



# BACHELORARBEIT

## Veränderung der Bodenphysik durch den Anbau von Bio-Gemüse unter Folie und Glas

Verfasserin

Karoline Messenböck

angestrebter akademischer Grad

Bachelor of Science (BSc)

Wien, März 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 033 655

Studienrichtung lt. Studienblatt: Bachelorstudium Geographie

Schwerpunktsetzung: Physische Geographie

Betreuung: Peticzka Robert, Ass.-Prof. Mag. Dr.

## EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit gebe ich die Versicherung ab, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Ort/Datum/Unterschrift:

## DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei Elfriede Stopper, die durch ihre Arbeit mit Bio-Gemüsebauern auf die Idee gekommen ist, die mich sofort begeistert hat und bei Hans Unterfrauner, der die Umsetzung zur Probennahme durch seine Kontakte möglich gemacht hat.

Mein Dank gilt ebenfalls Christa Hermann, die mich hilfsbereit und geduldig im Labor unterstützt hat und an meinem Betreuer Robert Peticzka für die Möglichkeit eine so praxisnahe Bachelorarbeit schreiben zu können.

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Abbildungen und Tabellen.....	1
2	Kurzzusammenfassung .....	2
3	Abstract.....	2
4	Einleitung.....	3
4.1	Problemstellung.....	3
4.2	Forschungsfrage und Hypothese.....	4
5	Theoretischer Hintergrund.....	5
5.1	Bio-Gemüsebau unter Glas und Folie .....	5
5.2	Untersuchte Parameter .....	7
6	Methoden.....	10
6.1	Standortbeschreibungen .....	10
6.2	Probennahme .....	12
6.3	Laboranalysen und Berechnung der Ergebnisse.....	13
6.4	Statistische Auswertung .....	15
7	Ergebnisse.....	16
7.1	Korngrößenverteilung .....	17
7.2	Lagerungsdichte .....	19
7.3	Aggregatstabilität .....	21
7.4	Nutzbare Feldkapazität .....	23
8	Diskussion der Ergebnisse.....	25
9	Zusammenfassung .....	29
10	Literaturverzeichnis.....	31
11	Anhang.....	33

# 1 ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abb. 1 Salzanreicherung an der Bodenoberfläche an zwei Standorten.....	6
Abb. 2 Österreichisches Texturdreieck ÖNorm L1050 .....	7
Abb. 3 Verhältnis zwischen Matrixpotenzial und Wassergehalt .....	9
Abb. 4 Verortung Untersuchungsstandorte .....	10
Abb. 5 Probennahmegeräte für die Stechzylindermethode und die Anwendung im Feld .....	12
Abb. 6 Beispiel einer Beprobungsfläche im Feld.....	12
Abb. 7 Stechzylinder nach dem Trocknen auf Massekonstanz.....	13
Abb. 8 Aufbau im Labor: links: Unterdruck, rechts: Überdruck .....	14
Abb. 9 Erläuterung Boxplot-Diagramm, eigene Darstellung .....	16
Abb. 10 Österreichisches Texturdreieck Standort SB für GWH und FR .....	17
Abb. 11 Texturdreieck Standort NÖ für GWH und FR.....	18
Abb. 12 Texturdreiecke Standort BG für GWH und FR.....	19
Abb. 13 Boxplot-Diagramm der Lagerungsdichte über alle Standorte .....	21
Abb. 14 Boxplot-Diagramm zur Aggregatstabilität über alle Standorte .....	22
Abb. 15 Boxplot-Diagramm der nFK über alle Standorte.....	24
Abb. 16 Korngrößenfraktionen: Differenz GWH-FR über alle Standorte .....	25
Abb. 17 standardisierte Aggregatstabilität aller Standorte.....	27
Tabelle 1 Vergleich Klima&Boden der Standorte (eBOD, ZAMG) .....	11
Tabelle 2 Korngrößenverteilung Standort SB .....	17
Tabelle 3 Korngrößenverteilung Standort NÖ .....	18
Tabelle 4 Korngrößenverteilung Standort BG.....	18
Tabelle 5 Werte Lagerungsdichte Standort SB.....	19
Tabelle 6 Werte Lagerungsdichte Standort NÖ .....	20
Tabelle 7 Werte Lagerungsdichte Standort BG .....	20
Tabelle 8 Werte Aggregatstabilität Standort SB .....	21
Tabelle 9 Werte Aggregatstabilität Standort NÖ .....	22
Tabelle 10 Werte Aggregatstabilität Standort BG .....	22
Tabelle 11 Werte nFK Standort SB .....	23
Tabelle 12 Werte nFK Standort NÖ .....	23
Tabelle 13 Werte nFK Standort BG.....	24
Tabelle 14 Übersicht über die Annahme bzw. Ablehnung der Arbeitshypothese .....	29

## 2 KURZZUSAMMENFASSUNG

Anhand von vier bodenphysikalische Parameter wird untersucht, wie sich die biologische Gemüseproduktion unter Glas und Folie auf die Böden auswirkt. Die Arbeit fokussiert sich dabei auf den konkreten Unterschied zwischen den Flächen im Gewächshaus und vergleicht diese mit landwirtschaftlichen Flächen im Freiland. Die Bodenproben für die Analyse wurden an drei Standorten in Österreich genommen und im physiogeographischen Labor (IfGR, Uni Wien) ausgewertet. Bei drei Parameter (Lagerungsdichte, Aggregatstabilität und nutzbare Feldkapazität) konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden, was beweist, dass eine Bewirtschaftung im Gewächshaus Spuren in der Bodenphysik hinterlässt, die schon nach einigen Jahren feststellbar sind.

## 3 ABSTRACT

Four soil physical parameters (grain size distribution, bulk density, stability of aggregates, available field capacity) were selected to investigate the effects of organic greenhouse horticulture on soil fertility. The following study concentrates on the difference between cultivated soils inside a greenhouse and comparable soils outside. Soil samples were taken at three different sites in Austria and were analyzed in the laboratory of the Institute for Geography and Regional Research, University of Vienna. To measure the shift from cultivated land outside a greenhouse to the plot inside, a statistical test calculated the significance. The results indicate a clear difference between the two variously farmed areas. Especially the parameters “stability of aggregates” and the “available field capacity” are pointing out a significant change over all three sites after a short period of greenhouse horticulture.

## 4 EINLEITUNG

Mehr und mehr Menschen wollen wissen, woher ihre Lebensmittel stammen. Sie wollen, dass ihre Lebensmittel so „natürlich“ wie möglich produziert werden und dass diese nicht tausende von Kilometern über das Meer zurückgelegt haben. Spätestens seit der aktuellen Dokumentation „Bauer unser“, ist dieser Gedanke auch in der breiten Masse angekommen. Ob diese Idee auch tatsächlich im Kaufverhalten umgesetzt wird sei dahingestellt. Hinter der Idee von natürlich produzierten Lebensmitteln stehen Schlagwörter, wie „biologische Landwirtschaft“, „artgerechte Tierhaltung“ und, in den letzten Jahren in den Fokus der Öffentlichkeit geraten, die „Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit“. Die IFOAM (International Foundation of Organic Agriculture) hat im Jahr 2008 eine international geltende Definition biologischer Landwirtschaft formuliert. Gestützt ist diese Definition auf die, ebenfalls von der Organisation verfassten, Prinzipien des biologischen Landbaus – Gesundheit, Ökologie, Gerechtigkeit und Sorgfalt. Die Definition erläutert im ersten Satz, dass die ökologische Landwirtschaft, ein Produktionssystem sei, welches die Gesundheit der Böden, der Ökosysteme und der Menschen stärkt und erhält (IFOAM 2008). Nicht aus Zufall wird in einer international geltenden Definition der Boden, als Grundlage aller landwirtschaftlichen Tätigkeiten, als erster erwähnt, den es zu schützen gilt. Den Boden zu schützen, bedeutet, dessen Funktionen zu erhalten. Je mehr die Wissenschaft über diese Funktionen und deren Komplexität erforscht, desto mehr wird bewusst, wie abhängig die Menschheit von einem „gesunden“ Boden ist. Landwirte, die biologisch produzieren, versuchen die Fruchtbarkeit der Böden aufrecht zu erhalten und trotzdem genug Ernteerträge einzufahren, um sich finanziell abzusichern. Um dies zu erreichen, wird der Boden bewirtschaftet und als Folge verändert. In der Landwirtschaft gibt es verschiedene Intensitätsstufen, wie mit der Natur als Kapitalgeber umgegangen wird. Die biologische Landwirtschaft zählt sich dabei zu den extensivsten Formen.

### 4.1 Problemstellung

Die Bewirtschaftung unter Glas und Folie, in der Arbeit abgekürzt als **GWH**, wird im Fachjargon auch als „geschützter Anbau“ bezeichnet. Da diese Anbausysteme sehr hohe Kosten in der Anschaffung und im Erhalt bedeuten, ist es wichtig, hohe Ernteerträge einzufahren. Hier beginnt die Problematik, denn hohe Erträge bedeuten hohe Entzüge für das System Boden und die künstliche Optimierung der Bedingungen für die Kulturpflanzen. Mit anderen Worten: das (Mikro)Klima im GWH wird auf eine verlängerte Vegetationsperiode umgestellt; der fehlende Niederschlag wird durch Bewässerungssysteme ersetzt; durch die Entnahme der Ernterückstände aus hygienischen Gründen müssen Wirtschaftsdünger eingebracht werden (George et al. 2009; Wonneberger 2004). Vor allem biologisch wirtschaftende Landwirte stehen hier vor einer großen Herausforderung, denn der Grundsatz der Bio-Landwirtschaft ist, wie eingangs

angesprochen, der Erhalt und die Förderung der Bodengesundheit und Fruchtbarkeit. Das intensive System des biologischen, geschützten Anbaus von Gemüse wird bereits von Wissenschaftlern aus Deutschland und den Niederlanden untersucht. 2008 wurde eine Arbeitsgruppe für die Erforschung des biologischen Gartenbaus unter Folie und Glas ins Leben gerufen (van der Lans und Meijer 2011). Diese Gruppe legt ihren Fokus jedoch hauptsächlich auf die Untersuchung der Nährstoffe für die Pflanzen und deren Verfügbarkeit und Folgewirkungen. Analysen, die die physikalischen Eigenschaften des Bodens innerhalb eines Folientunnels oder Glashauses, betreffen, wurden noch nicht bzw. immer nur unter Bezugnahme der Nährstoffverfügbarkeit, getätigt. Die weitere Problematik des geschützten Anbaus von Biogemüse, die sich speziell für die Bodenphysik ergibt ist die sehr fein strukturierte Bodenbearbeitung mit speziellen Fräs- und Hackgeräten, die bereits erwähnte Bewässerung, die meist in Form einer lokalen Tröpfchen-Bewässerung umgesetzt wird und die Schaffung eines künstlichen, ariden Klimas im Folientunnel bzw. Gewächshaus – mehr dazu im Kapitel „Theoretischer Hintergrund“. Diese Faktoren und deren Auswirkungen auf die Bodenphysik sind weitgehend noch nicht untersucht worden bzw. stecken noch in Kinderschuhen. Deshalb ist es ein Ziel dieser Bachelorarbeit, als Art Pionierarbeit, erste Erkenntnisse zu diesem Thema zu gewinnen.

## 4.2 Forschungsfrage und Hypothese

Um die Problemstellung auf eine konkrete Fragestellung einzuschränken, wird untersucht, ob es einen Unterschied zwischen Böden gibt, die schon seit mehreren Jahren geschützt bewirtschaftet werden, zu vergleichbaren Böden im Freiland, in der Arbeit abgekürzt durch **FR**.

1. Forschungsfrage: Gibt es einen signifikanten Unterschied gewählter bodenphysikalischer Parameter zwischen Freiland -und GWH-Flächen?

Die Bodenproben für die Parameter werden an drei verschiedenen Standorten in Österreich genommen und anschließend analysiert. Somit ergibt sich eine weitere Frage, die sich auf den geographischen Aspekt bezieht:

2. Forschungsfrage: Kann der Unterschied zwischen Freiland und GWH über alle Parameter, unabhängig von der betrieblichen Bewirtschaftungsweise und der geographischen Lage festgestellt werden?“.

Die Hypothese, dass es **einen signifikanten Unterschied** von Bodeneigenschaften im FR- und GWH Milieu gibt, soll die Fragen nochmal unterstreichen und verständlich machen.

## 5 THEORETISCHER HINTERGRUND

### 5.1 Bio-Gemüsebau unter Glas und Folie

Im Allgemeinen gibt es im Gemüsebau verschiedene Produktionsmethoden, die sich vor allem anhand von quantitativen Gesichtspunkten und Intensitätsstufen unterscheiden lassen. Der **Feldgemüsebau** ist eher großflächig und deshalb weitgehend mechanisiert. Die Felder werden in die Fruchtfolge des landwirtschaftlichen Betriebes mit anderen Feldfruchtsorten bzw. Zwischenfrüchten miteinbezogen (Wonneberger 2004). Vor allem Zwiebel, Grünerbsen und Karotten werden auf diese Art angebaut. Im Jahr 2015 entfiel in Österreich eine Fläche von 13.995 ha auf den Feldgemüsebau (BMLFUW 2016). Eine weitere Betriebsform ist der **Gärtnerische Freilandgemüsebau**, bei dem durch bestimmte Arbeitsmethoden, die meist auch sehr arbeitsintensiv sind, zwei oder mehr Ernten pro Saison und Fläche erzielt werden (Wonneberger 2004). In der österreichischen Statistik wird die dritte Methode des **Gärtnerischen Gemüsebaus in Gewächshäusern** und der Gärtnerische Freilandgemüsebau, die in der Fachliteratur meist getrennt beschrieben werden, zusammengefasst. Dazu gehören neben dem Gemüsebau auch die Produktion von Blumen bzw. Zierpflanzen und Baumschulen. Laut Gartenbauerhebung 2015 werden in Österreich 1.963 ha gärtnerisch bewirtschaftet, wobei 31,7 % auf den Anbau von Gemüse entfallen, was eine Fläche von ca. 622 ha entspricht (BMLFUW 2016). Die landwirtschaftlichen Betriebe, die als Untersuchungsstandorte für diese Arbeit ausgewählt wurden, werden zu Betrieben des Gärtnerischen Gemüseanbaus gezählt, welcher umgangssprachlich auch als Feingemüsebau bezeichnet wird. Neben dem Anbau im Freiland auf Ackerflächen der Betriebe wird auch Gemüse in Gewächshäusern gezogen. Der Sinn von Folientunnel und Glashäuser ist, dass natürliche Umweltbedingungen modifiziert und bis zu einem gewissen Grad gesteuert werden können. Der wichtigste Vorteil der daraus entsteht ist die **Verlängerung der Vegetationsperiode**, indem Jungpflanzen früher gepflanzt werden können und länger in den Herbst hinein geerntet werden kann (Welbaum 2015). Seit einigen Jahren werden erfolgreiche Versuche zur Kultivierung von Wintergemüse, unter anderen in Folientunneln, unternommen (Palme 2014). Das bedeutet, dass der Boden in den Gewächshäusern mit einer stark verkürzten Ruhephase übers Jahr gesehen konfrontiert ist. Nährstoffe werden in Mitteleuropa üblicherweise, abhängig von der Niederschlagsmenge, in tiefere Bodenschichten (vor allem im Winter) ausgewaschen. Nährstoffauswaschung heißt dabei, dass diese aus dem Wurzelraum ausgetragen werden (Blume et al. 2010a). Die Konstruktion aus Folie oder Glas verhindert dabei die Auswaschung – im Gewächshaus herrschen daher **aride Klimaverhältnisse** (George et al. 2009). Durch den fehlenden Niederschlag müssen Bewässerungssysteme installiert werden, um genug Feuchtigkeit für das Pflanzenwachstum zur Verfügung zu stellen. Durch die fehlende regelmäßige Tiefenverlagerung der Nährstoffe durch den

natürlichen Regen können diese an der Oberfläche akkumuliert werden, was zu einer Ionenkonkurrenz und somit zu einer verringerten Aufnahme von Nährstoffen führen kann und auch die Verfügbarkeit des Wassers für die Pflanzen eingeschränkt wird (Blume et al. 2010a; George et al. 2009; Hartge und Horn 2014). Auf den Fotos (Abb. 1) ist eine Akkumulation an Nährstoffe in Form von Salzen zu erkennen.



Abb. 1 Salzanreicherung an der Bodenoberfläche an zwei Standorten; Fotos: Aspöck K. & Messenböck K.

Für die Untersuchung wurden Gemüsebaubetriebe gewählt, die biologisch wirtschaften. Für die Produktion und die Kennzeichnung gilt die EU Bio-Verordnung und die Bio Austria Richtlinien. Speziell für den Anbau unter Glas und Folie gilt dabei: Anbau ist nur im „gewachsenen“ Boden erlaubt, Hydrokultur ist somit verboten. Im Winter (Dezember bis Februar) dürfen die Kulturflächen lediglich frostfrei gehalten werden, also auf max. 10°C erwärmt werden, die Beheizung ist ausschließlich mit erneuerbaren Energien gestattet. Laut den Richtlinien muss weiters auf gute Wärmedämmung von Glashäusern geachtet werden und die Beleuchtung mit künstlichen Licht ist ebenfalls verboten (EU 2008; Bio Austria 2016).

Die gesamte Bewirtschaftungsweise im geschützten Bereich unterscheidet sich stark von der im Freiland. Die eher kleinstrukturierten Bodenflächen in den Folientunneln und Glashäusern werden häufig per Hand bearbeitet. Zum einen bedeutet dies eine verringerte Auflast durch schwere Maschinen und zum anderen eine feinere Umsetzung des Oberbodens durch Geräte wie Fräsen und Hacken anstatt Pflug und Egge.

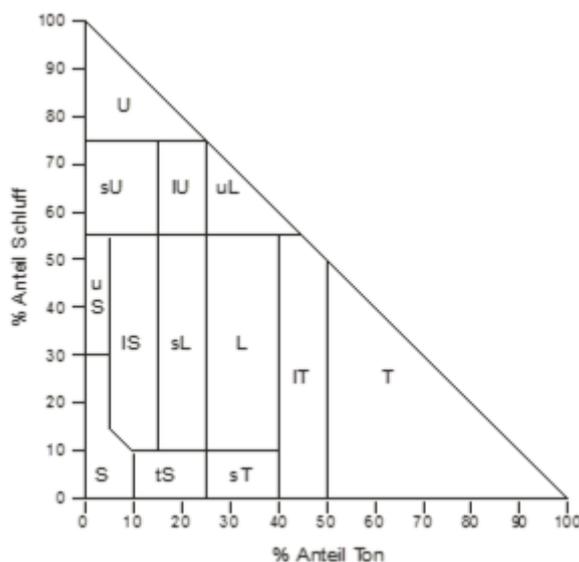
## 5.2 Untersuchte Parameter

Faktoren, die bereits ausführlich erläutert wurden, bestimmen den Unterschied zwischen Böden im Gewächshaus und im Freiland. Oft werden die Böden frostfrei gehalten und durch die Bewässerung und dem ariden Kleinklima sind die Bodenwasserbewegungen entgegen der Schwerkraft gerichtet. Die verlängerte Vegetationsperiode sorgt für einen beinahe ganzjährig durchwurzelten Boden. Die Einflüsse wirken sich auf die Bodeneigenschaften aus. Es wurden vier bodenphysikalische Parameter gewählt, von denen angenommen wird, dass diese stark beeinflusst werden und ein Unterschied zwischen geschützten und ungeschützten Anbau erkennbar wird.

### Korngrößenverteilung

Die unterschiedliche Körnung eines Bodens, auch Bodenart oder Textur genannt, ist ein wichtiges, aussagekräftiges Kennzeichen. Sie gehört zu den am sich langsamsten verändernden Bodeneigenschaften und ist somit für die spätere Analyse ein Zeichen dafür, ob es Reaktionen in dem untersuchten Boden gibt, die diese Eigenschaft beeinflussen. Reaktionen, die diesen Parameter beeinträchtigen können sind unter anderem, Lösungs- und Fällungsvorgänge, Einlagerungen und Auswaschungen und mechanische Zerkleinerung. Das Hauptaugenmerk wird auf die Tonfraktion gelegt, da diese erfahrungsgemäß hauptsächlich von verändernden Einflüssen betroffen ist (Hartge und Horn 2014:29). Weiters wirkt sich die Größenverteilung der mineralischen Bestandteile (auch Primärteilchen) auf andere Bodeneigenschaften aus. Als wichtigster Parameter ist hier die Wasserleitfähigkeit bzw. -durchlässigkeit zu nennen, aber auch die Stabilität der Bodenstruktur und Aggregate. Ebenso, vor allem für die Landwirtschaft und somit auch für den Gemüsebau von Bedeutung, ist die „Leichtigkeit“ der Bearbeitung des bewirtschafteten Bodens, welche sehr stark mit der Bodenart (tonig, schluffig, sandig) zusammenhängt. (Hartge und Horn 2014:29; Rowell 1997:31)

Im Labor werden zur Untersuchung die Korngrößen eines Bodens meist in Feinboden und



Grobboden fraktioniert. Zum Grobboden zählen dabei alle Fraktionen über 2 mm, zum Feinboden alle Fraktionen darunter. Durch die Ermittlung der Anteile von Ton, Schluff und Sand wird auf die Bodenart geschlossen. Dreieckdiagramme, so wie in Abb. 2 dargestellt, dienen dabei zur „konventionellen Einteilung der Kornmische“ (Blume et al. 2010b:174).

Abb. 2 Österreichisches Texturdreieck ÖNorm L1050, Quelle: Peticzka R.

### **Lagerungsdichte**

Die Primärteilchen eines Bodens haben eine bestimmte Lage zueinander, sie können mehr oder weniger dicht nebeneinander gelagert sein. Die Hohlräume bzw. Poren, die dadurch entstehen sind entweder mit Luft oder Wasser gefüllt. In der Matrix (=Feststoffpartikel und Poren), die durch die Abstützung und Berührung der Körner, entsteht, finden sämtliche chemische und biologische Vorgänge statt (Blume et al. 2010b:178). Je höher also die Dichte ist, desto dichter sind die Bodenbestandteile zueinander gelagert und umgekehrt. Durch mechanische Einwirkungen, wie Befahrung oder Bearbeitung des Bodens, treten Veränderungen in der Lagerung auf, die sich auf den Wasser-, Wärme- und Lufthaushalt auswirken (Hartge und Horn 2014). *Im geschützten Gemüsebau wird mit Handgeräten gearbeitet, die den Boden feiner auflockern und bearbeiten, als mechanisierte, größere Maschinen im Freiland (Pflug, Egge etc.). Ob sich diese unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen tatsächlich auf die Dichte des Bodens auswirken, soll untersucht werden.*

### **Aggregatstabilität**

Eng in Zusammenhang mit der Lagerungsdichte steht das Bodengefüge und ihre verschiedenen morphologischen Formen. Auch hier beeinflussen die Gefügeeigenschaften, den Wasser-, Luft-, Wärme-, und Nährstoffhaushalt. (Hartge und Horn 2014:123) Die analysierten Bodenproben stammen alle aus dem A-Horizont und weisen somit eine sogenannte Aggregatstruktur auf, was bedeutet, dass die „Teile der Bodenmatrix von ihrer Umgebung deutlich abgegrenzt sind und separate Körper bilden“ (Blume et al. 2010b:196). Typische Markrogefüge (sind mit dem bloßen Auge erkennbar), welche man im A-Horizont im Zusammenhang mit Bodenbearbeitung und hoher Durchwurzelung findet, sind Rollaggregate und Biologische Aufbaugesüge. Aus unterschiedlichen Gründen können diese Aggregate mehr oder weniger stabil gegenüber physikalischen (z.B. Spannungen und Verformungen), chemischen (z.B. Salze, Oxide) und auch biologischen (z.B. Bioturbation) Einwirkungen sein. *Im Zuge dieser Arbeit wird die Aggregatstabilität gegenüber Wasser untersucht, denn diese entscheidet über das Ausmaß von Verschlammung und Krustenbildung vor allem von landwirtschaftlichen Kulturflächen (Hartge und Horn 2009:99).*

### **Nutzbare Feldkapazität**

Die bereits beschriebenen Parameter haben direkten Einfluss auf den Wassergehalt eines Bodens, denn Körnung und Gefüge bestimmen die Größenverteilung der Poren, in denen das Wasser unterschiedlich stark gebunden ist. Wie intensiv das Wasser im Boden gebunden ist, wird mit dem Begriff des „Potenzials“ beschrieben, von dem es – je nach Anziehungskraft – verschiedene Teilpotenziale gibt (Blume et al. 2010b:223). Das Potenzial, welches im Rahmen dieser Untersuchung die größte Bedeutung hat, ist das Matrixpotenzial. Es entsteht durch An-

ziehungskräfte der Wassermoleküle an Mineraloberflächen, sowie der Wassermoleküle untereinander (z.B. Meniskenbildung). Die Beziehung zwischen dem Gehalt an Wasser eines Bodens und dem Matrixpotenzial (=Bodenwasserspannung) wird Wasserspannungskurve oder pF-Kurve (Rowell 1997:138) genannt, welche in Abb. 3 für verschiedene Bodenarten dargestellt ist. Wie in der Abbildung zu sehen ist, sind die Kurvenverläufe charakteristisch für unterschiedliche Böden. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) entspricht nun jenen Bereich, der für die Pflanzen zur Verfügung steht und liegt zwischen der Luftkapazität (LK) und dem permanenten Welkepunkt (PWP) bzw. ist „die Wassergehaltsdifferenz zwischen Feldkapazität (FK) und PWP“ (Blume et al. 2010a:381). Wie in der Abbildung eingezeichnet, ist der Übergang zwischen der FK und der LK keine vordefinierte Grenze, sondern ein Bereich, der von der Bodenart abhängig ist. *Da angenommen wurde, dass die Bodenart an den drei Untersuchungsstandorten eher Richtung tonig und schluffig tendiert, wird die Grenze FK/LK für die Analyse bei pF<sub>2,5</sub> definiert.* Dieses Potenzial zwischen pF<sub>2,5</sub> und 4,2 entspricht jenem Matrixpotenzial, welches in den Mittelporen herrscht in denen das gebundene Wasser den Pflanzen zur Verfügung steht (Hartge und Horn 2014:48).

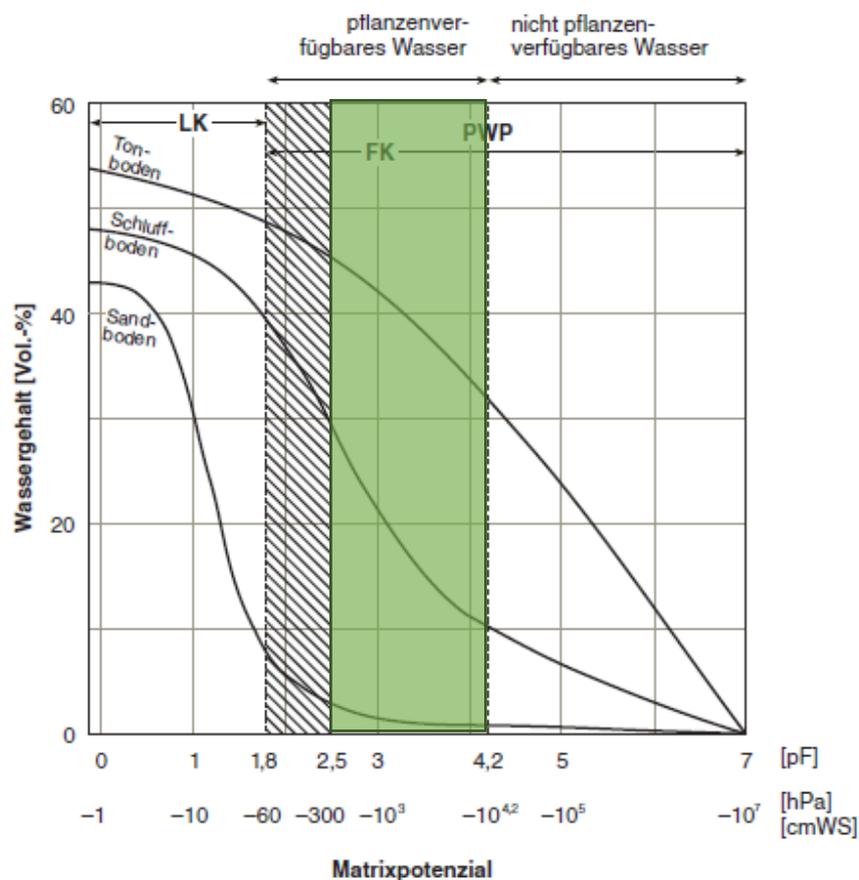


Abb. 3 Verhältnis zwischen Matrixpotenzial und Wassergehalt (Blume et al. 2010b), grüner Bereich markiert die nFK für die hier beschriebene Untersuchung

## 6 METHODEN

### 6.1 Standortbeschreibungen

Drei österreichische Bio-Gemüsebauern erklärten sich bereit, ihren Grund und Boden für die Untersuchung bereit zu stellen. Die Kontakte wurden über Hans Unterfrauner geknüpft. Alle Betriebe vermarkten ihre Produkte im Bio-Austria Verband und unterliegen somit deren Richtlinien, die im vorigen Kapitel kurz vorgestellt wurden. Die Karte (Abb. 4) zeigt, wo die Betriebe in Österreich zu verorten sind. Aufgrund der Anonymisierung und Vereinfachung werden die Standorte als **SB** (Standort Salzburg), **NÖ** (Standort Niederösterreich) und **BG** (Standort Burgenland) bezeichnet. Ob ein Betrieb für die Untersuchung geeignet war, wurde anhand zwei Kriterien bestimmt: 1. Der Boden im Folientunnel oder Gewächshaus wird seit mehr als fünf Jahren durchgehend als Kulturfläche bewirtschaftet und 2. Es gibt eine landwirtschaftliche Freilandfläche, entweder Acker oder Grünland, unmittelbar angrenzend neben dem Gewächshaus.

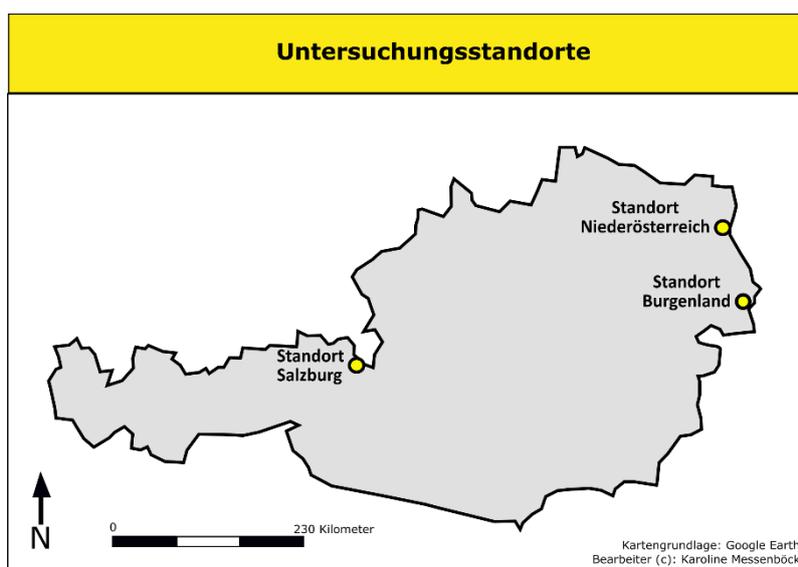


Abb. 4 Verortung Untersuchungsstandorte

Tabelle 1 veranschaulicht das vorherrschende Klima im Umkreis der Betriebe. Es wurden dafür die Daten der nächstgelegenen Klimastationen der Klimanormalperiode 1971-2000 herangezogen. Die beiden Standorte im Osten Österreichs unterscheiden sich geringfügig hinsichtlich ihres Klimas und Seehöhe. Der Unterschied zum Standort SB ist um einiges größer, vor allem beim Vergleich der Niederschlagssumme, die zirka doppelt so groß ist als in NÖ und BG, und der Seehöhe.

Standort/Wetterstation	Ø Jahres-temperatur [°C]	Ø Jahresniederschlag [mm]	Seehöhe am Standort	Bodentyp laut eBod
SB/Zell am See	6,6	1100	800m	Lockersediment Braunerde
NÖ/Fuchsenbigl	9,5	524,7	145m	Feuchtschwarzerde
BG/Neusiedl am See	10,1	574	124m	Feuchtschwarzerde/Tschernosem

Tabelle 1 Vergleich Klima&amp;Boden der Standorte (eBOD, ZAMG)

## Details zu den Standorten

Am Tag der Probennahme wurden die Landwirte hinsichtlich einiger Details, wie Bodenbearbeitung und aktuelle Kulturen auf den Flächen, befragt. Die Bodentypen sind anhand der „Digitalen Bodenkarte von Österreich“ (siehe [gis.lebensministerium.at/eBOD](http://gis.lebensministerium.at/eBOD)) bestimmt worden und ebenfalls in der Vergleichstabelle (Tabelle 1) aufgelistet.

**Standort SB:** Laut eBod handelt sich am Standort um eine Lockersediment-Braunerde. Die Bodenbearbeitung am Acker erfolgt mit dem Pflug auf ca. 18-20cm Tiefe. Im Gewächshaus wird die Fläche mit Spaten und Gabel und einer Fräse mit 10-15cm Bearbeitungstiefe aufgelockert. Bei der Probenname war der Acker mit Klee gras bepflanzt. Das Gewächshaus ist in zwei Stufen ausgebaut worden. Die erste Hälfte entstand 1998, die zweite, hintere Hälfte wurde 2008/2009 erweitert. Laut dem Landwirt erkennt man keinen Unterschied der verschiedenen alten Flächen hinsichtlich Ertrag und Bodenbearbeitung. Zum Zeitpunkt der Probenahme wuchsen Paprika, Melanzani und Salate im GWH.

**Standort NÖ:** Der kartierte Bodentyp laut eBod ist eine Feuchtschwarzerde. Vor Ort wurde ein Bodenprofil ausgehoben und auf den Bodentyp Schwarzerde bestimmt. Das Ausgangssubstrat ist feinkörniges, kalkhaltiges Schwemmmaterial. Bei der Fläche im Freiland handelt es sich um Grünland, welches mehrmals im Jahr gemäht wird. Die Kulturfläche im Folientunnel wird mit einer Fräse bis ca. 10 cm Tiefe bearbeitet. Zum Zeitpunkt der Probennahme wuchsen dort Radieschen, Rucola, Asia-Mix-Salate und Gurken.

**Standort BG:** Am Standort herrscht laut eBod der Bodentyp Feuchtschwarzerde bzw. Tschernosem vor. Die Bodenprofile in der Digitalen Bodenkarte, die in der unmittelbaren Nähe kartiert wurden, beschreiben die oberen Horizonte als stark kalkhaltig und versalzt (eBOD). Das Gewächshaus, in den die Proben gezogen wurden, besteht seit 2005 und ist mit Fundamenten verankert. Die Fläche dieses GWH misst 0,5 ha auf der beim Probennahmezeitpunkt Tomaten gepflanzt waren, auf der Freilandfläche war Hafer die vorherrschende Kulturart.

## 6.2 Probennahme

Die Bodenproben an den Standorten wurden im Mai und Juni 2016 genommen. Die Proben entstammen allesamt aus dem Oberboden, dem  $A_p$ -Horizont, also den ersten 30 cm. Grundlegende Norm an die sich die Probennehmer halten mussten ist die Ö Norm L1055 -Probennahme von ackerbaulich genutzten Flächen in die auch der (Feld)Gemüsebau miteingeschlossen ist. Für die Parameter Aggregatstabilität und Korngrößenverteilung wurden gestörte Proben laut Ö Norm L 1052 – Probennahme unter Zerstörung der Bodenstruktur, genommen. Die Parameter Lagerungsdichte und nutzbare Feldkapazität bedürfen einer ungestörten Probennahme, die nach Ö Norm L 1051 – Probennahme unter Beibehaltung der Bodenstruktur (Stechzylindermethode), gezogen wurden – siehe Abb. 5. Für die Probennahme wurden Stechzylinder mit einem Volumen von  $100\text{ cm}^3$  gewählt. Um eine statistisch sinnvolle Auswertung zu gewährleisten, wurden pro Fläche und Standort (jeweils GWH und FR) **sieben randomisierte** Stechzylinderproben genommen, die als Stellvertreter der Grundgesamtheit angenommen wurden. Da Böden im Allgemeinen sehr heterogen sind, war es wichtig, dass die beiden Flächen GWH und FR unmittelbar nebeneinanderlagen. Ein Standortbeispiel dafür zeigt die Abb. 6.



Abb. 5 Probennahmegeräte für die Stechzylindermethode (Ö Norm L 1051) (links) und die Anwendung im Feld (rechts); Fotos: Messenböck K. und Aspöck K.

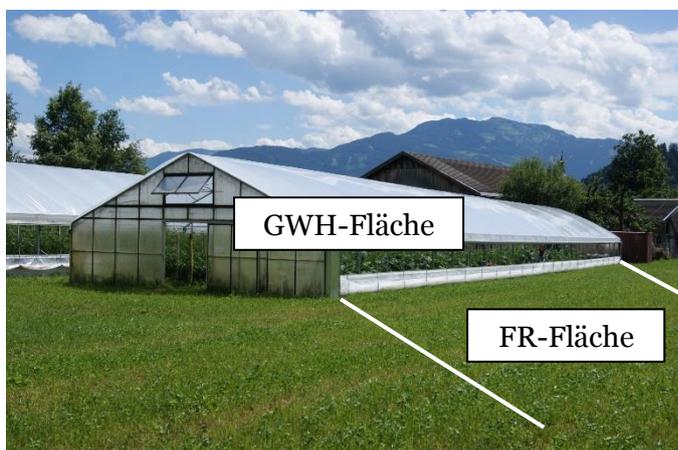


Abb. 6 Beispiel einer Beprobungsfläche - GWH und FR - im Feld, Foto: Aspöck K.

### 6.3 Laboranalysen und Berechnung der Ergebnisse

Alle Parameter wurden in den Räumlichkeiten des Physiogeographischen Labors analysiert.

Die **Korngrößenverteilung** wurde anhand der Ö Norm L 1061 (Physikalische Bodenuntersuchung – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens) bestimmt und berechnet.

Für die Bestimmung der **Lagerungsdichte** gilt die Ö Norm L 1068. Genauer gesagt wurde die *Rohdichte trocken* bestimmt. Laut Norm wird der Stechzylinder im Ofen auf Massekonstanz getrocknet, anschließend gewogen und so die Dichte berechnet (siehe Ö Norm). Am **Standort NÖ** wurde die Dichte exakt nach der normativen Vorgehensweise bestimmt. Durch das Trocknen im Ofen entstehen Risse und der Boden kann sich vom Rand des Stechzylinders lösen, wie in der Abb. 7 zu sehen ist. Diese „Fehlstellen“ wurden für die Proben der **Standorte BG und SB** durch feinen Sand ersetzt, indem dieser in die Hohlräume geklopft wurde. Wichtig dabei ist, dass von Probe zu Probe eine gleichwertige Kraft aufgebracht wird, um den Sand in die Zwischenräume zu klopfen. Die Dichte des Sandes, welche im Vorhinein bestimmt wurde, ist  $1,42 \text{ g/cm}^3$ . Es handelt sich dabei um handelsüblichen Sand mit 0,2-1 mm Korngröße. Vor und nach dem Sandersatz wurde das Gewicht der Probe gewogen. Mit folgender Berechnung wurde die tatsächliche *Rohdichte trocken* der Bodenprobe berechnet:

$$V(\text{Sand}) = \frac{m(2) - m(1)}{\rho(\text{Sand})}$$

$$V(\text{Probe}) = V(\text{Stechzylinder}) - V(\text{Sand})$$

$$\rho(\text{Boden}) = \frac{m(2)}{V(\text{Probe})}$$

m(2)	...Masse der Probe <b>nach</b> Sandersatz {g}
m(1)	...Masse der Probe <b>vor</b> Sandersatz {g}
$\rho(\text{Sand})$	...Dichte des Sandes = $1,42 \text{ g/cm}^3$
V(Stechzylinder)	...Volumen des Stechzylinders = $100 \text{ cm}^3$
$\rho(\text{Boden})$	...berechnete <i>Rohdichte trocken</i> { $\text{g/cm}^3$ }



Abb. 7 Stechzylinder nach dem Trocknen auf Massekonstanz - erkennbare Fehlstellen vor allem an den Rändern. Foto: Messenböck K.

Die verwendete Ö Norm L 1072 zur Bestimmung der **Aggregatstabilität** beruht auf dem Verfahren der Nasssiebung oder auch Siebtauchverfahren. Der Parameter wurde für alle Standorte nach der Norm bestimmt und berechnet.

Als Basis zur Bestimmung und Berechnung der **Nutzbaren Feldkapazität** gilt die Ö Norm L 1063. In der Norm wird die Analyse des Wasserrückhaltevermögens, auch pF-Kurve (wie in der Theorie beschrieben) mittels Drucktopf mit keramischer Platte, beschrieben. Der Bereich des Matrixpotenzials, der laut der Ö Norm Anwendung findet, liegt zwischen -0,5kPa und -1500kPa. In diesem Bereich befindet sich auch das Matrixpotenzial, dass der nutzbaren Feldkapazität entspricht (siehe Kapitel „Theoretischer Hintergrund“). Der Versuchsaufbau im physiogeographischen Labor entspricht vom Prinzip her, dem Aufbau, wie er von Hartge und Horn (2009) beschrieben wird. Die Abbildungen (Abb. 8) zeigen diesen Versuchsaufbau im physiogeographischen Labor. Die Proben im Stechzylinder wurden im ersten Schritt auf maximale Wasserkapazität gesättigt, wie auch in der Ö Norm erläutert. Im zweiten Schritt wurden die die Wassergehalte der Bodenproben an den zwei verschiedenen Matrixpotenzialpunkten – pF 2,5 und pF 4,2 - bestimmt. Für die Bestimmung des pF 2,5 wurde die Unterdruckmethode verwendet, bei der ein Sog bzw. Zug von unten von 300 hPa (durch einen Kompressor und Druckregler) angesetzt wurde. Für den Wassergehalt bei pF 4,2 wurden die Bodenproben durch Überdruck in einer Membranpresse der Fa. Eijelkamp ins Gleichgewicht gebracht. Normalerweise wird dabei der Druck im Topf auf 15 bar gebracht - im Labor wurde jedoch ein Druck von 7 bar produziert, der auf die Proben drückt. Nach Absprache mit Petizcka Robert (Laborleitung) sind die Ergebnisse mit dem Wert 0,74 multipliziert worden, da es eine enge Korrelation zwischen den üblichen 15 bar und den angesetzten 7 bar gibt. Die nutzbare Feldkapazität ergibt sich abschließend aus der Differenz des Wassergehalts und wird in Vol.% angegeben:

$$nFK [Vol\%] = \% \text{ Wassergehalt (pF 2,5)} - \% \text{ Wassergehalt (pF 4,2)}$$



Abb. 8 Aufbau im Labor: links: Unterdruck, rechts: Überdruck, Fotos: Karoline M.

---

## 6.4 Statistische Auswertung

In der ersten Forschungsfrage, die einleitend beschrieben wurde, ist von einem signifikanten Unterschied die Rede. Diese Signifikanz wurde mittels eines statistischen Tests, dem **t-Test** berechnet. Das Signifikanzniveau, bei dem die Nullhypothese angenommen wird, liegt bei 5 %. Das bedeutet, dass bei einem Niveau von über 5%, es keinen Unterschied zwischen den bodenphysikalischen Parametern der GWH- und FR-Fläche gibt. Für die erste Forschungsfrage wurde jeder Standort für sich ausgewertet. Dabei sind für die Parameter *Lagerungsdichte*, *Aggregatstabilität* und *nutzbare Feldkapazität* die Signifikanzen (=p-Wert) berechnet worden. Alle Berechnungen wurden in Microsoft Excel durchgeführt.

Die zweite Forschungsfrage beschäftigt sich damit, ob die vermuteten Unterschiede über alle Standorte und Parameter hin beobachtet werden können. Für eine solche Gegenüberstellung müssen die Werte im ersten Schritt standardisiert werden, damit diese eine gleiche Skalierung aufweisen. Die Standardisierung wurde je Parameter über alle Standorte durchgeführt und die einzelnen transformierten Werte in ein Boxplot-Diagramm dargestellt. Anhand der grafischen Darstellung können die Unterschiede visuell analysiert werden. Die Signifikanzen, die über den t-Test für die 1. Forschungsfrage berechnet wurden, bilden die Grundlage für die Interpretation des geographischen Aspekts (=2. Forschungsfrage).

Für die *Korngrößenverteilung* wird dann ein Unterschied angenommen, wenn sich die Bodenart zwischen GWH und FR laut Österreichischem Texturdreieck ändert. Da speziell der Tongehalt näher betrachtet wird, wurde zusätzlich eine statistische Signifikanzgrenze – Vertrauensbereich von 95% - in der Tonfraktion gesetzt. Dieser Bereich wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Mittelwert}(GWH, FR) \pm \text{Standardabweichung}(GWH, FR) * 1,96$$

Bewegt sich die Tonfraktion im GWH und FR *außerhalb* dieses Bereiches und gibt es keine Änderung der Bodenart wird ein signifikanter Unterschied der Korngrößenverteilung angenommen.

## 7 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die endgültigen Ergebnisse, anhand denen auch die Signifikanzen berechnet wurden, für jeden Parameter separat von Standort zu Standort vorgestellt. Die Bestimmung und Berechnung der Werte wird im vorigen Kapitel „Methoden“ erläutert – die Messwerte und Zwischenergebnisse befinden sich im Anhang.

Die analysierten Einzelwerte jeder Stechzylinderprobe (pro Standort insg. 14 – sieben GWH bzw. FR) für die Parameter Lagerungsdichte und nutzbare FK werden in den Tabellen aufgelistet. Die Signifikanz der Aggregatstabilität wurde jeweils (GWH und FR) anhand von drei Werten berechnet, wobei hinter den Einzelwerten eine Mischprobe mit ca. 25 Einstichen steht (siehe ÖNorm). Da die GWH- und FR-Werte, über die Standorte hinweg, teilweise auf unterschiedlichem Niveau liegen, werden diese zusätzlich in einem Boxplot-Diagramm dargestellt. Hierfür wurden die Werte standardisiert, was bedeutet, dass die Werte der y-Achse nicht den realen Messwerten entsprechen. Ein Boxplot-Diagramm besteht aus einer Box und den Whisker. Die Linie, die man in der Abbildung (Abb. 9) innerhalb der Box erkennt, ist der Median, das Kreuzerl stellt den Mittelwert dar. Die obere und untere Grenze der Box wird definiert durch den Quartilsabstand (IQR), in dem sich die mittleren 50% der Werte bewegen. Die Whisker markieren den Minimal- und Maximalwert. Je nach Statistikprogramm werden die Ausreißer aus dem Max und Min-Bereich (zwischen oberen und unteren Whisker) unterschiedlich definiert. (Kronthaler 2016:44) Microsoft Excel hält sich hierbei an die Definition nach John W. Tukey. Dabei werden die Werte als Ausreißer betrachtet, die über das 1,5fache des IQR liegen (vgl. Microsoft Excel 2015).

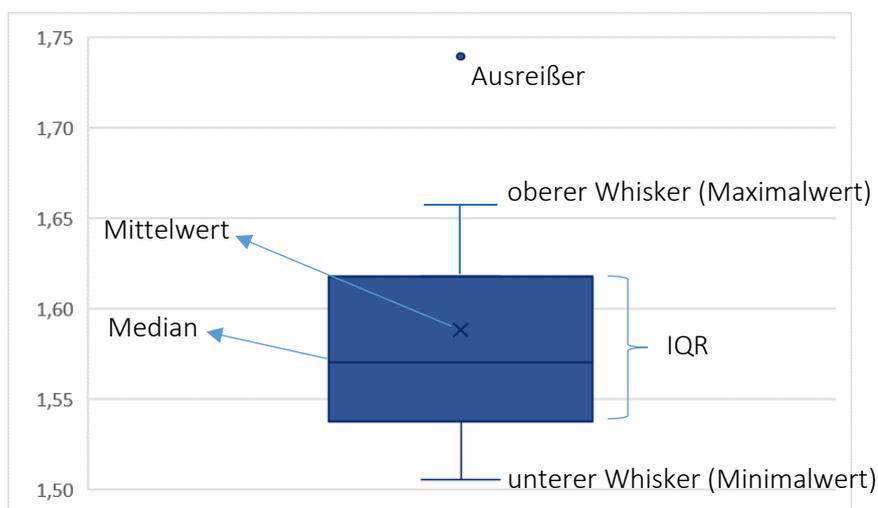


Abb. 9 Erläuterung Boxplot-Diagramm, eigene Darstellung

## 7.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wird in die Fraktionen Ton, Schluff (fein, mittel, grob), Sand (fein, mittel, grob) und der Kiesfraktion eingeteilt. Die Prozentanteile je Fraktion sind in eine Tabelle eingetragen. Anhand der Texturdreiecke, in denen die Bodenart eingetragen ist, wird der Unterschied zwischen GWH und FR dargestellt. Quelle der Texturdreiecke und der Berechnungen dafür: Peticzka Robert. Der Signifikanzbereich der Tonfraktion wurde an keinem Standort überschritten und sind deshalb im Folgenden nicht mehr extra aufgelistet. Die Ergebnisse der Berechnung dafür sind im Anhang zu finden.

### Standort SB

Da die Bodenart beider Flächen sandigem Lehm (sL) entspricht, gibt es am Standort **keinen signifikanten Unterschied** zwischen der GWH- und FR-Fläche. Im Freiland rückt die Bodenart im Gegensatz zum Gewächshaus in Richtung der schluffigen Kornfraktionen, was man auch an den Werten in der Tabelle erkennt, die in der Fraktion Schluff zunehmen. Im GWH sind auch die gröberen Korngrößen (Sand mittel, grob und Kiesfraktion) stärker vertreten, den größten Unterschied gibt es beim mittleren Sand um 3,8%. Die Tonfraktion nimmt im Gegenzug um ca. 1,5% ab.

Korngrößenfraktion	Ton	Schluff			Sand			Kies	
		fein	mittel	grob	fein	mittel	grob		
in µm	<2	2-6	6-20	20-63	63-200	200-630	630-2000	>2000	
% je Fraktion	GWH	19,07	9,06	20,52	20,36	15,6	10,1	5,3	8,87
	FR	17,51	7,71	22,06	23,43	19	6,3	4	7,89

Tabelle 2 Korngrößenverteilung Standort SB

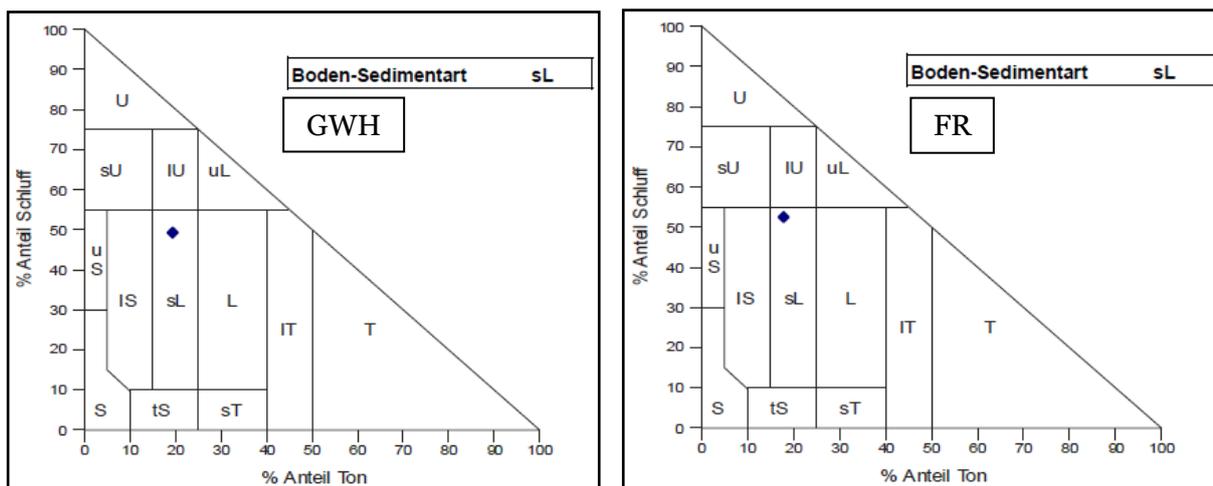


Abb. 10 Österreichisches Texturdreieck Standort SB für GWH (links) und FR (rechts)

## Standort NÖ

Die untersuchte Bodenart für den Standort wurde auf Lehm (L) bestimmt und ändert sich nicht zwischen den Flächen GWH und FR, was bedeutet, dass es auch hier **keinen signifikanten Unterschied** gibt. Die beiden feinsten Fraktionen, Ton und Schluff fein, haben im GWH einen größeren Anteil als im FR. Was auffallend ist, ist, dass die Fraktion >2mm (Kiesfraktion) im GWH um ein Vielfaches über dem FR liegt. Einen ebenfalls vergleichsweise „grö- ßeren“ Unterschied von 2,5% ist in der Fraktion Schluff grob erkennbar.

Korngrößenfraktion	Ton	Schluff			Sand			Kies	
		fein	mittel	grob	fein	mittel	grob		
in µm	<2	2-6	6-20	20-63	63-200	200-630	630-2000	>2000	
% je Fraktion	GWH	36,78	16,16	17,56	13,8	7,1	6,6	2	3,43
	FR	36,09	13,07	18,35	16,29	6,9	7,3	2	0,91

Tabelle 3 Korngrößenverteilung Standort NÖ

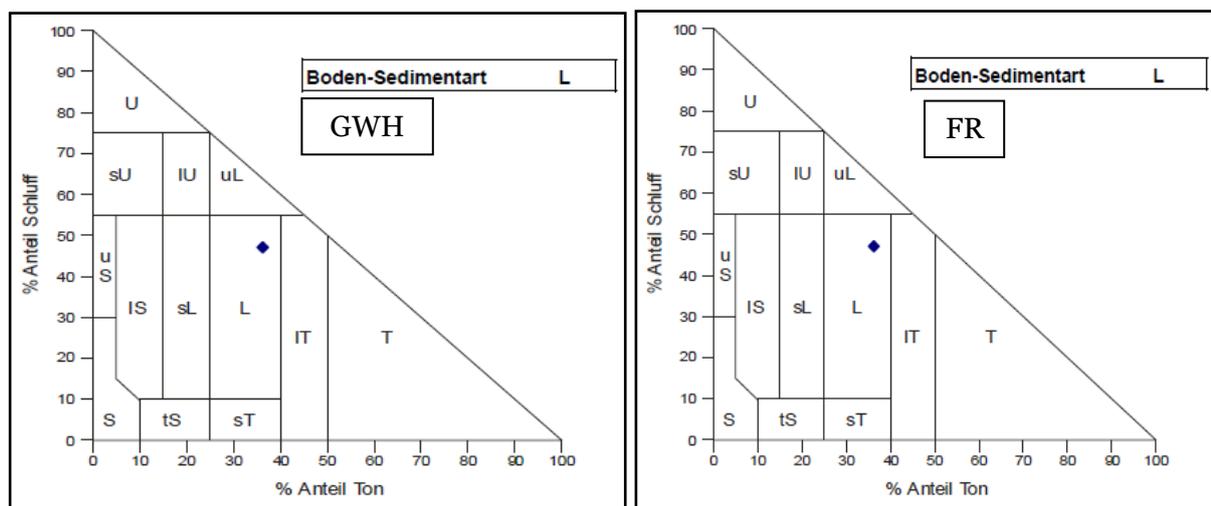


Abb. 11 Texturdreieck Standort NÖ für GWH (links) und FR (rechts)

## Standort BG

Obwohl die Bodenart von der FR-Fläche zur GWH-Fläche eindeutig Richtung IT (lehmiger Ton) tendiert, gibt es auch an diesem Standort **keinen Unterschied**, denn auf beiden Flächen ist der untersuchte Oberboden der Klassifikation Lehm (L) zugeteilt. Mit 3,7% liegt hier der größte Unterschied in der Tonfraktion und der zweitgrößte mit 2,3% beim Sand mittel.

Korngrößenfraktion	Ton	Schluff			Sand			Kies	
		fein	mittel	grob	fein	mittel	grob		
in µm	<2	2-6	6-20	20-63	63-200	200-630	630-2000	>2000	
% je Fraktion	GWH	31,78	5,91	9,09	12,51	18,2	19,1	3,4	14,73
	FR	28,14	7,6	9,6	11,67	19,5	21,4	2,1	15,9

Tabelle 4 Korngrößenverteilung Standort BG

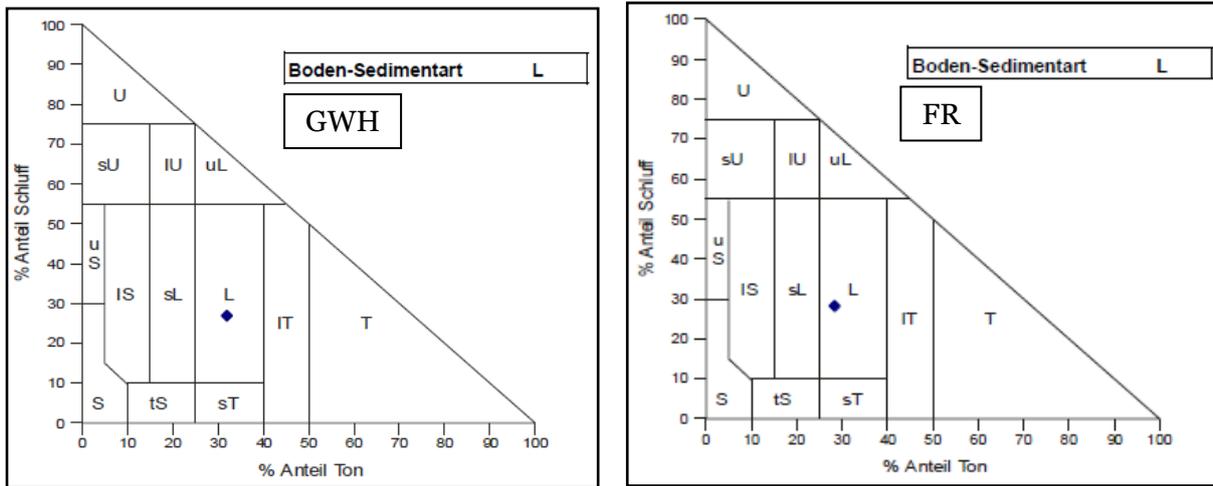


Abb. 12 Texturdreiecke Standort BG für GWH (links) und FR (rechts)

## 7.2 Lagerungsdichte

Vor allem landwirtschaftlich genutzte Kulturflächen sind in ihrer Lagerung und somit auch in ihrer Dichte sehr heterogen. Aus diesem Grund wird die Spannweite, also die Differenz Max-Min angegeben. Der Mittelwert, über alle 7 Einzelwerte pro Fläche, wird für die erste Beschreibung der Ergebnisse ebenfalls berechnet und in die Tabelle eingetragen.

### Standort SB

Die Lagerungsdichte am Standort Salzburg **unterscheidet** sich extrem zwischen der GWH-Fläche und der FR-Fläche, das niedrige Signifikanzniveau von 0,0217% unterstreicht dies nochmals. Die Dichtewerte der GWH/FR-Flächen überschneiden sich nicht (siehe Abb. 13) und auch die Mittelwerte vom GWH liegen auf einem eindeutig unterschiedlichen Level als im FR. Die Streuung zwischen Min und Max ist im Gewächshaus höher mit 0,27 g/cm<sup>3</sup>, im Gegensatz zum FR mit 0,08 g/cm<sup>3</sup>.

	Probenr.	GWH [g/cm <sup>3</sup> ]	FR [g/cm <sup>3</sup> ]	p-Wert
SB	1	1,02	1,39	0,000217395 ≅ <b>0,0217395%</b>
	2	1,07	1,43	
	3	1,20	1,47	
	4	1,21	1,42	
	5	1,04	1,45	
	6	1,29	1,45	
	7	1,20	1,45	
	Mittelwert	1,15	1,44	
	Spannweite	0,27	0,08	

Tabelle 5 Werte Lagerungsdichte Standort SB

Dieser eindeutigen Aussage geht einher, dass sich am Standort Salzburg die Lagerungsdichte zwischen Gewächshaus -und Freilandfläche **voneinander unterscheiden**.

## Standort NÖ

Am Standort **unterscheiden** auch sich die Werte zwischen GWH und FR signifikant mit einem p-Wert von 0,4969%. Betrachtet man die Mittelwerte, so erkennt man auch hier verschiedene Niveaus, trotzdem überschneiden sich die Werte leicht, was im Boxplot-Diagramm ebenfalls erkennbar ist (Abb. 13). Die Streuung zwischen maximalem- und minimalem Wert beider Flächen ist geringfügig verschieden mit Werten von 0,30 g/cm<sup>3</sup> für GWH und 0,39 g/cm<sup>3</sup> für FR.

	Probennr.	GWH [g/cm <sup>3</sup> ]	FR [g/cm <sup>3</sup> ]	p-Wert
NÖ	1	0,83	1,45	0,004969058 ≅ <b>0,4969058%</b>
	2	0,89	1,30	
	3	1,05	1,35	
	4	0,99	1,06	
	5	1,08	1,29	
	6	0,99	1,10	
	7	1,13	1,09	
	Mittelwert	0,99	1,24	
	Spannweite	0,3	0,39	

Tabelle 6 Werte Lagerungsdichte Standort NÖ

## Standort BG

Das Signifikanzniveau von 78,106% bestätigt die eng beieinanderliegenden Mittelwerte und Einzelwerte der Proben. Am Standort Burgenland gibt es somit **keinen Unterschied** der Lagerungsdichte zwischen Kulturflächen unter geschützter Bewirtschaftung und Freilandanbau. Die Streuung im GWH mit 0,37 g/cm<sup>3</sup> ist verglichen mit den anderen Standorten eher hoch.

	Probennr.	GWH [g/cm <sup>3</sup> ]	FR [g/cm <sup>3</sup> ]	p-Wert
BG	1	1,62	1,57	0,781062642 ≅ <b>78,1062642%</b>
	2	1,63	1,55	
	3	1,54	1,62	
	4	1,61	1,51	
	5	1,36	1,74	
	6	1,52	1,59	
	7	1,73	1,54	
	Mittelwert	1,57	1,59	
	Spannweite	0,37	0,23	

Tabelle 7 Werte Lagerungsdichte Standort BG

Alle Werte der Lagerungsdichte werden im nachstehenden Diagramm (Abb. 13) über alle Standorte hin gesammelt dargestellt. Die höchsten Lagerungsdichten sind am Standort BG zu finden mit über 1,5 g/cm<sup>3</sup>, dort gibt es auch keinen signifikanten Unterschied zwischen GWH und FR. An den Standorten SB und NÖ liegen die Werte in ähnlichen Bereichen, zwischen 0,83-1,45 g/cm<sup>3</sup>. An den beiden Standorten ist die Dichte im Freiland höher als im Gewächshaus. Die größte Streuung ist am Standort NÖ im FR, sowie in BG im GWH zu finden.

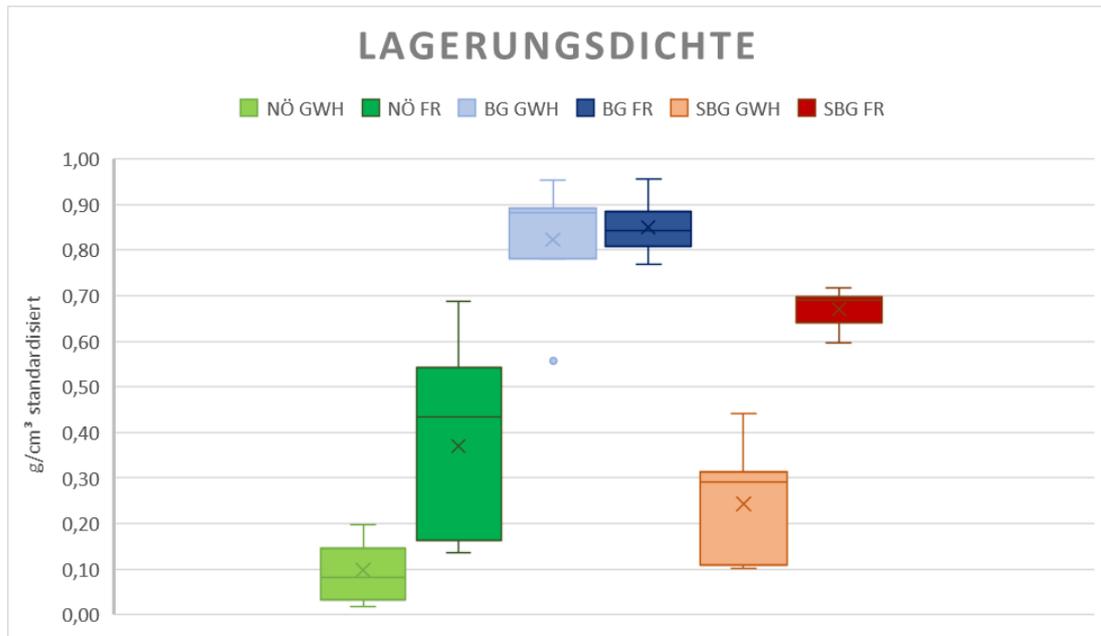


Abb. 13 Boxplot-Diagramm der Lagerungsdichte über alle Standorte

### 7.3 Aggregatstabilität

Die Bestimmung der Aggregatstabilität ist eine Dreifachbestimmung aus einer Mischprobe, weshalb die Werte innerhalb der Fläche kaum variieren, weshalb auf Mittelwert und Spannweite verzichtet wird.

#### Standort SB

Mit einem p-Wert von 0,459% gibt es einen **signifikanten Unterschied** der Aggregatstabilität zwischen GWH und FR. Dadurch erkennt man in diesem Fall auch den starken Niveauunterschied (GWH -FR) der stabilen Aggregate von ca. 7-10%.

	Probennr.	GWH	FR	p-Wert
		[%stabile Aggregate]	[%stabile Aggregate]	
SB	1	73,5	79,4	0,004592641 ≅ <b>0,4592641%</b>
	2	73,6	80,6	
	3	70,9	80,9	

Tabelle 8 Werte Aggregatstabilität Standort SB

## Standort NÖ

Betrachtet man die Aggregatstabilität am Standort NÖ ist der Unterschied zwischen GWH und FR nicht so groß wie in SB. Das Signifikanzniveau von 0,549% besagt trotzdem, dass auch hier **kein Zusammenhang** (Unterschied) zwischen den beiden Vergleichsflächen besteht.

NÖ	Probennr.	GWH [%stabile Aggregate]	FR [%stabile Aggregate]	p-Wert  0,005494684 ≅ <b>0,5494684%</b>
	1	63,7	68,7	
2	64,6	66,9		
3	62,8	68,7		

Tabelle 9 Werte Aggregatstabilität Standort NÖ

## Standort BG

Die kleinste Signifikanz und damit der größte **Unterschied** besteht am Standort SB mit einem p-Wert von 0,045%. Die Aggregatstabilität zwischen GWH und FR beträgt durchschnittlich ca. 20%.

BG	Probennr.	GWH [%stabile Aggregate]	FR [%stabile Aggregate]	p-Wert  0,000454513 ≅ <b>0,0454513%</b>
	1	46,7	29,6	
2	47	31		
3	47,3	29,1		

Tabelle 10 Werte Aggregatstabilität Standort BG

Betrachtet man das Boxplot-Diagramm (Abb. 14) erkennt man sofort, dass am Standort BG allgemein die Stabilität der Aggregate am geringsten ist. Interessant ist auch, dass, im Gegensatz zu den beiden anderen Standorten, hier die Aggregatstabilität „umgekehrt“ ist – sie ist im Freiland geringer als im Gewächshaus. Auch die Signifikanz ist, wie bereits erwähnt, in Burgenland am geringsten. Die Werte in SB und NÖ liegen auf einem beinahe gleichen Niveau, wobei SB im Freiland die höchste Stabilität zu verzeichnen hat.

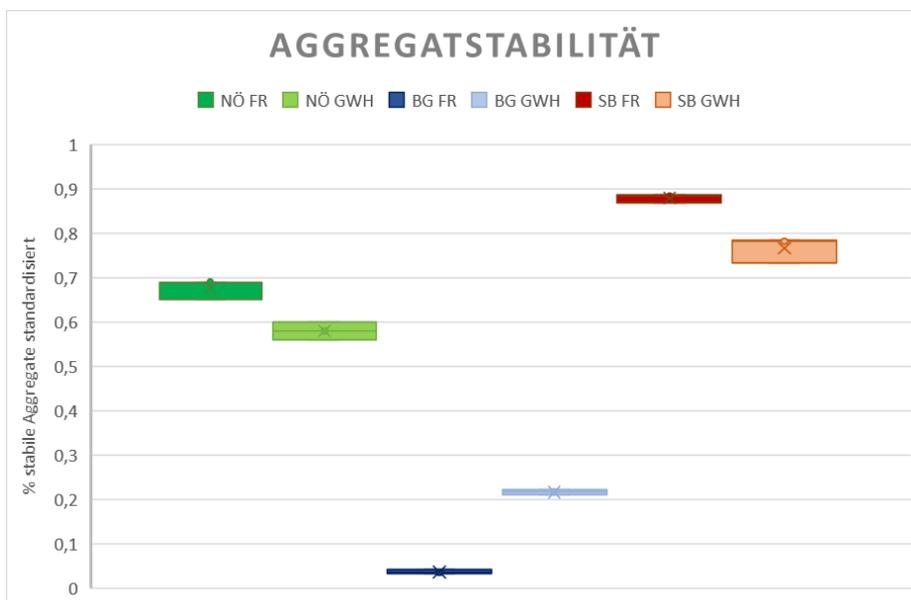


Abb. 14 Boxplot-Diagramm zur Aggregatstabilität über alle Standorte

## 7.4 Nutzbare Feldkapazität

Wie bereits bei der Erläuterung der Berechnung erwähnt, ist die nutzbare Feldkapazität der Matrixpotenzial-Bereich, in dem das Bodenwasser für die Pflanzen verfügbar ist. Deshalb werden in den Ergebnissen die Wassergehaltswerte an den zwei Potenzialpunkten 2,5 und 4,2 angegeben. Teilweise haben die Werte innerhalb einer Kulturfläche eine hohe Streuung mit einigen Extremwerten, was auf die Heterogenität von Böden und der Bestimmungsmethode im Labor zurückzuführen ist. Aus diesem Grund wird als statistischer Lageparameter der Median in den Tabellen angegeben und auf die Spannweite verzichtet.

### Standort SB

Mit einem p-Wert von 0,495% gibt es eindeutig einen **Unterschied** der nFK zwischen GWH und FR. Betrachtet man die Mediane der beiden Matrixpotenziale fällt auf, dass die Differenz GWH-FR bei pF<sub>4,2</sub> kleiner ist ( $\Delta$  2,25), als bei pF<sub>2,5</sub> ( $\Delta$  7,44). Weiters gibt es keine Überlagerung der nFK-Werte zwischen den Flächen, was später im Boxplot-Diagramm (Abb. 15) ersichtlich wird.

	Probennr.	GWH [Vol% Wassergehalt]			FR [Vol% Wassergehalt]			p-Wert
		pf <sub>2,5</sub>	pf <sub>4,2</sub>	nFK	pf <sub>2,5</sub>	pf <sub>4,2</sub>	nFK	
		SB	1	36,52	11,33	25,20	16,15	
2	36,89		11,83	25,07	28,05	8,51	19,53	
3	34,61		10,35	24,26	27,11	8,41	18,70	
4	31,71		10,82	20,89	25,98	9,19	16,79	
5	34,41		11,02	23,39	27,18	8,58	18,60	
6	30,24		9,78	20,47	26,97	8,87	18,10	
7	34,15		10,74	23,41	25,95	7,96	17,99	
<b>Median</b>	<b>34,41</b>		<b>10,82</b>	<b>23,41</b>	<b>26,97</b>	<b>8,57</b>	<b>18,10</b>	

Tabelle 11 Werte nFK Standort SB

### Standort NÖ

Das Signifikanzniveau liegt weit unter 5% und zeigt somit an, dass es einen **Unterschied** zwischen GWH und FR gibt. Auch hier ist der Bereich der nFK im FR kleiner als im GWH.

	Probennr.	GWH [Vol% Wassergehalt]			FR [Vol% Wassergehalt]			p-Wert
		pf <sub>2,5</sub>	pf <sub>4,2</sub>	nFK	pf <sub>2,5</sub>	pf <sub>4,2</sub>	nFK	
		NÖ	1	30,72	13,14	17,58	20,76	
2	30,09		13,26	16,83	24,77	25,85	5,64	
3	27,63		12,94	14,69	21,54	18,16	8,10	
4	27,89		11,91	15,97	25,16	22,33	8,64	
5	27,39		10,99	16,40	24,68	17,58	11,67	
6	27,78		12,64	15,15	26,97	19,65	12,43	
7	26,55		14,31	12,24	29,38	17,65	16,32	
<b>Median</b>	<b>27,78</b>		<b>12,94</b>	<b>15,97</b>	<b>24,77</b>	<b>14,54</b>	<b>8,64</b>	

Tabelle 12 Werte nFK Standort NÖ

## Standort BG

Die nFK am Standort BG **unterscheidet** sich mit einem p-Wert von 1,684% zwischen den zwei verschiedenen Kulturflächen. Wie an den Standorten SB und NÖ, ist auch hier die nFK im FR kleiner als im GWH. Auffallend ist hier, dass sich der Wassergehalt bei pF4,2 kaum ändert und die Differenz von den Werten des Potenzials bei pF2,5 bestimmt wird.

Probennr.	GWH [Vol% Wassergehalt]			FR [Vol% Wassergehalt]			p-Wert
	pf2,5	pf4,2	nFK	pf2,5	pf4,2	nFK	
	1	36,62	6,99	29,63	28,03	8,26	
2	35,39	6,48	28,91	26,14	6,76	19,38	
3	36,74	7,22	29,52	33,32	7,45	25,87	
4	25,81	6,65	19,16	27,73	7,15	20,58	
5	29,34	6,84	22,50	29,47	6,78	22,69	
6	34,46	5,96	28,50	28,2	6,82	21,38	
7	35,99	5,79	30,20	28,26	6,98	21,28	
<b>Median</b>	<b>35,39</b>	<b>6,65</b>	<b>28,91</b>	<b>28,2</b>	<b>6,98</b>	<b>21,28</b>	

Tabelle 13 Werte nFK Standort BG

Wie auch die p-Werte der Standorte zeigen, gibt es die stärksten Unterschiede zwischen GWH und FR am Standort NÖ und SB. Die etwas höhere Signifikanz am Standort NÖ erklärt sich durch die Minimal- bzw. Maximalwerte und die dadurch sich überlappenden Whiskers. Am Standort BG überlappen sich die Whisker ebenfalls, hier liegt die nFK der unterschiedlichen Kulturflächen, verglichen mit den beiden anderen Standorten, am nächsten beieinander. Der Bereich des pflanzenverfügbaren Wassers fällt für den Standort NÖ allgemein sehr klein aus, im FR mit einem Mittel von 8,64 Vol%.

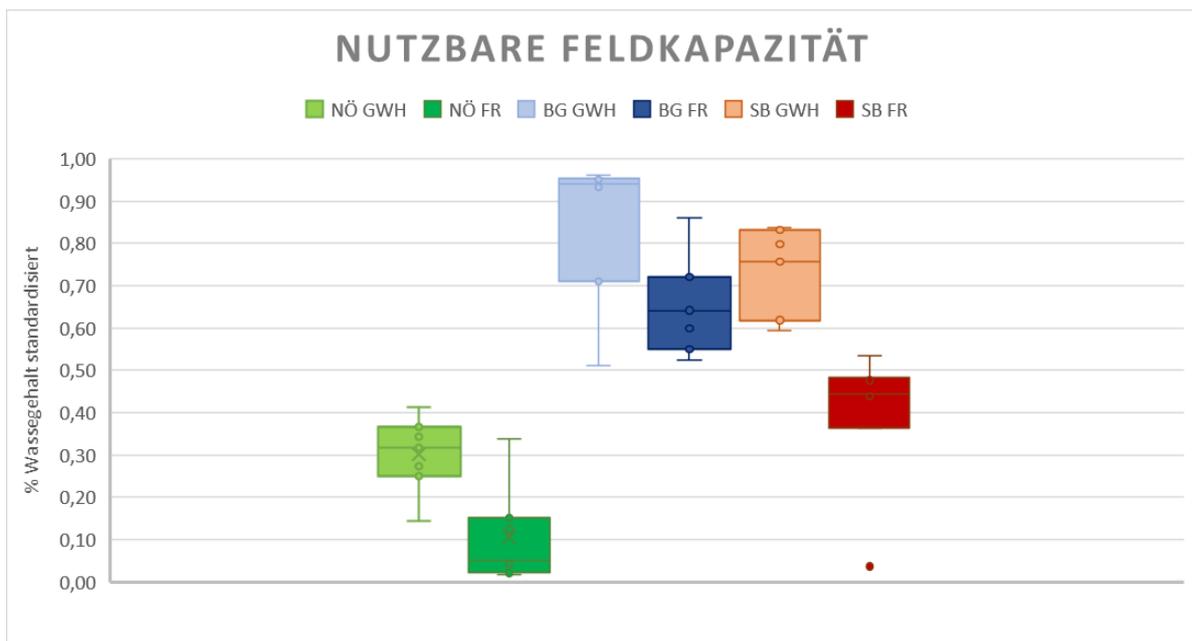


Abb. 15 Boxplot-Diagramm der nFK über alle Standorte

## 8 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bei der folgenden Interpretation der Ergebnisse wird die Freilandfläche als Ausgangszustand angenommen und diskutiert wie sich die Bewirtschaftung unter Glas und Folie im Laufe der Zeit auf die Bodenphysik ausgewirkt hat.

Wie im theoretischen Teil bereits angedeutet, wird die **Korngrößenverteilung** eines Bodens auch als Materialkonstante beschrieben, da sie zu den zeitlich stabilsten Bodeneigenschaften gehört. Betrachtet man die einzelnen Fraktionen (siehe Abb. 16) kann über die drei Standorte hinweg kein eindeutiger Trend pro Fraktion erkannt werden - mit Ausnahme der Tonfraktion (Zunahme), der mittleren Schluff-Fraktion (Abnahme) und der groben Sand-Fraktion (leichte Zunahme). Interessant ist vor allem die Tonfraktion, die hauptsächlich von Verlagerungen und Änderungen in der Zusammensetzung der Korngrößen eines Bodens betroffen ist (Hartge und Horn 2014:29). Ob es im Freiland zu einer Tonverlagerung in tiefere Schichten gekommen ist oder um eine mechanische Zerkleinerung größerer Primärteilchen im GWH wurde im Zuge dieser Arbeit nicht untersucht. Da als Ausgangszustand aber das Freiland betrachtet wird, wird von einer mechanischen Zerkleinerung ausgegangen. Mögliche „Quelle“ von größeren Primärteilchen stellt dabei die mittlere Schlufffraktion dar, die an allen drei Standorten abgenommen hat.

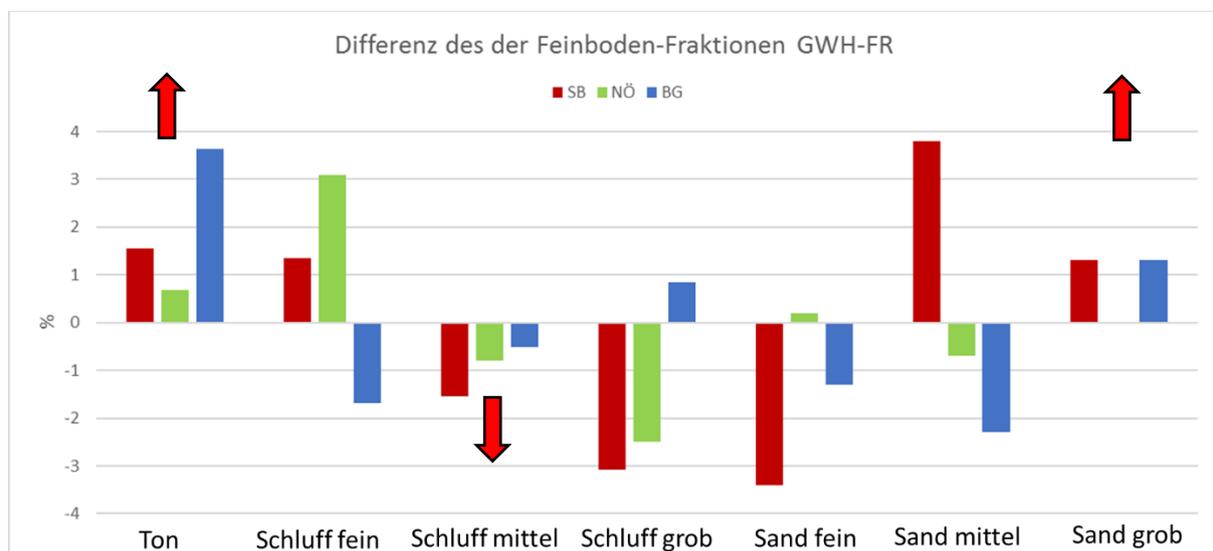


Abb. 16 Korngrößenfraktionen: Differenz GWH-FR über alle Standorte, die roten Pfeile markieren eine Zunahme bzw. Abnahme an allen Standorten

Die stärkste Zu- bzw. Abnahme einer Korngrößenfraktion gibt es am Standort SB mit 3,8% bei Sand mittel. Allgemein sind an diesen Standort die Schwankungen „extremer“ als an den beiden anderen Standorten (siehe Abb.16 – Schluff grob und Sand fein). Wenn verschiedene Bearbeitungsweisen ausgeblendet werden, könnte die Ursache dafür entweder an der Bodenart

(sL) oder den klimatischen Bedingungen liegen, die sich beide von NÖ und BG (beide Bodenart L) unterscheiden.

Trotz der teilweise starken Zu- bzw. Abnahme bestimmter Korngrößen gibt es an keinen Standort einen signifikanten Unterschied der Korngrößenverteilung und somit der Bodenart.

Bereits mehrfach in der Arbeit erwähnt, sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Böden sehr heterogen bezüglich ihrer Lagerung und in weiterer Folge ihrer Eigenschaften, die durch diese beeinflusst werden. Das Maß, das zur Kennzeichnung der Lagerung dient, ist die **Lagerungsdichte** – in der Ö Norm als „Rohdichte trocken“ bezeichnet. Eine Änderung der Lagerungsdichte hat immer mit der Zunahme (Dichte sinkt) bzw. Abnahme (Dichte steigt) des Porenanteils zu tun (Blume et al. 2010b:183). Die größte Heterogenität (=größte Spannweite) wurde am Standort NÖ im Freiland bestimmt. Der Grund liegt wahrscheinlich darin, dass die Grünlandfläche in den letzten Jahren mit schweren Fahrzeugen, aufgrund von Bautätigkeiten unmittelbar neben der Fläche, befahren wurde. Dennoch sind am Standort NÖ die gemessenen Lagerungsdichten am geringsten, vor allem im GWH, wo die mittlere Dichte bei  $1 \text{ g/cm}^3$  liegt. Die unterschiedliche Bewirtschaftungsweise FR und GWH führt dazu, dass die Lagerungsdichte, zumindest an den Standorten SB und NÖ, signifikant abnimmt. Es gibt mehrere Ursachen, die die Abnahme der Lagerungsdichte erklären könnte:

1. Ein höherer Tongehalt führt im Allgemeinen zu einer Zunahme des Porenvolumens, denn bei Feinpartikel (z.B. Tonplättchen) ist ein direkter Korn-zu-Korn-Kontakt selten (Hartge und Horn 2014:40,41).
2. Eine Anreicherung an organischer Substanz führt ebenfalls zu einer verminderten Lagerungsdichte, da die Masse von org. Substanz gering ist. Organische Böden können Lagerungsdichten von weniger als  $0,5 \text{ g/cm}^3$  erreichen (Hartge und Horn 2014:37).
3. Die regelmäßig feine Bodenbearbeitung führt zu einer lockeren Lagerung im Oberboden zwischen den Bodenkolloiden und somit wiederum zu einer Abnahme der Kontakte dazwischen.

Obwohl vermutet wird, dass es auch am Standort BG eine Anreicherung an org. Substanz im GWH gibt, sowie eine intensivere Bodenbearbeitung, kann hier kein Unterschied in der Lagerungsdichte festgestellt werden. Anhand der eigenen Werte wird als mögliche Ursache die vergleichsweise hohe Dichte angenommen. Auch bei der Probennahme selbst konnte kein visueller Unterschied zwischen GWH und FR erkannt werden.

Die **Aggregatstabilität**, oder genauer die Wasserstabilität, wird auch als Verschlamm -bzw. Vergießfestigkeit bezeichnet und bestimmt, ob eine Kulturfläche mehr oder weniger stark gegen Verschlammung und Krustenbildung gefestigt ist (Hartge und Horn 2009:99). Die untersuchte Aggregatstabilität unterscheidet sich an allen drei Standorten signifikant. Der Anteil der stabilen Aggregate befindet sich in NÖ und SB auf einem ähnlichen Niveau, wobei am

Standort SB die Aggregatstabilität im FR als auch im GWH am höchsten ist. Wie die Abb. 17 zeigt, liegt die Aggregatstabilität in NÖ und SB zwar auf einem höheren Niveau, nimmt aber unter geschützten Bedingungen im GWH ab. Am Standort BG ist die Aggregatstabilität am geringsten mit Werten unter 50%, dort nimmt aber die Stabilität der Aggregate vom FR zum GWH eindeutig zu. Es gibt mehrere Faktoren, die sich stabilisierend auf die Aggregate eines Bodens auswirken. Solche Stoffe sind z.B. organischer Natur oder Oxide, Karbonate und Salze, anorganische Dünger und synthetische Stabilisatoren (Blume et al. 2010b:209-210). Welcher dieser Faktoren am Standort BG sich auf die Stabilität im GWH auswirkt, kann in weiteren Untersuchungen analysiert werden. Dennoch liegt die Aggregatstabilität, wie bereits angedeutet, auf einem niedrigeren Niveau als in NÖ und SB, die Linie in der Abb. (17) soll dies nochmal verdeutlichen. Es wird vermutet, dass dies mit dem Anteil der Sandfraktion zusammenhängt, der, verglichen mit den anderen Standorten, am höchsten ist. Unterstützt wird diese Annahme auch bei Betrachtung der Lagerungsdichte, die im BG am höchsten. Sandböden können, nach den Lehmböden, die höchsten Dichten aufweisen (Hartge und Horn 2014:37).

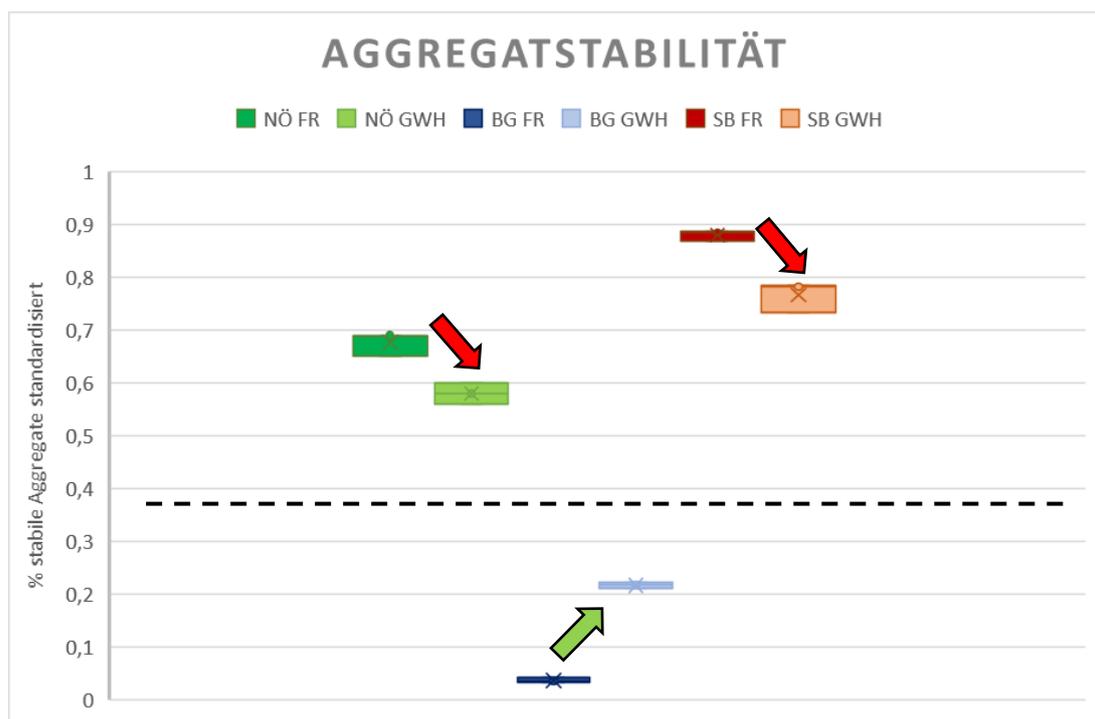


Abb. 17 standardisierte Aggregatstabilität aller Standorte: die Pfeile markieren eine Zu- bzw. Abnahme vom FR zu GWH

Wie in den Ergebnissen kurz erwähnt, sind die Werte der **nutzbaren Feldkapazität** teilweise sehr weit gestreut. Ein Grund dafür kann an der Durchführung im Labor, speziell bei der Unterdruckmethode (dort ist die größte Streuung zu verzeichnen), liegen. Dort könnten die Stechzylinder nicht ausreichend Kontakt mit der Packungsoberfläche der Trichter, an denen der Unterdruck angehängt wird, gehabt haben, was zu einer unvollständigen Entwässerung

geführt haben könnte. Auch bei der ungestörten Probennahme im Feld gibt es einige Fehlerquellen, wie z.B. nicht, von außen, erkennbare Steine im Stechzylinder oder größere Wurzeln und Gänge der Bodenfauna. Trotz all dieser potenziellen Fehlerquellen und den fallweise überschneidenden Werten zwischen GWH und FR, konnte an allen drei Standorten ein signifikanter Unterschied der nFK festgestellt werden, wobei sich an allen Untersuchungsstandorten die nFK von der FR-Fläche zur GWH-Fläche erhöht. Bei diesem Parameter sticht vor allem der Standort NÖ heraus, an dem die nFK sehr niedrige Werte annimmt (FR: ca. 8Vol%, GWH: ca. 15Vol%) und dadurch die Pflanzen weniger Wasser im Boden zur Verfügung haben als in SB und BG. Werte um nFK 8 Vol.% entsprechen eher mittelsandigen Böden (Blume et al. 2010a:382), die Bodenart in NÖ wurde aber als Lehm bestimmt. Ein Zusammenhang könnte mit der Lagerungsdichte bestehen, die ebenfalls vergleichsweise niedrig ist und die größte Streuung aufweist. Eine ähnliche Situation ist auch am Standort SB erkennbar – die Dichte ist im GWH niedriger und die nFK höher als im FR. Aus der Perspektive der Porenverteilung, wird angenommen, dass der Anteil der Mittelporen (dort ist das pflanzenverfügbare Wasser gebunden) durch die Bewirtschaftung unter Glas und Folie steigt. Ein weiterer Grund für eine erhöhte nFK, der in der Literatur beschrieben wird, ist der Gehalt an organischer Substanz, welche ebenfalls pflanzenverfügbares Wasser bindet. Bei hohen Gehalten an organischer Substanz im Boden kann der Wert der nFK bis zu 12 Vol% steigen (Blume et al. 2010a:383). Im Zuge dieser Arbeit wurden keine Analysen zur org. Substanz durchgeführt, weshalb diese Vermutung nicht belegt werden kann. Aufgrund des vermehrten Biomasse-Eintrages im GWH wird dennoch eine Zunahme an organischer Substanz vermutet, die sich auf die nFK auswirkt.

Da im geschützten Gemüsebau vor allem klimatische Bedingungen wie Wassereintrag und Mikroklima, künstlich verändert werden, scheint es nicht verwunderlich, dass sich Bodeneigenschaften im Laufe der Zeit verändern. Für weiterführende Fragestellungen wäre es interessant zu erforschen, wie sich eine plötzliche Wegnahme der geschützten Bedingungen, also ein Abbau des Gewächshauses, auswirkt. Vor allem auf die Aggregatstabilität, die auch als Maß zur Verschlammung herangezogen wird, sollte hier der Fokus gelegt werden und weitere Untersuchungen gemacht werden, um die Landwirte bei einer Aufgabe des Gewächshauses über mögliche Folgen einer Verschlammung oder Verkrustung aufzuklären.

## 9 ZUSAMMENFASSUNG

Anhand vier bodenphysikalischer Parameter wurde untersucht, ob die Bewirtschaftung unter Glas und Folie eine nachhaltige Veränderung auf Bodeneigenschaften hat. Drei Standorte in Österreich (Salzburg, Niederösterreich, Burgenland), auf denen seit mehr als 5 Jahren biologisch geschützter Gemüsebau betrieben wird, wurden für die Untersuchung herangezogen. Im physiogeographischen Labor des IfGR (Institut für Geographie und Regionalforschung) sind die Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Aggregatstabilität und nutzbare Feldkapazität analysiert worden. Der Fokus der Arbeit wurde dabei auf den Unterschied zwischen den Flächen im Gewächshaus und im Freiland gelegt. Wichtig dabei war, dass die Beprobungsflächen unmittelbar aneinandergrenzen, um eine natürliche Heterogenität zu vermeiden. Mit der statistischen Auswertung, bei der die Signifikanz berechnet wurde, sollten folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

1. Gibt es einen signifikanten Unterschied gewählter bodenphysikalischer Parameter zwischen Freiland -und GWH-Flächen?
2. Kann der Unterschied zwischen Freiland und GWH über alle Parameter, unabhängig von der betrieblichen Bewirtschaftungsweise und der geographischen Lage festgestellt werden?

Die Hypothese, die während des gesamten Untersuchungsprozesses im Vordergrund stand, nimmt an, dass alle Parameter über alle Standorte einen signifikanten Unterschied aufweisen. Wird die Tabelle 16 betrachtet, in der eine Ab- bzw. Annahme gekennzeichnet ist, ist die *Hypothese abzulehnen*, da nicht an allen Standorten ein signifikanter Unterschied festgestellt wurde. In der Praxis muss hier aber eine differenzierte Betrachtungsweise zugelassen werden, da die Korngrößenverteilung eine Art Bodenkonstante darstellt (siehe Kapitel „Theoretischer Hintergrund“). Aus diesem Grund wird zur Beantwortung der Forschungsfragen die Korngrößenverteilung zunächst ausgeblendet.

	SB	NÖ	BG
Korngrößenverteilung	✘	✘	✘
Lagerungsdichte	✓	✓	✘
Aggregatstabilität	✓	✓	✓
nutzbare Feldkapazität	✓	✓	✓

Tabelle 14 Übersicht über die Annahme bzw. Ablehnung der Arbeitshypothese

- ad 1. Die Parameter **Aggregatstabilität** und **nutzbare Feldkapazität** weisen an allen Standorten einen **signifikanten Unterschied** auf. Ein Unterschied der Lagerungsdichte kann an zwei von drei Standorten festgestellt werden.
- ad 2. Bezüglich der geographischen Fragestellung wurde festgestellt, dass in **SB** und **NÖ** bei allen Parametern ein **Unterschied** besteht. Am Standort **BG** gibt es wiederum in 2 von 3 Fällen den angenommenen Unterschied zwischen FR und GWH.

Wie eingangs beschrieben, zählt sich die biologische Landwirtschaft zu den extensivsten Bewirtschaftungsformen - Eingriffe in natürliche Prozesse sollen so klein wie möglich gehalten werden. Bei der Gemüseproduktion in Gewächshäusern werden jedoch, vor allem klimatische, Bedingungen geschaffen, um genug Ertrag zu erwirtschaften. Dass sich Bodeneigenschaften dadurch ändern, konnte in der Arbeit anhand der Untersuchung eindeutig festgestellt werden. Blendet man die Korngrößenverteilung nochmals aus, so kann über alle Standorte in 8 von 9 Fällen (siehe Tabelle 14) eine signifikante Veränderung der Bodeneigenschaften festgestellt werden.

Um die Ergebnisse nochmals fundierter interpretieren zu können, wäre es für weitere Forschungen sinnvoll, zusätzlich chemische und auch biologische (z.B. Regenwurmaktivität) Parameter zu erheben, die speziell die Bodenphysik und, die in der Arbeit analysierten, Eigenschaften beeinflussen.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

Bio Austria (2016): Produktionsrichtlinien. Unter Mitarbeit von Doris Hofer. Hg. v. Bio Austria - Verein zur Förderung des Biologischen Landbaus. Linz.

Blume, Hans-Peter; Brümmer, Gerhard W.; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid; Kretschmar, Ruben et al. (2010a): Böden als Pflanzenstandorte. In: Hans-Peter Blume, Gerhard W. Brümmer, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner, Ruben Kretschmar et al. (Hg.): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 379–448.

Blume, Hans-Peter; Brümmer, Gerhard W.; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid; Kretschmar, Ruben et al. (2010b): Physikalische Eigenschaften und Prozesse. In: Hans-Peter Blume, Gerhard W. Brümmer, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner, Ruben Kretschmar et al. (Hg.): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 171–271.

BMLFUW (2016): Grüner Bericht 2015. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2015. Unter Mitarbeit von Michaela Schwaiger, Otto Hofer, Rudolf Fehrer und Karin Brier. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

eBOD: Bodenkarte von Österreich. Hg. v. BMLFUW. Online verfügbar unter [gis.lebensministerium.at/eBOD](http://gis.lebensministerium.at/eBOD).

EU (2008): VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008, vom 05.09.2008.

George, Eckhard; Eghbal, Reyhaneh; Beck, Michael; Mithöfer, Dagmar (Hg.) (2009): Ökologischer Gemüseanbau. Handbuch für Beratung und Praxis. 2., überarb. Aufl. Mainz: Bioland-Verl. (Praxis des Ökolandbaus).

Hartge, Karl Heinrich; Horn, Rainer (2009): Die physikalische Untersuchung von Böden. [Praxis, Messmethoden, Auswertung]. 4., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.

Hartge, Karl Heinrich; Horn, Rainer (2014): Einführung in die Bodenphysik. 24 Tabellen. 4. vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.

Kronthaler, Franz (Hg.) (2016): Statistik angewandt. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Palme, Wolfgang (2014): Winterernte: Salatanbau in unbeheizten Foliengewächshaus. Hg. v. Bionet Austria. Online verfügbar unter [http://www.bio-net.at/fileadmin/bio-net/documents/palme\\_winterernte.pdf](http://www.bio-net.at/fileadmin/bio-net/documents/palme_winterernte.pdf).

Rowell, David L. (1997): Bodenkunde. Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen ; mit 103 Tabellen. Berlin u.a.: Springer.

van der Lans, C.M.J; Meijer, R.J.M. (2011): A View of Organic Greenhouse Horticulture Worldwide. Hg. v. IFOAM.

Welbaum, G. E. (2015): Vegetable production and practices. Wallingford: CABI.

Wonneberger, Christoph (2004): Gemüsebau. 117 Tabellen. Stuttgart: Ulmer.

ZAMG: Klimadaten von Österreich. Online verfügbar unter [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm).

**Internetquellen:**

IFOAM: <https://www.ifoam.bio/>

Microsoft Excel (2015): Visualize statistics with Histogram, Pareto and Box and Whisker charts. <https://blogs.office.com/2015/08/18/visualize-statistics-with-histogram-pareto-and-box-and-whisker-charts/>

## 11 ANHANG

### Abkürzungen

PS.....Petrischale

SZ.....Stechzylinder

atro .....absolut trocken (ofentrocken)

tara ..... m ohne SZ, PS, Deckel

stabAgg ..... stabile Aggregate

wk (max)..... (maximale) Wasserkapazität

### Lagerungsdichte Standort SB

Probennr.	m PS	m SZ	atro tara (m1)	m Deckel	Sandersatz gewogen	PS+SZ+Atro+De- ckel	m Sander- satz	m1 + Sander- satz (m2)	V (Sand)	V Probe	Rohdichte trocken
GWH/1	56,53	110,04	75,81	22,71	302,03	265,09	36,94	112,75	26,01	73,99	1,02
GWH/2	46,08	112,49	77,56	22,71	298,38	258,84	39,54	117,1	27,85	72,15	1,07
GWH/3	45,97	111,69	90,6	22,71	305,95	270,97	34,98	125,58	24,63	75,37	1,20
GWH/4	50,49	109,37	95,51	22,71	308,29	278,08	30,21	125,72	21,27	78,73	1,21
GWH/5	47,48	110,34	76,6	22,71	294,04	257,13	36,91	113,51	25,99	74,01	1,04
GWH/6	45,98	112,13	97,84	22,71	313,27	278,66	34,61	132,45	24,37	75,63	1,29
GWH/7	56,19	111,17	88,95	22,71	315,54	279,02	36,52	125,47	25,72	74,28	1,20
FR/1	47,79	107,84	130,37	22,71	317,31	308,71	8,6	138,97	6,06	93,94	1,39
FR/2	52,27	109,98	118,38	22,71	327,41	303,34	24,07	142,45	16,95	83,05	1,43
FR/3	44,45	111,88	122,38	22,71	325,02	301,42	23,6	145,98	16,62	83,38	1,47
FR/4	46,89	112,87	121,36	22,71	324,07	303,83	20,24	141,6	14,25	85,75	1,42
FR/5	45,88	111,22	118,72	22,71	324,08	298,53	25,55	144,27	17,99	82,01	1,45
FR/6	56,89	112,13	117,95	22,71	336,27	309,68	26,59	144,54	18,73	81,27	1,45
FR/7	57,22	111,42	128,44	22,71	336,27	319,79	16,48	144,92	11,61	88,39	1,45

## Lagerungsdichte Standort NÖ

Probennr.	atro tara	Rohdichte trocken
GWH/1	83,06	0,83
GWH/2	88,77	0,89
GWH/3	105,38	1,05
GWH/4	99,45	0,99
GWH/5	107,51	1,08
GWH/6	99,08	0,99
GWH/7	112,58	1,13
FR/1	144,61	1,45
FR/2	130,05	1,30
FR/3	135,46	1,35
FR/4	106,47	1,06
FR/5	129	1,29
FR/6	110,27	1,10
FR/7	109,28	1,09

## Ergebnisse des Signifikanzbereiches - Tonfraktion der Korngrößenverteilung

	SB	NÖ	BG
MW	18,29	36,435	29,96
Standabw	0,78	0,345	1,82
Verauensbereich $\pm$	1,5288	0,6762	3,5672
obere Grenze (+)	19,8188	35,7588	33,5272
untere Grenze (-)	16,7612	37,1112	26,3928

Anhang

Lagerungsdichte Standort BG

Probennr.	m PS	m SZ	atro tara (m1)	m Deckel	Sandersatz gewogen	PS+SZ+Atro+Deckel	m Sander-satz	m1 + Sander-satz (m2)	V (Sand)	V (Probe)	Rohdichte trocken
GWH/1	47,48	108,45	131,43	22,8	336,95	310,16	26,79	158,22	18,87	81,13	1,62
GWH/2	56,52	109,99	133,42	22,8	348,3	322,73	25,57	158,99	18,01	81,99	1,63
GWH/3	56,19	110,97	134,37	22,8	342,45	324,33	18,12	152,49	12,76	87,24	1,54
GWH/4	45,98	110,38	132,95	22,8	337,1	312,11	24,99	157,94	17,60	82,40	1,61
GWH/5	46,08	111,49	117,05	22,8	317,5	297,42	20,08	137,13	14,14	85,86	1,36
GWH/6	50,49	109,07	129,99	22,8	332,63	312,35	20,28	150,27	14,28	85,72	1,52
GWH/7	45,98	113,04	139,79	22,8	349,01	321,61	27,4	167,19	19,30	80,70	1,73
FR/1	47,79	111,81	140,92	22,8	337,91	323,32	14,59	155,51	10,27	89,73	1,57
FR/2	45,12	112,51	122,44	22,8	332,87	302,87	30	152,44	21,13	78,87	1,55
FR/3	56,52	112,17	143,3	22,8	351,03	334,79	16,24	159,54	11,44	88,56	1,62
FR/4	44,64	111,55	133,59	22,8	328,59	312,58	16,01	149,6	11,27	88,73	1,51
FR/5	59,26	107,8	149,66	22,8	359,35	339,52	19,83	169,49	13,96	86,04	1,74
FR/6	49,49	107,22	134,83	22,8	336,2	314,34	21,86	156,69	15,39	84,61	1,59
FR/7	47,94	110,04	136,78	22,8	333,23	317,56	15,67	152,45	11,04	88,96	1,54

## Aggregatstabilität SB

Probennr.	stabAgg+Sand	Sand	stabAgg	stabAgg%	MW
FR/1	9,47	1,53	7,94	79,4	<b>80,30</b>
FR/2	9,75	1,69	8,06	80,6	
FR/3	9,67	1,58	8,09	80,9	
GWH/1	9,84	2,49	7,35	73,5	<b>72,67</b>
GWH/2	9,86	2,5	7,36	73,6	
GWH/3	9,86	2,77	7,09	70,9	

## Aggregatstabilität NÖ

Probennr.	stabAgg+Sand	Sand	stabAgg	stabAgg%	MW
FR/1	7,69	0,82	6,87	68,7	<b>68,10</b>
FR/2	7,56	0,87	6,69	66,9	
FR/3	7,73	0,86	6,87	68,7	
GWH/1	8,29	1,92	6,37	63,7	<b>63,70</b>
GWH/2	8,2	1,74	6,46	64,6	
GWH/3	8,32	2,04	6,28	62,8	

## Aggregatstabilität BG

Probennr.	stabAgg+Sand	Sand	stabAgg	stabAgg%	MW
FR/1	4,6	1,64	2,96	29,6	<b>29,90</b>
FR/2	4,69	1,59	3,1	31	
FR/3	4,57	1,66	2,91	29,1	
GWH/1	6,48	1,81	4,67	46,7	<b>47,00</b>
GWH/2	6,53	1,83	4,7	47	
GWH/3	6,5	1,77	4,73	47,3	

## Nutzbare Feldkapazität SB

## Unterdruckmethode (pF 2,5)

Probennr.	m PS	m pF2,5	m Wk max	m SZ	m Atro	m Wk max tara	m Atro tara	m pF2,5 tara	% h2o pF2,5	%h2o atro
GWH/1	56,53	286	302,71	110,04	242,38	136,14	75,81	119,43	36,52	57,54
GWH/2	46,08	281,47	297,05	112,49	236,13	138,48	77,56	122,9	36,89	58,46
GWH/3	45,97	296,21	308,11	111,69	248,26	150,45	90,6	138,55	34,61	52,92
GWH/4	50,49	299,71	313,01	109,37	255,37	153,15	95,51	139,85	31,71	46,42
GWH/5	47,48	274,61	294,95	110,34	234,42	137,13	76,6	116,79	34,41	52,47
GWH/6	45,98	298,37	313,24	112,13	255,95	155,13	97,84	140,26	30,24	43,36
GWH/7	56,19	302,44	316,41	111,17	256,31	149,05	88,95	135,08	34,15	51,86
FR/1	47,79	311,11	321,59	107,84	286	165,96	130,37	155,48	16,15	19,26
FR/2	52,27	326,77	334,86	109,98	280,63	172,61	118,38	164,52	28,05	38,98
FR/3	44,45	324,23	331,96	111,88	278,71	175,63	122,38	167,9	27,11	37,20
FR/4	46,89	323,72	333,81	112,87	281,12	174,05	121,36	163,96	25,98	35,10
FR/5	45,88	320,13	326,48	111,22	275,82	169,38	118,72	163,03	27,18	37,32
FR/6	56,89	330,54	338,71	112,13	286,97	169,69	117,95	161,52	26,97	36,94
FR/7	57,22	342,08	350,04	111,42	297,08	181,4	128,44	173,44	25,95	35,04

## Überdruckmethode (pF4,2)

Probennr.	m Schale	m pF4,2	m Atro	m pF4,2 tara	m atro tara	%h2o pF4,2	%h2o atro	MW Paralellbestimmung
GWH1/1	59,44	81,01	77,6	21,57	18,16	15,81	18,78	15,30
GWH1/2	45,42	66,23	63,15	20,81	17,73	14,80	17,37	
GWH2/1	43,47	65,44	62	21,97	18,53	15,66	18,56	15,98
GWH2/2	44,65	65,75	62,31	21,1	17,66	16,30	19,48	
GWH3/1	43,15	64,59	61,56	21,44	18,41	14,13	16,46	13,99
GWH3/2	39,46	62,14	59	22,68	19,54	13,84	16,07	
GWH4/1	51,27	72,58	69,25	21,31	17,98	15,63	18,52	14,62
GWH4/2	44,26	68,64	65,32	24,38	21,06	13,62	15,76	
GWH5/1	44,77	67,49	64,15	22,72	19,38	14,70	17,23	14,89
GWH5/2	43,42	63,38	60,37	19,96	16,95	15,08	17,76	
GWH6/1	44,26	67,2	64,18	22,94	19,92	13,16	15,16	13,21
GWH6/2	64,71	88,01	84,92	23,3	20,21	13,26	15,29	
GWH7/1	40,22	62,28	59,06	22,06	18,84	14,60	17,09	14,51
GWH7/2	45,29	66,43	63,38	21,14	18,09	14,43	16,86	
FR1/1	41,33	64,78	62	23,45	20,67	11,86	13,45	11,58
FR1/2	66,13	88,42	85,9	22,29	19,77	11,31	12,75	
FR2/1	45,6	69,5	66,67	23,9	21,07	11,84	13,43	11,50
FR2/2	67,23	90,34	87,76	23,11	20,53	11,16	12,57	
FR3/1	56,81	84,76	81,66	27,95	24,85	11,09	12,47	11,36
FR3/2	38,84	63,94	61,02	25,1	22,18	11,63	13,17	
FR4/1	51,64	76,27	73,21	24,63	21,57	12,42	14,19	12,42
FR4/2	51,64	76,27	73,21	24,63	21,57	12,42	14,19	
FR5/1	40,46	64,6	61,74	24,14	21,28	11,85	13,44	11,60
FR5/2	45,32	70,71	67,83	25,39	22,51	11,34	12,79	
FR6/1	43,89	68,17	65,28	24,28	21,39	11,90	13,51	11,99
FR6/2	56,13	81,14	78,12	25,01	21,99	12,08	13,73	
FR7/1	56,17	80,18	77,51	24,01	21,34	11,12	12,51	10,75
FR7/2	43,97	67,56	65,11	23,59	21,14	10,39	11,59	

## Nutzbare Feldkapazität NÖ

## Unterdruckmethode (pF 2,5)

Probennr.	m PS	m pF2,5	m Wk max	m SZ	m Atro	m Wk max tara	m Atro tara	m pF2,5 tara	% h2o pF2,5	%h2o atro
GWH/1	56,53	286	302,71	110,04	242,38	136,14	75,81	119,43	36,52	57,54
GWH/2	46,08	281,47	297,05	112,49	236,13	138,48	77,56	122,9	36,89	58,46
GWH/3	45,97	296,21	308,11	111,69	248,26	150,45	90,6	138,55	34,61	52,92
GWH/4	50,49	299,71	313,01	109,37	255,37	153,15	95,51	139,85	31,71	46,42
GWH/5	47,48	274,61	294,95	110,34	234,42	137,13	76,6	116,79	34,41	52,47
GWH/6	45,98	298,37	313,24	112,13	255,95	155,13	97,84	140,26	30,24	43,36
GWH/7	56,19	302,44	316,41	111,17	256,31	149,05	88,95	135,08	34,15	51,86
FR/1	47,79	311,11	321,59	107,84	286	165,96	130,37	155,48	16,15	19,26
FR/2	52,27	326,77	334,86	109,98	280,63	172,61	118,38	164,52	28,05	38,98
FR/3	44,45	324,23	331,96	111,88	278,71	175,63	122,38	167,9	27,11	37,20
FR/4	46,89	323,72	333,81	112,87	281,12	174,05	121,36	163,96	25,98	35,10
FR/5	45,88	320,13	326,48	111,22	275,82	169,38	118,72	163,03	27,18	37,32
FR/6	56,89	330,54	338,71	112,13	286,97	169,69	117,95	161,52	26,97	36,94
FR/7	57,22	342,08	350,04	111,42	297,08	181,4	128,44	173,44	25,95	35,04

## Überdruckmethode (pF4,2)

Probennr.	m Schale	m pF4,2	m Atro	m pF4,2 tara	m atro tara	%h2o pF4,2	%h2o atro	MW Parallellbestimmung
GWH1/1	59,44	81,01	77,6	21,57	18,16	15,81	18,78	15,30
GWH1/2	45,42	66,23	63,15	20,81	17,73	14,80	17,37	
GWH2/1	43,47	65,44	62	21,97	18,53	15,66	18,56	15,98
GWH2/2	44,65	65,75	62,31	21,1	17,66	16,30	19,48	
GWH3/1	43,15	64,59	61,56	21,44	18,41	14,13	16,46	13,99
GWH3/2	39,46	62,14	59	22,68	19,54	13,84	16,07	
GWH4/1	51,27	72,58	69,25	21,31	17,98	15,63	18,52	14,62
GWH4/2	44,26	68,64	65,32	24,38	21,06	13,62	15,76	
GWH5/1	44,77	67,49	64,15	22,72	19,38	14,70	17,23	14,89
GWH5/2	43,42	63,38	60,37	19,96	16,95	15,08	17,76	
GWH6/1	44,26	67,2	64,18	22,94	19,92	13,16	15,16	13,21
GWH6/2	64,71	88,01	84,92	23,3	20,21	13,26	15,29	
GWH7/1	40,22	62,28	59,06	22,06	18,84	14,60	17,09	14,51
GWH7/2	45,29	66,43	63,38	21,14	18,09	14,43	16,86	
FR1/1	41,33	64,78	62	23,45	20,67	11,86	13,45	11,58
FR1/2	66,13	88,42	85,9	22,29	19,77	11,31	12,75	
FR2/1	45,6	69,5	66,67	23,9	21,07	11,84	13,43	11,50
FR2/2	67,23	90,34	87,76	23,11	20,53	11,16	12,57	
FR3/1	56,81	84,76	81,66	27,95	24,85	11,09	12,47	11,36
FR3/2	38,84	63,94	61,02	25,1	22,18	11,63	13,17	
FR4/1	51,64	76,27	73,21	24,63	21,57	12,42	14,19	12,42
FR4/2	51,64	76,27	73,21	24,63	21,57	12,42	14,19	
FR5/1	40,46	64,6	61,74	24,14	21,28	11,85	13,44	11,60
FR5/2	45,32	70,71	67,83	25,39	22,51	11,34	12,79	
FR6/1	43,89	68,17	65,28	24,28	21,39	11,90	13,51	11,99
FR6/2	56,13	81,14	78,12	25,01	21,99	12,08	13,73	
FR7/1	56,17	80,18	77,51	24,01	21,34	11,12	12,51	10,75
FR7/2	43,97	67,56	65,11	23,59	21,14	10,39	11,59	

## Nutzbare Feldkapazität BG

## Unterdruckmethode (pF 2,5)

Probennr.	m PS	m pF2,5	m Wk max	m SZ	m Atro	m pF2,5 tara	m Wk max tara	m Atro tara	% h2o pF2,5	% h2o atro
GWH/1	47,48	323,98	328,07	108,45	287,36	168,05	172,14	131,43	36,62	27,86
GWH/2	56,52	335,32	339,28	109,99	299,93	168,81	172,77	133,42	35,39	26,53
GWH/3	56,19	338,27	345,71	110,97	301,53	171,11	178,55	134,37	36,74	27,34
GWH/4	45,98	315,12	326,34	110,38	289,31	158,76	169,98	132,95	25,81	19,41
GWH/5	46,08	303,96	318,3	111,49	274,62	146,39	160,73	117,05	29,34	25,07
GWH/6	50,49	324,01	330,4	109,07	289,55	164,45	170,84	129,99	34,46	26,51
GWH/7	45,98	334,8	338,21	113,04	298,81	175,78	179,19	139,79	35,99	25,75
FR/1	47,79	328,55	336,7	111,81	300,52	168,95	177,1	140,92	28,03	19,89
FR/2	45,12	306,21	317,39	112,51	280,07	148,58	159,76	122,44	26,14	21,35
FR/3	56,52	345,31	351,1	112,17	311,99	176,62	182,41	143,3	33,32	23,25
FR/4	44,64	317,51	330,48	111,55	289,78	161,32	174,29	133,59	27,73	20,76
FR/5	59,26	346,19	352,81	107,8	316,72	179,13	185,75	149,66	29,47	19,69
FR/6	49,49	319,74	328,68	107,22	291,54	163,03	171,97	134,83	28,2	20,92
FR/7	47,94	323,02	335,01	110,04	294,76	165,04	177,03	136,78	28,26	20,66

## Überdruckmethode (pF 4,2)

Probennr.	m Schale	m pF4,2	m Atro	m pF4,2 tara	m atro tara	%h2o pF4,2	%h2o atro	MW Parallellbestimmung
FR1/1	42,86	70,39	67,83	27,53	24,97	9,30	10,25	9,44
FR1/2	44,26	69,52	67,1	25,26	22,84	9,58	10,60	
FR2/1	45,6	68,99	66,84	23,39	21,24	9,19	10,12	8,76
FR2/2	43,15	69,8	67,58	26,65	24,43	8,33	9,09	
FR3/1	51,3	80,76	77,67	29,46	26,37	10,49	11,72	9,76
FR3/2	51,63	82,32	79,55	30,69	27,92	9,03	9,92	
FR4/1	43,42	70,56	68,11	27,14	24,69	9,03	9,92	8,99
FR4/2	56,13	82,96	80,56	26,83	24,43	8,95	9,82	
FR5/1	43,7	74,27	71,21	30,57	27,51	10,01	11,12	9,24
FR5/2	39,46	72,38	69,59	32,92	30,13	8,48	9,26	
FR6/1	61,73	90,24	88,03	28,51	26,3	7,75	8,40	8,05
FR6/2	53,98	82,49	80,11	28,51	26,13	8,35	9,11	
FR7/1	45,29	74	71,44	28,71	26,15	8,92	9,79	7,82
FR7/2	42,16	74,28	72,12	32,12	29,96	6,72	7,21	
GWH1/1	64,75	94,49	91,13	29,74	26,38	11,30	12,74	11,17
GWH1/2	59,45	86,73	83,72	27,28	24,27	11,03	12,40	
GWH2/1	44,66	73,96	71,32	29,3	26,66	9,01	9,90	9,14
GWH2/2	45,42	74,66	71,95	29,24	26,53	9,27	10,21	
GWH3/1	43,89	73,53	70,47	29,64	26,58	10,32	11,51	10,06
GWH3/2	44,78	73,24	70,45	28,46	25,67	9,80	10,87	
GWH4/1	44,26	67,24	64,86	22,98	20,6	10,36	11,55	9,66
GWH4/2	45,44	72,31	69,9	26,87	24,46	8,97	9,85	
GWH5/1	64,72	91,11	88,85	26,39	24,13	8,56	9,37	9,16
GWH5/2	45,57	70,19	67,79	24,62	22,22	9,75	10,80	
GWH6/1	43,47	74,63	72,15	31,16	28,68	7,96	8,65	9,21
GWH6/2	46,38	73,7	70,84	27,32	24,46	10,47	11,69	
GWH7/1	57,1	85,44	82,75	28,34	25,65	9,49	10,49	9,44
GWH7/2	40,22	68,88	66,19	28,66	25,97	9,39	10,36	