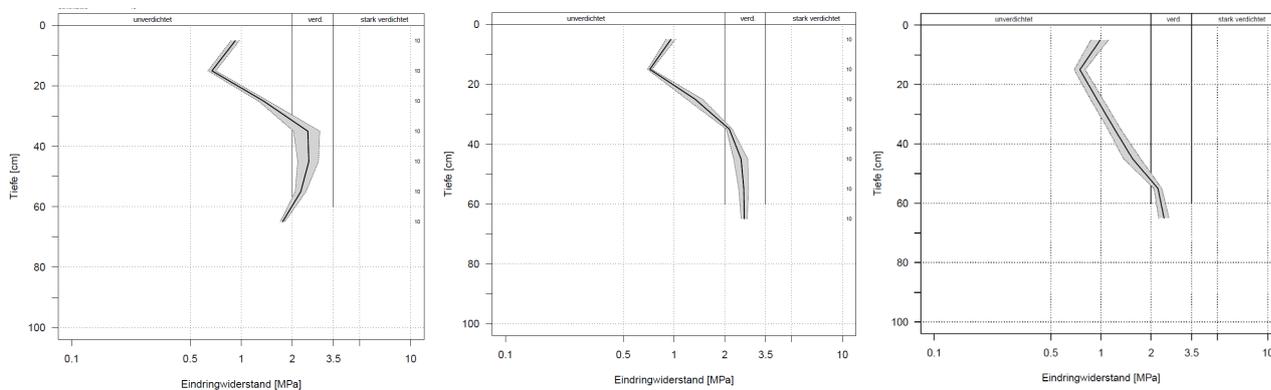


Abbildung 31: Penetrogramme am Standort GWH-1-BK (Saugspannung in 20 cm: 19 cbar, in 40 cm: 12 cbar).

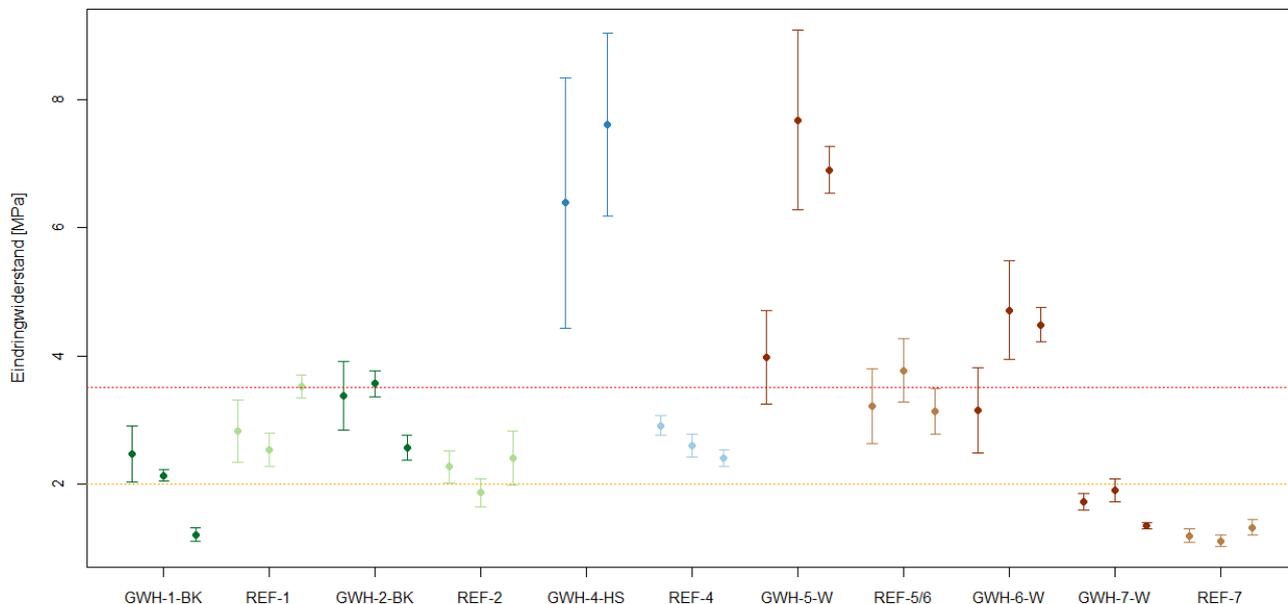
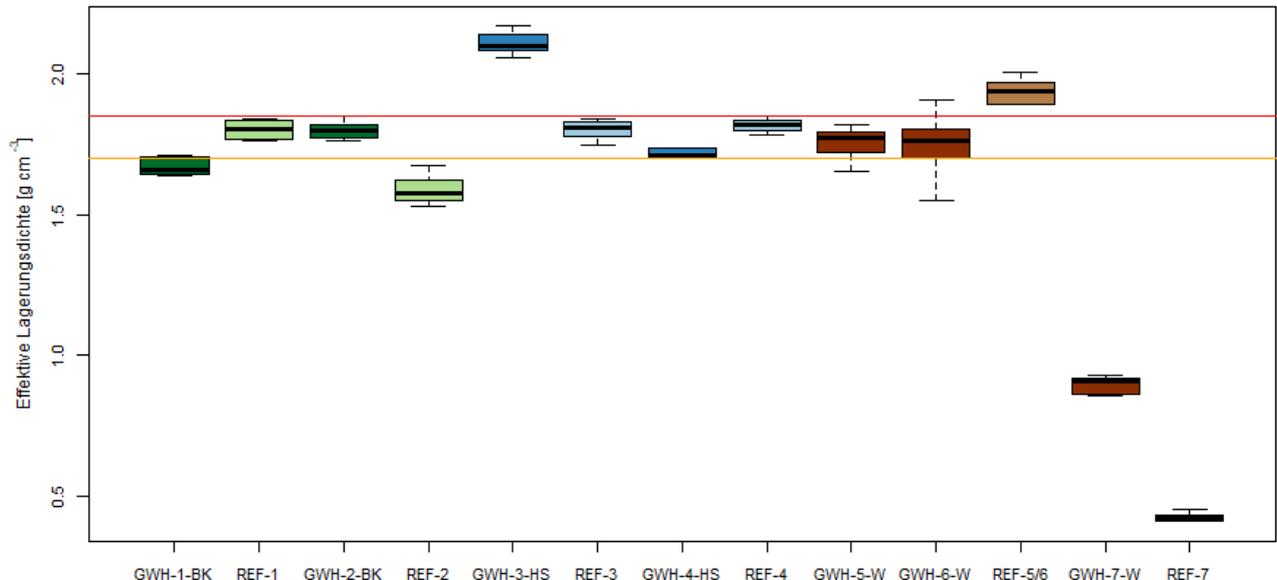


Abbildung 32: Eindringwiderstand in 35 cm Tiefe als Medianwert mit dem Vertrauensabstand als Fehlerbalken und drei Wiederholungen pro Standort (Richt- und Massnahmewert: orange und rote Linien).

#### 4.5.2 Effektive Lagerungsdichte

Die Werte der effektiven Lagerungsdichte lagen ähnlich wie beim Eindringwiderstand meistens zwischen Richt- und Massnahmewert (Abbildung 33). Markant tiefere Werte wurden erwartungsgemäss beim Standort 7 mit organischen Böden gemessen, was in erster Linie ein Effekt der kleinen reellen Dichte ist.

GWH-4-HS wies nur noch Werte zwischen Richt- und Massnahmewert auf, dafür lagen sie bei GWH-3-HS und REF-5/6 deutlich über dem Massnahmewert. Die Unterschiede zwischen Referenz und Gewächshausböden waren zwar meist signifikant, aber in gleich vielen Fällen zeigten die Gewächshausböden eine grössere effektive Lagerungsdichte als die entsprechenden Referenzböden, wie das umgekehrte der Fall war.



**Abbildung 33:** effektive Lagerungsdichte (Richt- und Massnahmewerts als orange und rote Linie).

#### 4.5.3 Grobporenvolumen und Luftgehalt bei -100 hPa

Bei den Grobporenvolumina wies mit GWH-1-BK nur ein Gewächshausboden tiefere (schlechtere) Werte auf als die Referenzflächen (Abbildung 34). Sonst unterschieden sie sich in zwei Fällen nicht signifikant von einander oder es wurden bei den Gewächshausböden grössere Werte gemessen als bei den Referenzböden. Insgesamt wurden an drei Böden Werte unter dem Massnahmewert und an vier Böden Werte zwischen Richt- und Massnahmewert gemessen. Mit der STRUDEL-Methode wurde mit dem Luftgehalt bei -100 hPa unabhängig der gleiche Parameter gemessen, aber in unterschiedlichen Einheiten dargestellt. Die Messungen des Luftgehalts zeigen mit zwei Ausnahmen ein ähnliches Bild (Abbildung 35), die Referenzböden REF-3 und REF-7 wiesen deutlich höhere Werte auf. Die Streuung war bei den Luftgehaltsmessungen zudem meistens deutlich kleiner als bei den Grobporenvolumina.

Ein Vergleich der beiden unabhängigen Methoden (Abbildung 36) zeigte, dass die Beurteilung der Messungen bezüglich Richt- und Massnahmewert nur in einem Fall (REF-3) klar unterschiedlich ausfiel. Solche Unterschiede führten dazu, dass die lineare Korrelation der beiden Grössen zwar signifikant war, aber grössere Abweichungen aufwies ( $p = 0.004, R^2 = 0.63$ ).

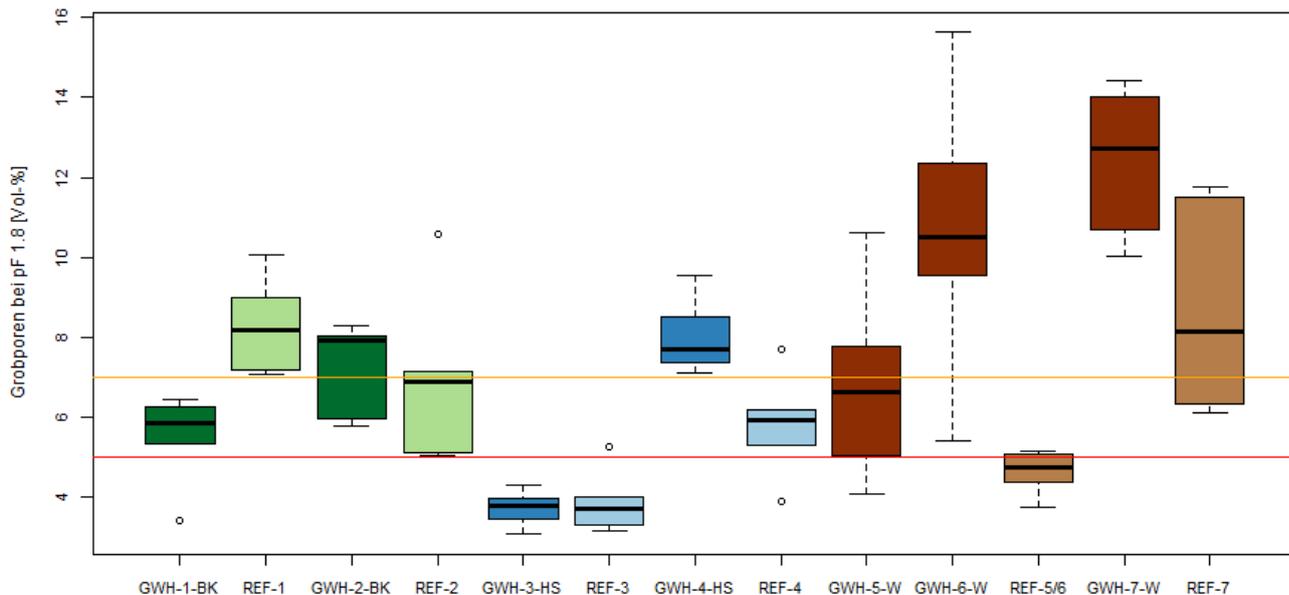


Abbildung 34: Grobporen (Richt- und Massnahmewert: orange und rote Linien).

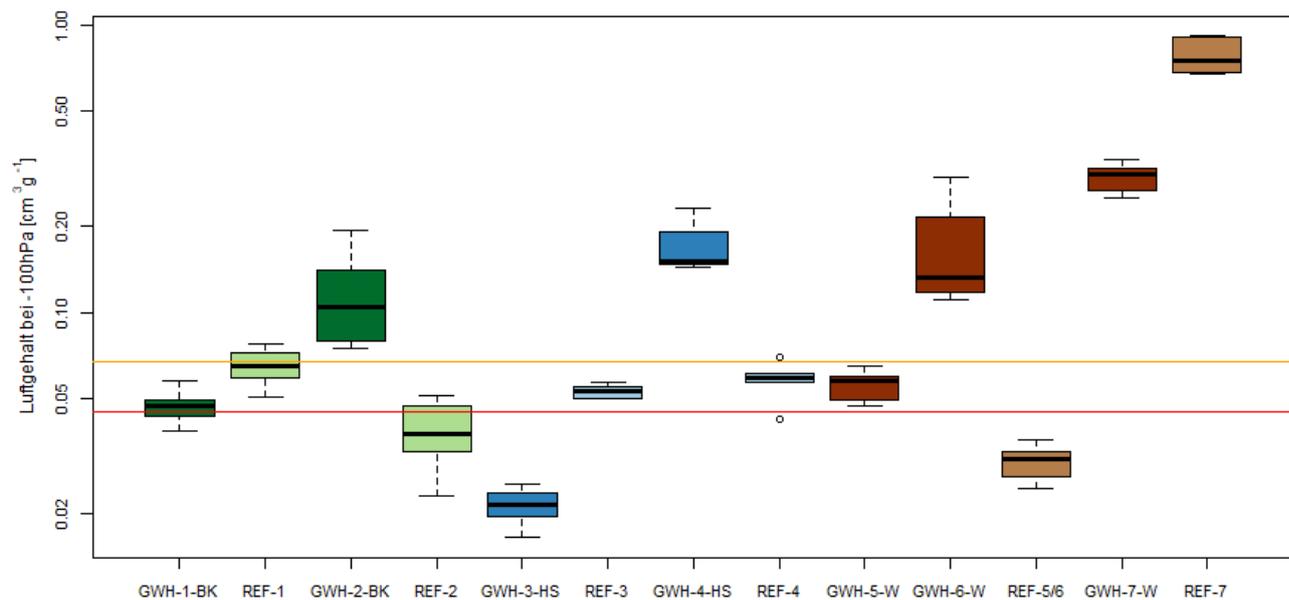
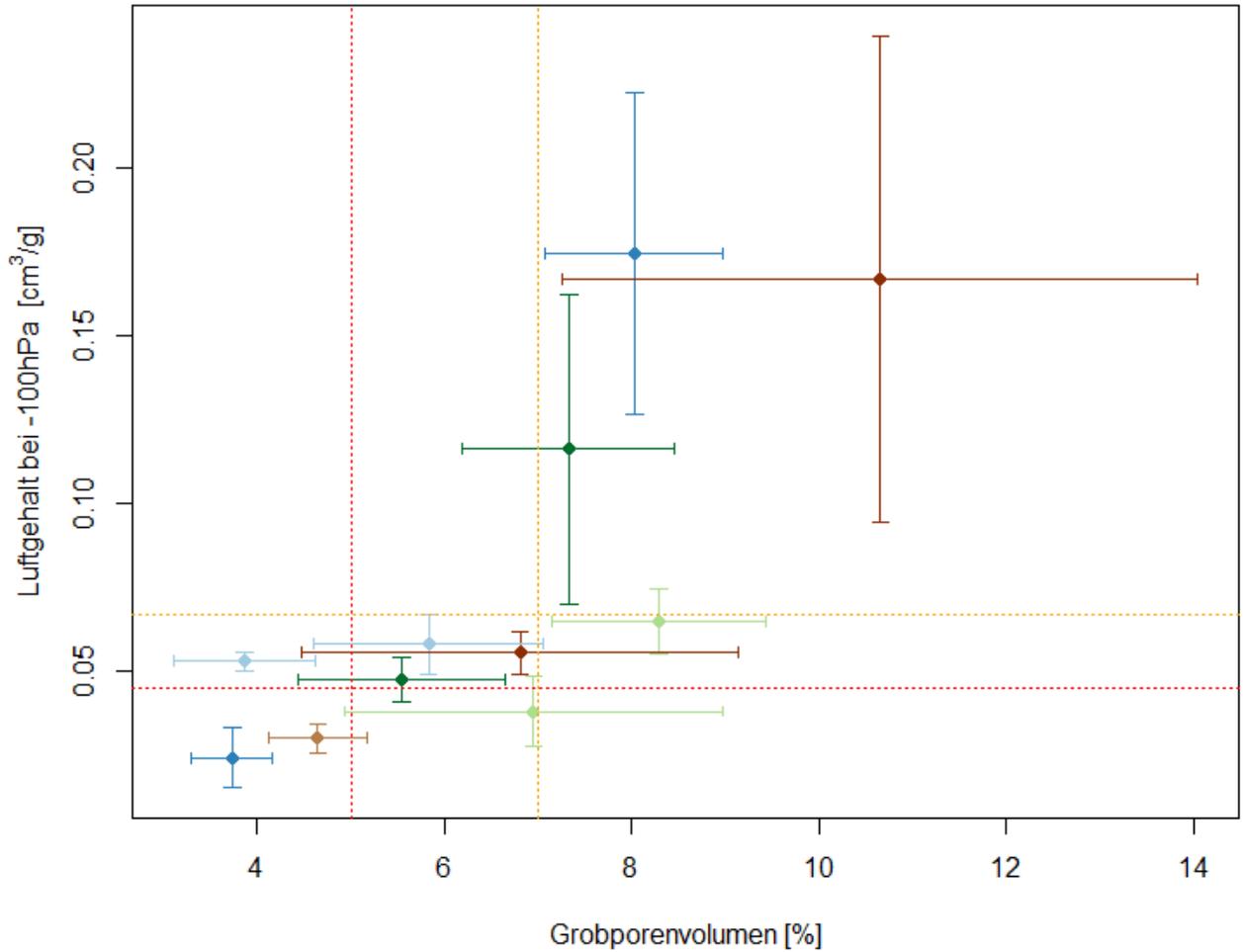
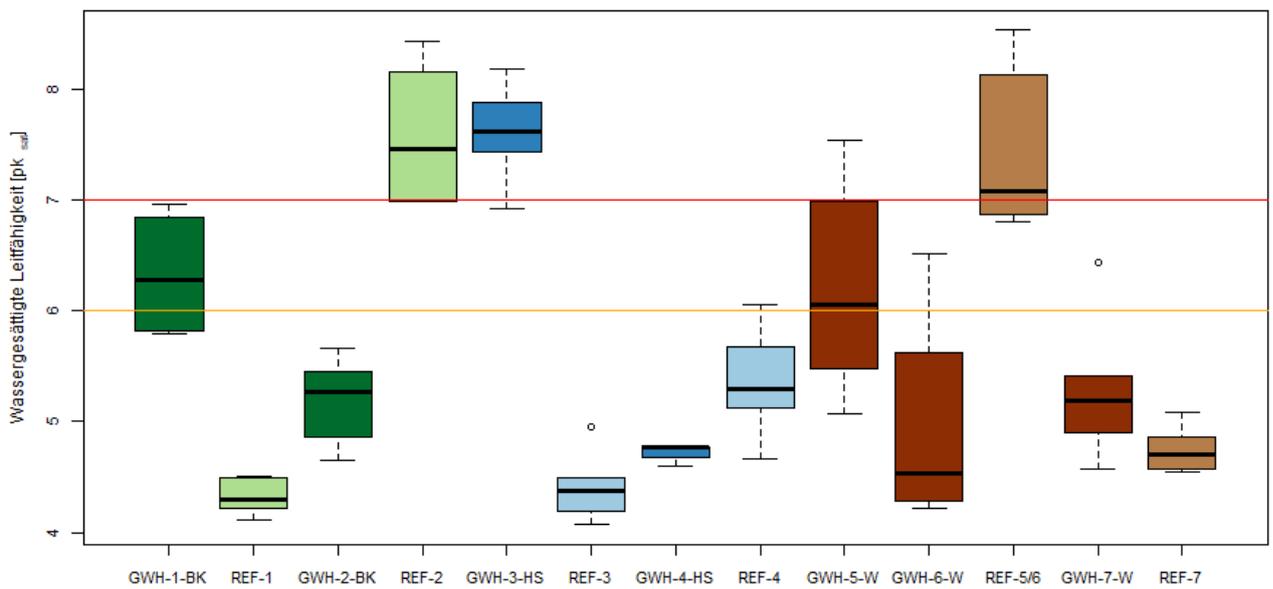


Abbildung 35: Luftgehalt bei -100 hPa (Richt- und Massnahmewert: orange und rote Linien).



**Abbildung 36:** Vergleich von Luftgehalt bei -100 hPa und Groporenvolumen (Richt- und Massnahmenwert: orange und rote Linien). Die Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen.



**Abbildung 37:** gesättigte Leitfähigkeit (Richt- und Massnahmenwert: orange und rote Linien).

#### 4.5.4 Gesättigte Leitfähigkeit

Die Werte der gesättigten Leitfähigkeit (Abbildung 37) lagen bei den gleichen drei Böden wie jene des Luftgehaltes bei -100 hPa über dem Massnahmewert. Einige Böden mit Luftgehalten zwischen Richt- und Massnahmewert wiesen jedoch relativ hohe gesättigte Leitfähigkeiten resp. tiefe pKsat-Werte auf (REF-1, REF-2, REF-4). Die Streuung der pKsat-Werte war teilweise gross.

#### 4.5.5 Aggregatstabilität

Der Anteil stabiler Aggregate wurde an Ober- und Unterbodenproben gemessen (Abbildung 38, Abbildung 39). Sowohl im Oberboden wie auch im Unterboden wurden Werte von über 90 % aber auch Werte unter 20 % gemessen. Bei den Oberbodenwerten zeigten sich hochsignifikante Unterschiede zwischen Gewächshäusern mit Bodenkultur verglichen mit den entsprechenden Referenzböden. Die Unterschiede der Aggregatstabilität entsprachen auch den Gehalten an organischer Substanz (Tabelle 9). Es gab es aber auch innerhalb eines Betriebs grosse Unterschiede der Aggregatstabilität im Oberboden zwischen GWH-5-W und GWH-6-W bei kleinen Differenzen von organischer Substanz und Bodenart. Grosse Werte der Aggregatstabilität wurden am Standort 7 an organischen Böden gemessen aber auch bei GWH-4-HS mit einem kleinen Gehalt an organischer Substanz.

Die erhöhten Anteile stabiler Aggregate im Oberboden bei den Gewächshäusern mit Bodenkultur waren im Unterboden nicht mehr feststellbar. Es wurde auch kein unterschiedlich hoher Gehalt an organischer Substanz gemessen. Beim Standort 4 war das Muster im Ober- und Unterboden gleich. Bei den Standorten 5 und 6 waren im Unterboden alle Werte relativ klein. Beim organischen Boden von Standort 7 wurden auch im Unterboden hohe Anteile von stabilen Aggregaten gemessen.

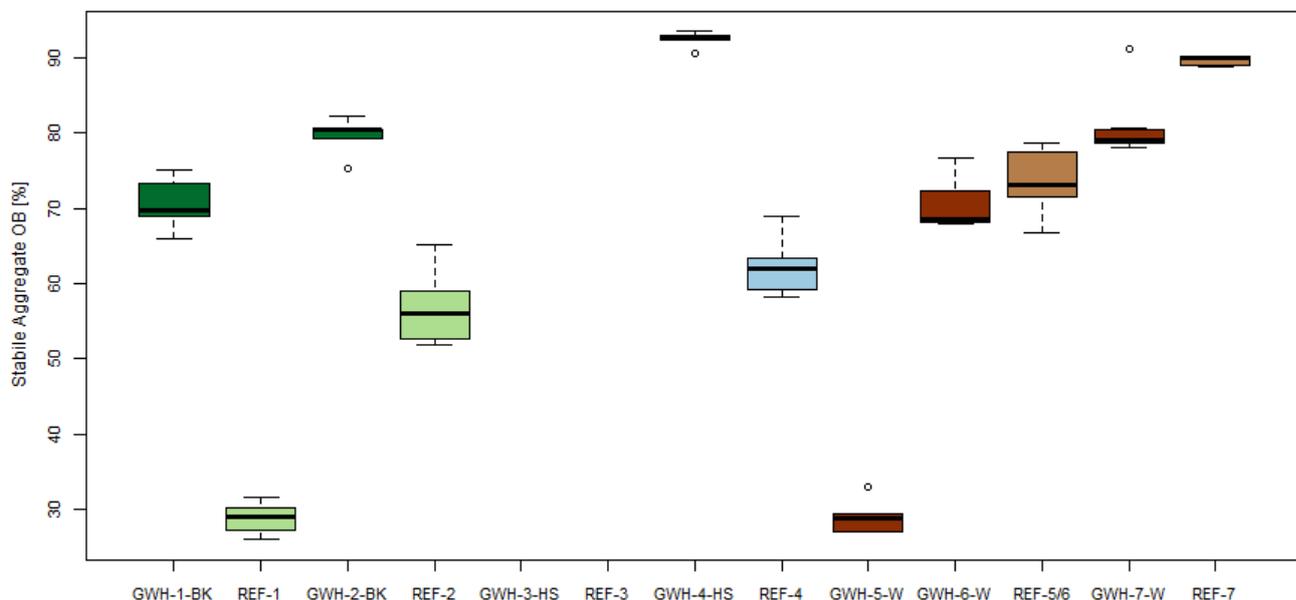
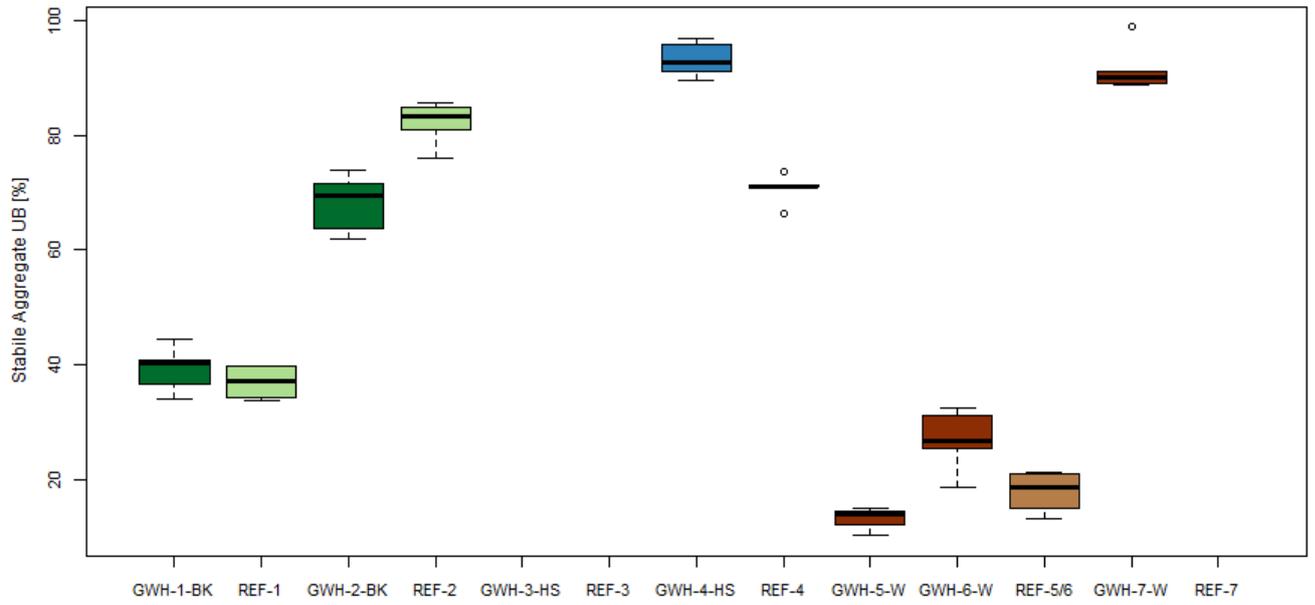


Abbildung 38: Anteil stabiler Aggregate im Oberboden.



**Abbildung 39:** Anteil stabiler Aggregate im Unterboden

#### 4.6 Befragung zum Gewächshausbau

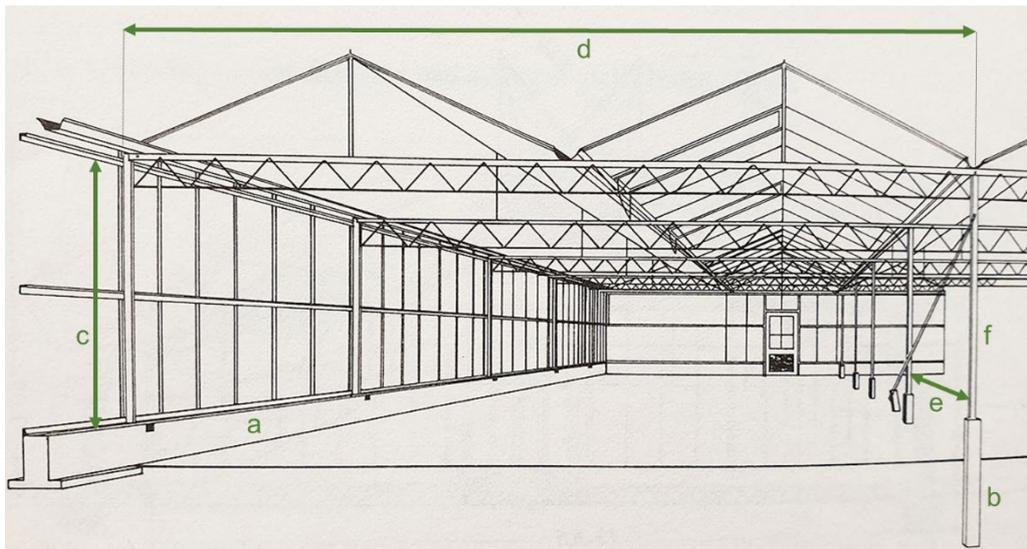
Die Betriebsleiter wurden zum Bau der untersuchten Gewächshäuser (Tabelle 12) sowie deren Konstruktion befragt (Tabelle 12), wobei nicht für alle Gewächshäuser bzw. Parameter Angaben gemacht werden konnten. Das GWH-6-W mit Baujahr 1963 ist das einzige Gewächshaus in Breitschiff-Bauweise. Es verfügt über ein Streifenfundament mit einer Tiefe von einem Meter und massiver Bauweise. Bei den Venlo-Gewächshäusern hingegen sind die Streifenfundamente nicht durchgehend, sondern mit Punktfundamenten in der Tiefe verankert. Beim GWH-7-W wurde das Gewächshaus wegen des organischen Untergrundes zusätzlich mit fünf Meter langen, in den Boden gerammten Pfählen unterhalb der Punktfundamente stabilisiert.

Die Angaben zur Grundfläche der Punktfundamente (Tabelle 13) beziehen sich bei GWH-2-BK und GWH-5-W auf die verwendeten Fertigelemente, bei den GWH-3-HS, GWH-4-HS und GWH-7-W jedoch auf den Durchmesser für das Giessen des Betons, in welchen die Fertigelemente gesetzt werden. Dabei wurde beispielsweise bei GWH-3-HS pro Punktfundament unter den Bindern 140 L Beton verwendet. Die vertikalen Windverbände wurden jedoch mit stärkeren Punktfundamenten verankert; hier wurde je Fundament 360 L Beton verwendet.

Der Abstand zwischen den Bindern (Rastermass) ist bei den neuesten Häusern mit Bau in den Jahren 2010 und 2011 mit 4.5 m bzw. 5 m am grössten. Bei den älteren Häusern (Bau 1990 bis 2005) beträgt das Rastermass 3 m bzw. 4 m. Dadurch brauchen die neueren Häuser weniger Punktfundamente. Durch die grösseren Abstände und die in der Regel höhere Bauweise mit Stehwandhöhen bis 5.5 m muss pro Punktfundament mehr Beton verwendet werden.

**Tabelle 12:** Bauweise der untersuchten Gewächshäuser. Die Begriffe sind in Abbildung 40 erläutert.

Gewächshaus	Baujahr	Typ	Schiffbreite [m]	Rastermass [m]	Stehwandhöhe [m]	Punktfundamente [cm]	
						Grundfläche	Tiefe
GWH-1-BK	2011	Venlo	8	4.5	4	k.A.	k.A.
GWH-2-BK	2005	Venlo	8	4	3.5	12*12	120
GWH-3-HS	2010	Venlo	8	4.5	5	d = 70	90
GWH-4-HS	2010	Venlo	8	5	5.5	d = 60	90
GWH-5-W	2000	Venlo	8	4	4	15*15	120
GWH-6-W	1963	Breitschiff	12	3	2		100
GWH-7-W	1990	Venlo	9.6 bzw. 6.4	3	3.5	d = 30	100



**Abbildung 40:** Gewächshaus vom Typ Venlo (von Zabeltitz, 1986). Ein Schiff besteht in abgebildeten Fall aus zwei Kapfen. Im Unterschied dazu überspannt ein Schiff eines Breitschiff-Gewächshauses die gesamte Breite, weshalb es keine Binder innerhalb des Gewächshauses gibt. a = Streifenfundament, b = Punktfundament, c = Stehwandhöhe, d = Schiffbreite, e = Rastermass, f = Binder

Bei grösseren Planiearbeiten wurde erst der Oberboden abgetragen, dann der Unterboden planiert und danach der Oberboden wieder aufgetragen. Beim GWH-3-HS wurde nicht der Unterboden planiert, sondern Fremdmaterial auf den Oberboden aufgeschüttet. Für die Planie wurden Raupenfahrzeuge verwendet, beim GWH-2-BK handelte es sich um ein Moor-Raupenfahrzeug mit doppelter Raupenbreite im Vergleich zu herkömmlichen Raupenfahrzeugen. Bei der Fundamentierung bzw. dem Bau wurden nicht nur Raupenfahrzeuge eingesetzt, sondern auch bereifte Traktoren (Tabelle 13).

Die Arbeiten gingen auch bei nassem Wetter voran. Beim GWH-4-HS wurde der Bau für eine gewisse Zeit gestoppt, als es zu viel regnete. Beim GWH-7-W war keine Planie nötig und das Gewächshaus wurde bei gefrorenem Boden gebaut. Beim GWH-5-W wurde als Bodenschutzmassnahme nach der Planie im Herbst Gras angesät. Allerdings war die Grasnarbe bis zum Bau zwei Monate später nicht genug stark, um Wirkung zu entfalten. Bei keinem der untersuchten Gewächshäuser gab es eine bodenkundliche Baubegleitung.

**Tabelle 13:** Angaben zu Planie und Bau der Gewächshäuser. Zum Bau gehört auch die Fundamentierung.

Gewächshaus	Jahreszeit	Wetter	Planie				Maschinen			
			Unterboden		Oberboden		Planie		Bau	
	Sommer-Herbst	durchzogen	nein	ja	keine	Moor-Raupen	Moor-Raupen			
	Herbst / Winter	eher nass	<0.5 m	nein		Raupen	Raupen			
		nass	1.5 m	x		Reifen	Reifen			
		sehr nass	2.5 m	x						
		Boden gefroren								
GWH-1-BK	x	x	x	x	x	x				
GWH-2-BK	x	x		x	x	x			x	
GWH-3-HS	x	x	x	x	x			x		
GWH-4-HS	x	x	x	x	x			x	x	
GWH-5-W	x	x		x	x				x	
GWH-6-W										
GWH-7-W	x	x	x	x	x				x	

## 5. Diskussion

Obwohl für die Untersuchung Standorte ausgewählt wurden, bei denen es gemäss Bewirtschafter neben dem Gewächshaus geeignete Referenzflächen mit natürlichem Bodenaufbau und gemüsebaulicher Nutzung gab, wurden bei den Profilsprachen und auch anhand der Messungen teilweise beträchtliche Unterschiede zwischen den Gewächshausböden und den Referenzböden festgestellt. Diese Unterschiede konnten einzelne Parameter betreffen, wie beispielsweise der tiefere pH auf der Referenzfläche von Standort 4, sie konnten aber auch sehr grundlegend sein, wie beispielsweise die Auffüllung auf der Referenzfläche von Standort 5/6, die sich bezüglich des Profilaufbaus von den Untersuchungsflächen in den Gewächshäusern unterschied.

Auch zwischen den Gewächshausböden gleichen Anbausystems gab es Unterschiede, wie beispielsweise am Standort 7 mit Wechsel zwischen Bodenkultur und Hors-Sol, der sich in einem Gebiet mit organischen Böden befand und somit sowohl im Gewächshaus als auch auf der Referenzfläche viel höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff und eine andere Bodenstruktur aufwies als die beiden anderen Standorte gleichen Nutzungstyps.

Für die Beurteilung der Vergleichbarkeit zwischen den Gewächshausböden und der Referenz an einem Standort, aber auch für die Suche nach systematischen Unterschieden zwischen den Bewirtschaftungsarten BK, HS und W der Gewächshäuser müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden, da der Bodenaufbau, der Wasserhaushalt, die Körnung oder der pH die erhobenen Parameter durchaus beeinflussen können. Diese Vergleichbarkeit ist bei unseren Messungen nicht überall gegeben. Da ausserdem der Stichprobenumfang mit zwei bis drei GWH pro Anbausystem klein ist, sind Rückschlüsse aus unseren Daten auf nicht untersuchte GWHs schwierig. Dennoch soll im Bewusstsein der erwähnten Herausforderungen versucht werden, die teilweise deutlichen Unterschiede zwischen den Gewächshausböden, sowie zwischen den einzelnen Gewächshausböden und den zugehörigen Referenzflächen zu erklären und den Einfluss der Anbausysteme zu diskutieren.

### 5.1 Biologische Bodenparameter

Die biologische Aktivität der Bodenorganismen wird beeinflusst durch die Körnung, den pH und den Gehalt an organischem Material, aber auch durch die Bodentemperatur und –feuchtigkeit (Horrigue et al., 2016; Hug et al., 2018; Kaiser, Mueller, Joergensen, Insam, & Heinemeyer, 1992; Maurer-Troxler et al., 2009; Sardans & Peñuelas, 2005; van Leeuwen et al., 2017). Weiter beeinflussen auch die Produktionsweise und die angewendeten Bewirtschaftungsmassnahmen die Bodenbiologie (Horrigue et al., 2016; Sanaullah et al., 2011; van Leeuwen et al., 2017; Weisskopf et al., 2010). Deshalb werden hier nachfolgend die Unterschiede zwischen den grundlegenden Bodenparametern an den untersuchten Standorten dargestellt und der Einfluss der Bewirtschaftung auf diese Parameter diskutiert.

#### 5.1.1 Körnung und pH-Wert

Die Bodenart war bei den meisten GWH und Referenzflächen ein Lehm. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass Unterschiede im Ton- und Sandgehalt der Böden die biologischen Parameter beeinflussen (Dequiedt et al., 2011; Hug et al., 2018; Zhou et al., 1996). Da die Unterschiede in der Körnung zwischen den GWH und Referenzflächen eher gering sind, ist nicht davon auszugehen, dass die teilweise signifikanten Unterschiede in den gemessenen Bodenparametern durch die Körnung verursacht werden.

Das pH der GWH-Böden lag im Oberboden bei allen untersuchten Anbausystemen, welche immer oder gelegentlich im Boden produzieren, im neutralen oder leicht basischen Bereich (6.5 bis 7.1) (Tabelle 10). Sämtliche Referenzflächen wiesen pH-Werte zwischen 6.6 und 7.3 auf, mit Ausnahme der Referenzfläche 4, wo das pH bei 4.7 lag. Das pH wird durch die Produzenten entsprechend den angebauten Kulturen optimiert (Fisch et al., 2017). Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass das pH die Bodenbiologie beeinflussen kann (Hug et al., 2018). Bei unserer Studie lagen die pH-Werte im Oberboden allerdings mit Ausnahme von Ref-4 alle in einem ähnlichen Bereich und die teilweise signifikanten Unterschiede in den gemessenen bodenbiologischen Parametern werden vermutlich nicht durch Unterschiede des pH-Wertes verursacht

### 5.1.2 Temperatur und Feuchtigkeit

Vor allem der Parameter Bodenatmung hängt stark von Temperatur und Feuchtigkeit ab und kann über den Tag variieren. Die Bodenatmung von Mikroorganismen und Wurzeln im Bereich üblicherweise in Gewächshäusern vorkommender Temperaturen positiv mit der Temperatur korreliert (Luo & Zhou, 2006). Beim Einfluss der Bodenfeuchtigkeit ist hingegen ein optimaler Bereich mit hohen Werten zu erwarten, da sowohl bei Trockenheit als auch bei zu nassen Bedingungen die Bodenatmung abnimmt (Liu, Wan, Su, Hui, & Luo, 2002; Xu, Baldocchi, & Tang, 2004). Um den Einfluss von Tages- oder Jahreszeitlich bedingten Temperatur- oder Feuchtigkeitsänderungen auszuschliessen wurden (i) alle Proben für die Erfassung der biologischen Bodenparameter in einem möglichst engen Zeitfenster (September 2018) genommen und (ii) die Messungen zur Bodenatmung nicht in situ, sondern im Labor durchgeführt, wo die Proben vorgängig für eine gewisse Zeit bei definierter Feuchtigkeit und Temperatur inkubiert werden konnten. Während der Probenahme wurde zur Sicherheit die Feuchtigkeit und Temperatur im Oberboden gemessen und protokolliert. Die Daten zeigen jedoch keine Korrelation zwischen den erhobenen biologischen Bodenparametern und den während der Beprobung gemessenen Feuchtigkeiten und Temperaturen, weshalb wir einen direkten Einfluss letzterer auf unsere Messungen ausschliessen.

### 5.1.3 Organischer Kohlenstoff

Der Gehalt an organischer Substanz unterschied sich deutlich zwischen den Referenzflächen und den dazugehörigen Gewächshäusern aber auch deutlich zwischen den einzelnen Gewächshäusern (Abbildung 5). In diversen Studien wurde gezeigt, dass der Gehalt an organischer Substanz die biologische Aktivität eines Bodens positiv beeinflusst (Fließbach et al., 2007; Horrigue et al., 2016; Hug et al., 2018; Kaiser et al., 1992; van Leeuwen et al., 2017). Im Gegenzug hat die biologische Aktivität einen starken Einfluss auf den Abbau der organischen Substanz (Fließbach et al., 2007). Weiter beeinflusst die Bewirtschaftung mit dem gewählten Anbausystem den Gehalt der organischen Substanz (Fließbach et al., 2007).

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) der mineralischen Referenzflächen (REF-1 bis REF-6) bewegte sich zwischen 1.3 und 2.5% (Tabelle 10) und lag somit in einem ähnlichen Bereich wie die Ackerflächen der NABO<sub>bio</sub>-Standorte (1.1-3.4%). Bei den GWH-Böden waren die Unterschiede grösser: Der Gehalt an  $C_{org}$  variierte zwischen 0.7 und 10.6%. Das GWH-7-W und die REF-7 auf ehemaligen Moodböden zeigten erhöhte Gehalte an  $C_{org}$  (GWH-7-W: 11.2%, REF-7: 15.8%).

In den Böden der Gewächshäuser mit reiner Bodenkultur (Standort 1 und 2) waren die Gehalte an  $C_{org}$  deutlich höher als auf den zugehörigen Referenzflächen (Abbildung 5). Dies legt die Vermutung nahe, dass diese hohen Werte mit der Bewirtschaftung zusammenhängen. In Gewächshäusern mit Bodenproduktion ist Nüsslisalat eine typische Winterkultur. In den beiden BK-GWH werden im Winter in der Regel je zwei Sätze Nüssler kultiviert. Die Erdpresstöpfe der Setzlinge haben einen hohen Anteil Torf oder bestehen zu hundert Prozent aus Torf. Da bei Nüsslisalat pro  $m^2$  Torf von etwa 80 Erdpresstöpfen (4er-Töpfe) eingebracht wird, erhöht dies die organische Substanz. Die Ergebnisse decken sich gut mit den Messungen der FABO Zürich (Wanner, 2016). Auch dort wurden erhöhte Gehalte von organischem Material in Gewächshäusern mit bodenabhängiger Produktion gefunden. Gemäss Wanner (2016) resultieren diese aus Kompostgaben, Zufuhr von Substraten mit Pflanzensetzlingen und teilweise aus organischem Ausgangsmaterial.

Ein ähnliches Bild bezüglich  $C_{org}$ -Gehalten im Oberboden zeigen auch die Daten von GWH-5-W und GWH-6-W. Dort waren die Unterschiede in den Messwerten nicht so ausgeprägt wie bei den GWH mit Anbausystem BK, aber es kann ebenfalls beobachtet werden, dass der Oberboden in den GWH deutlich humusreicher war als auf der jeweiligen Referenzfläche. In den GWH-5-W und GWH-6-W werden im Winter 2018/2019 Radies angebaut. Diese Kultur wird im Gegensatz zu Nüsslisalat gesät. Ob in den vergangenen Jahren als Bodenkultur ebenfalls Radies angebaut wurde, ist nicht bekannt. Auf den Referenzflächen im Freiland werden teilweise ebenfalls Erdpresstöpfen verwendet, z.B. beim Salatanbau. Da jedoch der Pflanzabstand bei Salat mit etwa 10 Pflanzen pro  $m^2$  grösser ist als beim Nüssler und auch die Kulturzeit länger ist, wird insgesamt weniger Torf über die Erdpresstöpfen eingebracht. Die GWH mit Anbausystem HS (GWH-3-HS und GWH-4-HS) zeigten deutlich tiefere Gehalte an organischer Substanz als die GWH mit Anbausysteme BK und W und keine nennenswerten Unterschiede zwischen Gewächshausböden und Referenzflächen (Abbildung 5). Die tiefen Werte

kommen vermutlich durch die ganzjährige Folienabdeckung des Bodens zustande, da dadurch dem Boden kein organische Material zugeführt wurde (Sanullah et al., 2011). Bei GWH-3-HS war der Gehalt an  $C_{org}$  besonders tief. Der Grund dafür ist die in der Profilsprache festgestellte Überschüttung, welche offenbar beim Gewächshausbau stattgefunden hat (Kapitel 4.2.3).

Es ist demnach anzunehmen, dass Unterschiede der GWH-Bewirtschaftung zu den teilweise deutlichen Unterschieden in den Gehalten an  $C_{org}$  in den GWH-Böden führen, da dieselben Trends auf den Referenzflächen nicht zu beobachten waren. Da  $C_{org}$  einer der PaSRameter ist, der die biologische Aktivität der Böden massgeblich beeinflusst, dürfte hier ein indirekter Einfluss der Bewirtschaftung auf die Bodenbiologie zu erwarten sein.

#### 5.1.4 Mikrobielle Biomasse

Die Messung der mikrobiellen Biomasse in den sieben GWH zeigte deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen GWH und zwischen den GWH und ihren Referenzflächen. Der Parameter mikrobielle Biomasse ist ein Parameter, welcher die Belebtheit und den Aktivitätszustand des Bodens angibt (Maurer-Troxler et al., 2009). Die Bodenorganismen beeinflussen die Bodenbildung, den Abbau von organischer Bodensubstanz und den Nährstoffkreislauf (van Leeuwen et al., 2017). Mikroorganismen können bis zu 95% der mikrobiellen Biomasse ausmachen (van Leeuwen et al., 2017). Ihre Anwesenheit und ihre Aktivität im Boden ist entscheidend, damit sich ein qualitativer und produktiver Boden entwickeln kann (van Leeuwen et al., 2017). Gleichzeitig wird die Population der Bodenorganismen von verschiedenen Umweltparametern beeinflusst: Klima, Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodenbewirtschaftung (Maurer-Troxler et al., 2009). Wenn sich die Bodeneigenschaften (Gehalt an  $C_{org}$ , pH, Körnung und Nährstoffangebot) ändern, kann sich auch die Gesellschaft an Bodenorganismen anpassen, indem sich die Anzahl, Aktivität, Diversität und die Biomasse der Bodenorganismen verändert (Dequiedt et al., 2011; Horrigue et al., 2016). Zudem ist die Anzahl und Diversität der Bodenorganismen im Oberboden am grössten, weil dort genügend Nährstoffe vorhanden sind (van Leeuwen et al., 2017). Die Bewirtschaftung des Oberbodens beeinflusst deshalb direkt die Gesellschaft der Bodenorganismen. Somit stellt die Messung der mikrobiellen Biomasse ein allgemeines Mass dar, um quantitativ die Menge an Bodenorganismen zu erfassen und Rückschlüsse auf die Bodenqualität zu ziehen (Maurer-Troxler et al., 2009).

Die von uns gemessenen Werte zur mikrobiellen Biomasse bewegen sich in ähnlichen Grössenordnungen, wie die Werte von Ackerflächen an den NABObio-Standorten und im Langzeitversuch DOK des FiBL. Bei den Ackerstandorten des NABObio wurden Werte zwischen 230 und 1247 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS gemessen (Hug et al., 2018). Beim Langzeitfeldversuch DOK vom FiBL wurden Werte je nach Bewirtschaftungssystem zwischen 218 und 260 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS gemessen (Fließbach et al., 2007). Unsere Messungen zur mikrobiellen Biomasse bewegten sich auf den Referenzflächen mit mineralischen Böden zwischen 144 und 482 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS. Damit lagen die Werte in einem ähnlichen Bereich wie die mikrobielle Biomasse der NABObio-Standorten und dem FiBL DOK Langzeitversuch. Zwei Ausnahmen bildeten die REF-4, welche mit 144 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS eher tiefe Werte aufwies, und die REF-7, bei welcher mit 1689 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS eine eher hohe Konzentration an  $C_{mic}$  gemessen wurde. Bei der REF-7 handelt es sich allerdings um einen organischen Boden im Seeland mit einem hohen Gehalt an  $C_{org}$ . REF-4 ist der Standort, welcher sich wegen seines tiefen pH-Wertes (4.7) von den anderen Standorten unterscheidet.

In den GWH mit mineralischen Böden haben wir Gehalte an mikrobieller Biomasse zwischen 111 und 1028 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS gemessen. Die GWH-Böden mit Anbausystem HS zeigten eher tiefe Gehalte an mikrobieller Biomasse. Damit wurden beim GWH-3-HS, GWH-4-HS und auf der REF-4 tiefere Gehalte an mikrobieller Biomasse gemessen als der VBB (Maurer-Troxler et al., 2009) als minimalen Vergleichswert vorgibt (Minimalwert: 216-269 mg  $C_{mic}$  kg<sup>-1</sup> Boden TS).

Betrachtet man die mikrobielle Biomasse der Referenzflächen REF-1, REF-2, REF-3 und REF-5, so fällt auf, dass sich die Werte alle in einem ähnlichen Bereich bewegen. Trotz den unterschiedlichen Standorten schieben bei den meisten Referenzflächen ähnliche Bedingungen zu herrschen. Dies bestätigt der Gehalt an  $C_{org}$  auf den erwähnten Referenzflächen, welcher ebenfalls ähnliche Werte zeigte (Abbildung 5). Die gemessene mikrobielle Biomasse in den GWH hingegen scheint dem Trend der Referenzflächen nicht zu folgen (Abbildung 6). Es kann beobachtet werden, dass bei den GWH mit Anbausystem BK signifikant höhere Gehalte an

mikrobieller Biomasse gemessen wurden als auf den dazugehörigen Referenzflächen und ebenfalls als in den andern GWHs. Im Gegensatz dazu wurden bei den GWH mit Anbausystem W und HS teilweise signifikant weniger mikrobielle Biomasse gemessen als auf den Referenzflächen. Weiter kann beobachtet werden, dass die GWH mit Anbausystem HS die geringsten Mengen an mikrobieller Biomasse aufwiesen. Was diese Standorte von den übrigen am stärksten unterscheidet, ist ihr Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ). Dies legt die Annahme nahe, dass vor allem  $C_{org}$  die mikrobielle Biomasse beeinflusst.

Allerdings kann  $C_{org}$  allein auch nicht zur Erklärung aller Unterschiede dienen denn gemäss NABObio und Kaiser et al. (1992) müsste wegen der starken Korrelation zwischen organischem Gehalt im Boden und mikrobieller Biomasse erwartet werden, dass bei allen GWH mit höheren Gehalten an organischen Substanz als auf der Referenz der gleiche Trend bei der mikrobiellen Biomasse zu beobachten sein müsste. Dies traf aber vor allem beim Anbausystem BK zu und weniger bei den anderen Anbausystemen. (Abbildung 5, Abbildung 6). Beim Anbausystem W konnte teilweise beobachtet werden, dass trotz erhöhten Gehalten an  $C_{org}$  in den GWH die mikrobielle Biomasse in den GWH kleiner ausfiel als auf den Referenzflächen. Eine Ausnahme bildete GWH-7-W auf ehemaligem Torfboden.

Es scheint also, dass nebst dem Gehalt an  $C_{org}$  auch die Bewirtschaftung einen wesentlichen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse hat, und dass sich das Anbausystem BK positiv auf die organische Substanz und auf die mikrobielle Biomasse auswirkt. Bei den GWH mit Anbausystem W konnte beobachtet werden, dass in den GWH trotz höheren Gehalten an organischer Substanz als auf der Referenzfläche die mikrobielle Biomasse im GWH reduziert war. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass die Böden in den GWH mit Anbausystem W über länger Zeit im Jahr mit wasserundurchlässigen Folien bedeckt sind und nicht bepflanzt werden. Dies würde mit den Erkenntnissen von Sanallah et al. (2011) übereinstimmen, die in ihrer Studie beobachteten, dass bei ungepflanzten Böden die mikrobielle Biomasse reduziert war. Durch die fehlenden Wurzeln stehen den Bodenorganismen keine Wurzelexsudate zur Verfügung, welche die mikrobielle Gesellschaft positiv beeinflussen (Sanallah et al., 2011). Zudem gibt es auch keine Ernterückstände, welche die Bodenorganismen abbauen können (Fuka et al., 2008). Dieselbe Erklärung würde auch zu den tiefen Werten der mikrobiellen Biomasse in den GWH mit Anbausystem HS passen. In diesen GWH ist der Boden ganzjährig mit Folie bedeckt, und es wachsen keine Kulturen im Boden.

### 5.1.5 DNA-Menge

Die DNA-Menge zeigt einen ähnlichen Verlauf zwischen den Referenzflächen und den GWH, sowie im Vergleich der einzelnen GWH, wie die mikrobielle Biomasse. Bei den GWH mit Anbausystem BK konnten höhere DNA-Mengen als bei den Referenzflächen gemessen werden. Bei den GWH mit Anbausystem W und HS wurden hingegen kleinere DNA-Mengen in den GWH gemessen als bei den Referenzflächen. Auf den mineralischen Referenzflächen wurden DNA-Mengen zwischen 14.86 und 24.69  $\mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS gemessen. In den mineralischen GWH-Böden konnten DNA-Mengen zwischen 9.30 und 28.18  $\mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden festgestellt werden. Damit haben wir ähnliche DNA-Mengen gemessen wie auf den Ackerbaustandorten von NABObio (12.3 – 41.7  $\mu\text{g DNA g}^{-1}$  Boden TS). Unsere Probenahme fand allerdings im September statt, und durch erhöhte Temperaturen und erhöhte Nährstoffverfügbarkeit im Sommer sind höhere biologische Aktivitäten als im Frühjahr zu erwarten (Sardans & Peñuelas, 2005).

Auf den Referenzflächen auf mineralischen Böden wurden überall ähnlich grosse DNA-Mengen gemessen (Abbildung 8). Beim Vergleich der DNA-Mengen der GWH-Böden mit den Referenzflächen fällt auf, dass beim Anbausystem BK in den GWH (GWH-1-BK und GWH-2-BK) grössere DNA-Mengen als auf den Referenzflächen gemessen wurden. Bei den anderen GWH mit Anbausystem W und HS wurden in den GWH geringere DNA-Mengen als auf den Referenzflächen gemessen (Abbildung 8). Die DNA-Menge wird ähnlich wie die mikrobielle Biomasse, positiv beeinflusst, wenn mehr organische Substanz vorhanden ist, wenn der Tongehalt in einem gemässigten Bereich liegt und gleichzeitig der Sandgehalt nicht zu hoch ist (Hug et al., 2018; Fuka et al., 2008; Zhou et al., 1996). Ebenfalls wird die DNA-Menge durch die Bewirtschaftung beeinflusst (Horrigue et al., 2016). In gut durchlüfteten Böden ohne Bodenverdichtung sind höhere DNA-Mengen zu erwarten als in Böden, die verdichtet, vernässt, austrocknet oder nicht bepflanzt werden (Horrigue et al., 2016; Fuka et al., 2008; van Leeuwen et al., 2017). Diese Effekte der Bewirtschaftung haben vermutlich auch die gemessenen

DNA-Mengen in den GWH mit Anbausystem W und HS beeinflusst. Grundsätzlich wäre aufgrund der organischen Substanz, welche in den meisten GWH grösser war als auf den Referenzflächen, zu erwarten, dass in allen GWH grössere DNA-Mengen als auf den Referenzflächen zu erwarten wären. Dieser Zusammenhang kann nur für die GWH mit Anbausystem BK bestätigt werden. In den GWH mit Anbausystem W und HS sind die DNA Mengen im Vergleich zu den Referenzflächen vermutlich aufgrund der Bewirtschaftung reduziert.

Die möglichen Gründe sind analog zur mikrobiellen Biomasse, dass in den GWH mit Anbausystem W und HS die Böden teilweise oder ganzjährig mit Folie bedeckt waren (Sardans & Peñuelas, 2005) und keine Kulturen im Boden wachsen (Sanallah et al., 2011). Dadurch ergibt sich keine Interaktion zwischen Kultur und den Bodenorganismen im Boden. Einerseits gelangen ohne Kulturen keine Wurzelexsudate in den Boden und andererseits gibt es keine Ernterückstände, welche die Bodenorganismen für den Metabolismus brauchen (Fuka et al., 2008; Sanallah et al., 2011). Weiter kann es sein, dass durch die Folienabdeckung des Bodens die Stoffflüsse in und aus dem Boden gehemmt werden, welche die bodenbiologische Aktivität begünstigen. Es wurde gezeigt, dass die DNA-Menge auch von der Bodenfeuchtigkeit und der Düngung der Kulturen beeinflusst wird (Fuka et al., 2008). Durch die Folienabdeckung des Bodens können diese Flüsse von Dünger und Feuchtigkeit in den Boden unterbrochen werden (Sardans & Peñuelas, 2005). Deshalb vermuten wir, dass die DNA-Menge bei den Anbausystem W und HS durch die Bewirtschaftung reduziert wurde.

### 5.1.6 Basalrespiration und metabolischer Koeffizient

Die Basalrespiration zeigt ähnliche Trends wie die mikrobielle Biomasse und die DNA-Menge. Sie ist ein Mass für die aerobe Atmungsaktivität des Bodens. In den Gewächshäusern mit bodengebundener Produktion (GWH-1-BK und GWH-2-BK), aber auch in GWH -7-W ist sie deutlich höher als auf den dazugehörigen Referenzflächen oder in den übrigen Gewächshäusern. Diese drei Gewächshausböden haben höhere Basalrespirationswerte als sie gemäss Maurer-Troxler et al. (2009) bei Ackerböden zu erwarten wären. Dies deckt sich mit den Befunden zur mikrobiellen Biomasse und der DNA Menge.

Besonders tiefe Werte sind hingegen auf der Ref-4 zu finden, sowie in den Böden der beiden Hors-sol Gewächshäuser. Aufgrund der Befunde zur mikrobiellen Biomasse und der DNA Menge überrascht es nicht, dass die mit Folie abgedeckten und nicht besonders kohlenstoffreichen Hors-sol Gewächshausböden tiefe Bodenatmungswerte aufweisen. Auch die tiefen Werte auf REF-4 sind nicht überraschend, dort wurde auch für die mikrobielle Biomasse und die DNA Menge tiefe Werte gefunden, was vermutlich mit dem tiefen pH zusammenhängt.

Um dem Gehalt an mikrobieller Biomasse und deren Einfluss auf die Basalrespiration Rechnung zu tragen, ist eine Möglichkeit der Beurteilung der Basalrespiration die Berechnung des metabolischen Koeffizienten (Maurer-Troxler et al, 2009).

Für die metabolischen Koeffizienten wurden in den Gewächshäusern mehrheitlich höhere Werte festgestellt als auf den Referenzflächen. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei den Standorten mit Wechselkultur. Gemäss Maurer-Troxler (2009) ist der metabolische Koeffizient ein Mass für die energetische Effizienz der Mikroorganismengemeinschaft. Er gibt an, wie viel Kohlenstoff veratmet wird im Verhältnis zur Kohlenstoffmenge, die für den Aufbau mikrobieller Biomasse genutzt werden kann. Diesbezüglich scheinen die Verhältnisse in den Gewächshäusern mit Wechselkultur für den Aufbau mikrobieller Biomasse schwieriger zu sein als auf den umliegenden Referenzflächen. Der Wechsel zwischen Hors-sol Produktion im Sommer und Bodengebundenem Anbau im Winter ist offenbar ein Störfaktor, der die Bodenlebewesen herausfordert.

Nebst den Gewächshäusern mit Wechselkultur zeigt auch Standort 4 sehr hohe Werte für den metabolischen Koeffizienten, sowohl im Gewächshaus als auch auf der Referenzfläche. Für die Referenzfläche von Standort 4 wurde auch ein tiefer Wert für die Basalrespiration und ein besonders tiefer Wert für die mikrobielle Biomasse gemessen, was, wie bereits beschrieben, wohl mit dem tiefen auf REF-4 pH zusammenhängt, dem einzigen Indikator, der diese Referenzfläche von den übrigen abhebt. Abgesehen vom Standort 4 und den Gewächshausböden mit wechselnder Bewirtschaftung liegen die Werte innerhalb der zu erwartenden Bereichen der Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (Maurer-Troxler et al, 2009).

## 5.2 Biodiversität

Die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften konnten zum ersten Mal in Böden von schweizerischen Gewächshäusern mit molekulargenetischen Ansätzen reproduzierbar abgebildet werden. Es konnten standort-spezifische aber auch gewächshaus-spezifische Lebensgemeinschaften in den Böden nachgewiesen werden. Daher zeigten die molekulargenetischen Analysen ein grosses Potential für Bodenmonitoringsysteme in Gewächshäusern. Das Bodenmikrobiom unterschied sich deutlich zwischen den Referenzflächen und den dazugehörigen Gewächshäusern aber auch deutlich zwischen den einzelnen Gewächshäusern. Interessant ist, dass alle Referenzböden ausser dem Referenzboden 4 (REF-4) ein sehr einheitliches Bodenmikrobiom sowohl für Bakterien wie auch Pilze haben (Abbildung 16, Abbildung 19). Sie gruppieren nahe beieinander und heben sich stark von den dazugehörigen Gewächshäusern ab. Es fällt auf, dass sich die Referenzfläche 4 (REF-4) sowohl bei den Bakterien wie auch bei den Pilzen stark von dem dazugehörigen Gewächshaus GWH-4-HS und allen anderen Standorten unterscheidet (Abbildung 16, Abbildung 19). Dies ist mit den Bodencharakteristika im speziellen mit dem tiefen Boden pH zu erklären. Im GWH-4-HS und bei den anderen Standorten lag das pH im leicht basischen Bereich. Die REF-4 wies im Oberboden ein pH von 4.7 auf und war damit deutlich saurer. Ein Effekt des pH wurde hier auch anderen biologischen Parametern gefunden, in den Proben von REF-4 wurden die geringsten Werte für mikrobiellen Biomasse und DNA Menge von allen untersuchten GWH- und Referenzflächen gefunden. Das Boden-pH ist eine der stärksten Variablen, die die bakteriellen und pilzlichen Lebensgemeinschaften in Böden bestimmen (Adamczyk et al., 2019; Rousk et al., 2010). Ebenfalls hebt sich das Bodenmikrobiom von GWH-7-W vom zugehörigen Referenzboden (REF-7) ab. Bei beiden Böden handelt es sich um drainierte ehemalige Moorböden. Der Referenzboden ist offenbar stärker grundwassergeprägt als der Gewächshausboden.

Am wenigsten Unterschiede im Bodenmikrobiom zeigen REF-3 und das dazugehörige Gewächshaus im GWH-3-HS. Interessanterweise unterscheidet sich der Gewächshausboden in Bezug auf den Bodenaufbau erheblich vom Referenzboden, was aber keinen Einfluss auf das Bodenmikrobiom zu haben scheint. Auch hier scheinen die Charakteristika wie leicht basischer pH-Wert (7.4), hoher Tongehalt (27%) und tiefer  $C_{org}$ -Gehalt (1.3 %) die wichtigsten bestimmenden Faktoren zu sein, sodass sich das Bodenmikrobiom nicht stark zwischen Referenzboden und Gewächshausboden unterscheiden. Obwohl der Stichprobenumfang mit zwei bis drei GWH pro Anbausystem relativ klein ist, lässt sich trotzdem aus den bisherigen Resultaten schliessen, dass die Mikrobiologie im Boden charakteristisch für den Standort und für das Gewächshaus Anbausystem ist. Vorwiegend sind die Unterschiede auf die Bodencharakteristika (z.B. Boden pH, Gehalte an  $C_{org}$  und Ton) und lokal auch auf das Management (Kultur, Düngung, Verdichtung) zurückzuführen. Diese Unterschiede sind im Boden als mikrobiologische Signatur nachweisbar.

In dieser Studie wurde auch deutlich, wie divers das mikrobielle Bodenleben ist, da an den sieben Standorten insgesamt 4'614 bakterielle und 1'565 pilzliche 'genetisch definierte Taxa' (engl. operational taxonomic units, OTU) nachgewiesen werden konnten. Dieser Artenreichtum entspricht grob dem Artenreichtum in schweizerischen Böden aus Wiese, Acker und Wald (Frossard et al., 2018; Frossard et al., 2017; Hartmann et al., 2017; Hartmann et al., 2015). Hingegen zeigten sich Unterschiede im Artenreichtum zwischen Referenzböden und dazugehörigen Gewächshausböden. Bei den Bakterien waren in vier paarweisen Vergleichen und bei den Pilzen in zwei paarweisen Vergleichen der Artenreichtum in Gewächshausböden signifikant tiefer. Die grössten Unterschiede im Artenreichtum zeigten sich in der Referenzfläche 5/6 (REF-5/6) und den dazugehörigen Gewächshausböden GWH-5-W und GWH-6-W (Abbildung 14, Abbildung 15). Die drei Böden sind bezüglich Bodeneigenschaften abgesehen vom tieferen Gehalt an  $C_{org}$  in der Referenzfläche zwar sehr ähnlich (Tabelle 10), der Referenzboden ist aber eine Aufschüttung mit lokalem Material, was eine gewisse Störung im Oberboden bewirkt haben könnte. Eigene Untersuchungen zeigen, dass mittlere Störungen (z.B. Bodenverdichtung, Schwermetallbelastung) von Böden zu mehr Artenreichtum des mikrobiellen Bodenlebens führen können (Frossard et al., 2018; Hartmann et al., 2014). Diese mittleren Störungen im Boden führen zu mehr kleinräumigen Nischen für die Bodenorganismen.

Mittels DNA-Metabarcoding wurde auch die Zusammensetzung der bakteriellen und pilzlichen Lebensgemeinschaften in den Gewächshausböden untersucht. Das Metabarcoding eignet sich hervorragend um für ein gezieltes Biodiversitätsmonitoring in Gewächshausböden verwendet zu werden. So konnten gewollte oder ungewollte Zielorganismen wie Pathogene, Pflanzenwachstum fördernde oder Krankheiten unterdrückende

Mikroben nachgewiesen werden. Unter den pilzlichen Taxa wurden viele vorwiegend phytopathogene Gattungen, wie z.B. *Verticillium*, *Aspergillus*, *Colletrichum*, *Fusarium* und *Pseudogymnoascus* vermehrt in Gewächshäusern gefunden (Abbildung 28 - Abbildung 30). Andererseits wurden auch Pilze, die für die Pflanzenstärkung und Bodenbelebung aktiv in Gewächshäusern eingesetzt werden, nachgewiesen. Solche pilzlichen Taxa lassen sich mit molekulargenetischen Ansätzen zuverlässig im Boden nachweisen lassen, ohne auf die Erfassung von Fruchtkörpern angewiesen zu sein.

Die Anzahl verschiedener pathogener Pilze war in Gewächshäusern niedriger als in Referenzböden unabhängig vom Gewächshaustyp. Dazu sind "nützliche" Pilze wie *Trichoderma*, *Beauveria* und *Penicillium*, die in der biologischen Bekämpfung von Pathogenen eingesetzt werden, in den Gewächshäusern erhöht im Gegensatz zu den Referenzböden. Ebenso das Vorkommen bakterieller Nützlinge wie Streptomyceten oder Bazillen, die in der biologischen Bekämpfung von Pathogenen eingesetzt werden, konnten sowohl im Gewächshaus als auch im Referenzboden nachgewiesen werden. Das Vorkommen dieser "Nützlinge" in den Gewächshäusern ist nicht abhängig vom Anbausystem, sondern vom Bewirtschafter welcher diese Mikroorganismen einsetzt. Symbiotische Mykorrhizapilze waren dagegen kaum vorhanden in den untersuchten Böden unabhängig vom Gewächshaustyp oder Referenzboden was auf die intensive Bewirtschaftung der Böden und den Anbau ungeeigneter Wirtspflanzen zurückgeführt werden kann. Generell konnten vermehrt Verdichtungszeiger (*Anaerolineaceae*) unter Wechsellkultur sowohl im Gewächshaus als auch im Referenzboden nachgewiesen werden.

### 5.3 Physikalische Bodenparameter

Die bodenphysikalischen Parameter, für welche Richt- und Massnahmewerte existieren (Buchter & Häusler, 2009; Johannes et al., 2019) werden als unterschiedlich aussagekräftig bezüglich Bodenverdichtung beurteilt. Gemäss (Horn & Fleige, 2009) lassen sich Verdichtungen schlechter mit dem Eindringwiderstand und der effektiven Lagerungsdichte nachweisen als mit Luftkapazität (resp. dem Grobporenvolumen) und der gesättigten Leitfähigkeit.

Die Messungen des Eindringwiderstandes mit der PANDA-Sonde haben gezeigt, dass die untersuchten Flächen bezüglich der Verdichtung homogen waren. Unterschiede der Messwerte in einer bestimmten Tiefe hatten vor allem mit leicht unterschiedlichen Tiefen der verdichteten Horizonte zu tun. Da die Werte des Eindringwiderstands stark von der Saugspannung abhängen (Gao, Whalley, Tian, Liu, & Ren, 2016; Kenney, Hall, & Wang, 2002) und der Boden einiger Gewächshäuser bei der Beprobung ziemlich trocken war, ist ein Vergleich der Eindringwiderstände zwischen den verschiedenen Standorten wenig zielführend. Dennoch wiesen Standorte, bei denen verschiedene Methoden auf eine starke Bodenverdichtung hindeuteten, auch grosse Eindringwiderstände auf (Tabelle 14).

Die effektive Lagerungsdichte bildet den Verdichtungsgrad etwas besser ab als der Eindringwiderstand, weil die Werte nicht so stark von der Bodenfeuchte abhängen. Daraus ergibt sich eine teilweise bessere Beurteilung der Messwert bei Böden, die bei der Beprobung sehr trocken waren.

Ein konsistenteres Bild ergibt sich wenn man die Resultate der Parameter mit grösserer Aussagekraft mit einander vergleicht (Horn & Fleige, 2009). Ein zentraler Parameter für die Bodenfruchtbarkeit und ein aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung der Bodenverdichtung ist das Grobporenvolumen resp. die Luftkapazität, was mit dem Grobporenvolumen und dem Luftgehalt bei -100 hPa durch zwei unabhängigen Messungen bestimmt wurde. Die Beurteilung bezüglich von Richt- und Massnahmenwert fiel dabei sehr ähnlich aus und die Korrelation der beiden Parameter war erstaunlich gut (Abbildung 36). Die Korrelation scheint aber nicht ganz linear zu sein, d.h. bei unverdichteten Böden mit grossen Grobporenvolumina wurden vergleichsweise höhere Werte des Luftgehalts gemessen. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass bei der Probenahme für die Grobporenbestimmung die wenig verdichteten Proben beim Hineinschieben in den Stahlzylinder leicht gestaucht wurden. Falls der Boden trocken war, könnte zudem der Quellvorgang bei der Sättigung behindert worden sein. Bei der Probenahme für die Luftgehaltsmessung werden die Proben in keinen Stahlzylinder gedrückt und können danach ungehindert quellen (Johannes et al., 2019). Es zeigte sich auch, dass die Werte des Luftgehalts häufig eine kleinere Streuung aufwiesen, als die Werte des Grobporenvolumens, was auch mit der unterschiedlichen Probenahme zusammenhängen könnte.

**Tabelle 14:** Beurteilung der Messungen des Eindringwiderstandes  $EW$ , der effektiven Lagerungsdichte  $LD_{eff}$ , des Grobporenvolumens  $GPV$ , des Luftgehaltes bei  $-100$  hPa  $A-100$  und der gesättigten Leitfähigkeit  $K_{sat}$  bezüglich der Richt- und Massnahmewerte ( $RW$  und  $MW$ )

Standort	$EW$ [MPa]	$LD_{eff}$ [g cm <sup>-3</sup> ]	$GPV$ [vol.-%]	$A-100$ [cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ]	$K_{sat}$ [pKsat]
GWH-1-BK	<i>RW-MW</i>	<RW	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>
REF-1	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	>RW	<i>RW-MW</i>	<RW
GWH-2-BK	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	>RW	>RW	<RW
REF-2	<i>RW-MW</i>	<RW	<i>RW-MW</i>	<MW	>MW
GWH-3-HS	>MW	>MW	<MW	<MW	>MW
REF-3	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<MW	<i>RW-MW</i>	<RW
GWH-4-HS		<i>RW-MW</i>	>RW	>RW	<RW
REF-4		<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<RW
GWH-5-W	>MW	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>	<i>RW-MW</i>
REF-5/6	<i>RW-MW</i>	>MW	<MW	<MW	>MW
GWH-6-W	>MW	<i>RW-MW</i>	>RW	>RW	<RW
GWH-7-W	<RW	<RW	>RW	>RW	<RW
REF-7	<RW	<RW	>RW	>RW	<RW

Die Beurteilung der Verdichtung durch die Leitfähigkeitsmessung fiel mit einer Ausnahme (REF-4) gleich aus wie bei der Grobporenbestimmung. Die Streuung der Leitfähigkeitsmessungen war aber vergleichsweise gross, was jedoch weniger eine Folge der Probenahme war, da bei dieser der Boden auch nicht in Stahlzylinder gedrückt wird. Die grosse Streuung der Werte kann beispielsweise eine Folge von präferenziellen Fließwegen im Boden sein.

Die Aggregatstabilität wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie den Gehalt an organischer Substanz, die Bodenart, speziell die Tonmineralogie, Eisenhydroxide oder den Anteil austauschbarer Na- und Ca-Ionen (Le Bissonais, 2016). So konnte denn auch eine klare Beziehung zwischen Aggregatstabilität und Humusgehalt beobachtet werden bei den Gewächshäusern mit Bodenkultur, die sich durch sehr humusreiche Oberböden auszeichneten. Mit der gleichen Begründung können hohe Anteile stabiler Aggregate am Standort 7 mit organischen Böden erklärt werden. Die teilweise stark unterschiedliche Aggregatstabilität im Oberboden an den Standorten 4, 5 und 6 kann aber nicht durch offensichtliche Unterschiede der Parameter organische Substanz, pH, Kalk oder Bodenart erklärt werden. Grosse Werte bei GWH-4-HS und kleine Werte bei GWH-5-W passen aber gut zu den übrigen bodenphysikalischen Messwerten. Da Versalzung in einem Gewächshaus durchaus ein Thema sein kann und ein positiver Zusammenhang von Aggregatstabilität bestehen kann (Blaskó, 2011), könnten Unterschiede zwischen den Standorten 4, 5 und 6 dadurch zusätzlich beeinflusst worden sein. Beim Standort 5 mit tiefen Werten im Ober- und Unterboden könnte man argumentieren, dass im Oberboden trotz viel organischer Substanz wegen einer schlechten Bodenstruktur (Tabelle 9) nur ein geringer Anteil an stabilen Aggregaten gemessen wurde.

Insgesamt ergeben die bodenphysikalischen Messwerte ein konsistentes Bild (Tabelle 14), wenn man berücksichtigt, dass nicht alle Parameter gleich aussagekräftig sind (Horn & Fleige, 2009) und die Bodenfeuchte während der Probenahme unterschiedlich war. Die bodenphysikalischen Werte werden prinzipiell auch unterstützt durch die Befunde der Bodenansprache (Tabelle 9), wobei auch diese durch die Bodenfeuchte während der Ansprache beeinflusst werden. Es wäre sicher besser, diese Untersuchungen bei vergleichbaren Bodenfeuchteverhältnissen, am besten im Bereich Feldkapazität durchzuführen, was aber aus praktischen Gründen in diesem Projekt nicht möglich war.

Beim Vergleich der Verschiedenen Standorte und Gewächshaustypen sind die grossen Unterschiede auffallend zwischen GWH-5-W und GWH-6-W innerhalb des gleichen Betriebes, mit dem gleichen Gewächshaustyp und den gleichen ursprünglichen Bodenverhältnissen. Während bei GWH-6-W bei den aussagekräftigen Parametern ausschliesslich gute Werte unter dem Richtwert gemessen wurden, lagen diese GWH-5-W durchwegs über dem Richtwert. Es liegt also nahe, dass die Unterschiede etwas mit dem Bau der Gewächshäuser zu tun haben. Die Befragungen (Tabelle 13) ergaben denn auch, dass beim Bau dieses Gewächshauses sehr nasse Verhältnisse herrschten, dabei Unterboden planiert und eine Terrainänderung vorgenommen wurde. Die Referenzfläche (REF-5/6) wurde dabei auch in Mitleidenschaft gezogen, da auf ihr bei ungünstigen Bedingungen Bodenverschiebungen stattfanden, als Folge der Planierungsarbeiten beim Gewächshausbau. Nach den Planierungsarbeiten wurde die Fläche zwar begrünt, die Bauarbeiten fanden jedoch schon 2 Monate später statt. Alle Arbeiten wurde ohne BBB durchgeführt, da dies von der Bewilligungsbehörde nicht gefordert wurde. Die Tatsache, dass der letzte Standort des gleichen Gewächshaustyps GWH-7-W bei allen Parametern bessere Werte aufwies, ist jedoch nicht weiter erstaunlich, da es sich um einen organischen Boden handelt, mit entsprechend kleiner Lagerungsdichte und grossem Grobporenvolumen.

Noch grössere Unterschiede ergaben sich bei den beiden Hors-sol-Gewächshäusern, GWH-3-HS mit Werten über dem Massnahmenwert und GWH-4-HS ohne Richtwertüberschreitungen bei den aussagekräftigen Parametern. Beide Standorte wiesen die gleiche Bodenart auf und zeichneten sich durch einen kleinen Gehalt an organischer Substanz aus, der jedoch bei GWH-3-HS nur halb so gross war wie bei GWH-4-HS (Tabelle 9). Vermutlich ist das aber nicht der Hauptgrund, für den unterschiedlichen Zustand der Bodenstruktur, da Gehalte der organischen Substanz generell tief waren bei diesem Typ. Diese Interpretation wird gestützt durch die Tatsache, dass GWH-4-HS trotz geringem Gehalt an organischer Substanz einen sehr hohen Anteil stabiler Aggregate aufwies (Abbildung 38). Es drängt sich also auch hier der Verdacht auf, dass die Verdichtungen die Folge des Gewächshausbaus oder allenfalls auch des Betriebs sind. Im Fall von GWH-3-HS sind die Hinweise aus der Befragung nicht ganz so klar wie bei GWH-5-W. Die Verhältnisse seien ebenfalls nass gewesen, es wurde aber keine Unterbodenplanie gemacht. Dafür wurde der Boden zur Planierung mit ca. 40 cm C-Material überschüttet (Abbildung 3), auch hier ohne Beratung durch einen BBB.

Bei den beiden Gewächshäusern mit Bodenkultur waren die Unterschiede zufälligerweise weniger gross. Beim Standort 1 waren die Werte im Gewächshaus besser als auf der Referenzfläche, was beim Standort 2 genau umgekehrt war. Positiv wirkt sich aber bei Gewächshäusern mit Bodenkultur der hohe Gehalt an organischer Substanz im Oberboden aus.

Bei allen untersuchten Standorten mit mineralischen Böden wurden in den Gewächshäusern und/oder auf den Referenzflächen mindestens Richtwertüberschreitungen festgestellt. In einigen Fällen waren die Gewächshausböden stärker verdichtet, in anderen die Referenzflächen. Ein Zusammenhang der teilweise erheblichen Verdichtungen mit dem Bau der Gewächshäuser scheint wahrscheinlich, kann aber nur aufgrund der bodenphysikalischen Messwerte nicht abschliessend belegt werden. Die Befragungen weisen jedoch auf Bauarbeiten bei ungünstigen Bedingungen ohne BBB hin. Die ungünstigen Bedingungen hängen wahrscheinlich auch damit zusammen, dass die Gewächshäuser oft im Herbst-Winter gebaut werden, was für die Betriebe gut passt, da dann nicht so viel Arbeit ansteht. Die Böden sind hingegen in dieser Zeit oft relativ nass, was bodenschonendes Arbeiten mindestens sehr anspruchsvoll macht.

## 6. Fazit

Obwohl die Vergleichbarkeit zwischen Gewächshäusern und Referenzflächen nicht in allen Fällen optimal war und trotz der Unterschiede zwischen den Böden von Gewächshäusern gleicher Bewirtschaftung, ist es möglich, den Einfluss von Bau und Bewirtschaftung auf die Gewächshausböden zu erkennen.

Die bodenphysikalischen Messungen zeigten an allen mineralischen Standorten gegenüber der Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen (Buchter & Häusler, 2009) mindestens Richtwert Überschreitungen. Die Beurteilung ist dabei durch die Messung von vier Parametern (Eindringwiderstand, Lagerungsdichte, gesättigte Leitfähigkeit und Grobporenvolumen) und eine Bodenansprache gut abgestützt. Die Beurteilung des Luftgehalts bei -100 hPa (Johannes et al., 2019) zeigte das gleiche Bild.

Nicht immer ist die Beeinträchtigung im Gewächshaus grösser als ausserhalb und die Unterschiede zwischen Gewächshäusern im gleichen Betrieb waren teilweise gross. Wie an Standort 5/6 gezeigt wurde, kann der Gewächshausbau und die damit verbundenen Planierungsarbeiten und Bodenverschiebungen auch auf den umliegenden Flächen zu Schädigungen führen. Beim Einfluss des Baus wurden keine Unterschiede zwischen den Gewächshaustypen BK, W und HS festgestellt.

Bei den untersuchten Gewächshäusern verlangten die Bewilligungsbehörden in keinem Fall eine Bodenkundliche Baubegleitung (BBB). Bezüglich Verdichtung wären klarere Vorgaben für den Bauablauf sowie für Bodenschutzmassnahmen wünschenswert. Die Gewächshäuser werden immer grösser und oft sind ausländische Firmen am Bau beteiligt. Weiter besteht meist kein zeitlicher Spielraum für die Durchführung der Bauarbeiten: die Arbeiten finden ungeachtet des Bodenzustandes statt. Das Gefälle im Gewächshaus muss genau eingestellt werden, was in der Regel Bodenverschiebungen nötig macht. Der Einsatz von BBB und Richtlinien für den Gewächshausbau und den Umgang mit dem Boden mit geeigneter Folgebewirtschaftung oder allfälliger Zwischenbegrünungen für die Strukturholung wären hier auf jeden Fall wertvoll.

Bei den biologischen Bodenparametern wurde ein Einfluss der Bewirtschaftung (BK, W und HS) auf die Böden festgestellt. Das Einbringen der Torfpresslinge führte zu erhöhten Gehalten an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) in GWH mit BK und W. Damit einher gingen erhöhte Werte für die übrigen biologischen Messungen, was auf eine gute biologische Aktivität in den Böden hinweist. Die Verhältnisse zwischen den biologischen Parametern lassen jedoch auf nicht ideale Bedingungen für die Bodenorganismen unter W schliessen. Mögliche Gründe sind die über einen grossen Teil des Jahres herrschende Abdeckung mit Mulchfolie, welche Stoffeinträge verhindert, und die während dieser Zeit fehlende Durchwurzelung. Die Gewächshäuser mit HS wiesen die geringsten Gehalte an  $C_{org}$  auf und tiefe Werte für die übrigen biologischen Bodenparameter. Hier ist die biologische Aktivität der Böden eingeschränkt. Auch die Referenzflächen wiesen manchmal sehr tiefe Werte für die biologischen Bodenparameter auf.

Die bakteriellen und pilzlichen Gemeinschaften (das Bodenmikrobiom) konnten zum ersten Mal in Böden von schweizerischen Gewächshäusern mit molekulargenetischen Ansätzen reproduzierbar abgebildet werden. Es konnten standortspezifische, aber auch gewächshausspezifische Lebensgemeinschaften in den Böden nachgewiesen werden. Die molekulargenetischen Untersuchungen zeigten, wie divers das mikrobielle Bodenleben in Gewächshausböden ist. Generell war der Artenreichtum in den Gewächshausböden tiefer als in den dazugehörigen Referenzflächen. Die Anzahl verschiedener pathogener Pilze war in Gewächshäusern niedriger als in Referenzböden unabhängig vom Bewirtschaftungstyp. Dazu sind "nützliche" Pilze wie *Trichoderma*, *Beauveria* und *Penicillium*, die in der biologischen Bekämpfung von Pathogenen eingesetzt werden, in Gewächshäusern erhöht im Gegensatz zu den Referenzböden. Sobald einzelne Organismenarten als Bioindikatoren für bestimmte Bodenbelebungen oder Pflanzenstärkung identifiziert sind, eignet sich das DNA-Metabarcoding hervorragend für ein gezieltes Biodiversitätsmonitoring in Gewächshausböden.

Die Frage, ob Gewächshausböden grundsätzlich die Kriterien von Fruchtfolgeflächen erfüllen, lässt sich aufgrund unserer kleinen Stichprobe nicht abschliessend beantworten. Unter BK und W scheinen die Böden biologisch aktiv zu bleiben, auch wenn sich die Zusammensetzung der Organismengemeinschaften von der der Referenzflächen unterscheidet. Demgegenüber wurde bei HS eine eingeschränkte biologische Aktivität festgestellt. Dazu kommt, dass bei allen GH-Böden durch den Bau bedeutende Bodenverdichtungen verursacht worden sind.

---

Aufgrund dieser Resultate gibt es keine Gründe anzunehmen, dass die in der vorliegenden Studie untersuchten GWH-Böden mit ganzjähriger oder teilweiser Bodenproduktion generell von schlechterer Qualität sind als die entsprechenden Referenzflächen. Hier ist es aber wichtig zu erwähnen, dass auch die Referenzflächen oft nicht den Kriterien eines guten Bodens entsprachen. So wurden auch dort Verdichtungen festgestellt, oder eine verminderte biologische Aktivität, wie beispielsweise an Standort 4, wo die Referenzfläche stark sauer war. Für gesicherte Aussagen müsste die Stichprobe erweitert werden.

## 7. Ausblick

Trotz der kleinen Stichprobe zeigt diese Studie ein erstes Bild über die Wirkung von Gewächshäusern unterschiedlicher Bewirtschaftung auf den Boden. Aber es sind noch längst nicht alle Fragen geklärt.

Um den Einfluss des Gewächshausbaus im Gegensatz zum -betrieb auf die Böden genauer zu untersuchen, wäre es interessant, laufende Bauprojekte zu begleiten. Dabei sollte der Bodenzustand vor, während und nach den Bauarbeiten erfasst werden, sowie die baulichen Eingriffe sowie die getroffenen Bodenschutzmassnahmen genau dokumentiert werden. Damit könnten gute und schlechte Beispiele gesammelt und daraus Massnahmen für Verbesserungen abgeleitet werden.

Um mehr darüber in Erfahrung zu bringen, was mit dem Boden nach dem Rückbau eines Gewächshauses passiert, müsste genauer untersucht werden, wie schnell die Gesellschaft der Bodenorganismen sich wieder an die Bedingungen der Referenzflächen, resp. eines ungestörten Bodens angleicht. Dies würde die Frage beantworten, ob, und wie schnell ein Gewächshausboden nach dem Rückbau wieder seine standorttypische Bodenfruchtbarkeit erreichen kann.

Weitere Untersuchungen mit molekularbiologischen Methoden könnten zeigen, ob sich die Habitat-Gebundenheit von mikrobiellen Gemeinschaftsstrukturen ausnutzen lässt, um typische Gemeinschaften von "gestörten" oder "geschädigten" zu unterscheiden. Auch bezüglich einzelner Organismen wäre hier weitere Forschung wertvoll, wie weit diese als Bioindikatoren für die Qualität der mikrobiellen Gesellschaften genutzt werden könnten.

Da die vorliegende Studie mit nur sieben untersuchten Gewächshäusern auf einer kleinen Stichprobe beruht, wäre es sicher auch empfehlenswert, weitere Gewächshäuser zu untersuchen, um eine bessere Datengrundlage zu schaffen. Dabei würde man sinnvollerweise prioritär auf Böden unter W und HS Gewächshäusern fokussieren.

Es wäre ausserdem interessant, bei HS und W GWH die Bewirtschaftungspraxis genauer unter die Lupe zu nehmen und herauszufinden, ob es Best Practice Beispiele gibt, welche durch die Wahl von Arbeitsabläufen oder die Ausstattung der Gewächshäuser besonders bodenfreundlich sind.

## **8. Dank**

Ein spezieller Dank geht an die Gemüseproduzenten, welche uns ermöglicht haben, ihre GWH- und Referenzflächen zu beproben. Ohne sie wäre diese Studie nicht möglich gewesen. Ein weiteres Dankeschön geht an den VSGP und speziell an Herrn Matija Nuic. Herr Nuic stellte den Kontakt zwischen den interessierten Produzenten und der ZHAW her und legte damit den Grundstein zu dieser Studie. Und natürlich bedanken wir uns ganz herzlich beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Finanzierung dieses Projekts.

## 9. Referenzen

- Adamczyk, M., Hagedorn, F., Wipf, S., Donhauser, J., Vittoz, P., Rixen, C., ... Frey, B. (2019). The Soil Microbiome of GLORIA Mountain Summits in the Swiss Alps. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 1080. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01080>
- ART / ACW. (2008). *Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 2*. (Generic).
- Ball, B. C., Batey, T., & Munkholm, L. J. (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, *23*(4), 329–337. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>
- Ball, B. C., Batey, T., Munkholm, L. J., Guimarães, R. M. L., Boizard, H., McKenzie, D. C., ... Hargreaves, P. (2015). The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. *Soil and Tillage Research*, *148*, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.005>
- Blaskó, L. (2011). Salinity, Physical Effects on Soils. In J. Gliński, J. Horabik, & J. Lipiec (Eds.), *Encyclopedia of Agrophysics* (pp. 723–725). [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1\\_137](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_137)
- Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz. (2005). *Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS), Revision Teilprojekt 1A, Arbeitspapier Nr. 1, In der Kartierungspraxis verwendete Definitionsergänzungen*. Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz.
- Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz. (2010). *Klassifikation der Böden der Schweiz*. Bodenkundliche Gesellschaft Schweiz.
- Buchter, B., & Häusler, S. (2009). *Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen* (p. 12) [Arbeitshilfe]. Retrieved from [http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/phys\\_boschu/arbeitshilfe\\_ii.pdf](http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/phys_boschu/arbeitshilfe_ii.pdf)
- Clément, E., Grimm, O., Helleman, P., Hersche, T., Roth, I., Vinzens, M., & von Virag, A. (2018). Überarbeitung/Stärkung des Sachplans Fruchtfolgeflächen Bericht der Expertengruppe im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
- Dequiedt, S., Saby, N. P. A., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., ... Ranjard, L. (2011). Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecology and Biogeography*, *20*(4), 641–652. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00628.x>
- Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich-Reckenholz. (1997). *Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden*. Schriftenreihe 24 der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich-Reckenholz.
- FaBo ZH. (1999). *Fachbericht zur Messung von Bodenverdichtungen im Feld*. Zürich: Fachstelle Bodenschutz, Amt für Landschaft und Natur.
- FaBo ZH. (2000). *Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit  $k_{sat}$  im Labor—Laboranleitung*. Zürich: Fachstelle Bodenschutz, Amt für Landschaft und Natur.
- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *118*(1), 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>
- Flisch, R., Neuweiler, R., Kuster, T., Oberholzer, H., Huguenin-Elie, O., & Richner, W. (2017). Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. In *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017)*. Bern: Agroscope.
- Frossard, A., Donhauser, J., Mestrot, A., Gygax, S., Bååth, E., & Frey, B. (2018). Long- and short-term effects of mercury pollution on the soil microbiome. *Soil Biology and Biochemistry*, *120*, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.028>

- Frossard, A., Hartmann, M., & Frey, B. (2017). Tolerance of the forest soil microbiome to increasing mercury concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*, *105*, 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.11.016>
- Fuka, M., Engel, M., Gattinger, A., Bausenwein, U., Sommer, M., Munch, J. C., & Schloter, M. (2008). Factors influencing variability of proteolytic genes and activities in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(7), 1646–1653. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.028>
- Gao, W., Whalley, W. R., Tian, Z., Liu, J., & Ren, T. (2016). A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. *Soil & Tillage Research*, *155*(Journal Article), 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.004>
- Hartmann, M., Brunner, I., Hagedorn, F., Bardgett, R. D., Stierli, B., Herzog, C., ... Frey, B. (2017). A decade of irrigation transforms the soil microbiome of a semi-arid pine forest. *Molecular Ecology*, *26*(4), 1190–1206. <https://doi.org/10.1111/mec.13995>
- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., & Widmer, F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal*, *9*(5), 1177–1194. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>
- Hartmann, M., Niklaus, P. A., Zimmermann, S., Schmutz, S., Kremer, J., Abarenkov, K., ... Frey, B. (2014). Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction. *The ISME Journal*, *8*(1), 226–244. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.141>
- Horn, R., & Fleige, H. (2009). Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil Management for Sustainability*, *102*(2), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.015>
- Horrigue, W., Dequiedt, S., Prévost-Bouré, N., Chemidlin, Jolivet, C., Saby, N. P. A., Arrouays, D., ... Ranjard, L. (2016). Predictive model of soil molecular microbial biomass. *Ecological Indicators*, *64*, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.004>
- Hug, A.-S., Gubler, A., Gschwend, F., Widmer, F., Oberholzer, H., Frey, B., & Meuli, R. G. (2018). *NABObio – Bodenbiologie in der Nationalen Boden- beobachtung Ergebnisse 2012–2016 Handlungsempfehlungen und Indikatoren* (p. 55) [Handlungsempfehlungen]. Retrieved from Agroscope Reckholz website: [www.agroscope.ch/science](http://www.agroscope.ch/science)
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., & Boivin, P. (2017). To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Visual Soil Evaluation and Soil Compaction Research*, *173*, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.001>
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., & Boivin, P. (2019). Soil structure quality indicators and their limit values. *Ecological Indicators*, *104*, 686–694. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.040>
- Kaiser, E. A., Mueller, T., Joergensen, R. G., Insam, H., & Heinemeyer, O. (1992). Evaluation of methods to estimate the soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(7), 675–683. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90046-Z](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90046-Z)
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods* (Vols. 1–Book, Section, pp. 425–442). ASA and SSSA.
- Kenney, E., Hall, J., & Wang, C. (2002). Temporal trends in soil properties at a soil quality benchmark site in the Lower Fraser Valley, British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science*, *82*(4), 499–509.
- Le Bissonnais, Y. (2016). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, *67*(1), 11–21. [https://doi.org/10.1111/ejss.4\\_12311](https://doi.org/10.1111/ejss.4_12311)
- Liu, X., Wan, S., Su, B., Hui, D., & Luo, Y. (2002). Response of soil CO<sub>2</sub> efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant and Soil*, *240*(2), 213–223. <https://doi.org/10.1023/A:1015744126533>

- Luo, Y., & Zhou, X. (2006). *Soil respiration and the environment*. Retrieved from [http://sfx.ethz.ch/sfx\\_loca-ter?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=9780120887828&rft.local\\_attribute=esd](http://sfx.ethz.ch/sfx_loca-ter?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=9780120887828&rft.local_attribute=esd)
- Maurer-Troxler, C., von Rohr, G., Oberholzer, H.-R., Rossier, N., Mäder, P., von Arx, R., & Okopnik, F. (2009). *Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter (Arbeitshilfe)*. Retrieved from Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA website: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/fachinfo-daten/arbeitshilfe\\_bodenbiologischeparameter.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/fachinfo-daten/arbeitshilfe_bodenbiologischeparameter.pdf)
- Maurer-Troxler, Claudia, von Rohr, G., Oberholzer, H.-R., Rossier, N., Mäder, P., von Arx, R., & Okopnik, F. (2009). *Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter* (p. 25) [Arbeitshilfe]. Retrieved from FiBL website: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/fachinfo-daten/arbeitshilfe\\_bodenbiologischeparameter.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/fachinfo-daten/arbeitshilfe_bodenbiologischeparameter.pdf)
- Nimmo, J. R., & Perkins, K. S. (2002). Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 4—Physical Methods*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. Pp. 317–328. In J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 4—Physical Methods*. (Vols. 1–Book, Section, pp. 317–328). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., ... Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME Journal*, 4(10), 1340–1351. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.58>
- Sanauallah, M., Blagodatskaya, E., Chabbi, A., Rumpel, C., & Kuzyakov, Y. (2011). Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.004>
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2005). Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean Quercus ilex L. forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3), 455–461. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.004>
- Tobias, S. (2018). Konzept für den Umgang mit Spezialfällen im Sachplan Fruchtfolgeflächen. Schlussbericht zuhanden der Bundesämter für Raumentwicklung und Landwirtschaft.
- van Leeuwen, J. P., Djukic, I., Bloem, J., Lehtinen, T., Hemerik, L., de Ruiter, P. C., & Lair, G. J. (2017). Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*, 79, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.02.001>
- Verordnung über Belastungen des Bodens. , SR 814.12 § (1998).
- von Zabertitz, C. (1986). *Gewächshäuser: Planung und Bau*. (Vol. 2). Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Weisskopf, P., Reiser, R., Rek, J., & Oberholzer, H.-R. (2010). Effect of different compaction impacts and varying subsequent management practices on soil structure, air regime and microbiological parameters. *Soil and Tillage Research*, 111(1), 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.007>
- Xu, L., Baldocchi, D. D., & Tang, J. (2004). How soil moisture, rain pulses, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(4). <https://doi.org/10.1029/2004GB002281>
- Zhou, J., Bruns, M. A., & Tiedje, J. M. (1996). DNA recovery from soils of diverse composition. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62(2), 316–322.



# Anhang

<b>Anhang A: Fragebogen Gewächshaus-Bau .....</b>	<b>70</b>
<b>Anhang B: Probenahme-Pläne .....</b>	<b>72</b>
<b>Anhang C: Digitalisierte Profilblätter .....</b>	<b>76</b>
<b>Anhang D: Penetrogramme .....</b>	<b>102</b>



**Fundament**

Punktfundament ( Giebelwand /  Stehwand /  Binder im Innern des GH)

Grundfläche (B\*L)

Tiefe <sup>3</sup>

Form des Fundaments <sup>4</sup>

Bemerkungen

Streifenfundament ( Giebelwand /  Stehwand)

Grundfläche (B\*L)

Verankerung mit Punktfundamenten  ja /  nein

Tiefe <sup>3</sup>

Bemerkungen

<sup>3</sup> Gründungstiefe des Fundaments (untere Sohle); in frostfreier Tiefe (von Zabeltitz, 1986)-

**3. Planierung, Bodenschutz auf der Baustelle**

- Wurde der Oberboden planiert?  ja /  nein

Bemerkungen:

- Wurde der Unterboden planiert?  ja /  nein

Bemerkungen:

- Mit welchen Maschinen wurde planiert?

- Punktfundamente:  vorgefertigt, in Boden gerammt /  auf Baustelle gegossen

Bemerkungen:

- Mit welchen Maschinen wurden die Punktfundamente gesetzt?

- Wurde der Bau durch einen Bodenkundlichen Baubegleiter begleitet?  ja /  ein

Bemerkungen:

- In welchen Phasen des Baus (BBB)?

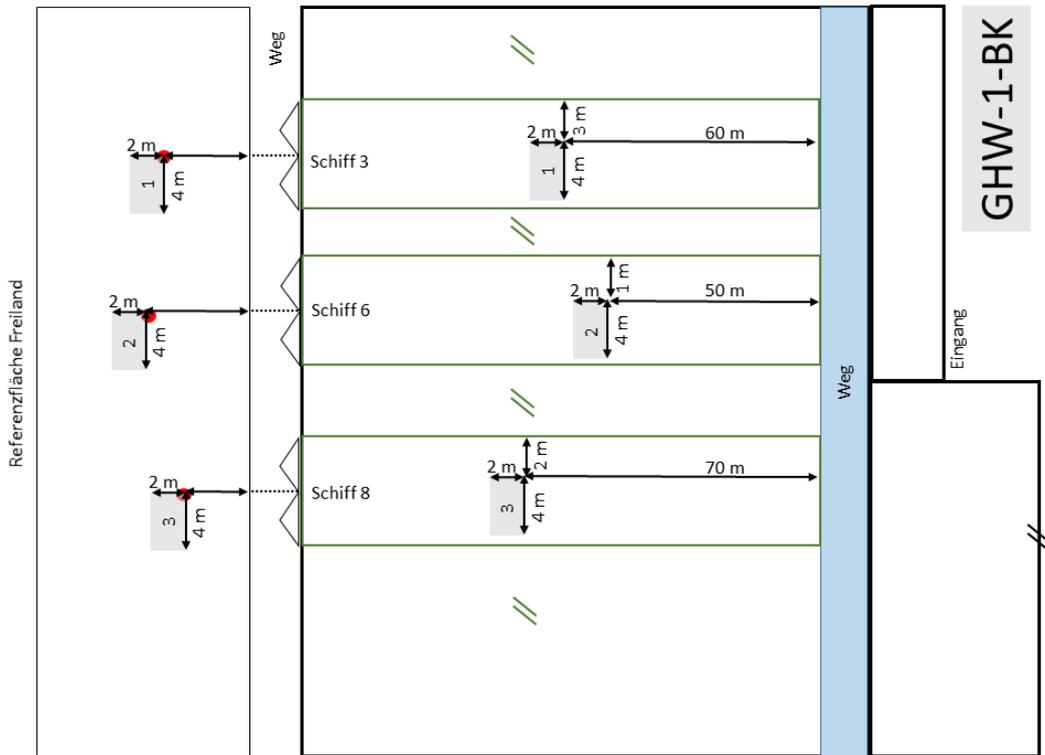
- Wieviel Zeit zwischen Planierungsarbeiten und Gewächshausbau?

- Welche Massnahmen für den Bodenschutz wurden ergriffen?

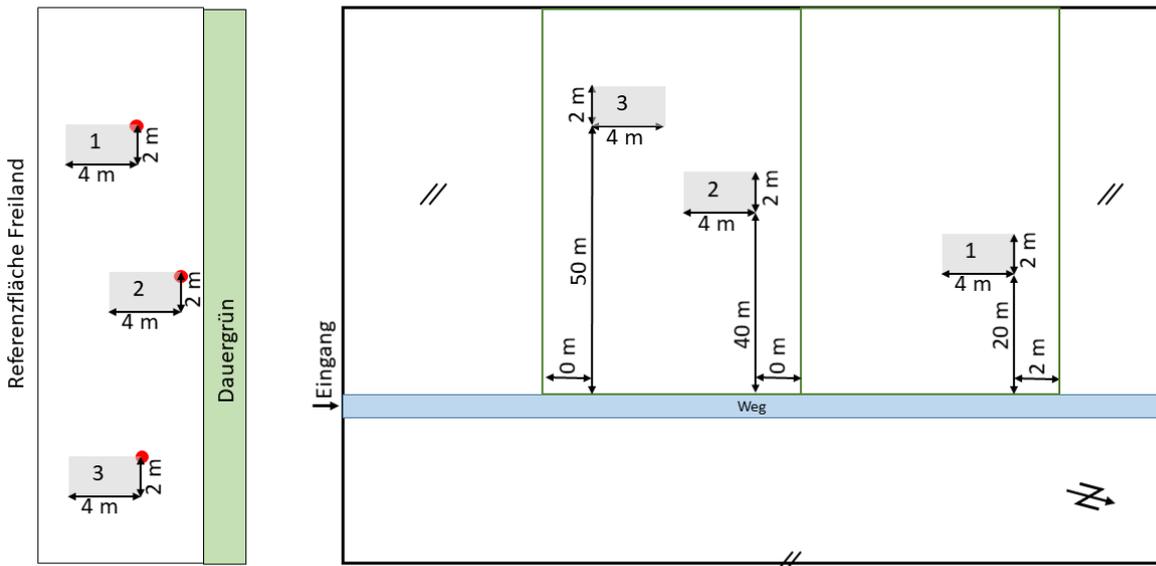
- Gibt es Fotos vom Bau? Werden diese zur Verfügung gestellt?  ja /  nein

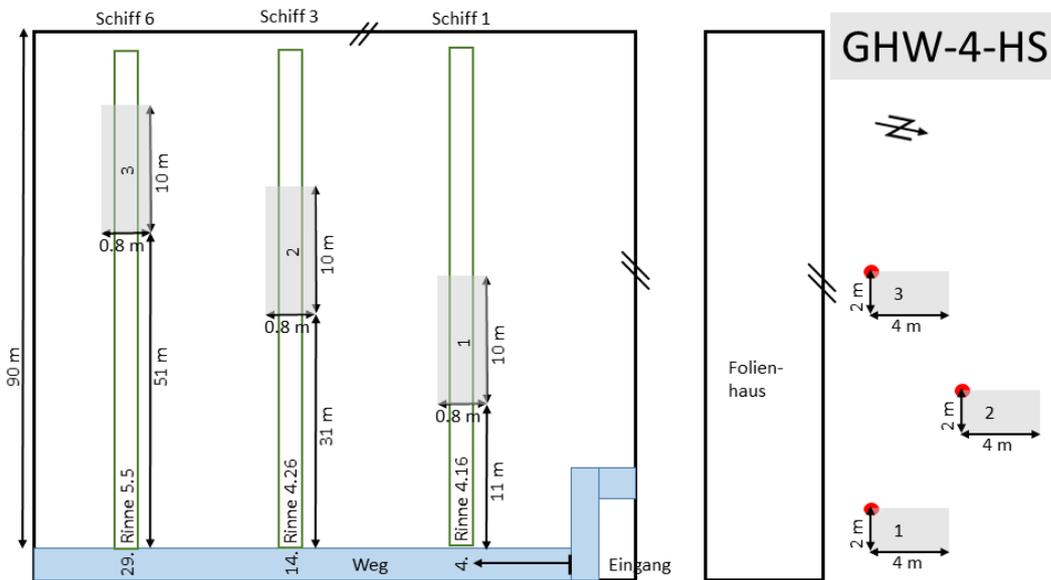
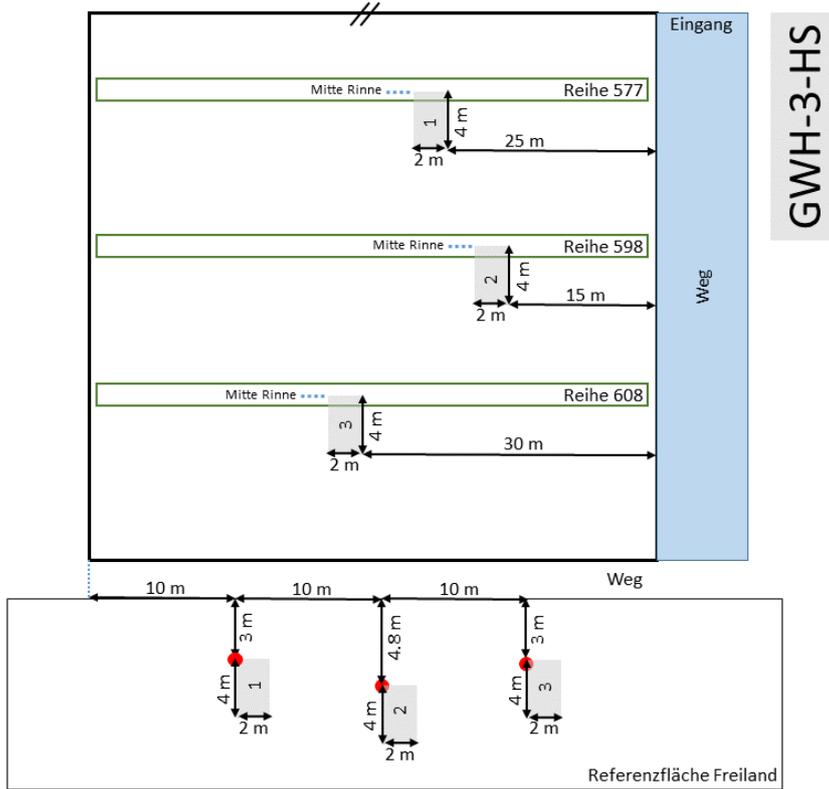
Bemerkungen:

**Anhang B: Probenahme-Pläne**



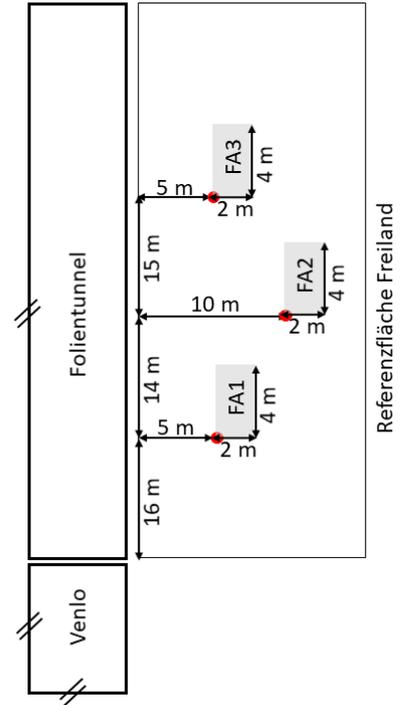
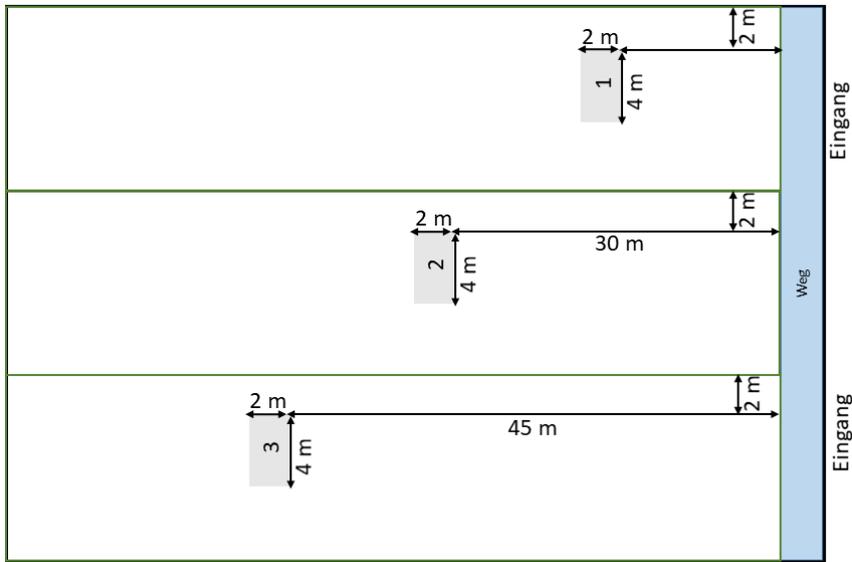
**GHW-2-BK**



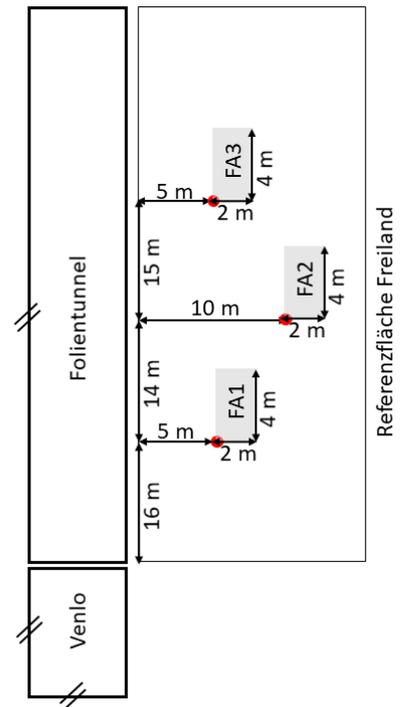
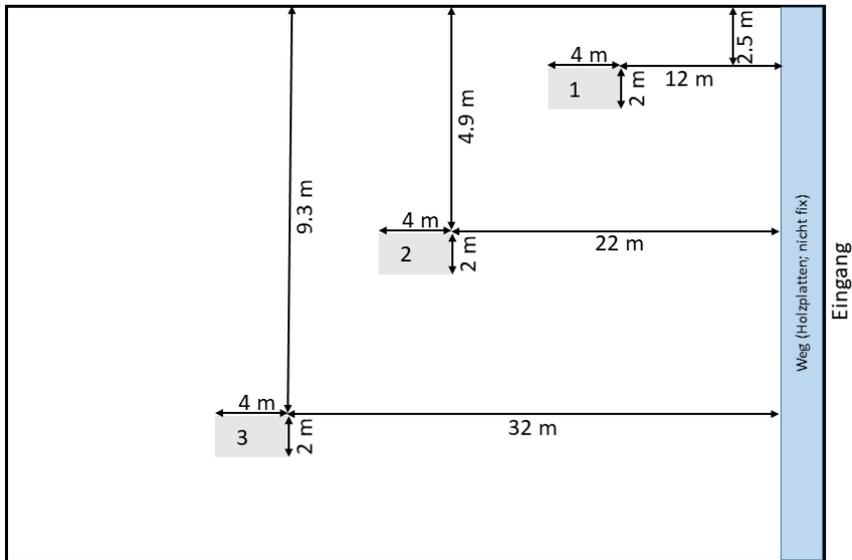


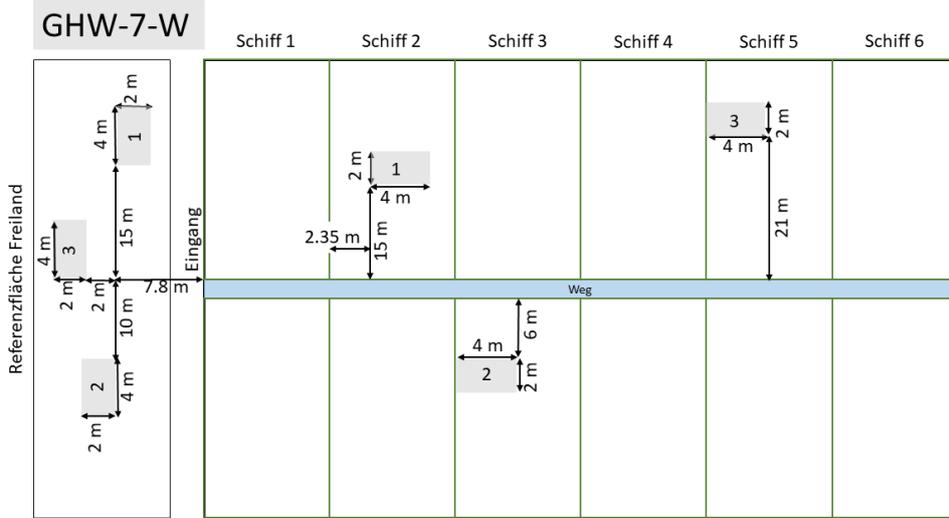


GHW-5-W



GHW-6-W





**Anhang C: Digitalisierte Profilblätter**

Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-1-BK

Situation				Titeldaten										
Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung							
1	2	3	4	5			6 7							
6.2	-	P	RoBe	26	2	2019	GWH-1-BK							
8	Politische Gemeinde					Gem.	10							
9	Kanton					Nr.	11							
Ort / Flurname				12						14				
Blatt-Nr. 1:25'000				Koordinaten		13		15						
Kartierungscode														
Topographie / Geologie				Bodenbezeichnung										
				Bodentyp	16	K	1353	17						
				Untertyp	E0, KH, I1, G1, L2			18						
				Skelettgehalt	19	1	0	20						
				Feinerdekorung	21	6	6	22						
				Wasserhaushaltsgruppe	b			23						
				Pflanzennutzbare Gründigkeit	81 cm			24						
				Neigung	25	0%	Geländeform	a	26					
Profilskizze														
27	28	29 / 30	31 / 32	33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont Nr	Horizont Tiefe	Horizont Bezeichnung	Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0													
1	40	Ah,p,k		Br3/ Kt2	6 [20.4]	22 [29]	38 [41]	40 [30]	6	0	4	7 [7.2]	10YR 3/2	Sq 1-2
2	50	ABcn,g,k		Kt5	1.5	25 (30)	38 (40)	37 (30)	6	0	4	7	10YR 4/3	Sq 3
3	95	BC(cn),(g)		Po5	-	25 (30)	38 (40)	37 (30)	3	0	4	7	10YR 6/4	Sq 2
4	105	Cg		Ko	-	16	38	46	8	1	5	7	10YR 6/3	-
Profiltiefe		105 cm												
Standort							Bewertung / Eignung							
Höhe ü. M	Ex position	Klimaeignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse			
58	59	60	61	62 / 63	64	65		73	74	75	76			
-	-	A3	AK	SC5	EE	0	1	2	86	-	1			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen														
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt	empfohlene	fest	flüssig				
1		-		-			69	70	71	72				
-														
Wald														
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit			
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111		



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-1

Situation			Titeldaten											
			Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
			1	2	3	4	5			6		7		
			6.2	-	P	RoBe	26	2	2019	Ref-1				
			8 Politische Gemeinde						Gem.		10			
			9 Kanton						Nr.					
			Ort / Flurname									11		
			12 Blatt-Nr. 1:25'000			Koordinaten			13			14		
			Kartierungscode									15		
Topographie / Geologie					Bodenbezeichnung									
					Bodentyp	16	K	1353	17					
					Untertyp	E0, KH, I1, G1, L2			18					
					Skelettgehalt	19	1	0	20					
					Feinerdekorung	21	6	6	22					
					Wasserhaushaltsgruppe	b			23					
					Pflanzennutzbare Gründigkeit	81 cm			24					
					Neigung	25	0%	Geländeform	a	26				
Profilskizze														
27	28	29 / 30	31 / 32	33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont		Horizont	Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm)	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr	Tiefe	Bezeichnung												
	0													
1	33	Ah,p,k		Br4/Sp3	3 [4.0]	22 [22.6]	38 [43.4]	40 [34.0]	6	0	4	7 [7.2]	10YR 4/3	Sq 2
2	90	CBg,(cn),x		Po6/Klk6	0	24 (24)	38 (43)	38 (33)	2	0	4	7	10YR 6/3	Sq 3-4
3	120	Cg		Ko	-	9	21	70	0	0	4	7	10YR 6/2	-
Profiltiefe		120 cm												
Standort						Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M	Exposition	Klimaeignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement	Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse				
58	59	60	61	62 / 63	64	65	73	74	75	76				
-	-	A3	AK	SC5	EE	0	1	2	86	-	1			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen														
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt	empfohlene	fest	flüssig				
1		-		-			69	70	71	72				
Wald														
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit			
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111		



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-2-BK

Situation				Titeldaten												
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung					
				1	2	3	4	5			6	7				
				6.2	-	P	RoBe	15	1	2019	GWH-2-BK					
				8 Politische Gemeinde			Gem.			10						
				9 Kanton			Nr.									
				Ort / Flurname						11						
				12 Blatt-Nr. 1:25'000	Koordinaten			13			14					
				Kartierungscode						15						
Topographie / Geologie				Bodenbezeichnung												
				Bodentyp			16	X	1353			17				
				Untertyp			E0, KH, I2						18			
				Skelettgehalt			19	1	0			20				
				Feinerdekorung			21	7	7			22				
				Wasserhaushaltsgruppe			h			23						
				Pflanzennutzbare Gründigkeit			49 cm			24						
Neigung			25	0%	Geländeform			a	26							
Profilskizze																
27	28	29 / 30		31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43)	42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56	
Horizont Nr		Horizont Tiefe		Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0															
1	30	Ah,p(x)				Br3	5 [13.0]	21 [35.4]	37 [39.1]	42 [25.5]	6	0	3	7 [7.1]	10YR 3/3	Sq 2-3
2	40	BA(x),(g),(c)				Br4	1.5	25 (32)	37 (33)	38 (35)	4	0	3	7	10YR 4/4	Sq3
3	73	BCg(g),(x),cn				Klr7/Pr6	0.5	33 (39)	40 (34)	27 (27)	2	0	3	7	2.5Y 5/3	Sq3
4	75	C		-	-	-	-	-	-	30	10	4	7	-		
Profiltiefe		75 cm														
Standort							Bewertung / Eignung									
Höhe ü. M		Ex position		Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet		Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse	
58	59	60		61	62 / 63	64	65	66		67	68	69	70	71	72	73
-	-	A3		AK	MS4	HT	0	1		4	69	-	-	-	-	4
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen																
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung				Meliorationen			Düngereinsatz					
66		67		68				festgestellt		empfohlene		fest		flüssig		
2		G		-				69		70		71		72		
Wald																
musform		Bestand		Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft		Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit		
100		101		gem. gesch. 102 103		gem. gesch. 104 105		gem. gesch. 106 107		108		109		Stufe 110 Punkte 111		



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-2

Situation			Titeldaten											
	Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologie	Datum			Profilbezeichnung						
	1	2	3	4	5			6 7						
			P	RoBe	15	1	2019	Ref-2						
	8	Politische Gemeinde				Gem.		10						
	9	Kanton				Nr.								
Ort / Flurname										11				
12	Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13			14						
Kartierungscode										15				
Topographie / Geologie					Bodenbezeichnung									
					Bodentyp	16	W	6376	17					
					Untertyp	E0, KH, I2, G5, R1, L2, PM			18					
					Skelettgehalt	19	0	0	20					
					Feinerdekorung	21	6	6	22					
					Wasserhaushaltsgruppe	u			23					
					Pflanzennutzbare Gründigkeit	29 cm			24					
Neigung	25	0%	Geländeform	a			26							
Profilskizze														
27	28	29 / 30	31 / 32	33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont		Horizont	Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm)	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr	Tiefe	Bezeichnung												
	0													
1	18	Ah,g		Sp2	3 [3.7]	21 [27.4]	38 [37.7]	41 [34.9]	4	0	4	7.5 [7.2]	2.5Y 4/3	Sq 1-2
2	35	ACgg,x,cn		Klr6	1	22 (28)	38 (38)	40 (34)	5	1	4	7.5	2.5Y 5/2	Sq 4-5
3	88	BCgg,cn		Po6	0.5	19 (24)	45 (44)	36 (32)	3	1	3	7.5	2.5Y 6/3	Sq 2-3
Profiltiefe		88 cm												
Standort							Bewertung / Eignung							
Höhe ü. M	Exposition	Klimaeignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse			
58	59	60	61	62 / 63	64	65		73	74	75	76			
-	-	A3	KW	MS4	EE	0	1	5	49	-	8			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen														
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt	empfohlene	fest	flüssig				
1		F, G		-			69	70	71	72				
-														
Wald														
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit			
		gem.	gesch.	gem.	gesch.	gem.	gesch.				Stufe	Punkte		
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109		110	111		



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-3-HS

Situation			Titeldaten												
	Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung							
	1	2	3	4	5			6 7							
	6.2	-	P	RoBe	18	12	2018	GWH-3-HS							
	8	Politische Gemeinde			Gem.			10							
	9	Kanton			Nr.										
Ort / Flurname										11					
12	Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13			14							
Kartierungscode										15					
Topographie / Geologie					Bodenbezeichnung										
					Bodentyp	16	K	1353	17						
					Untertyp	EO, KH, MA, L3, PU			18						
					Skelettgehalt	19	6	0	20						
					Feinerdekorung	21	6	5	22						
					Wasserhaushaltsgruppe	e			23						
					Pflanzennutzbare Gründigkeit	21 cm			24						
Neigung	25	0%	Geländeform	a	26										
Profilskizze															
27	28	29 / 30		31 / 32	33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont Nr		Horizont Tiefe		Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0														
1	38	yC			Ko	0.5 [1.5]	22 [24.0]	35 [32.8]	43 [43.2]	22	10	4	7 [7.4]	2.5Y 5/3	Sq5
2	45	bAh,xx,k			Klr6/Ko	3	22 (24)	37 (35)	41 (41)	1	0	4	7	2.5Y 4/3	Sq 4-5
3	95	Bk,xx		Klr6/Ko	0.5	18	33	49	1	0	4	7	2.5Y 4/6	Sq 4-5	
Profiltiefe		95 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M	Ex position	Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse			
58	59	60		61	62 / 63	64	65		73	74	75	76			
-	-	A3		XX	SC5	EE	0	2	5	38	-	9			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz						
66		67		68			festgestellt		empfohlene		fest		flüssig		
3		D		-			69		70		71		72		
Wald															
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit				
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111			



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-3

Situation				Titeldaten																					
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung														
				1	2	3	4	5			6	7													
				6.2	-	P	RoBe	18	12	2018	Ref:3														
				8	Politische Gemeinde			Gem.			10														
				9	Kanton			Nr.																	
				Ort / Flurname																					
				12	Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13																
				Kartierungscode																					
				15																					
Topographie / Geologie				Bodenbezeichnung																					
				Bodentyp			16	K	1353			17													
				Untertyp			E0, KH, I1, L2			18															
				Skelettgehalt			19	0	0			20													
				Feinerdekörmung			21	6	6			22													
				Wasserhaushaltsgruppe			b			23															
				Pflanzennutzbare Gründigkeit			84 cm			24															
Neigung			25	0%		Geländeform			a			26													
Profilskizze																									
27	28	29 / 30		31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42		44 / 45	46 / 47	48 - 55		56									
Horizont Nr		Horizont Tiefe		Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen									
	0																								
1	29	Ah,p				Sp4	3 [3.4]	23 [26.7]	40 [35.6]	37 [37.7]	0	0	3	7 [7.4]	10YR 4/2	Sq 2-3									
2	65	Bk,(g),x				Po5/Klr5	0.5	21 (24)	35 (33)	44(43)	0	0	4	7.5	10YR 5/4	Sq 3									
3	110	Bk,cn,g				Po6/Ko	-	35	45	20	0	0	4	7.5	2.5Y 6/3	Sq 2									
Profiltiefe		110 cm																							
Standort							Bewertung / Eignung																		
Höhe ü. M		Exposition		Klimaeignungszone		Vegetation aktuell		Ausgangsmaterial		Landschaftselement		Nutzungsgebiet		Stufe		Bodenpunktzahl		Eignung		Eignungsklasse					
58		59		60		61		62 / 63		64		65		73		74		75		76					
-		-				AK		SC5		EE		0		1		2		87		1					
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen																									
Krumenzustand				Limitierungen				Nutzungsbeschränkung				Meliorationen				Düngereinsatz									
66				67				68				festgestellt 69		empfohlene 70		fest 71		flüssig 72							
1				-				-				-		-		-		-							
Wald																									
musform		Bestand		Baumhöhe [m]				Vorrat [m3/ha]				Alter [J]		Gesellschaft		Geeignete Baumarten				Prod.-fähigkeit					
100		101		gem. 102		gesch. 103		gem. 104		gesch. 105		gem. 106		gesch. 107		108		109				Stufe 110		Punkte 111	



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-4-HS

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2	-	P	RoBe	11	12	2018	GWH-4-HS				
				8	Politische Gemeinde					Gem.		10			
				9	Kanton					Nr.					
				Ort / Flurname								11			
				12	Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13			14			
				Kartierungscode								15			
Topographie / Geologie						Bodenbezeichnung									
						Bodentyp	16	K	1353	17					
						Untertyp	E0, KH			18					
						Skeletgehalt	19	0	0	20					
						Feinerdekörnung	21	6	6	22					
						Wasserhaushaltsgruppe	c			23					
						Pflanzennutzbare Gründigkeit	52 cm			24					
						Neigung	25	0%	Geländeform	a	26				
Profilskizze															
27	28	29 / 30		31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43)	42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56
Horizont Nr	Tiefe	Horizont Bezeichnung		Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0														
1	35	Ah,(p),k,(x)			Sp3/Br5	2 [2.9]	17 [26.9]	35 [25.6]	48 [47.5]	3	0	3	7 [6.5]	10YR 5/3	Sq3
2	60	Bk,(x)			Po6/Klr6	0	19 (28)	35(25)	46(47)	4	0	3	7	10YR 6/4	Sq3
3	65	BC k		Po3,Ek	0	16	33	51	40	0	3	7	10YR 6/4	-	
Profiltiefe		65 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M	Ex position	Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse			
58	59	60		61	62 / 63	64	65		73	74	75	76			
-	-	A4		XX	SC5	EE	0	2	3	71	-	2			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen			Nutzungsbeschränkung			Meliorationen			Düngereinsatz				
66		67			68			festgestellt 69	empfohlene 70	fest 71	flüssig 72				
2		G			-			-	-	-	-				
Wald															
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit				
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111			



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-4

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2	-	P	RoBe	11	12	2018	Ref-4				
				8	Politische Gemeinde			Gem.			10				
				9	Kanton			Nr.							
Ort / Flurname				11											
12				Blatt-Nr. 1:25'000	Koordinaten			13			14				
Kartierungscode				15											
Topographie / Geologie						Bodenbezeichnung									
						Bodentyp	16	B	1352	17					
						Untertyp	E2, I1, L2			18					
						Skelettgehalt	19	0	0	20					
						Feinerdekorung	21	6	6	22					
						Wasserhaushaltsgruppe	b			23					
						Pflanzennutzbare Gründigkeit	80 cm			24					
Neigung	25	0%	Geländeform			a	26								
Profilskizze															
27	28	29 / 30	31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont Nr		Horizont Tiefe	Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm)	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0														
1		Ah,p			Br4	4 [2.4]	21 [26.2]	35 [28.4]	44 [45.4]	2	0	0	4.5 [4.8]	10YR 4/3	Sq 2
2	30	Bx,(cn),(g)			Po5/Klr5	-	19 (22)	35 (32)	46 (47)	4	0	0	5.2	10YR 5/4	Sq 2-3
3	70	CB			Po5/Ek	-	12	33	55	6	0	0	5.5	10YR 5/4	Sq 1-2
4	100	BC			EK	-	12	33	55	33	2	0	5.5	10YR 6/3	
Profiltiefe		110 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M		Exposition	Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse		
58		59	60		61	62 / 63	64	65		73	74	75	76		
-		-	A4		AK	SC5	EE	0	2	2	85	-	2		
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen			Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt		empfohlene		fest		flüssig		
1		-		-			69		70		71		72		
Wald															
musform		Bestand		Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft		Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit	
100		101		gem. 102 gesch. 103		gem. 104 gesch. 105		gem. 106 gesch. 107		108		109		Stufe 110 Punkte 111	



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-5-W

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2		P	hafr	22	2	2019	GWH-5-W				
				8	Politische Gemeinde				Gem.					10	
				9	Kanton				Nr.						
Ort / Flurname														11	
				12	Blatt-Nr. 1:25'000	Koordinaten		13				14			
Kartierungscode														15	
Topographie / Geologie						Bodenbezeichnung									
						Bodentyp	16	K	1353	17					
						Untertyp	E2, I2, FK, L2			18					
						Skelettgehalt	19	0	0	20					
						Feinerdekorung	21	12	12	22					
						Wasserhaushaltsgruppe				g		23			
						Pflanzennutzbare Gründigkeit				68 cm		24			
Neigung	25	0%	Geländeform		a	26									
Profilskizze															
27	28	29 / 30	31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56		
Horizont Nr		Horizont Tiefe	Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm)	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0														
1	21	Ah,p,cn			Kr2/Br3	5 [5.6]	23 [23.9]	57 [54.0]	20 [22.1]	1	0	2	6.5 [6.6]	10YR 3/3	Sq1
2	33	BA(g)			Br4	3	25	60	15	1	0	2	7	10YR 4/4	Sq 3 Ziegelstein-stücke
3	70	Bg(g),cn,x1			Po6	0.5	27	61	12	1	0	2	6.5	2.5Y 5/4	Sq4
4	110	Bg(g),cn,x2			Po6	-	29	62	9	0	0	2	6.5	10YR 5/8	Sq4
Profiltiefe		110 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M	Exposition	Klimaeignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement	Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse					
58	59	60	61	62 / 63	64	65	73	74	75	76					
-	-	A3	XX	LO	EE	0	1	3	79	-	2				
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz						
66		67		68			festgestellt 69	empfohlene 70	fest 71	flüssig 72					
1		G, I		-			-	-	-	-					
Wald															
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit				
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111			



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-5 / Ref-6

Situation				Titeldaten																			
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung												
				1	2	3	4	5			6		7										
				6.2	-	P	RoBe	5	2	2019	Ref-5 / Ref-6												
				8 Politische Gemeinde				Gem.			10												
				9 Kanton				Nr.			11												
Ort / Flurname				12 Blatt-Nr. 1:25'000			Koordinaten			13			14										
Kartierungscode				15																			
Topographie / Geologie						Bodenbezeichnung																	
						Bodentyp	16	X	1352	17													
						Untertyp	E2, I2, FK, L3			18													
						Skelettgehalt	19	0	0	20													
						Feinerdekörnung	21	6	6	22													
						Wasserhaushaltsgruppe				g		23											
						Pflanzennutzbare Gründigkeit				69 cm		24											
Neigung		25	1%	Geländeform		c		26															
Profilskizze																							
27	28	29 / 30		31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42		44 / 45	46 / 47	48 - 55	56								
Horizont Nr		Horizont Tiefe		Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm)	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen							
0																							
1		yAh				Kr2/Br3	5 [3.7]	22 [24.3]	60 [49.8]	18 [25.9]	2	2	3	7.5 [6.9]	10YR 3/3	Sq 1							
2		yAh,(g)				Kr2/Br3	4	22 (24)	60 (49)	18 (27)	1	1	3	7.5	10YR 3/3	Sq 1							
3		yBg,cn,xx				Klr6	0.5	24 (25)	60 (49)	16 (26)	1	1	0	5.3	10YR 6/6	Sq 4.5							
4		yC(x)				Klr5	-	18	60	22	0	0	2	7	10YR 5/2	-							
5		yCg,cn,x				Klr6	-	20	60	20	1	0	2	7	10YR 5/4	-							
Profiltiefe		120 cm																					
Standort								Bewertung / Eignung															
Höhe ü. M		Exposition		Klimaeignungszone		Vegetation aktuell		Ausgangsmaterial		Landschaftselement		Nutzungsgebiet		Stufe		Bodenpunktzahl		Eignung		Eignungsklasse			
58		59		60		61		62 / 63		64		65		73		74		75		76			
-		NO		A3		KW		X(LO)		KR		1		1		3		79		2			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen																							
Krumenzustand				Limitierungen				Nutzungsbeschränkung				Meliorationen				Düngereinsatz							
66				67				68				festgestellt		empfohlene		fest		flüssig					
1				G, I				-				69		70		71		72					
Wald																							
musform		Bestand		Baumhöhe [m]				Vorrat [m3/ha]				Alter [J]		Gesellschaft		Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit					
100		101		gem.		gesch.		gem.		gesch.		gem.		gesch.		108		109		Stufe		Punkte	
				102		103		104		105		106		107						110		111	



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-6-W

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2	-	P	RoBe	5	2	2019	GWH-6-W				
				8	Politische Gemeinde			Gem.			10				
				9	Kanton			Nr.			11				
Ort / Flurname				Blatt-Nr.		Koordinaten		13		14					
				12		1:25'000				15					
				Kartierungscode											
Topographie / Geologie							Bodenbezeichnung								
							Bodentyp	16	B	1352	17				
							Untertyp	E2, I2, FK, L2				18			
							Skelettgehalt	0		0		20			
							Feinerdekörnung	21	6	6	22				
							Wasserhaushaltsgruppe	g				23			
							Pflanzennutzbare Gründigkeit	66 cm				24			
Neigung	25	0%	Geländeform		a		26								
Profilskizze															
27	28	29 / 30	31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43)	42	44 / 45	46 / 47	48 - 55	56	
Horizont Nr		Horizont Tiefe	Profilskizze		Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
	0														
1	26	Ah,p			Kr2/Br3	6 [7.8]	20 [22.5]	60 [49.1]	20 [28.4]	1	0	3	6.5 [6.6]	10/R 3/3	Sq 1
2	60	Bg.cn,(x)			Po6/Klr6	0.5	24 (25)	60 (49)	16 (26)	1	0	0	5.1	10YR 6/6	Sq 4
3	100	Bg.cn,x			Po6/Klr6	-	24	60	16	0	0	0	5.1	10YR 6/6	Sq 4-5
Profiltiefe		100 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M		Exposition	Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landschaftselement		Nutzungsgebiet		Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse	
58		59	60		61	62 / 63	64	65	1		73	74	75	76	
-		-	A3		XX	LO	EE	0	1		3	78	-	2	
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen			Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt	empfohlene		fest	flüssig				
1		G, I		-			69	70		71	72				
							-			-					
Wald															
musform		Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft		Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit		
100		101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108		109		Stufe 110	Punkte 111	



Digitalisiertes Bodenprofilblatt GWH-7-W

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2	-	P	RoBe	20	3	2019	GWH-7-W				
				8	Politische Gemeinde			Gem.			10				
				9	Kanton			Nr.							
Ort / Flurname				11											
12				Blatt-Nr. 1:25'000	Koordinaten			13			14				
Kartierungscode				15											
Topographie / Geologie					Bodenbezeichnung										
					Bodentyp	16	F	1333	17						
					Untertyp	E0, G3, OS, DD			18						
					Skelettgehalt	19	1	0	20						
					Feinerdekörnung	21	6	-	22						
					Wasserhaushaltsgruppe	k			23						
					Pflanzennutzbare Gründigkeit	87 cm			24						
					Neigung	25	0%	Geländeform	a	26					
Profilskizze															
27	28	29 / 30		31 / 32		33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42		44 / 45	46 / 47	48 - 55	56
Horizont		Horizont		Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr	Tiefe	Bezeichnung													
	0														
1	30	Aa.p			Sp3	25 [21.66]	32 [21.0]	40 [23.4]	28 [55.6]	8	0	4	7 [6.8]	10YR 1.7/1	Sq 1-2
2	62	Aa.(g)			Po5	25	32 (21)	40 (23)	28 (56)	2	0	3	7	10YR 1.7/1	Sq 2-3
3	125	Tf.(g)			of	55	32	40	28	0	0	2	7	2.5Y 2.1 2.5Y 4/6	-
Profiltiefe		125 cm													
Standort								Bewertung / Eignung							
Höhe ü. M		Ex position	Klimaeignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet	Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse			
58		59	60	61	62 / 63	64	65		73	74	75	76			
-		-	A2	AK	TO	EE	0	1	2	87	-	2			
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen			Nutzungsbeschränkung			Meliorationen		Düngereinsatz					
66		67			68			festgestellt	empfohlene	fest	flüssig				
1		F			-			69	70	71	72				
-		-			-			-	-	-	-				
Wald															
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit				
		gem.	gesch.	gem.	gesch.	gem.	gesch.				Stufe	Punkte			
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109		110	111			



Digitalisiertes Bodenprofilblatt Ref-7

Situation				Titeldaten											
				Daten-schlüssel	Projekt-Nummer	Profilart	Pedologe	Datum			Profilbezeichnung				
				1	2	3	4	5			6	7			
				6.2	-	P	RoBe	20	3	2019	Ref-7				
				8	Politische Gemeinde			Gem.			10				
				9	Kanton			Nr.							
				Ort / Flurname						11					
				12	Blatt-Nr. 1:25'000	Koordinaten		13				14			
				Kartierungscode						15					
Topographie / Geologie				Bodenbezeichnung											
				Bodentyp			16	V	6352			17			
				Untertyp			E1, G4, OS, DD						18		
				Skelettgehalt			19	0	0			20			
				Feinerdekorung			21	6	-			22			
				Wasserhaushaltsgruppe			t						23		
				Pflanzennutzbare Gründigkeit			65 cm						24		
Neigung			25	0%	Geländeform			a	26						
Profilskizze															
27	28	29 / 30		31 / 32	33 / 34	35 / 36	37 / 38	39 / 40	41 (43) 42		44 / 45	46 / 47	48 - 55	56	
Horizont		Horizont		Profilskizze	Gefüge	org. Substanz [%]	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies (0.2-5) [Vol. %]	Steine (>5cm) [Vol. %]	Kalk CaCO3	pH CaCl2	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr	Tiefe	Bezeichnung													
	0														
1	42	Aa,p,(g)			Sp3	28 [29.74]	38 [29.5]	42 [34.5]	20 [36.0]	2	0	0	7 [6.4]	10YR 1.7/1	Sq 1
2	80	Tf,g(g)			of	60	38 (30)	42 (34)	20 (36)	0	0	0	7 (6.5)	10YR 1.7/1 2.5Y 4/3	(Sq 2)
3	125	Tf,gg			of	70	38	42	20	0	0	0	7	2.5Y 2/1 2.5Y 4/3	-
Profiltiefe		125 cm													
Standort							Bewertung / Eignung								
Höhe ü. M	Ex position	Klimaeignungszone		Vegetation aktuell	Ausgangs-material	Landschaftselement		Nutzungsgebiet		Stufe	Bodenpunktzahl	Eignung	Eignungsklasse		
58	59	60		61	62 / 63	64	65	73		74	75	76			
-	-	A2		KW	TO	EE	0	1		3	78	-	5		
Nutzungsbeschränkung / Meliorationen															
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungsbeschränkung			Meliorationen			Düngereinsatz					
66		67		68			festgestellt 69		empfohlene 70		fest 71		flüssig 72		
Wald															
musform	Bestand	Baumhöhe [m]		Vorrat [m3/ha]		Alter [J]		Gesellschaft	Geeignete Baumarten		Prod.-fähigkeit				
100	101	gem. 102	gesch. 103	gem. 104	gesch. 105	gem. 106	gesch. 107	108	109		Stufe 110	Punkte 111			



**Anhang D: Penetrogramme**

