



**Auswirkungen der Produktionsweise „Geschützter Bio-
Fruchtgemüsebau“ auf chemische Bodenparameter
Nährstoffbilanzierung und Bodenanalysen**

Masterarbeit

Universität für Bodenkultur Wien, 2017

Autor:

Johannes Tobias Wedenig

Betreuer:

Friedel, Jürgen Kurt, Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. (Institut für Ökologischen Landbau)

Danksagung

Ich möchte mich zuerst bei meinem Betreuer Jürgen Friedel bedanken. Für die Begleitung meiner Arbeit, für den Freiraum meinen eigenen Weg zu gehen und für die Geduld, die dafür notwendig war. Elfriede Stopper danke ich für den Anstoß der Arbeit. Sie brachte – noch als Gemüsebauberaterin bei Bio Austria – die Frage an die Universität, stand mir während der ersten Zeit beratend zur Seite und stellte den Kontakt zu den BetriebsleiterInnen her.

Ein besonderer Dank gilt Hansjörg Unterfrauner der mir immer wieder mit seinem umfangreichen Fachwissen weiterhelfen konnte und mich mit seiner unkonventionellen und kritischen Herangehensweise an das Thema Bodenanalyse und Bodenbewertung inspirierte. Danke auch für die Organisation und die Finanzierung der Bodenanalysen.

Bei Sieglinde Pollan möchte ich mich für die Möglichkeit bedanken, die Ergebnisse meiner Arbeit auf der Bionet Gemüsetagung und in der Zeitschrift GemüsefiBL zu präsentieren.

Karoline Messenböck danke ich für die fruchtbare Zusammenarbeit im „Forschungsteam Gemüsebau“. Die gemeinsamen Betriebsbesuche, die Diskussionen und der gemeinsame Vortrag auf der Gemüsetagung waren immer wieder Motivation für diese Arbeit.

Ich danke allen BetriebsleiterInnen, die die Zeit aufbrachten, all meine Fragen zu beantworten und mir Einsicht in ihren Betrieb gewährten.

Ein herzlicher Dank geht an Menschen aus meinem Umfeld die mir in wichtigen Bereichen geholfen haben: Jacob Buchholz für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten, Veronika Fasching für „Kohrrektor“ und Überarbeitung und Klaus Steinbauer für Ratschläge zu allen Themen.

Zu guter letzt geht ein besonderer Dank an Martin Steiner, mit dessen Begleitung ich diese Herausforderung – die vor kurzer Zeit so unüberwindbar schien – bewältigen konnte.

Ein Dank an alle - hier nicht genannten geliebten Menschen - die das Leben so lebenswert machen.

Abstract

Organic greenhouse vegetable production is a highly intensive production system. High nutrient demands due to high yields require high nutrient inputs via different fertilizers. Actors in this system find totally different circumstances compared to organic systems outdoor. The typical “tools” used in organic farming like crop rotation or green manure which provide soil fertility are hardly used because the infrastructure is so expensive that it is simply uneconomic.

To gain insight how nutrient flows look like in this kind of production system, this study analyzed nutrient flows of five organic horticultural farms in Austria. To find out how soil parameters change if soils were cultivated in a different production system, soil samples were taken from inside and outside greenhouses to examine various parameters like soil pH, salinity, soil organic matter content, nutrient contents etc.

It was ascertained that all farms show strong imbalances in their nutrient flows with high average surpluses for all nutrients (249 kg ha⁻¹ a⁻¹ for nitrogen, 53 kg ha⁻¹ a⁻¹ for phosphorous, 161 kg ha⁻¹ a⁻¹ for sulfur) except potassium with an average deficit of 93 kg ha⁻¹ a⁻¹. The analyses of the soil samples revealed that many parameters show a significant difference between the soil samples from inside and outside the greenhouses. The method “greenhouse vegetable production” leads to an accumulation of soil organic matter and to a strong increase in soil salinity (from 0.4 mS cm⁻¹ outdoor to 3.9 mS cm⁻¹ inside the greenhouse). Several nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S) are accumulating in the topsoil and appear in huge quantities (e.g. 951 kg K ha⁻¹ which is accessible for plants). The ratios among the nutrients are changing in an unfavorable way.

The results show that within this intensive production method it is very challenging to achieve a balanced fertilization and to create a sustainable system, which is the point of organic philosophy.

Zusammenfassung

Geschützter Bio-Gemüsebau ist ein sehr intensives Produktionssystem. Durch hohe Erträge ergeben sich hohe Nährstoffentzüge, welche hohe Nährstoffeinträge über verschiedene Dünger erfordern, um diese auszugleichen. Akteure in diesem System sehen sich mit sehr spezifischen Herausforderungen konfrontiert. Die klassischen Werkzeuge der biologischen Landwirtschaft, wie etwa eine weite Fruchtfolge mit einem hohen Anteil an Leguminosen, welche für Bodenfruchtbarkeit sorgen soll, werden aus ökonomischen Gründen selten eingesetzt.

Im Zuge dieser Arbeit wurden auf fünf Betrieben in Österreich Nährstoffbilanzen berechnet, um Einblick in die Nährstoffflüsse dieses Produktionssystems zu bekommen. Zusätzlich wurden Bodenproben von den geschützten Flächen bzw. von Freilandflächen genommen und miteinander verglichen, um zu zeigen, wie sich chemische Bodenparameter in diesem Produktionssystem verändern.

Die Untersuchungen zeigten, dass alle Betriebe starke Ungleichgewichte in ihrer Nährstoffbilanz aufwiesen. Es kam im Durchschnitt zu einer Überversorgung aller untersuchten Nährstoffe (249 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stickstoff, 53 kg ha⁻¹ a⁻¹ Phosphor, 161 kg ha⁻¹ a⁻¹ Schwefel) außer Kalium, das mit 93 kg ha⁻¹ a⁻¹ negativ bilanzierte. Mit den Bodenanalysen konnte gezeigt werden, dass sich viele chemische Bodenparameter der Bodenproben im GWH signifikant von jenen im Freiland unterscheiden. Die Produktionsweise geschützter Biogemüsebau führt tendenziell zur Akkumulation von organischer Bodensubstanz und zum Ansteigen des Salzgehaltes in der Bodenlösung (von 0.4 mS cm⁻¹ im Freiland zu 3.9 mS cm⁻¹ in den GWH). Viele Nährstoffe (N, P, K, Ca, Mg, S) reichern sich im Boden an und finden sich dort in großen Mengen wieder (z.B. 951 kg ha⁻¹ pflanzenverfügbares Kalium). Das Verhältnis der Nährstoffe zueinander verändert sich ungünstig hinsichtlich der Pflanzenernährung und der Nährstoffverfügbarkeit.

Die Ergebnisse zeigen, dass es in diesem intensiven System schwierig ist eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu erreichen, um so die Bodengesundheit langfristig zu erhalten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung.....	3
2.1. Bio-Gemüsebau - Zahlen und Fakten.....	3
2.2. Gesetzliche Rahmendbedingungen im geschützten Bio-Gemüsebau.....	4
2.3. Bodenfruchtbarkeit.....	6
2.3.1. Bodenchemischer Aspekt	7
2.3.1.1. Salzgehalt	7
2.3.1.2. Salztoleranz	8
2.3.1.3. Nährstoffverhältnis	9
2.3.2. Fruchtfolge.....	10
2.3.3. Düngung im geschützten Bio-Gemüsebau.....	10
2.3.3.1. Organische Basisdünger	11
2.3.3.2. Organische Ergänzungsdünger	12
2.3.3.3. Mineralische Ergänzungsdünger	14
3. Forschungsfrage und Hypothesen	15
4. Material und Methoden	16
4.1. Beschreibung der Betriebe	16
4.2. Nährstoffbilanzierung.....	22
4.2.1. Datenerhebung.....	22
4.2.2. Bilanzierung.....	22
4.3. Bodenproben.....	24
4.3.1. Probenahme	24
4.3.2. Bodenprofil.....	24
4.3.3. Analyse der Bodenproben.....	24
4.3.3.1. Fraktionierte Analyse	24
4.3.3.2. Parameter und Messwerte der fraktionierten Analyse	26
4.3.3.3. Weitere aus den Messwerten errechnete Parameter	27

4.4. Statistische Auswertung.....	28
5. Ergebnisse	30
5.1. Bodenparameter.....	30
5.1.1. Basisparameter.....	30
5.1.2. Zusammensetzung der Bodenlösung	32
5.1.3. Sorptionskomplex	34
5.1.4. Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen.....	35
5.2. Bodenparameter auf Betriebsebene	38
5.2.1. Bodenparameter Betrieb A	38
5.2.2. Bodenparameter Betrieb B.....	39
5.2.3. Bodenparameter Betrieb C.....	41
5.2.4. Bodenparameter Betrieb D	43
5.2.5. Bodenparameter Betrieb E.....	45
5.3. Nährstoffbilanzen.....	47
5.3.1. Düngemanagement und Nährstoffbilanz der einzelnen Betriebe.....	47
5.3.2. Nährstoffeintrag durch Gießwasser	50
5.3.3. Nährstoffbilanz gesamt	50
5.3.4. Bilanz der Hauptnährstoffe	51
6. Diskussion	53
7. Conclusio	63
Abbildungsverzeichnis	65
Tabellenverzeichnis	66
Literaturverzeichnis.....	68
Anhang	72

1. Einleitung

Gemüse ist gefragt. Besonders, wenn es biologisch und regional produziert ist. Die Nachfrage an nachhaltig produziertem Gemüse steigt seit Jahren stetig, sodass das heimische Angebot nicht ausreicht und Ware aus benachbarten Ländern zugekauft wird. Mit 6,5 % Marktanteil in Österreich stellt geschützter Bio-Gemüseanbau – also der Anbau von Gemüse in Gewächshäusern (GWH) - einen wichtigen Bereich des biologischen Gemüsebaus und der biologischen Landwirtschaft dar (AMA, 2016; Lernoud & Willer, 2016).

Zunehmend stellt sich jedoch die geschützte biologische Gemüseproduktion als Gratwanderung zwischen notwendiger Intensität der Bewirtschaftung und der Nachhaltigkeit der Produktionssysteme heraus. Dabei sehen sich biologisch wirtschaftende GemüsegärtnerInnen vor Herausforderungen gestellt, die sich stark von jenen ihrer konventionell wirtschaftenden BerufskollegInnen unterscheiden.

Während in konventionellen Systemen nur noch selten in Erde, sondern meist in inerten Substraten produziert wird, gelten die Produktion im gewachsenen Boden und die Aufrechterhaltung der Bodengesundheit als Grundvoraussetzung der biologischen Landwirtschaft. Eine an den Standort und den Betrieb angepasste Fruchtfolge, der Einsatz von Leguminosen in der Fruchtfolge, sowie das Verwenden von mineralischen und organischen Düngern (falls vorhanden vom eigenen Hof), sind die üblichen Werkzeuge der biologischen Landwirtschaft, die einen nachhaltig gesunden Boden garantieren sollen (Kommission, 2007).

Im geschützten Bio-Gemüsebau lassen sich diese Maßnahmen jedoch aus verschiedenen Gründen nur schwer oder gar nicht umsetzen. So sind die GWH in ihrer Errichtung so teuer, dass es wirtschaftlich nicht nachhaltig ist Klee gras in die Fruchtfolge aufzunehmen oder Kulturen anzubauen, die zu wenig Rendite erzielen. Selbst die Ernterückstände werden aus zeitlichen und phytosanitären Gründen meist vollständig entfernt. Damit fehlt eine wichtige Quelle für Stickstoff, der in der biologischen Landwirtschaft im Freiland hauptsächlich über die Leguminosen in der Fruchtfolge in den Boden eingebracht wird. Der gesamte Nährstoffentzug muss also durch mineralische und organische Dünger gedeckt werden, was für Bio-GemüsegärtnerInnen eine weitere Herausforderung darstellt (George & Eghbal, 2003; Röber & Schacht, 2008; Voogt, 2014).

Geschützter Gemüsebau ist eine der intensivsten Formen der landwirtschaftlichen Produktion überhaupt. Indem viele Parameter – wie Temperatur, Wasserzufuhr, Nährstoffzufuhr – gezielt gesteuert werden, können sehr hohe Erträge produziert werden.

Die hohen Erträge bedeuten gleichzeitig sehr hohe Nährstoffentzüge, fordern sehr hohe Aufwandsmengen an Düngemitteln und stellen eine sehr hohe Beanspruchung an das Gesamtsystem Boden dar. Der Nährstoffbedarf von Gemüsekulturen unterscheidet sich von der Nährstoffzusammensetzung häufig eingesetzter Düngemittel wie etwa Stallmist, Kompost usw., sodass es sehr leicht zu einseitigen Nährstoffentzügen bzw. Nährstoffanreicherungen im Boden kommt (Möller & Schultheiß, 2014). Viele Gemüsebaubetriebe sind außerdem sehr spezialisiert und haben keine Tierhaltung am Betrieb und sind somit auf Dünger von außerhalb angewiesen. Oft werden nicht nur Wirtschaftsdünger wie Stallmist, Mistkompost oder andere Komposte zugekauft, sondern auf organische Düngemittel aus der Industrie zurückgegriffen. Diese sind zwar in ihrer Nährstoffzusammensetzung oft günstiger als Mist oder Kompost, bringen dafür aber andere Probleme mit sich. Probleme ökonomischer Art, da sie oft sehr teuer sind, und ökologischer/ethischer Art, da die Verwendung dieser Abfallprodukte auch eine Unterstützung dieser Systeme (Ethanolproduktion, Lebensmittelindustrie, Pharmaindustrie, etc.) darstellt. Aus diesem Grund zeigt die Tatsache, dass solche Produkte als Düngemittel in der biologischen Landwirtschaft erlaubt sind, die Abhängigkeit der biologischen Landwirtschaft von intensiven, konventionellen Systemen und wird von vielen Stimmen innerhalb des biologischen Netzwerks heftig kritisiert.

Die große Herausforderung, die sich den GärtnerInnen und LandwirtInnen in diesem landwirtschaftlichen Bereich stellt, ist es diese intensiven Systeme so zu gestalten, dass sie ökologisch wie ökonomisch nachhaltig sind; dass sie Menschen mit regionalem und biologischem Gemüse versorgen, ohne dabei ihre Lebens- und Produktionsgrundlage – den fruchtbaren Boden – zu beeinträchtigen oder zu zerstören.

Trotz dieser umfassenden Anforderungen und der spezifischen Problematik gibt es nur wenig Forschung auf diesem Gebiet. In dieser Arbeit möchte ich darlegen, wie sich der intensive, biologische Gemüseanbau auf verschiedene chemische Parameter der Böden im GWH unterschiedlicher Gemüsebaubetriebe in Österreich auswirkt.

2. Stand der Forschung

2.1. Bio-Gemüsebau - Zahlen und Fakten

In beinahe allen europäischen Ländern hält das Wachstum der biologisch bewirtschafteten Anbauflächen, der Bio-Unternehmen und der Bio-Märkte derzeit an. Global gesehen ist Europa im Bio-Landbau auch weiterhin ein Wegbereiter.

Betrachtet man die biologisch bewirtschafteten Anbauflächen, als auch den Bio-Markt der EU-15 Länder, so sieht man ein stetiges Wachstum innerhalb der letzten 10 Jahre. Der einheimischen Nachfrage kann zu einem hohen Grad nachgekommen werden, auch wenn in vielen Ländern der Import eine wichtige Rolle spielt. Global gesehen sind die EU und im Besonderen die EU-15-Länder beim Anteil des Bio-Marktes an der gesamten Landwirtschaft führend. Zudem ist der Pro-Kopf Konsum von biologischen Lebensmitteln höher als in anderen Teilen der Welt (Willer, Schaack, & Bteich, 2014).

In der europäischen Union sind derzeit etwa 10,3 Millionen ha biologisch bewirtschaftet, was 5,7 % der bewirtschafteten Fläche entspricht. Dabei sind Spanien (1,7 Mio. ha), Italien (1,4 Mio. ha) und Frankreich (1,1 Mio. ha) die Länder mit der meisten Fläche, die Länder Liechtenstein (30,9 %), Österreich (19,4 %) und Schweden (16,4 %) die Länder mit dem größten relativen Anteil. Derzeit wird EU weit auf einer Fläche von etwa 131.900 ha Bio-Gemüse angebaut. Das entspricht im Vergleich zu 2004, als es 53.000 ha waren, einer Steigerung von 249 % in 10 Jahren (Willer & Schaack, 2016). Die größten Flächen an biologischer geschützter Gemüseproduktion innerhalb der EU finden sich in Italien und Spanien (jeweils mehr als 1000 ha). Frankreich rangiert mit 450 ha auf Platz drei, gefolgt von den Niederlanden (100 ha). Insgesamt wird etwa 7,3 % der gesamten Gewächshausfläche biologisch bewirtschaftet. In den südlichen Ländern wie Spanien und Italien wird hauptsächlich in ungeheizten Folientunnels produziert. Als Ausnahme gilt Gemüseproduktion für den Export, die auch in beheizten Folienhäusern stattfindet. In den Niederlanden, Belgien, Schweden, Finnland, Deutschland und Österreich wird hauptsächlich in beheizten Gewächshäusern produziert. Oft werden sie auch nur frostfrei gehalten (Van der Lans, Meijer, & Blom, 2011).

In Österreich werden 525.521 ha (19,4 %) der landwirtschaftlichen Fläche biologisch bewirtschaftet. Der Marktanteil von Bio-Produkten liegt bei 6,5 %. Der Bio-Gemüsebau

nimmt zwar mit 2.819 ha (0,5 % der biologisch bewirtschafteten Fläche) nur einen untergeordneten Stellenwert ein, kann dafür aber einen Marktanteil von 21,3 % am gesamten Bio-Markt aufweisen (Lernoud & Willer, 2016).

Zu den biologischen, geschützten Gemüseflächen in Österreich gibt es wenig statistische Kennzahlen. So werden sie entweder mit den Freilandflächen gemeinsam erhoben, oder die biologisch wirtschaftenden Betriebe werden mit den konventionellen Betrieben zusammengefasst. Laut Statistik Austria (2016) bewirtschaften 357 gartenbauliche Gemüsebetriebe in Österreich eine geschützte Fläche von 313 ha. Davon deklarierten sich 79 Betriebe als „anerkannter Bio-Betrieb“. Die bewirtschaftete Fläche dieser Betriebe wird in der Gartenbauerhebung leider nicht gesondert ausgewiesen. Van der Lans et al. (2011) beziffern im Jahr 2011 die biologische, geschützte Fläche in Österreich mit 30 ha.

2.2. Gesetzliche Rahmendbedingungen im geschützten Bio-Gemüsebau

In den Anfangszeiten der biologischen Landwirtschaft gab es keine gesetzlichen Regelungen, sondern eine gemeinsame Werthaltung, nach der sich das Wirtschaften der Akteure richtete. Großbritannien begann 1967 gesetzliche Richtlinien für die biologische Landwirtschaft zu formulieren und bald folgten andere Länder wie die Niederlande, Spanien und Frankreich. 1991 verabschiedete der europäische Rat die Verordnung (EEC) No. 2092/91 über die biologische Landwirtschaft und die Kennzeichnung biologischer Produkte. Diese Verordnung schuf zum ersten Mal gemeinsame Standards für die gesamte EU. So konnten KonsumentInnen biologische Produkte aus anderen Herkunftsländern kaufen, mit der Sicherheit, dass diese Produkte nach denselben Standards produziert wurden. Nachdem die Verordnung durch fortwährende Adaption und Erweiterung immer komplexer wurde, beschlossen die Landwirtschaftsminister der europäischen Union eine neue Verordnung, die 2009 mit dem Namen „(EWG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen“ in Kraft trat. Die Gesetze wurden durch die im Jahr 2008 veröffentlichte Durchführungsbestimmung „Verordnung (EWG) Nr. 889/2008“, implementiert (Blom, 2011; Kommission, 2007; Kommission, 2008).

Weder in den beiden Verordnungen, noch in der Durchführungsbestimmung findet sich ein direkter Bezug zur biologischen Produktion in Gewächshäusern. Die einzig relevante

Bestimmung findet sich in der Verordnung (EC) Nr. 889/2008 und verbietet explizit die Produktion in erdelosen Kulturen (Kommission, 2008).

2013 wurde von der europäischen IFOAM Gruppe (Internationale Vereinigung der ökologischen Landbaubewegung, die globale Dachorganisation von Bio-Verbänden) ein Positionspapier veröffentlicht, dass die Produktion von Gemüse in Gewächshäusern regeln soll (Zikeli & Deil, 2016). In dem Positionspapier wird etwa geregelt, was unter den Begriff Gewächshaus fällt, wie und wann geheizt werden darf und unter welchen Umständen Pflanzen auch in Töpfen produziert werden können. Zum Thema Bodengesundheit heißt es, dass LandwirtInnen einen Plan zur Verbesserung der Bodengesundheit entwickeln sollen, der bewirkt, dass erstens die Nährstoffeffizienz steigt, zweitens Bodengesundheit und Bodenfruchtbarkeit aufgebaut wird und drittens die Nachhaltigkeit von Nährstoffinputs optimiert wird. Gemäß dem Prinzip der biologischen Landwirtschaft, wonach die Versorgung der Pflanze mit Nährstoffen hauptsächlich über das Ökosystem Boden zu geschehen hat, sollen maximal 50 % der Nährstoffe nach der Pflanzung zugeführt werden und maximal 25 % der Nährstoff in flüssiger Form verabreicht werden. Des Weiteren gibt es Regelungen zur Verwendung von Torf, dem Einsatz von CO₂ und der Energieeffizienz (IFOAM, 2013).

Neben den Richtlinien und Verordnungen auf europäischer Ebene gibt es die Richtlinien der nationalen Bio-Verbände. Der größte Bio-Verband in Österreich ist Bio-Austria und vertritt etwa 70 % aller Bio-BäuerInnen. Die Standards der nationalen Verbände beim Einsatz konventioneller organischer Düngemittel sind höher als es die EU-Bio-Verordnung vorgibt.

Seit 2015 gibt es einen gültigen Beschluss von Bio Austria, dass die Qualität der Dünger nach verschiedenen Kriterien bewertet wird und eine schrittweise Reduktion der konventionellen organischen Stickstoffdünger von 2015 bis 2020 erfolgen soll. Die Bewertung der Dünger erfolgt nach den Kriterien: Herkunft, Herstellungsprozess, Gefahr von Rückständen, Nachhaltigkeit und Wirkung des Düngers. Durchgeführt wird der Beschluss nach einem Stufenplan; so sind seit 2015 und 2017 alle Dünger, die eine gewisse Punktezahl in der Bewertung nicht erreichen, nicht mehr zu verwenden. Eine zusätzliche Klausel für die Gemüseproduktion besagt, dass es zu weiteren Einschränkungen kommt, falls Ersatzdünger verfügbar sind. Im Gemüsebau bleiben allerdings alle Bio-tauglichen Flüssigdünger erlaubt, die eine gewisse Punktezahl im Bewertungsschlüssel erreichen (Bio-Austria, 2017).

Geregelt sind auch Nährstoffmengen, die ausgebracht werden dürfen. So dürfen maximal 170 kg ha⁻¹ a⁻¹ an betriebsfremdem organischen Stickstoffdünger ausgebracht werden (den hofeigenen Dünger eingeschlossen). Diese Begrenzung darf bei Spezialkulturen, wie

Gemüse, überschritten werden. Es dürfen aber nicht mehr als $170 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aus tierischen Düngern ausgebracht werden.

Bei der Verwendung von betriebsfremden organischen Düngemitteln konventioneller Herkunft gilt grundsätzlich dieselbe Grenze, es gelten aber zusätzliche Regelungen. Im geschützten Gemüsebau sind maximal $170 \text{ kg N}_{\text{Jw}}$ (jahreswirksamer Stickstoff) $\text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zulässig. Davon können maximal $128 \text{ kg N}_{\text{Jw}}$ in Form von wasserlöslichen Flüssigdüngern beantragt werden. Ab 2017 ist dieser Anteil mit maximal $85 \text{ kg N}_{\text{Jw ha a}^{-1}}$ begrenzt (Bio-Austria, 2017).

2.3. Bodenfruchtbarkeit

Als Bodenfruchtbarkeit versteht man die Fähigkeit von Natur-und Kulturböden, den Pflanzen als Standort zu dienen. Sie ist auf eine Pflanze oder Fruchtfolge zu beziehen und schließt alle biologischen, physikalischen und chemischen Prozesse und die damit in Wechselbeziehung stehenden Bodeneigenschaften mit ein, die das Wachstum und die Vitalität der Pflanzen beeinflussen. Da es sich bei Böden um dynamische Systeme handelt, kann sich die Bodenfruchtbarkeit verändern: Bei falscher Behandlung wird die Bodenfruchtbarkeit schnell reduziert, im Gegensatz dazu nimmt die Wiederherstellung einen viel längeren Zeitraum in Anspruch (Scheffer & Schachtschabel, 2010; Fiedler, 2001).

In der biologischen Landwirtschaft wird großes Augenmerk darauf gelegt die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. So heißt es in der Verordnung (EG) Nr. 834/2007:

„Zentrale Elemente im Bewirtschaftungssystem des ökologischen/biologischen Pflanzenbaus sind die Pflege der Bodenfruchtbarkeit, die Wahl geeigneter Arten und Sorten, eine mehrjährige Fruchtfolge, die Wiederverwertung organischen Materials und Anbautechniken. Zusätzliche Düngemittel, Bodenverbesserer und Pflanzenschutzmittel sollten nur verwendet werden, wenn sie mit den Zielen und Grundsätzen der ökologischen/biologischen Produktion vereinbar sind“.

Die Maßnahmen und Werkzeuge, die in der Praxis seit langer Zeit verwendet werden, um Bodenfruchtbarkeit zu erhalten, sind zum Beispiel eine dem Boden angepasste Bodenbearbeitung, eine weite Fruchtfolge, der Einsatz von Leguminosen und die Verwendung organischer Dünger. Im geschützten Anbau ist diese landwirtschaftliche Praxis aus folgenden Gründen weniger leicht umzusetzen:

- Hohe Investitionskosten für die Infrastruktur (George & Eghbal, 2003; Zikeli & Deil, 2016)
- Hoher Nährstoffbedarf durch hohe Erträge (Sonneveld & Voogt, 2009)
- Gefahr von Versalzung und Nährstoffungleichgewicht (Zikeli & Deil, 2016)
- Nährstoffeintrag über große Mengen an Gießwasser (Röber & Schacht, 2008)

2.3.1. Bodenchemischer Aspekt

2.3.1.1. Salzgehalt

„Überdüngung und Versalzung kommt in der gärtnerischen Praxis eine viel größere Bedeutung zu als einer Unterversorgung mit Nährstoffen“ (Röber & Schacht, 2008).

Salze sind chemische Verbindungen, die aus Kationen und Anionen aufgebaut sind, also eine ionische Verbindung eingehen. Bei anorganischen Salzen werden die Kationen meist von Metallen gebildet, wie zum Beispiel Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ und K^+ . Eine Ausnahme ist das NH_4^+ -Ion. Die Anionen sind häufig Nichtmetalle (Cl^-) und deren Oxo-Anionen (NO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} usw.) (Möller & Schultheiß, 2014). Hohe Salzgehalte im Boden hemmen die Nährstoff- und Wasseraufnahme der Pflanzen und beeinträchtigen so die Erträge (George & Eghbal, 2003). Für die Bodenfruchtbarkeit der Böden im GWH stellt der hohe Salzgehalt eine Gefährdung dar. Durchschnittliche Nährstoffbilanzen im geschützten Gemüseanbau weisen oft einen großen Überschuss an Salzen wie Na^+ , Cl^- und SO_4^{2-} auf, da verwendete Dünger große Mengen dieser Ionen enthalten. So ist Na^+ und Cl^- in Mist oder einigen Ergänzungsdüngern enthalten. SO_4^{2-} ist ein häufiger Bestandteil von K- und Mg-Düngern (Voogt, 2014). Eine weitere wichtige Eintragsquelle von Salzen ist das Gießwasser. Durch die enormen Mengen akkumulieren sich vermeintlich geringe Belastungen im Lauf der Jahre (George & Eghbal, 2003). Während die Salze im Freiland mit Niederschlagswasser teilweise ausgewaschen bzw. in tiefere Bodenschichten verlagert werden, herrschen in den Gewächshäusern durch die Überdachung und die künstliche Bewässerung aride Bedingungen. Das heißt, der Wasserstrom ist nach oben gerichtet, Wasser verdunstet an der Oberfläche, die Salze bleiben in den oberen Bodenschichten und kristallisieren oft sogar sichtbar an der Bodenoberfläche aus. Dies ist positiv, da hier keine Nährstoffverluste eintreten. Der Nachteil ist jedoch, dass die Salze im Boden verbleiben und sich im Laufe der Jahre akkumulieren (George & Eghbal, 2003; Möller & Schultheiß, 2014). Die zugeführten

Salze können sich dabei unterschiedlich auf das Wachstum der Pflanze auswirken: mit ihrer allgemeinen Salzwirkung (Osmose), der speziellen Wirkung einzelner Ionen und der negativen Auswirkung auf die Bodenstruktur (Röber & Schacht, 2008).

2.3.1.2. Salztoleranz

Der Rückgang der Wuchseistung von verschiedenen Kulturpflanzen bei Salzbelastung ist eine direkte Folge des osmotischen Drucks in der Bodenlösung und zudem größtenteils unabhängig von der Art der einwirkenden Salze. Die Gemüsearten reagieren allerdings sehr unterschiedlich auf hohe Salzkonzentrationen im Boden (George & Eghbal, 2003; Röber & Schacht, 2008). Das Maß der Auswirkung hoher Salzkonzentrationen auf das Wachstum von Kulturpflanzen unterscheidet sich sehr stark zwischen verschiedenen Arten und – weniger stark – zwischen den Sorten einer Art (Shannon & Grieve, 1999). So sind beispielsweise Rote Rüben, Spinat und Tomaten relativ tolerant gegenüber hohen Salzgehalten, während Bohnen, Karotten, Paprika und Salat sehr empfindlich reagieren (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Salztoleranz verschiedener Gemüsearten und ihr Wachstumsrückgang bei steigender Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (verändert nach Röber & Schacht, 2008).

Kultur	Ertragsverlust [%]		
	10	25	50
	Salzgehalt des Bodens [mS cm ⁻¹]		
Rote Rübe	8	9,7	11,5
Spinat	5,5	7	8
Tomate	4	7	8
Salat	2	3,8	4,8
Paprika	1,8	3	4,8
Karotte	1	2,5	3,8
Bohne	1	2	3

Nicht alle Auswirkungen hoher Salzgehalte sind negativ. Es wurden auch positive Auswirkungen auf Ertrag, Qualität und Krankheitsresistenz nachgewiesen. Beispielsweise steigen bei einer leichten bis moderaten Versalzung die Erträge von Spinat. Der

Zuckergehalt in Karotten steigt, während der Stärkegehalt in Kartoffeln bei steigender Versalzung sinkt (Shannon & Grieve, 1999).

2.3.1.3. Nährstoffverhältnis

In Abbildung 1 wird deutlich, dass sich die gelösten Stoffe gegenseitig behindern (Antagonismus), fördern (Synergismus) oder indifferent verhalten können. Dabei spielen, ab

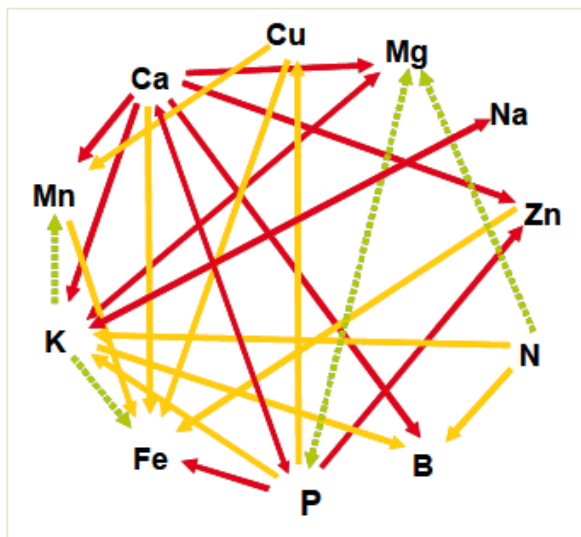


Abbildung 1: Beziehungsgefüge einiger Nährstoffe in der Bodenlösung (Unterfrauner, 2010)

(Antagonismus = rot; Synergismus = grün; indifferentes Verhalten = gelb)

einem bestimmten Nährstoffniveau, die Verhältnisse der Stoffe zueinander eine weit wichtigere Rolle als deren Absolutgehalte (Unterfrauner, 2010). Man kann davon ausgehen, dass Böden im GWH dieses Nährstoffniveau bereits nach wenigen Jahren intensiver Kultur erreichen. So können hohe Phosphorwerte, besonders in Verbindung mit hohen pH-Werten zu einem komplexen Nährstoffmangel (Fe, Zn, Ca) führen (George & Eghbal, 2003; Möller & Schultheiß, 2014). Ein Überschuss an Kalium fördert die Bildung der Blütenendfäule bei Tomaten, Paprika, und Melanzani oder führt zu Herzfäulen bei Salat und anderen Gemüsearten durch die

Konkurrenz mit anderen Kationen, da in Folge weniger Ca^{2+} von der Pflanze aufgenommen wird. Umgekehrt führt eine K-Unterversorgung zu erhöhten Ca-Konzentrationen in den Früchten. Das Ca-Angebot im Boden hat allerdings nur einen geringen Einfluss auf den Ca-Gehalt in Blättern und Früchten, viel bedeutender sind der Transpirationsstrom und die Wachstumsrate der Kulturpflanze. Hohe Erträge erhöhen die Gefahr von Ca-Mangel infolge von Nährstoffungleichgewichten durch hohe Gehalte an anderen Kationen (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^+) im Boden. Nährstoffungleichgewichte können auch die Aufnahme von Mg^{2+} stark beeinflussen: Ein K-Überangebot oder NH_4^+ -N-Ernährung führen zu einer starken Hemmung der Mg-Aufnahme, K-Mangel dagegen zu hohen Mg-Aufnahmeraten (Möller & Schultheiß, 2014).

2.3.2. Fruchtfolge

Fruchtfolge hat - verglichen mit dem Anbau von Monokulturen - viele landwirtschaftliche, ökonomische und ökologische Vorteile. Eine angepasste Fruchtfolge erhöht die organische Substanz im Boden, verbessert die Bodenstruktur, vermindert Bodenerosion, trägt zur Verhinderung von Krankheiten und somit zur Pflanzengesundheit bei und kann dadurch eine Steigerung der Erträge bewirken (IFOAM, 2012).

Aus diesen Gründen ist der Einsatz einer weiten Fruchtfolge im geschützten Gemüsebau anzustreben, auch wenn sie, aus wirtschaftlichen Gründen, nicht so einfach wie im Ackerbau umzusetzen ist (Voogt, 2014). Es ist eine, von Bio-Akteuren akzeptierte Tatsache, dass in Gewächshäusern der Anbau von einjährigen Leguminosen und Kulturen für die Gründüngung – welche explizit in der EU-Verordnung genannt werden – nicht durchgeführt werden. Die Kultivierung von Zwischenbegrünungen mit einer kurzen Kulturzeit oder der Anbau von Körnerleguminosen könnten eine Alternative darstellen (Tittarelli, et al., 2016).

2.3.3. Düngung im geschützten Bio-Gemüsebau

Gemüsekulturen im GWH haben eine sehr hohe Produktivität und benötigen große Mengen an Nährstoffen. Dabei gibt es einen linearen Zusammenhang von Ertrag und Nährstoffaufnahme. Die jährliche Nährstoffaufnahme kann bei einer intensiven Tomatenproduktion (bei einem Ertrag von bis zu 50 kg m²) bei 1.250 kg Stickstoff pro ha liegen (Cuijpers, van der Burgt, & Voogt, 2008). Der potentielle Ertrag und damit auch der Nährstoffbedarf ist in den GWH um ein Vielfaches höher als der Bedarf von Gemüsekulturen im Freiland (Sonneveld & Voogt, 2009). Diese Zahlen beziehen sich, wie die meisten Studien, die zu diesem Thema gemacht wurden, auf sehr intensive Systeme, wie sie in Österreich nur vereinzelt zu finden sind. Tittarelli (2016) definiert Produktionssysteme dieses Intensitätsgrads als „nord- und zentraleuropäisches hochintensives System“. Gemessen am Nährstoffbedarf würden Betriebe in Österreich, nach dieser Definition, in die Kategorie „nord- und zentraleuropäische weniger-intensive Systeme“ fallen. Auch die in dieser Arbeit untersuchten Betriebe fallen in dieses Intensitätsniveau.

Durch diese Intensitätsunterschiede (auch innerhalb einer Gruppe) lässt sich kein generelles Bild der Düngesysteme in Gewächshäusern zeichnen, und trotz vieler offener Fragen gibt es

nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zum Nährstoffmanagement in biologischen Gewächshäusern. Untersuchungen kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Großes Nährstoffungleichgewicht, eine starke Akkumulation von Phosphor (Voogt, 2014; Zikeli & Deil, 2016)
- Eine Akkumulation der organischen Substanz (Bodenschutz, 2016; Zikeli & Deil, 2016)
- Ansteigen des Salzgehaltes in der Bodenlösung mit der Gefahr der Versalzung der Böden (vor allem durch Na und S) (Zikeli & Deil, 2016)
- Ansteigen des pH-Werts (Bodenschutz, 2016; Zikeli & Deil, 2016)

2.3.3.1. Organische Basisdünger

Organische Basisdünger, wie zum Beispiel Stallmist und Kompost, werden vor Beginn der Kultur in das GWH eingebracht. Sie haben, im Verhältnis zu ihrem Frischgewicht, meist einen niedrigen Nährstoffgehalt; ein Transport über weite Strecken ist daher nicht rentabel. Das Ziel einer Basisdüngung ist es, den Boden mit allen nötigen Nährstoffen zu versorgen und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten (Tittarelli et al., 2016).

Als Basisdünger werden hauptsächlich verschiedene Mistarten (kompostiert oder frisch) und Kompost aus Bioabfall oder Grüngut verwendet. Kompost enthält sämtliche Pflanzennährstoffe. Allerdings ist das Nährstoffspektrum im Vergleich zum Bedarf der Kulturpflanzen aufgrund der Nährstoffverluste beim Kompostierungsprozess unausgewogen. Beim Kompostierungsprozess entweichen gasförmig die Nährstoffe Stickstoff und Schwefel oder durch Auswaschung zusätzlich auch Kalium, d. h. die Nährstoffe, die im Gemüsebau besonders benötigt werden (Möller & Schultheiß, 2014). Ein weiteres Problem der als Basisdünger eingesetzten Düngemittel ist, dass sie, im Vergleich zum Nährstoffspektrum von Gemüsekulturen, zu geringe Kaliummengen enthalten. Bei Komposten und Festmist, teilweise auch bei Gärprodukten, reicht zudem der Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff nicht für eine angemessene Versorgung der meisten Gemüsearten aus. In Komposten und Festmist ist das N/P-Verhältnis im Vergleich zum Nährstoffspektrum von Gemüsepflanzen zu eng. Wird auf Stickstoffbedarf gedüngt, kann es zu einer Überversorgung von Phosphor und damit zu einer Phosphoranreicherung im Boden kommen (Möller & Schultheiß, 2014).

Die Nährstoffgehalte der verschiedenen Basisdünger hängen sehr stark von der Art des Ausgangsmaterials, der Behandlung und Lagerung, sowie der Ausbringung ab. Auch innerhalb einer Düngerart können der Nährstoffgehalt sowie die Nährstoffzusammensetzung sehr stark streuen (Breuer et. al., 1997).

Tabelle 2: Charakterisierung von organischen Basisdüngern (adaptiert von (Möller & Schultheiß, 2014).

Dünger	Charakterisierung
Bioabfallkompost	• Niedrige N- und K-Gehalte in Relation zum P-Gehalt • Geringe N-Mineralisation im Jahr der Anwendung
Grüngutkompost	• Niedrige N- und K-Gehalte in Relation zum P-Gehalt • Nährstoffgehalte niedriger als beim Bioabfallkompost • Verwendung zur Düngung von intensiv gemüsebaulich genutzten Flächen durch die P-Frachten begrenzt
Gärprodukte	• Hohe N-Gehalte und ausgewogenes N/P-Verhältnis • Hohe N-Mineralisation im Jahr der Anwendung • Häufig relativ geringe K-Gehalte • Oft hoher Salzgehalt

In intensiven Systemen können jedoch nicht alle benötigten Nährstoffe in Form fester Dünger zu Beginn der Kultur ins Gewächshaus eingebracht werden. Die Ausbringung so großer Mengen organischer Substanz bewirkt sehr hohe Nährstoffgehalte im Boden und hat damit auch einen hohen Salzgehalt in der Bodenlösung zur Folge. Das wiederum wirkt sich negativ auf die bestehende Bodenmikrobiologie, die Pflanzenwurzeln, das Pflanzenwachstum und schließlich auf den Ertrag aus. Durch die lange Kulturzeit der verwendeten Hauptkulturen müssen oft zusätzlich zur Basisdüngung schnell abbaubare Zusatzdünger verwendet werden, um die Kulturpflanzen ausreichend mit Nährstoffen versorgen zu können (Voogt, 2014).

2.3.3.2. Organische Ergänzungsdünger

Organische Ergänzungsdünger werden eingesetzt, um Kulturen mit einem hohen Nährstoffbedarf und/oder einer langen Kulturzeit mit ausreichend Nährstoffen zu versorgen. Dazu werden sie vor Beginn der Kultur mit den Basisdüngern oder während der Kultur in fester oder flüssiger Form ausgebracht. Sie besitzen, im Verhältnis zu ihrem Frischgewicht eine hohe Nährstoffkonzentration und ein geringes C/N Verhältnis (Tittarelli et al., 2016).

Nahezu alle der organischen Handelsdüngermittel, welche als Ergänzungsdünger verwendet werden, kommen aus Rohstoffen konventioneller pflanzlicher Erzeugung oder intensiver konventioneller Tierhaltung. Pflanzliche Produkte gehen häufig aus aufwendigen und

komplexen industriellen Prozessen hervor. Gehandelt werden diese Produkte überregional und kommen oft von außerhalb der EU (Möller & Schultheiß, 2014).

Sie unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung, ihrem Nährstoffspektrum und ihrer Düngewirkung, aufgrund unterschiedlicher Rohstoffe, sowie im Produktionsprozess eingesetzter Hilfsmittel sehr stark voneinander. Die folgende Tabelle (siehe Tabelle 3) soll eine Übersicht über die verschiedenen organischen Ergänzungsdünger bieten und ihre Vor- und Nachteile aufzeigen.

Tabelle 3: Charakterisierung verschiedener organischer Ergänzungsdünger (adaptiert von Möller & Schultheiß, 2014).

Dünger	Charakterisierung
Keratinhaltige (Horndünger, Haar-, Federmehl, Wolle)	• Hohe N- und S-Gehalte kombiniert mit niedrigen P- und K-Gehalten • Wegen hoher N-Freisetzung und der niedrigen P-Gehalte gute Eignung für den intensiven Gemüsebau; im GWH besteht die Gefahr einer S-Anreicherung
Knochenmehl	• Hohe P-Gehalte • Geringe Eignung für intensiv gemüsebaulich genutzte Flächen
Vinasse	• Hohe N- und K-Gehalte und niedrige P-Gehalte • Schnelle N-Mineralisation • Hohe Na-Gehalte sind beim Einsatz im GWH zu beachten (Versalzungsgefahr)
Kartoffelbruchwasser	• Hohe N- und K-Gehalte • Schnelle N-Mineralisation • Ausgewogene P-Gehalte im Verhältnis zu N und K • Niedrige Na-Gehalte
Körnerleguminosen	• Mittlere N- und P-Gehalte kombiniert mit niedrigen K-Gehalten • Mittlere N-Mineralisation
Klee- bzw. Luzerne- grasaufwüchse	• Ausgewogenes Nährstoffspektrum kombiniert mit niedrigen Na-Gehalten • Vergärung verbessert N-Verfügbarkeit • Kompostierung verschiebt das Nährstoffverhältnis durch N- und K-

Verluste	
Maltaflor®	• Mittlere N-, P-, K-Gehalte kombiniert mit hohen S-Gehalten • Mäßige N-Mineralisation im Jahr der Anwendung
Biosol®	• Mittlere Nährstoffgehalte und weites N/P-Verhältnis • N-Mineralisation im Jahr der Anwendung niedrig • Hoher S- und Na-Gehalt, niedriger K-Gehalt → weniger gut für den Einsatz im GWH geeignet
Geflügelmist	• Hohe N- und P-Gehalte • Hohe N-Mineralisation im Jahr der Anwendung
Gärprodukte	• Hohe N-Gehalte und ausgewogenes N/P-Verhältnis • Hohe N-Mineralisation im Jahr der Anwendung • Häufig relativ geringe K-Gehalte • Oft hoher Salzgehalt

2.3.3.3. Mineralische Ergänzungsdünger

Gemüsekulturen haben einen sehr hohen Kaliumbedarf. Da Basisdünger relativ geringe Kaliumgehalte im Vergleich zu anderen Nährstoffen aufweisen, ist oft eine zusätzliche Kaliumdüngung notwendig, um zu einer ausgeglichenen Versorgung zu gelangen (Tittarelli et al., 2016).

Die zugelassenen mineralischen Dünger, welche im Anhang 1 der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 aufgelistet sind, stammen aus abgebauten Mineralien oder Abfallprodukten aus der Industrie. Gelistete Dünger sind etwa weicherdiges Rohphosphat, Aluminiumcalciumphosphat, Schlacken, Kalirohsalz, Kaliumsulfat, verschiedene Kalke, Magnesiumsulfat, Gips und elementarer Schwefel (Kommission, 2008).

Viele der genannten Mineralstoffe enthalten eine hohe Konzentration an Schwefel. Ein enges K/S-Verhältnis in Kombination mit einem Kaliumausgleich durch mineralische Kaliumdüngemittel kann zu einer Überversorgung von Schwefel führen. Schwefelüberschüsse können im GWH zu einer starken Versalzung des Bodens, durch eine Anreicherung im Oberboden, führen (Möller & Schultheiß, 2014).

3. Forschungsfrage und Hypothesen

Ziele dieser Arbeit waren, erstens Bodenproben von Bio-Gemüseflächen im GWH und im Freiland zu analysieren, um diese miteinander zu vergleichen, zweitens Nährstoffbilanzen für die Flächen im GWH zu berechnen, um eine mögliche Über- oder Unterversorgung von N, P, K, Ca, Mg und S beurteilen zu können und drittens die Ergebnisse aus Punkt 1 und 2 miteinander zu vergleichen.

Dazu wurden folgende Hypothesen getestet:

1. Anhand der Analyse der chemischen Bodenparameter lässt sich kein Unterschied zwischen den beprobten Flächen im Freiland und im Gewächshaus feststellen.
2. Die Bilanzen der verschiedenen Nährstoffe (N, P, K, Ca, Mg, S) sind ausgeglichen (Input = Output).
3. Betriebe mit Tierhaltung und eigenen Wirtschaftsdüngern bilanzieren ebenso ausgeglichen wie Betriebe ohne eigene Wirtschaftsdünger.
4. Der Nährstoffeintrag durch das Gießwasser wird weder in den Bodenanalysen noch in den Nährstoffbilanzierungen sichtbar.
5. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen dem Saldo von Nährstoffen in der Bilanzierung und den Mengen im Boden. Höhere Salden haben keine höheren Bodengehalte zur Folge.

4. Material und Methoden

4.1. Beschreibung der Betriebe

Für die Masterarbeit wurden im Zeitraum Frühjahr bis Winter 2016 fünf verschiedene Betriebe in Österreich besucht, um Daten für eine Nährstoffbilanzierung aufzunehmen und Bodenproben für chemische Analysen zu sammeln (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Beschreibung der Betriebe

Betrieb	GWH-Typ	Größe [m2]	Jahre seit Errichtung	Heizung	Tierhaltung
A	Folienhaus	400	26	Ja	Nein
B	Folienhaus	5000	9	Ja	Nein
C	Folientunnel	330	13	Ja	Nein (Biogasanlage)
D	Folienhaus	420	19	Ja	Ja
E	Glashaus	300	19	Ja	Ja

Die Auswahl der Betriebe erfolgte gemeinsam mit der Feingemüsebauberaterin von Bio Austria. Das wichtigste Kriterium für die Auswahl der Betriebe war das Vorhandensein einer Fläche unter Folie oder Glas, auf der jährlich Gemüse produziert wird. Außerdem wurden Betriebe ausgewählt, die relativ intensiv produzieren (mit Heizung), weil erst ab einer gewissen Intensität die Schwierigkeiten mit dem Düngemanagement (hohe Entzüge, hoher Aufwand von Düngern) auftreten, welche untersucht werden sollten. Um vergleichen zu können, wie sich verschiedene Standorte und Bodenarten auf die Bodenentwicklung im GWH auswirken, wurden Betriebe in verschiedenen Produktionsgebieten ausgewählt. Die Betriebe befinden sich in den Hauptproduktionsgebieten „Hochalpengebiet“, „Nordöstliches Flach- und Hügelland“ und „Alpenostrand“ (siehe Abbildung 2).



Am Betrieb werden 3 Esel und 40 Hühner gehalten, der Mist wird nicht auf den beprobten Flächen ausgebracht. Die Grunddüngung im GWH erfolgt mit Ackerbohenschrot, Sonnenblumenpresskuchen und Schafwolle. Gemulcht wird mit Heu, eine Zusatzdüngung wird nicht verwendet.

Im GWH werden in einer breiten Fruchtfolge viele verschiedene Haupt- und Nebenkulturen angebaut. Hauptkulturen sind Tomate, Gurke, Stangenbohne, Zucchini, Buschbohne und Kürbis. Nebenkulturen sind Kohlrarten, Jungzwiebel, Feldsalat, Mangold, Radieschen, Asiasalat, Rettich, Rote Rübe, Fenchel, Karotte, Spinat, Erdbeeren und verschiedene Salatarten.



Betrieb B liegt im Hauptproduktionsgebiet „Nordöstliches Flach- und Hügelland“; genauer im Kleinproduktionsgebiet „Seewinkel“ (siehe Abbildung 2), auf einer Seehöhe von 126 m über dem Meeresspiegel. Der Jahresniederschlag beträgt 600 mm und die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 10,1 °C. In diesem Klima hat sich ein mittel- bis tiefgründiger aber trockener bis sehr trockener Tschernosem (Paratschernosem und Feuchtschwarzerde) auf sandigem Lehm ausgebildet (siehe Abbildung 3). Die Wertigkeit des Ackerlandes reicht von gering bis mittelwertig (eBoD, 2017).

Abbildung 3: Bodenprofil im Freiland, Betrieb B
(mittelgründige Schwarzerde)

Mit 75 ha Fläche ist der Betrieb relativ groß für österreichische Verhältnisse. 60 ha werden ackerbaulich bewirtschaftet, 10 ha mit Freilandgemüse und 5 ha im geschützten Anbau in fixen Gewächshäusern und in mobilen Folienhäusern, die alle 10 Jahre auf neuen Ackerflächen aufgestellt werden. Die Bodenprobe wurde in einem fixen Gewächshaus mit Folieneindeckung und Heizung genommen, das im Jahr 2008 errichtet wurde. Die Vergleichsprobe wurde auf einer angrenzenden Ackerfläche genommen, auf der zum Zeitpunkt der Probenahme Hafer angebaut wurde. Da es keine Tiere am Hof gibt, muss der gesamte Dünger zugekauft werden. Es wird hauptsächlich mit Biofert, Kompost und Maltaflor als Grunddünger und Vinasse als Zusatzdünger gearbeitet. Seit 2016 werden Versuche mit selbst angesetzter Brennnesseljauche gemacht, davon

liegen allerdings noch keine Ergebnisse vor. Für die Bewässerung im GWH wird hauptsächlich Regenwasser verwendet, der Nährstoffeintrag durch die Bewässerung ist folglich gering.

Die Fruchtfolge in den GWH ist relativ eng. Es werden hauptsächlich Tomaten und Paprika als Hauptkultur angebaut. Als Nebenkulturen finden sich Radieschen, Schnittsalate und Feldsalat. Nebenkulturen werden nicht jährlich angebaut.

Betrieb C liegt ebenfalls im Nordöstlichen Flach- und Hügelland, allerdings im Kleinproduktionsgebiet Marchfeld (siehe Abbildung 2), auf einer Seehöhe von 162 m. Der Jahresniederschlag beträgt 500 mm, die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 9,8°C. In diesem Klima haben sich auf Schwemmmaterial tiefgründige, mäßig feuchte Feuchtschwarzerden ausgebildet. Die Bodenart ist Lehm (eBoD, 2017).



Abbildung 4: Bodenprofil im Freiland, Betrieb C
(tiefgründige Feuchtschwarzerde)

Der Betrieb ist insgesamt 78 ha groß. Davon werden 13 ha als Grünland bewirtschaftet, 65 ha als Ackerfläche (teilweise auch Feldgemüsebau) und 0,18 ha unter Folie. Die Bodenproben wurden einerseits in einem der Folientunnel genommen und andererseits von einer angrenzenden Fläche, welche einen Randbereich neben dem Tunnel darstellt und nicht ackerbaulich genutzt, aber regelmäßig gemäht wird. Zum Zeitpunkt der Probenahme war sie mit einem Klee-grasgemenge bewachsen.

Am Hof gibt es zwar keine Tierhaltung, es gibt jedoch eine Biogasanlage, die wiederum Dünger

für die Landwirtschaft liefert. In den Gewächshäusern wird die Gülle aus der Biogasanlage nicht als Dünger verwendet. In den

GWH kommt als Basisdünger eigener Kompost aus Pflanzenmaterial zum Einsatz. Als Zusatzdünger wird hauptsächlich Vinasse verwendet. Für die Bewässerung wird Wasser aus dem eigenen Brunnen verwendet. Da das Gebiet landwirtschaftlich sehr stark genutzt ist, kommt es im Grundwasser zu einer erheblichen Anreicherung von Nährstoffen (besonders Kalium und Stickstoff) und so zu einem Nährstoffeintrag durch das Gießwasser.

In der Fruchtfolge werden auf diesem Betrieb nur Hauptkulturen angebaut. In den letzten fünf Jahren waren es Tomaten, Gurken und Paprika.

Betrieb D liegt im Hauptproduktionsgebiet „Hochalpengebiet“, genauer im Kleinproduktionsgebiet „Mitterpinzgau“ (siehe Abbildung 2), auf einer Seehöhe von 730 m über dem Meeresspiegel. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 1200 mm, die mittlere Jahrestemperatur 5,8 °C. Der Betrieb liegt auf mittelgründigen, mäßig trockenen Lockersediment-Braunerden. Das Ausgangsmaterial ist Schwemmmaterial, die Bodenart sandiger Schluff (siehe Abbildung 5). Die Wertigkeit des Ackerlandes ist als gering eingestuft (eBoD, 2017).



Abbildung 5: Bodenprofil im Freiland, Betrieb D
(mittelgründige Lockersediment-
Braunerde)

Der Betrieb ist insgesamt 36 ha groß. Davon werden 14 ha ackerbaulich und 22 ha als Grünland bewirtschaftet. Auf 3,2 ha der Ackerflächen werden Kartoffeln angebaut, auf 2,2 ha findet Freilandgemüsebau und auf 1200 m² geschützter Gemüsebau statt. Eine der Bodenproben wurde in einem Folienhaus mit einer Größe von 420 m² genommen, die Probe im Freiland von einer angrenzenden Ackerfläche, welche für Freilandgemüsebau verwendet wird. Zum Zeitpunkt der Probenahme war auf dieser Fläche eine Kleegrasmischung angebaut. Auf dem Betrieb werden außerdem 25 Kühe, 25 Jungtiere, 650 Hühner und einige Schweine gehalten. Der betriebseigene Wirtschaftsdünger

wird auch in den GWH verwendet. Als Grunddünger werden kompostierter Kuhmist und Schafwolle eingesetzt, auf Zusatzdüngung während der Kulturzeit wird verzichtet.

Die Fruchtfolge am Betrieb ist sehr divers. Als Hauptkultur werden Tomaten, Gurken, Paprika, Melanzani, Kletterzucchini und Stangenbohnen angebaut, als Nebenkulturen Spinat, Mangold, Asiasalate, Feldsalat und Lauchzwiebel.

Betrieb E liegt im Hauptproduktionsgebiet „Hochalpen“ und im Kleinproduktionsgebiet „Gastein Rauriser Gebiet“ (siehe Abbildung 2), auf einer Seehöhe von 850 m über dem

Meeresspiegel. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 1400 mm, bei einer mittleren Jahrestemperatur von 5,6 °C. Die Böden sind geprägt von der Gasteiner Ache, welche nicht weit von den beprobten Ackerflächen fließt. Die Hofstelle und der angrenzende Acker, liegen auf der Schnittstelle von den Bodentypen „Lockersediment Braunerde“ und „Grauer Auboden“ und sind seicht- bis mittelgründig (siehe Abbildung 6). Das Ausgangsmaterial ist Schwemmmaterial, die Bodenart „lehmiger Sand“ und „sandiger Schluff“. Die Ackerflächen sind als geringwertig eingestuft (eBoD, 2017).



Abbildung 6: Bodenprofil im Freiland, Betrieb E
(mittelgründige Lockersediment-
Braunerde/Grauer Auboden)

Der Betrieb umfasst eine Fläche von insgesamt etwa 9 ha. 5 ha werden als Grünland, 3 ha als Ackerland genutzt, wovon auf 1 ha Feldgemüse angebaut wird. 900 m² Fläche werden unter Glas oder Folie bewirtschaftet. Die Bodenprobe wurde in einem Glashaus mit einer Größe von 300 m² genommen, in dem jährlich Tomaten und Gurken als Hauptkultur und Feldsalat als Zwischenkultur angebaut werden. Die Bodenprobe im Freiland wurde von einer angrenzenden Ackerfläche genommen, welche alle zwei Jahre für Freilandgemüse verwendet wird. Zum Zeitpunkt der Probenahme war auf dieser Fläche eine Kleeegrasmischung angebaut. Auf dem Betrieb werden in etwa 80 Schafe gehalten, es stehen also eigene Wirtschaftsdünger zur Verfügung. Als Grunddünger werden Schafmist, und Kleeegrassilage (Mulchschicht), als Zusatzdünger

Vinasse und eigene Schafwolle verwendet. Für die Bewässerung der Kulturen im GWH wird Leitungswasser aus einer Wassergenossenschaft verwendet. Die Qualität des Wassers entspricht den Anforderungen für Trinkwasser.

Als Hauptkultur werden jedes Jahr Tomaten und Gurken angebaut, als Nebenkulturen finden sich Feldsalat und Asiasalate.

4.2. Nährstoffbilanzierung

4.2.1. Datenerhebung

Über ein semi-strukturiertes Interview in Kombination mit einem Fragebogen wurden Betriebsdaten über Nährstoffinputs, Erntemengen und Fruchtfolge der letzten fünf Jahre (2012 bis 2016) erhoben. Der Fragebogen wurde im gemeinsamen Gespräch von mir ausgefüllt, während die BetriebsleiterInnen aus dem Gedächtnis erzählten oder in ihren Aufzeichnungen nachschauten. Wenn Daten nicht mehr vorhanden waren, wurden entweder gemeinsam mit den BetriebsleiterInnen realistische Annäherungswerte geschätzt oder Daten aus der Literatur verwendet. Weil auf allen Betrieben Daten für die Ernterückstände fehlten, wurden Durchschnittswerte aus der Literatur (Anonym, 2007) verwendet.

4.2.2. Bilanzierung

Für jede Gewächshausfläche, von welcher auch eine Bodenprobe genommen wurde, wurde eine separate Schlagbilanz errechnet. Der Nährstoffeintrag umfasste alle verwendeten Dünger, die Topfballen und Erdpresswürfel der Jungpflanzen und das Gießwasser. Der Nährstoffentzug umfasste alle geernteten Produkte, sowie die abgeführten Ernterückstände. Um den Nährstoffeintrag der Dünger zu errechnen, wurde die Aufwandmenge pro m² mit den Nährstoffgehalten der Dünger multipliziert. Die Werte waren Herstellerangaben oder Durchschnittswerte aus der Literatur (Möller & Schultheiß, 2014; Breuer et al., 1997; Stein-Bachinger et al., 2004). Um den Nährstoffeintrag durch Erdpresswürfel zu errechnen, wurde das Volumen der eingebrachten Substratmenge mit den Nährstoffangaben der Hersteller multipliziert. War das verwendete Substrat nicht bekannt, weil Jungpflanzen zugekauft waren, wurden Nährstoffdaten von handelsüblichen Jungpflanzensubstraten verwendet. Der Nährstoffeintrag über das Gießwasser wurde über die Wasseraufwandmenge pro m² und die Nährstoffgehalte aus Gießwasseruntersuchungen errechnet. Um den Nährstoffentzug zu berechnen, wurden die Erntemengen sowie die Menge der Ernterückstände mit den Nährstoffgehalten der Pflanzen aus der Literatur (Möller & Schultheiß, 2014) multipliziert. Die Menge der Ernterückstände für Tomaten, Paprika und Gurken wurde über einen Verhältniswert berechnet, der aus Ergebnissen von Voogt(2014) abgeleitet wurde (siehe Tabelle 5). Die Ernterückstände der übrigen Kulturarten wurde über einen Verhältniswert berechnet der von Anonym (2007), für Freilandkulturen publiziert wurde. Nur bei Kulturarten, bei welchen die Ernterückstände am Ende der Kultur nicht in den Gewächshäusern

verbleiben, wurden diese berechnet und in der Bilanzierung als Nährstoffentzug aufgenommen.

Tabelle 5: Verhältniszahlen zum Errechnen der Ernterückstände für die Kulturarten, bei welchen die Ernterückstände abgeführt werden.

Kultur	Botanischer Name	Ernterückstand/Ernte
Tomate	Solanum lycopersicum	0,34
Gurke	Cucumis sativus	0,15
Paprika	Capsicum annuum	0,23
Melanzani	Solanum melongena	0,7
Zucchini	Cucurbita pepo	0,85
Stangenbohne	Phaseolus vulgaris	1,8

Für jedes Gewächshaus wurden Nährstoffbilanzierungen für die Makronährstoffe N, P und K erstellt. Die Nährstoffbilanz für jeden Nährstoff wurde wie folgt berechnet:

$$NB [kg \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}] = NE - NEZ$$

Wobei NB die Nährstoffbilanz, NE der Nährstoffeintrag und NEZ der Nährstoffentzug ist.

Der Gesamteintrag für jeden einzelnen Nährstoff wurde mit der folgenden Formel berechnet:

$$NE [kg \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}] = NGD + NGS + NG_{H_2O}$$

Wobei NE den Nährstoffeintrag, NGD den Nährstoffgehalt des Düngers, NGS den Nährstoffgehalt der Substrate und NG_{H_2O} den Nährstoffgehalt des Gießwassers darstellt.

Der Gesamtentzug für jeden Nährstoff wurde mit der folgenden Formel berechnet:

$$NE [kg \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}] = NGE * EM + NGER * (EM * VHZ)$$

Wobei NE der Nährstoffentzug, NGE der Nährstoffgehalt des Ernteprodukts, EM die Erntemenge, NGER der Nährstoffgehalt der Ernterückstände und VHZ die Verhältniszahl aus der Literatur (Tabelle 5) darstellt. Die Ernterückstände wurden nur bei den Kulturen Tomate, Paprika, Gurke, Zucchini, Stangenbohne, Buschbohne und Melanzani berücksichtigt, da sie bei anderen Kulturen in geringen Mengen anfallen und im Gewächshaus verbleiben.

4.3. Bodenproben

4.3.1. Probenahme

Zusätzlich zu den Daten für die Nährstoffbilanzierung wurden auch Bodenproben genommen, um die verschiedenen chemischen Bodenparameter zu analysieren. Pro Betrieb wurde eine Fläche unter Folie bzw. Glas ausgewählt und eine Fläche im Freiland, die möglichst nahe der geschützten Fläche liegen sollte, um Proben von ähnlichen Bodentypen zu erhalten. Im GWH und im Freiland wurde jeweils eine Mischprobe genommen. Dazu wurden mit einer Handschaufel 15 - 20 Proben in einer Tiefe bis 30 cm genommen, anschließend in einem Behälter vermischt und für die Analyse in beschrifteten Kunststoffsäcken verpackt. Kamen die Proben nicht sofort in das Labor, wurden sie bei Zimmertemperatur geöffnet gelagert.

4.3.2. Bodenprofil

Um den Ausgangszustand der Böden besser beschreiben zu können, wurden auf den Freilandflächen, von welchen auch Bodenproben genommen wurden, zusätzlich Bodenprofile gegraben. Dafür wurde ein Loch von etwa 1 mal 1 Meter Grundfläche ausgehoben, wobei sich die Tiefe nach den jeweiligen Begebenheiten richtete. Es wurde bis zum Ausgangsmaterial des Bodens (C-Horizont) gegraben, was einer Tiefe von 50cm bis 100cm entsprach.

4.3.3. Analyse der Bodenproben

4.3.3.1. Fraktionierte Analyse

Die Analyse der Bodenproben wurde in einem externen Labor nach der Methode der fraktionierten Analyse durchgeführt. Diese Methode unterscheidet sich wesentlich von der üblichen CAL-Methode.

Die traditionelle **Bodenuntersuchung im CAL-Extrakt** (Calzium-Acetat-Laktat) ist in Österreich die Standardmethode für die Ermittlung von pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium. Das Verfahren wurde von Schüller (1969) entwickelt und ist in seinen Grundzügen bis heute unverändert. Als Ergebnis erhält man einen Absolutwert (in mg/kg Boden), der weder einen bestimmten Bindungszustand beschreibt, noch eine dynamische Information

zulässt. Die ÖNORM L 1087 zum CAL-Extrakt besagt, dass die Ergebnisse zu ihrer Interpretation der Kalibration am Feldversuch bedürfen (unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Standort und Pflanze). Auf Grund dieser Einschränkungen wird diese Methode von verschiedenen Seiten kritisiert (Bergmann, 1993; Unterfrauner, 2010).

Die **fraktionierte Analyse** ist ein dynamisches Modell, welches es im Gegensatz zum CAL-Extrakt erlaubt, Stoffe in verschiedenen Bindungszuständen (Fraktionen, Pools) zu erfassen (siehe Abbildung 7). Sie wurde in den 1960er Jahren von Professor Georg Stefan Husz entwickelt und wurde seither laufend aktualisiert. Im Jahr 2004 wurde die Methode vom österreichischen Normungsinstitut in einer ÖNORM festgehalten (Unterfrauner, 2010; ÖNORM_S_2122-1, 2004; ÖNORM_S_2122-2, 2004).

Nährstoffe liegen im Boden in verschiedenen Bindungsstufen vor, von welchen abhängt, ob sie für die Pflanze verfügbar sind oder nicht. Der Hauptnährstoff Kalium zum Beispiel kann im Inneren von Tonmineralen fixiert sein und spielt dann keine Rolle für die Pflanzenernährung. Weg vom Innenbereich hin zum Rand der Tonminerale nimmt die Verwitterung allerdings zu und so können einzelne Bruchstücke oder Ionen mittelfristig (10-15 Jahre) für die Pflanzenernährung relevant werden. Die Oberflächen der Tonminerale sind negativ geladen und ziehen positiv geladene Nährstoff-Ionen an, welche sich an der Oberfläche der Tonminerale anlagern. Die angelagerten Ionen können leicht durch andere Stoffe (zum Beispiel Wurzelausscheidungen) ausgetauscht werden. Die Fraktion der „austauschbaren Kationen“ bildet einen der wichtigsten Nährstoffpools für die Pflanzen. Mit zunehmender Entfernung von geladenen Oberflächen nimmt deren anziehende Wirkung ab. In diesem Bereich befinden sich Kationen und Anionen im Gleichgewicht und sind in der flüssigen Phase des Bodens gelöst. Die Zusammensetzung dieser Gleichgewichtslösung bzw. die Relation der gelösten Stoffe sind für die Ernährung der Pflanze von großer Bedeutung, da Pflanzenwurzeln Stoffe nur in gelöster Form aufnehmen können (Unterfrauner, 2010).

In der fraktionierten Analyse werden, mit Hilfe von unterschiedlichen Extrakten, die Inhaltsstoffe in den einzelnen Fraktionen analysiert, um zusätzlich zu den Gesamtgehalten die verschiedene Löslichkeit und Bindungsintensitäten der Pflanzennährstoffe zu beurteilen (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

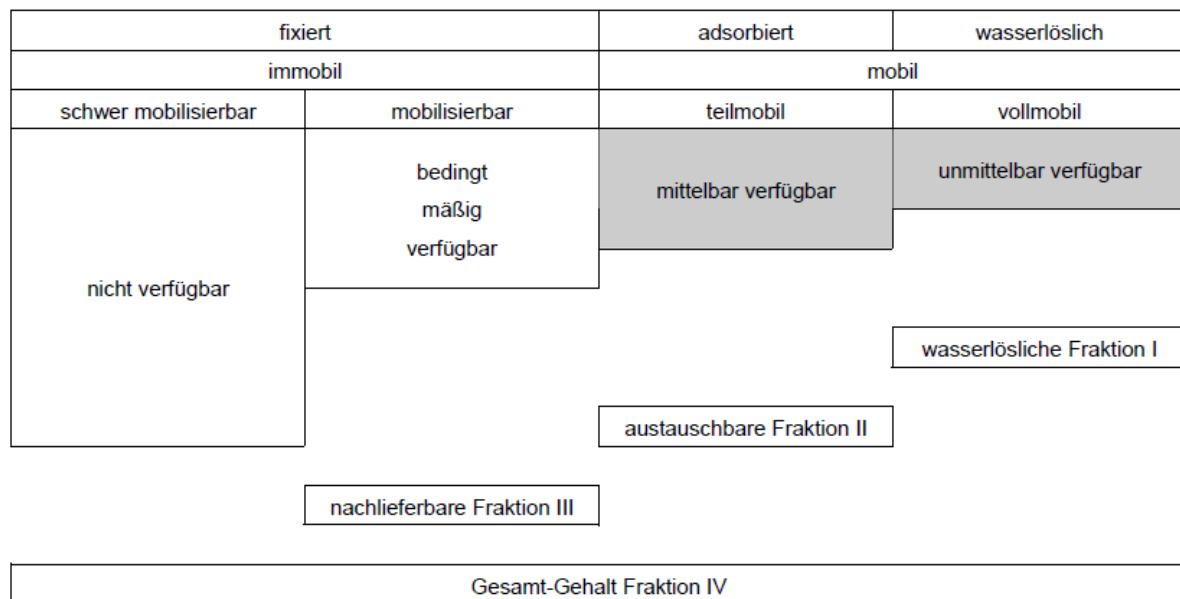


Abbildung 7: Darstellung der verschiedenen Fraktionen. Die Balkenlänge zeigt die potentielle Nährstofflagerung der verschiedenen Fraktionen, im Verhältnis zueinander, an.

4.3.3.2. Parameter und Messwerte der fraktionierten Analyse

Um eine **frische Laborprobe herzustellen**, wird die frische Bodenprobe mit einem Normsieb (Maschenweite 10,0 mm) abgesiebt und homogenisiert. Für die Herstellung einer **trockenen Laborprobe** wird das luft- oder ofengetrocknete Material fein vermahlen. Zur Vermahlung können Schneidemühlen, Schlagmühlen oder Kugel- bzw. Zentrifugalmühlen getrennt oder in Kombination verwendet werden. Die maximale Korngröße soll 0,50 mm betragen (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

Die Bestimmung der **wasserlöslichen Stoffe** erfolgt in einem Wasserextrakt im Zustand der Fließgrenze, wobei immer die frische Laborprobe (siehe Oben) zur Extrakterstellung herangezogen wird. Zusätzlich wird die der Probe zugegebene Wassermenge festgehalten, um eine Berechnung der Bodenschwere zu ermöglichen (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

Neben der Analyse der elektrischen Leitfähigkeit, der Anionen und der Kationen werden zusätzlich der pH-Wert und der lösliche Kohlenstoff (DOC) bestimmt. Folgende Parameter werden analysiert:

- Elektrische Leitfähigkeit (mS/cm)
- pH-Wert = pH (H₂O)
- löslicher organischer Kohlenstoff (DOC)
- wasserlösliche Kationen: Ba²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, NH₄⁺, Pb²⁺, Cd²⁺, Co²⁺, Cr²⁺, Cu²⁺, Mo²⁺, Ni²⁺, V²⁺, Zn²⁺, Hg²⁺, Se⁴⁺, Sn²⁺, Tl⁺

- wasserlösliche Anionen: Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , AsO_4^{3-} , BO_3^{3-} , SiO_4^{4-} , F^-

Die Bestimmung der **austauschbaren und “mobilen” Ionen** erfolgt in einem Neutralsalz-Extrakt. Als Extraktionslösung wird eine 0,4-molare LiCl-Lösung verwendet. Im Extrakt werden analog zu den wasserlöslichen Stoffen sowohl Anionen als auch Kationen bestimmt. Die Messergebnisse werden um die Werte der wasserlöslichen Ionen vermindert (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

Die Bestimmung der **nachlieferbaren Ionen** erfolgt in einem HCl-Extrakt. Es wird ein Verhältnis 1 Masseanteil frische Laborprobe zu 10 Masseanteilen Extraktionslösung hergestellt. Im Extrakt werden analog zu den wasserlöslichen Stoffen sowohl Anionen als auch Kationen bestimmt (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

Der **Gesamtgehalt an Nährstoffen** wird mit einem Königswasser-Extrakt durchgeführt, wird aber nur für spezielle Fragestellungen ermittelt und wurde in diesem Versuch nicht analysiert (Unterfrauner, 2010).

Die Gesamtgehalte von **Kohlenstoff** (C_t), **Stickstoff** (N_t) und **Schwefel** (S_t) werden über die trockene Verbrennung bestimmt (Unterfrauner, 2010).

Die Bestimmung des **Kalkgehaltes** erfolgt nach ÖNORM L 1084 (Scheibler-methode), wobei eine luft- oder ofentrockene Laborprobe verwendet wird (Unterfrauner, 2010).

Die Bestimmung des **pH-Werts** in Wasser erfolgt aus dem Extrakt für wasserlösliche Stoffe. Zusätzlich wird der pH-Wert in einer KCl-Lösung gemessen. Hierfür wird frisches Probenmaterial im Volumenverhältnis 1:2,5 mit 0,5-molarer KCl-Lösung versetzt und geschüttelt. Nach ungefähr 2 Stunden wird der Schüttelvorgang wiederholt und der pH-Wert gemessen (ÖNORM_S_2122-1, 2004).

Die **potentielle Säure**, welche für den Säureanteil steht der Sorptionsplätze „blockiert“, wird mittels Titration ermittelt (Unterfrauner, 2010).

4.3.3.3. Weitere aus den Messwerten errechnete Parameter

Der **organische Kohlenstoff** (C_{org}) wird aus dem Gesamtkohlenstoff (C_t) und dem mineralischen Kohlenstoff (C_{min}) berechnet:

$$C_{\text{org}} = C_t - C_{\text{min}}$$

Der **Gehalt an organischer Bodensubstanz** ergibt sich aus der Multiplikation des organischen Kohlenstoffs mit dem Faktor 1,724:

Gehalt an organischer Bodensubstanz = $C_{\text{org}} * 1,724$ (Scheffer & Schachtschabel, 2010)

Der **organische Stickstoff** (N_{org}) ergibt sich aus dem Gesamtstickstoff (N_t) und dem mineralischen Stickstoff (N_{min}) der sich aus NO_3^- -N und NH_4^+ -N zusammensetzt:

$$N_{\text{org}} = N_t - N_{\text{min}}$$

Das **C/N Verhältnis** ist der Quotient aus dem organischen Kohlenstoff und dem organischen Stickstoff und dient als Qualitätsmerkmal des Humus:

$$\text{C/N Verhältnis} = C_{\text{org}} : N_{\text{org}}$$

Die **potentielle Kationenaustauschkapazität** (KAK_{pot}) sind die Kationen aus dem LiCl-Extrakt plus der potentiellen Säure (Unterfrauner, 2010).

Die **effektive Kationenaustauschkapazität** (KAK_{eff}) ist die Summe der Kationen aus dem LiCl-Extrakt beim jeweiligen pH-Wert (Unterfrauner, 2010).

Die **Basensättigung** (BS) stellt den Anteil der Basen bezogen auf die potentielle Kationenaustauschkapazität dar (Unterfrauner, 2010).

Die **Stoffe in Prozent an der effektiven Kationenaustauschkapazität**, stellen das Verhältnis der Stoffe bezogen auf die KAK_{eff} dar (Unterfrauner, 2010).

Die **Stoffe in Prozent an der potentiellen Kationenaustauschkapazität**, stellen das Verhältnis der Stoffe bezogen auf die KAK_{pot} dar (Unterfrauner, 2010).

4.4. Statistische Auswertung

Um die Daten aus den Untersuchungen statistisch auszuwerten und grafisch aufzubereiten wurde, die freie Software Rstudio verwendet (Version 3.1.2). Es wurden nur die Daten der Bodenanalyse über alle Betriebe hinweg statistisch ausgewertet, da nur hier die Menge der Daten für einen statistischen Test ausreichte. Die importierten Daten wurden zuerst grafischen und rechnerischen Vor-Tests unterzogen, um zu prüfen, ob sie für den statistischen Test der Varianzanalyse (ANOVA) geeignet sind. Um eine ANOVA durchführen zu können, müssen folgende Voraussetzungen (Köhler, Schachtel, & Voleske, 2012) gegeben sein:

- Die Stichproben stammen aus einer normalverteilten Grundgesamtheit
- Die Varianz ist in allen Stichproben gleich (Varianzhomogenität)
- Die Stichproben sind unabhängig voneinander

Um zu testen, ob die Residuen der Daten der jeweiligen Parameter normalverteilt sind, wurde der Shapiro-Wilk Test durchgeführt. Waren die Residuen nicht normalverteilt, wurden die Daten logarithmiert und noch einmal dem Shapiro-Wilk Test unterzogen. Waren sie auch dann nicht normalverteilt, wurden sie nicht für die statistische Auswertung verwendet. Um zu prüfen, ob die Varianzhomogenität gegeben ist, wurde der Levene Test durchgeführt. War die Normalverteilung der Residuen und die Varianzhomogenität gegeben, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Von einem statistischen Unterschied wurde gesprochen, wenn $P < 0,05$.

5. Ergebnisse

5.1. Bodenparameter

Die Ergebnisse der Bodenparameter stellen Durchschnittswerte über alle Betriebe hinweg dar. Je Betrieb wurde eine Mischprobe im Freiland bzw. GWH genommen.

5.1.1. Basisparameter

Der **pH-Wert** gemessen in **Wasser** unterschied sich mit einem Mittelwert von 7,7 im Freiland und 7,3 im GWH nicht signifikant (siehe Abbildung 8). Im Freiland war die Standardabweichung deutlich höher; die Werte befanden sich zwischen einem pH-Wert von 7,1 und 9. Das lässt sich durch die verschiedenen geologischen Ausgangssituationen erklären. Im GWH streuten die Werte nicht mehr so stark, vor allem die Ausreißer mit einem hohen pH-Wert fanden sich hier nicht wieder.

Der **pH-Wert** gemessen in **KCl** unterschied sich mit einem Mittelwert von 7,1 im Freiland und 7,2 im GWH ebenfalls nicht signifikant (siehe Abbildung 8).

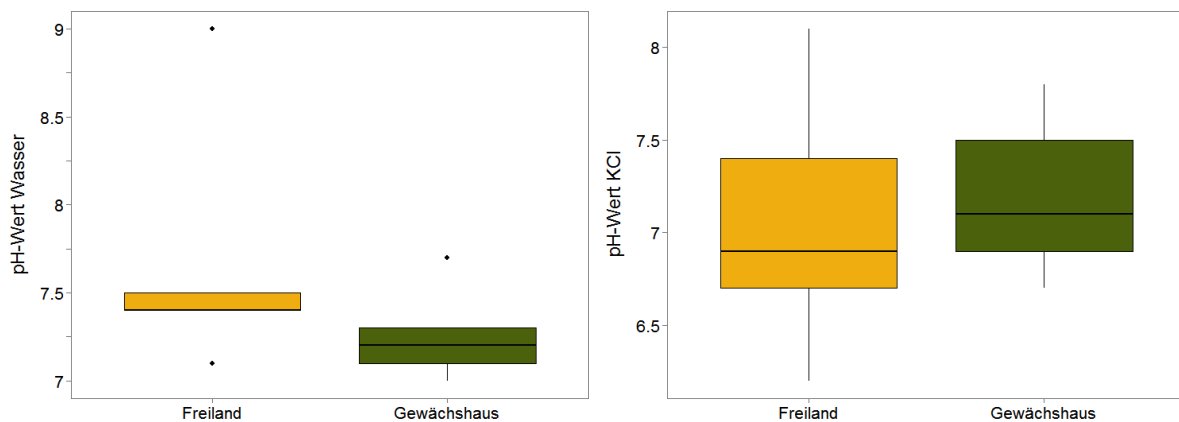


Abbildung 8: pH-Wert gemessen in Wasser und pH-Wert gemessen in KCl. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern. (Querbalken: Median; Farbige Box: 50% der Werte; Fühler: 95% der Werte; Punkt: Extremwert)

Die **Salzgehalte** auf den Freilandflächen lagen mit einem Mittelwert von $0,4 \text{ mS cm}^{-1}$ im für Ackerböden üblichen Bereich. Von diesen unterschieden sich die relativ hohen Salzgehalte, die in den Gewächshäusern gemessen wurden, signifikant. Sie betrugen im Mittel der untersuchten Betriebe $3,9 \text{ mS cm}^{-1}$, wobei der Maximalwert bei $7,7 \text{ mS cm}^{-1}$ lag (siehe Abbildung 9).

Die Hauptursachen für die hohen Salzgehalte der Böden im geschützten Bereich sind die Eintragsquellen der Salze über große Mengen an Düngemitteln, sowie das Bewässerungswasser.

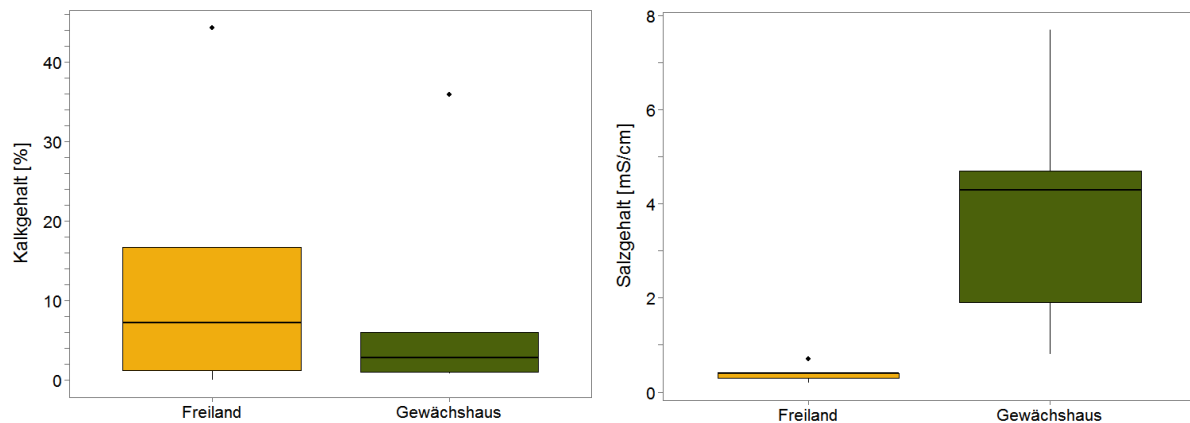


Abbildung 9: Boxplots des Kalkgehalts und des Salzgehalts. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern

Der **Kalkgehalt** lag zwar im Freiland mit durchschnittlich 13,9 % über dem im GWH gemessenen Wert von 9,3 % (siehe Abbildung 9), statistisch ließ sich allerdings nur ein Unterschied zwischen den verschiedenen Betriebsstandorten feststellen, der auf den unterschiedlichen Kalkgehalten im Ausgangsgestein zurückgeht. Die Werte streuten sehr stark und lagen im Freiland zwischen 0 % und 44 % und im GWH zwischen 0,3 % und 35,9 % (siehe Tabelle 27).

Der Gehalt an **organischer Bodensubstanz** (organischer Kohlenstoff * 1,724) lag im Gewächshaus mit durchschnittlich 8 % deutlich über dem im Freiland gemessenen Wert von 5,4 %. Da die Werte in den Gewächshäusern recht stark streuten (von 2,8 % bis 14,4 %), ließ sich jedoch kein signifikanter Unterschied feststellen (siehe Abbildung 10 und Tabelle 28).

Der hohe Wert an organischer Substanz in den Gewächshäusern lässt sich vor allem durch die Ausbringung großer Mengen organischer Dünger (v.a. Mist und Kompost) und Torfsubstraten erklären. Über Erdpresswürfel und Topfballen bei der Pflanzung, kommt es zum Eintrag großer Mengen Substrat (bis zu $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Diese enthalten neben verschiedenen Nährstoffen schwer abbaubare Kohlenstoffverbindungen, die sich im Boden akkumulieren und dann als organische Substanz messbar sind.

Das **C/N Verhältnis** lag im Freiland mit einem Mittelwert von 10,7 signifikant unter dem Wert, der im GWH (13,0) gemessen wurde (siehe Abbildung 10). Ein weiteres Verhältnis bedeutet, dass weniger Stickstoff in Relation zu Kohlenstoff vorhanden ist und somit auch das Mineralisierungspotential von Stickstoff geringer ist. Da aber der Gehalt an organischer Bodensubstanz im GWH deutlich höher ist, kann absolut gesehen das Mineralisierungspotential von Stickstoff durchaus gleich oder höher sein.

Das **C/P Verhältnis** war ebenfalls im Freiland mit einem Durchschnittswert von 130 signifikant niedriger als im GWH (196). Im GWH war also der P-Gehalt in Verhältnis zum C-Gehalt niedriger als im Freiland.

Das **C/S Verhältnis** zeigt ein umgekehrtes Bild. Im GWH war das Verhältnis mit 76,1 deutlich geringer als im Freiland (325). Das ist mit den hohen S-Gehalten, der über verschiedene Dünger in den Boden eingebracht wird, erklärbar. Da die Werte, vor allem im Freiland sehr stark streuten, (SD = 545) ist der Unterschied nicht signifikant.

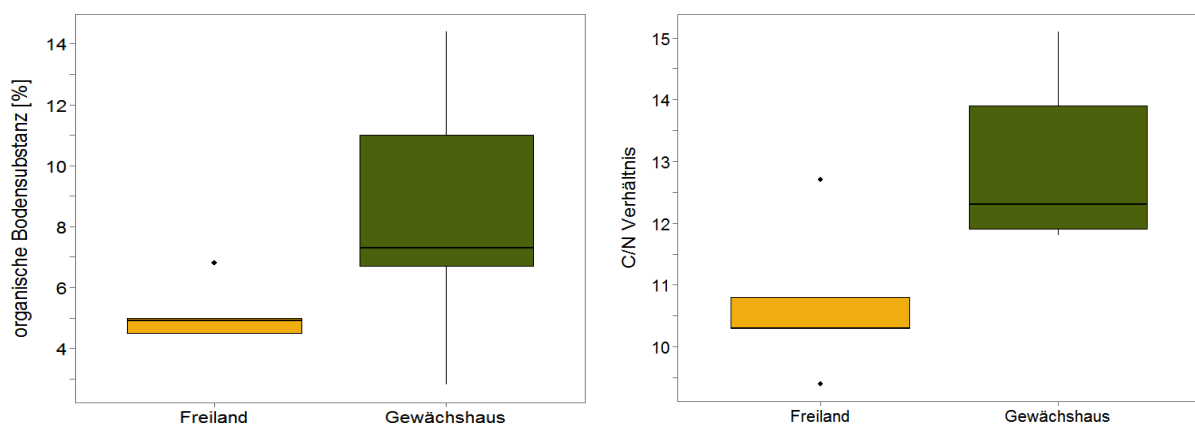


Abbildung 10: Boxplot des Gehalts an organischer Bodensubstanz und C/N Verhältnis. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern.

5.1.2. Zusammensetzung der Bodenlösung

Aus der **Zusammensetzung der Bodenlösung** (siehe Abbildung 11) wurde sichtbar, welche Nährstoffe für den hohen Salzgehalt verantwortlich sind. Im Vergleich zum Freiland, wo meist übliche Gehalte an Ionen gemessen wurden, kam es im Gewächshaus zu einer starken Anreicherung einiger Nährstoffe (siehe Tabelle 29).

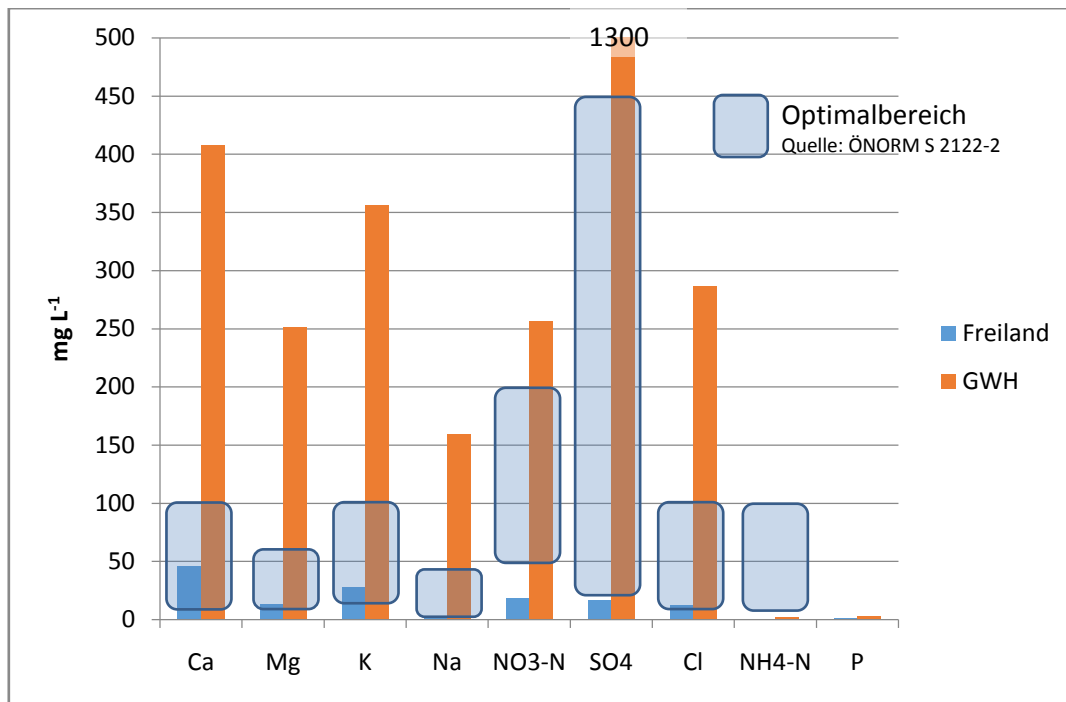


Abbildung 11 Zusammensetzung der Bodenlösung (Mittelwert der Betriebe)

Ca: Kalzium, Mg: Magnesium, K: Kalium, Na: Natrium, NO3-N: Nitrat-Stickstoff, SO4: Sulfat, Cl: Chlorid, NH4-N: Ammonium-Stickstoff, P: Phosphor

Der Ca^{2+} -Gehalt in der Bodenlösung war mit durchschnittlich 407 g L^{-1} etwa 10-mal so hoch wie der Mittelwert, der sich für die Freilandflächen ergab (45 g L^{-1}). Die im GWH gemessenen Werte streuten sehr stark und befanden sich mit 130 g L^{-1} bis 790 g L^{-1} weit über dem Optimalbereich. Der Unterschied war signifikant.

Der Mg^{2+} -Gehalt zeigte ein ähnliches Bild und es ließ sich ein signifikanter Unterschied feststellen. Während sich der Durchschnittswert im Freiland innerhalb des Optimalbereichs bewegte (13 g L^{-1}), fand man im GWH durchschnittlich 251 g L^{-1} Mg in der Bodenlösung. Auch hier streuten die Werte im GWH sehr stark, sie reichten von 20 g L^{-1} bis 670 g L^{-1} .

Der K^{+} -Gehalt war im Gewächshaus mit einem Mittelwert von 356 g L^{-1} um ein Vielfaches höher als im Freiland ($28,4 \text{ g L}^{-1}$). Trotz einer hohen Standardabweichung für die Werte im Freiland ($\text{SD} = 396 \text{ g L}^{-1}$), war der Unterschied aber statistisch signifikant.

Im GWH wurde eine starke Anreicherung von Na^{+} in der Bodenlösung gemessen. Im Durchschnitt der Betriebe lag der Wert bei 159 g L^{-1} und ist damit in etwa 50-mal so hoch wie der Wert im Freiland ($3,4 \text{ g L}^{-1}$). Der Unterschied war signifikant.

Die $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ -Gehalte unterschieden sich nicht signifikant und lagen im Freiland wie im GWH mit durchschnittlich $0,2 \text{ g L}^{-1}$ und $2,4 \text{ g L}^{-1}$ unter dem Optimalbereich.

Der mittlere NO_3^- -N-Gehalt im Freiland (18 g L^{-1}) unterschied sich signifikant vom Gehalt, der in den Gewächshäusern gemessen wurde. Er war dort mit 256 g L^{-1} in etwa 15-mal so hoch.

Die Menge von SO_4^{3-} , die in der Bodenlösung im Freiland (16 g L^{-1}) gemessen wurde, unterschied sich ebenfalls signifikant gegenüber dem Durchschnittswert im GWH, der mit 1300 g L^{-1} in etwa 80-mal höher war.

In den untersuchten Betrieben kam es im GWH zu einer Anreicherung von Cl^- in der Bodenlösung. Fand man im Freiland durchschnittlich 12 g L^{-1} , so wurden im GWH 286 g L^{-1} gemessen. Die Werte im GWH streuten von einem Minimum 16 g L^{-1} bis zu einem Maximum von 1058 g L^{-1} ($\text{SD} = 442 \text{ g L}^{-1}$), trotzdem war der Unterschied signifikant.

Der P-Gehalt in der Bodenlösung lag im Freiland bei $1,5 \text{ g L}^{-1}$ und war signifikant niedriger als der durchschnittliche Wert im GWH ($3,4 \text{ g L}^{-1}$).

Der Eintrag der verschiedenen Nährstoffe erfolgt über die Düngung und das Gießwasser. Der hohe Gehalt an Schwefel lässt sich durch hohe Schwefelgehalte in zahlreichen organischen Stickstoff- und mineralischen Kalium-Düngemitteln erklären. Sie enthalten im Verhältnis zum Stickstoff- bzw. Kalium-Bedarf von Gemüsekulturen hohe Schwefel-Mengen.

5.1.3. Sorptionskomplex

Die organische Substanz und die Tonteilchen können im Boden Nährstoffe anlagern und gegenüber Auswaschung schützen. Da sie eine Ladung besitzen, wirken sie wie Magneten und werden als Sorptionskomplex/Austauscher bezeichnet. Die Stärke der Magneten, das heißt die Anzahl der Ladungen, die anlagert werden können, wird Austauschkapazität (Cation Exchange Capacity (CEC)) genannt (Unterfrauner, 2010).

Die Belegung des Sorptionskomplexes mit Nährstoffen ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit. Die nachfolgende Abbildung stellt die Verteilung der Nährstoffe am Sorptionskomplex dar, bei welcher optimale Verhältnisse herrschen (SOLL). Dem SOLL-Zustand ist die Zusammensetzung des aktuellen, durchschnittlichen Sorptionskomplexes der analysierten Bodenproben gegenübergestellt. Die optimalen Wertebereiche sind abhängig von verschiedenen Basisparametern (Unterfrauner, 2010).

Neben der Gesamtsalzkonzentration ist die Relation der Nährstoffe zueinander von großer Bedeutung. In den Gewächshausböden ist das Verhältnis der Nährstoffe zueinander nicht

ausgewogen. Die hohen Gehalte an einwertigen Ionen wie K^+ und Na^+ verschlechtern das Bodengefüge und damit den Strukturzustand durch Verdrängung von mehrwertigen Kationen, wie z.B. Ca^{2+} . Eine hohe Schwefelversorgung beeinflusst den Bitterstoffgehalt und damit den Geschmack bestimmter Blattgemüse wie z.B. Blattsalate.

Sieht man sich die Verteilung der Nährstoffe am Sorptionskomplex an, so ist zu erkennen, dass es zu einer Verschiebung verschiedener Nährstoffe kommt (siehe Abbildung 12 und Tabelle 30). Die Änderung bewegt sich von Ca^{2+} hin zu mehr Mg^{2+} und hin zu den einwertigen Ionen K^+ und Na^+ . Bei Mg^{2+} und Na^+ ist der Unterschied statistisch signifikant. Bei einzelnen Betrieben kommt es zu einem Anstieg von H^+ -Ionen, Al^{3+} und potentieller Säure, allerdings in einem unbedenklichen Ausmaß.

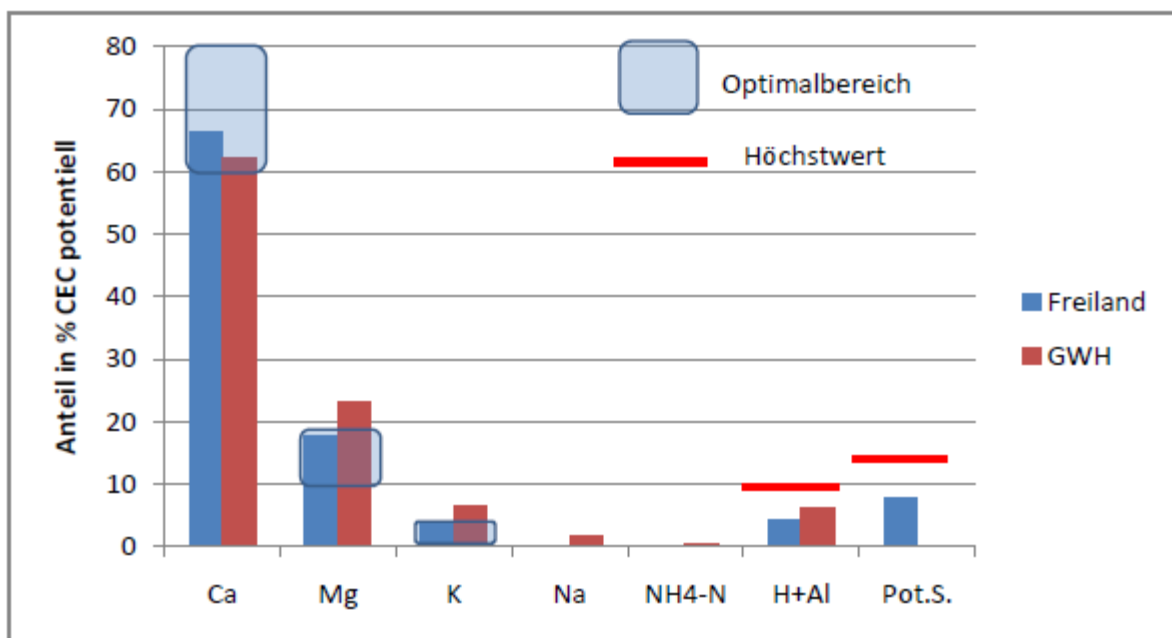


Abbildung 12: Verteilung der Nährstoffe am Sorptionskomplex (Sollwerte aus ÖNORM (2004))

CEC: Kationenaustauschkapazität, Ca: Kalzium, K: Kalium, Na: Natrium, NH4-N: Ammonium-Stickstoff, H: Wasserstoff, Al: Aluminium, Pot.S.: Potentielle Säure

5.1.4. Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen

Die Nährstoffe wurden in den drei Bindungsformen „wasserlöslich“, „austauschbar“ und „nachlieferbar“ separat analysiert. Die angegebenen Werte sind Nettowerte, das heißt „austauschbar“ enthält nicht „wasserlöslich“ und „nachlieferbar“ enthält nicht „austauschbar“ und „wasserlöslich“.

Die Werte an wasserlöslichem und austauschbarem **Kalium** im Boden waren in den

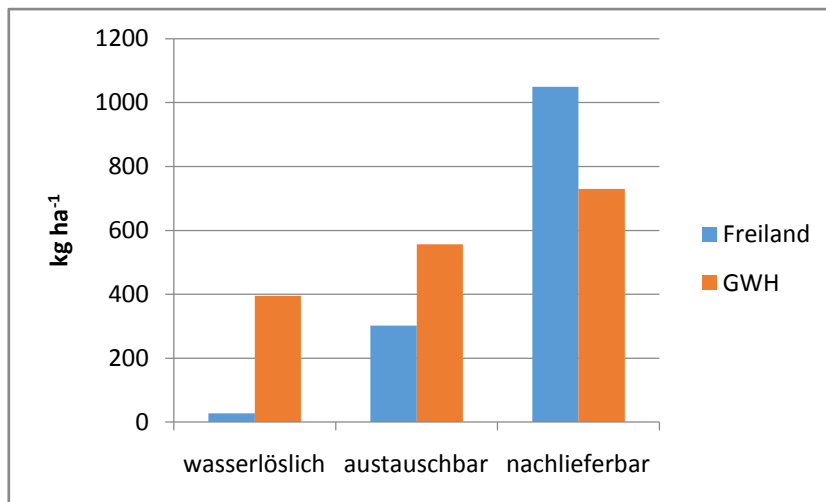


Abbildung 13: Gegenüberstellung der verschiedenen Kaliumpools in Freiland und GWH

Gewächshäusern (395 und 556 kg ha⁻¹) deutlich über den Werten, die im Freiland gemessen wurden (26 und 301 kg ha⁻¹) (siehe Abbildung 13). In der nachlieferbaren Fraktion lagen die Werte im Freiland über den Werten im Gewächshaus.

Das lässt sich einerseits durch den Verdünnungseffekt

erklären, der sich aus den großen Mengen an organischem Material ergibt, welches in das Gewächshaus eingebracht wurde. Andererseits kann es durch die Mobilisierung von Nährstoffen aus der nachlieferbaren Fraktion erklärt werden, die zu einer Verschiebung zwischen den Nährstofffraktionen führt. Da die Werte sehr stark streuten, war nur der Unterschied der wasserlöslichen Pools signifikant.

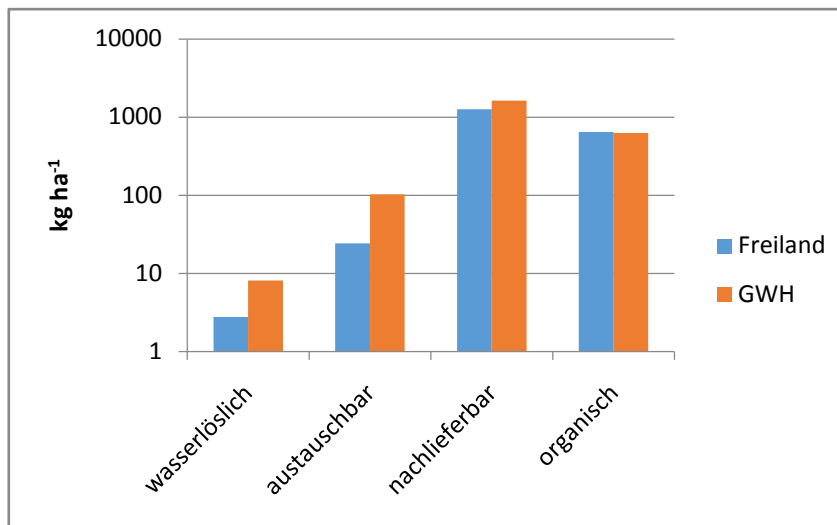
Der Überschuss an Kalium fördert die Bildung der Blütenendfäule bei Tomaten, Paprika und Melanzani sowie von Herzfäulen bei Salat und anderen Gemüsearten. Es kommt zur Konkurrenz mit anderen Kationen, in deren Folge weniger Ca²⁺ von der Pflanze aufgenommen werden kann. Mit derselben Ursache kann auch die Aufnahme von Mg²⁺ gestört werden.

Ähnlich dem Kalium lagen auch die Gehalte an pflanzenverfügbarem (wasserlöslichem plus austauschbarem) **Phosphor** im GWH (im Mittel 110 kg ha⁻¹) deutlich über den Werten, die im Freiland (im Mittel 27 kg ha⁻¹) gemessen wurden (siehe Abbildung 14).

Eine intensive Tomatenkultur hat einen Phosphorbedarf von etwa 50 kg ha⁻¹ a⁻¹, es ist also ausreichend Phosphor im Boden der GWH vorhanden.

Ursache für die hohen Phosphorgehalte ist die insgesamt hohe Nährstoffzufuhr und die unausgewogene Nährstoffzusammensetzung der am häufigsten verwendeten organischen Düngemittel, insbesondere solcher zur Grunddüngung wie Wirtschaftsdünger und Kompost.

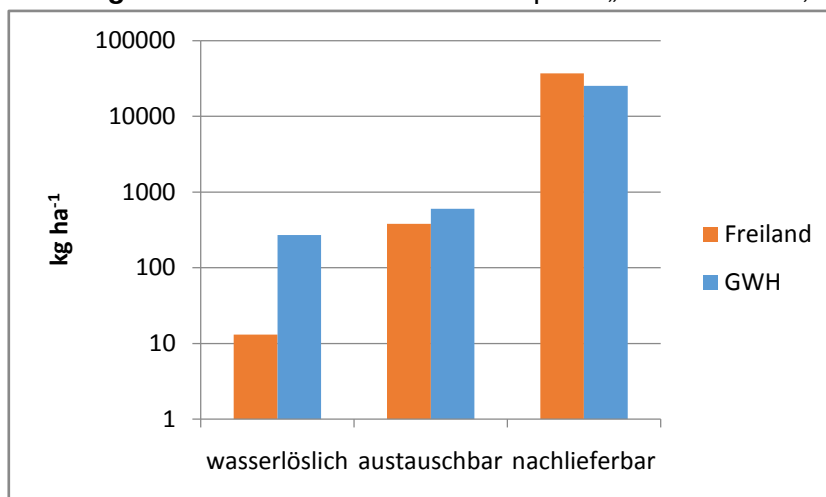
Eine weitere Ursache ist der niedrige Phosphorbedarf von Gemüsekulturen im Vergleich zu ihrem Stickstoff- und Kaliumbedarf.



Durch hohe Phosphorwerte im Boden kann es zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit von Kupfer und Zink kommen.

Abbildung 14: Gegenüberstellung der verschiedenen Phosphor pools in Freiland und GWH. Die y-Achse ist zur besseren Darstellung logarithmiert.

Die **Magnesium-Gehalte** im Nährstoffpool „wasserlöslich“, wie im Pool „austauschbar“



waren im GWH signifikant höher als auf den Freilandflächen (siehe Abbildung 15). Im Pool „nachlieferbar“ gab es keinen signifikanten Unterschied.

Abbildung 15: Gegenüberstellung der verschiedenen Magnesium pools in Freiland und GWH. Die y-Achse ist zur besseren Darstellung logarithmiert.

5.2. Bodenparameter auf Betriebsebene

5.2.1. Bodenparameter Betrieb A

Der gemessene **pH-Wert** war im Freiland wie im GWH im neutralen Bereich (siehe Tabelle 6). Der Salzgehalt im Freiland lag im durchschnittlichen Bereich, während der **Salzgehalt** im GWH mit $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$ im Vergleich zu den anderen Betrieben in einem sehr niedrigen Bereich lag. Der Kalkgehalt war, aufgrund des kalkfreien Ausgangsmaterials des Bodens, nahe null; die organische Bodensubstanz im GWH war mit 7,3 % deutlich höher als im Freiland.

Tabelle 6: Basisparameter Betrieb A

	Freiland	GWH
pH-Wert (Wasser)	7,1	7
pH-Wert (KCl)	6,2	6,9
Salzgehalt [mS cm^{-1}]	0,3	0,8
Kalkgehalt [%]	0	1
Organische Bodensubstanz [%]	4,5	7,3
C/N Verhältnis	10,8	12,3

In der **Zusammensetzung der Bodenlösung** wurde zwar ersichtlich, dass sich einige Nährstoffe akkumulierten (siehe Tabelle 7), allerdings in einem weit geringeren Ausmaß als im Durchschnitt der Betriebe. Die Hauptnährstoffe Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$), Phosphor und Kalium kamen im GWH sogar in geringeren Mengen vor als im Freiland.

Tabelle 7: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb A. Werte in mg L^{-1}

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	P
Freiland	34	4	19	3	16	14	4	1	2,3
GWH	130	20	11	20	66	100	16	0	2,1

Gegenüber den im Freiland gemessenen Werten, verschoben sich die **Nährstoffe am Sorptionskomplex** im GWH näher zum Soll-Bereich (siehe Tabelle 8). Der Anteil von

Kalium am Sorptionskomplex lag im GWH mit 1,7 % unter dem Wert im Freiland (2,5 %) und zeigt die ungenügende Kalium-Versorgung des Bodens.

Tabelle 8: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb A

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	50,4	7,7	2,5	0,01	0,1
GWH	75,7	14,9	1,7	0,5	7,1

Die **Nährstoffe** Phosphor und Magnesium waren in ihrer Pflanzenverfügbaren Form (wasserlöslicher Pool plus austauschbarer Pool) mit 67,5 bzw 365 kg ha⁻¹ in günstiger Menge vorhanden (siehe Tabelle 9). Kalium hingegen wies mit 137 kg ha⁻¹ einen starken Mangel auf.

Tabelle 9: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha⁻¹ von Betrieb A

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
K (Freiland)	16,7	279	450	-
K (GWH)	11,3	126	550	-
P (Freiland)	3,7	28	1050	46
P (GWH)	4,5	63	2150	893
Mg (Freiland)	3,7	260	1150	-
Mg (GWH)	21,3	344	2850	-

5.2.2. Bodenparameter Betrieb B

Auf Betrieb B war der gemessenen **pH-Wert** (Wasser) im Freiland mit 9 im mäßig alkalischen Bereich. Im GWH hingegen war er im sehr schwach alkalischen Bereich (7,7). Der **Salzgehalt** im Freiland lag mit 0,4 mS cm⁻¹ im üblichen Bereich, während der Salzgehalt im GWH mit 4,3 mS cm⁻¹ stark erhöht war (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Basisparameter Betrieb B

	Freiland	GWH
pH-Wert (Wasser)	9	7,7
pH-Wert (KCl)	8,1	7,8
Salzgehalt [mS cm^{-1}]	0,4	4,3
Kalkgehalt [%]	7,2	6
Organische Bodensubstanz [%]	4,5	6,7
C/N Verhältnis	12,7	13,9

In der **Zusammensetzung der Bodenlösung** wurde ersichtlich, dass Nährstoffgehalte außer NO_3^- , Cl^- und PO_4^- stark erhöht waren (siehe Tabelle 11). Besonders SO_4^- war in überdurchschnittlich hoher Menge zu finden (2410 mg L^{-1}).

Tabelle 11: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb B. Werte in mg L^{-1}

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	P
Freiland	47	12	30	3	13	13	3	0	0,8
GWH	532	244	164	212	76	2410	46	0	0,66

Bei der Verteilung der **Nährstoffe am Sorptionskomplex** war eine leichte Verschiebung von Ca^{2+} zu Mg^{2+} zu beobachten (siehe Tabelle 12). Auffallend sind die hohen K-Werte im Freiland wie im Gewächshaus (6 bzw. 5,7 %).

Tabelle 12: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb B

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	73,3	20,5	6	0	0,1
GWH	69,1	22,7	5,7	2,2	0,2

Die **Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bindungsformen** zeigten, dass Kalium in den pflanzenverfügbaren Nährstoffpools wasserlöslich und austauschbar im Überschuss vorhanden ist (Tabelle 13). Der nachlieferbare Pool war im GWH niedriger, was bedeutet,

dass zusätzlich zum Eintrag gebundenes Kalium aus dem Boden mobilisiert wurde. Der Phosphorgehalt des Bodens im GWH hingegen war mit 35 kg ha⁻¹ relativ gering. Es war zu sehen, dass im GWH der Nachlieferbare Nährstoffpool größer war, ein Teil des eingebrachten Phosphors wurde also vom Boden gebunden.

Tabelle 13: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha⁻¹ von Betrieb B

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
K (Freiland)	22,7	488	1850	-
K (GWH)	145	449	1600	-
P (Freiland)	1,2	17	1050	396
P (GWH)	1,2	34	1250	452
Mg (Freiland)	11,2	514	9.700	-
Mg (GWH)	216	556	8.650	-

5.2.3. Bodenparameter Betrieb C

Während die **pH-Werte** auf Betrieb C dem Durchschnitt entsprachen, war der **Salzgehalt** im GWH mit 7,7 mS cm⁻¹ sehr stark erhöht (siehe Tabelle 14). Er befand sich bereits in einem Bereich, wo auch für Salztolerante Kulturen mit Ertragseinbußen gerechnet werden muss. Auffallend war der niedrige Gehalt an organischer Bodensubstanz im GWH (2,8 %), im Vergleich zum Freiland (4,9 %).

Tabelle 14: Basisparameter Betrieb C

	Freiland	GWH
pH-Wert (Wasser)	7,4	7,3
pH-Wert (KCl)	7,4	7,5
Salzgehalt [mS cm⁻¹]	0,7	7,7
Kalkgehalt [%]	16,7	0,8
Organische Bodensubstanz [%]	4,9	2,8
C/N Verhältnis	10,3	15,1

In der **Zusammensetzung der Bodenlösung** zeigten sich auf Betrieb C sehr hohe Konzentrationen und eine Überschreitung der Optimalbereiche für alle gemessenen Nährstoffe (siehe Tabelle 15). Besonders hoch waren die Werte von Na^+ (397 mg L^{-1}), SO_4^{2-} (2768 mg L^{-1}) und Cl^- (1058 mg L^{-1}).

Tabelle 15: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb C. Werte in mg L^{-1}

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	P
Freiland	68	22	88	7	30	33	48	0	3,4
GWH	790	670	1016	397	647	2768	1058	10	5,2

Am **Sorptionskomplex** kam es im GWH zu einer deutlichen Verschiebung von Ca^{2+} hin zu mehr Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (siehe Tabelle 16) und bedeutet somit eine Verschlechterung der Bodenstabilität.

Tabelle 16: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb C

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	64,8	25,6	9,2	0,2	0,1
GWH	49,5	31,9	14,3	2,9	0,1

Anhand der **Nährstoffgehalte in den verschiedenen Bindungsformen** war deutlich zu sehen, dass die Nährstoffe Phosphor und Kalium in ihrer pflanzenverfügbaren Form in großem Überschuss vorhanden waren (180 bzw. 2339 kg ha^{-1}) (Tabelle 17). Der organische Phosphor im GWH (278 kg ha^{-1}) lag deutlich unter dem Wert im Freiland (716 kg ha^{-1}), was sich durch die niedrigeren Gehalte an organischer Substanz im GWH erklären lässt. Der nachlieferbare Pool war im GWH deutlich kleiner, was bedeutet, dass im GWH ein großer Teil dieser Fraktion bereits mobilisiert wurde.

Tabelle 17: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb C

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
K (Freiland)	85,3	659	2150	-
K (GWH)	1023	1316	0	-
P (Freiland)	6,7	69	1950	716

P (GWH)	10,6	169	1050	278
Mg (Freiland)	21,5	567	21.950	-
Mg (GWH)	675	913	0	-

5.2.4. Bodenparameter Betrieb D

Bei den **Basisparametern** auf Betrieb D ist der hohe Salzgehalt im GWH (4,7 mS cm⁻¹) bzw. der hohe Wert an organischer Bodensubstanz (14,4 %) auffallend (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Basisparameter Betrieb D

	Freiland	GWH
pH-Wert (Wasser)	7,5	7,1
pH-Wert (KCl)	6,7	6,7
Salzgehalt [mS cm⁻¹]	0,4	4,7
Kalkgehalt [%]	44,3	35,9
Organische Bodensubstanz [%]	6,8	14,4
C/N Verhältnis	10,3	11,9

Die Nährstoffgehalte in der **Bodenlösung** waren zwar erhöht, befanden sich aber außer bei K⁺, NO₃⁻ und PO₄²⁻ unter den Durchschnittswerten aller Betriebe (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb D. Werte in mg L⁻¹

	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺	NO₃⁻	SO₄²⁻	Cl⁻	NH₄⁺	P
Freiland	48	25	2	3	26	20	4	0	0,1
GWH	386	277	413	94	327	947	265	1	5,8

Am **Sorptionskomplex** kam es zu einer sehr deutlichen Verschiebung von Ca²⁺ hin zu mehr Mg²⁺ und K⁺ (siehe Tabelle 20) was eine Verschlechterung der Bodenstabilität bedeutet.

Tabelle 20: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb D

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	$\text{H}^{+}+\text{Al}^{3+}$
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	57,6	28,8	0,8	0,3	12,4
GWH	47,3	29,4	5,6	0,9	16,7

Die **Nährstoffe** Phosphor und Kalium waren in ihrer pflanzenverfügbaren Bindungsform in großen Mengen vorhanden (185 bzw. 1074 kg ha⁻¹) (siehe Tabelle 21). Die Nachlieferbaren Pools waren jeweils im GWH höher, es wurden also Phosphor und Kalium in diesen Nährstoffpools gebunden. Durch den hohen Gehalt an organischer Substanz im GWH, war der Gehalt an organischem Phosphor im GWH ebenfalls deutlich höher.

Tabelle 21: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha⁻¹ von Betrieb D

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
K (Freiland)	1,9	45	500	-
K (GWH)	569	505	900	-
P (Freiland)	0,4	3	700	874
P (GWH)	16,1	169	1250	1023
Mg (Freiland)	26,3	491	149.800	-
Mg (GWH)	382	824	108.500	-

5.2.5. Bodenparameter Betrieb E

Der **Salzgehalt** in der Bodenlösung auf Betrieb E war mit $1,9 \text{ mS cm}^{-1}$ im Vergleich zum Durchschnitt relativ gering. Der Gehalt an **organischer Bodensubstanz** war hingegen mit 11 % relativ hoch (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Basisparameter Betrieb E

	Freiland	GWH
pH-Wert (Wasser)	7,4	7,2
pH-Wert (KCl)	6,9	7,1
Salzgehalt [mS cm^{-1}]	0,2	1,9
Kalkgehalt [%]	1,2	2,8
Organische Bodensubstanz [%]	5	11
C/N Verhältnis	9,4	11,8

In der **Zusammensetzung der Bodenlösung** spiegelte sich der geringe Salzgehalt wieder. Alle Werte waren zwar, gegenüber dem Freiland deutlich erhöht, lagen aber unter dem Durchschnitt und einige (Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{2-}) befanden sich im Optimalbereich (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb E. Werte in mg L^{-1}

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	P
Freiland	31	3	3	1	5	4	1	0	0,9
GWH	201	45	176	72	166	277	49	1	3,2

Am **Sorptionskomplex** wurde eine Verschiebung von Ca^{2+} hin zu Mg^{2+} und K^+ sichtbar, allerdings in einem geringen Ausmaß, sodass die Nährstoffverteilung noch innerhalb des SOLL-Bereichs liegt (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb E

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	85,1	5,9	1,0	0,01	7,8
GWH	69,7	17	5,7	1,6	5,7

Die **Nährstoffe** Phosphor und Kalium waren im GWH in ihrer pflanzenverfügbaren Form in großem Überschuss vorhanden (89 bzw. 611 kg ha⁻¹). Die Nachlieferbaren Pools waren jeweils im GWH höher, es wurden also Phosphor und Kalium in diesen Nährstoffpools gebunden. Trotz des hohen Gehaltes an organischer Bodensubstanz im GWH war die Menge an organischem Phosphor im GWH (497 kg ha⁻¹) niedriger als im Freiland (545 kg ha⁻¹) (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25 Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha⁻¹ von Betrieb E

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
K (Freiland)	2,7	38	300	-
K (GWH)	225	386	600	-
P (Freiland)	1,9	4	1600	545
P (GWH)	8,1	81	2450	497
Mg (Freiland)	2,9	70	2300	-
Mg (GWH)	57	358	6200	-

5.3. Nährstoffbilanzen

5.3.1. Düngemanagement und Nährstoffbilanz der einzelnen Betriebe

Auf **Betrieb A** wurden keine Basisdünger wie Kompost oder Mist verwendet. Vor Beginn der Kultur wurde Ackerbohnsenschrot (4,3 t/ha), Sonnenblumenpresskuchen (0,9 t/ha) und Schafwolle (1,4 t/ha) ausgebracht. In einem Jahr wurde ausschließlich mit Biofert® (3,75 t/ha) gedüngt. Es wurden während der Kulturzeit keine anderen Zusatzdünger verwendet. Heu (4,4 t/ha), das zu Kulturbeginn als Mulchmaterial ausgebracht wurde, wurde in die Nährstoffbilanzierung aufgenommen.

Die Nährstoffeinträge lagen mit einem Durchschnitt über die letzten fünf Jahre von 330 kg N/ha/a, 50 kg P ha⁻¹ a⁻¹ und 160 kg K ha⁻¹ a⁻¹ im Vergleich zu den anderen Betrieben im unteren Bereich (siehe Abbildung 17). Da die Nährstoffentzüge ebenfalls relativ gering waren, kam es bei den meisten Nährstoffen zu einer

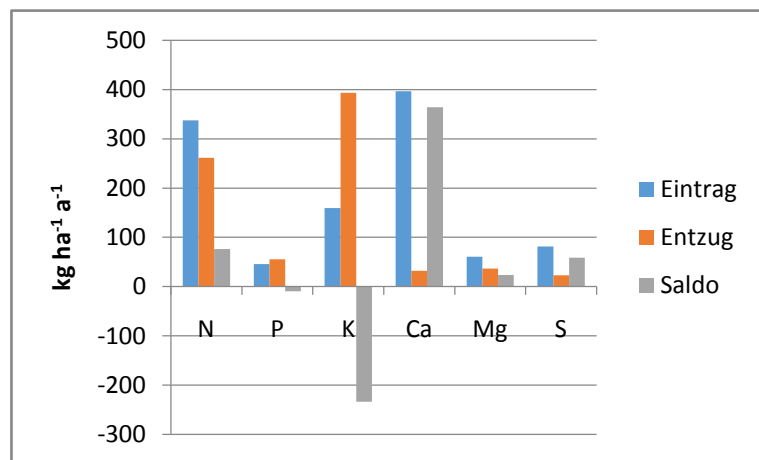


Abbildung 16: Nährstoffbilanz von Betrieb A

ausgeglichenen Bilanz. Kalium bilanzierte mit einem Minus von 230 kg ha⁻¹ a⁻¹, da die hohen Entzüge nicht über die verwendeten Dünger ausgeglichen wurden. Der hohe Ca-Gehalt wurde hauptsächlich über das Heu und das Biofert® eingebracht.

Die untersuchte Fläche auf **Betrieb B** wurde in den letzten Jahren sehr unterschiedlich gedüngt und bewirtschaftet, so wurde etwa in zwei Jahren überhaupt nicht gedüngt und in einem Jahr eine ganzjährige Begrünung mit Sandhafer und wildem Rettich angebaut. Um diese Unterschiede auszugleichen, wurden in der Nährstoffbilanzierung die letzten acht Jahre berücksichtigt.

Als Basisdünger wurde Kompost (19,5 t ha⁻¹ a⁻¹) verwendet. Die durchschnittliche Ausbringungsmenge betrug 52,2 t/ha, da er nur in 3 der acht Jahren verwendet wurde. Zusätzlich wurde in unterschiedlichen Kombinationen Bioilsa® (312 kg ha⁻¹ a⁻¹), Maltaflor® (123 kg ha⁻¹ a⁻¹) und Biofert® (125 t ha⁻¹ a⁻¹) vor Beginn der Kultur ausgebracht. Als Zusatzdüngung wurde Vinasse (1500 L ha⁻¹ a⁻¹) in flüssiger Form verwendet. Als

mineralischer Dünger kam Hyperkorn (26 % P_2O_5) ($62 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Patentkali (30 % K_2O) ($125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) zum Einsatz.

Der Nährstoffeintrag über die letzten acht Jahre lag mit $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $70 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $240 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im unteren Bereich (siehe Abbildung 18). Die Nährstoffentzüge waren mit $290 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im mittleren Bereich. Ähnlich Betrieb A kam es, mit Ausnahme von Kalium und Calcium, welche mit einem Minus von 290 bzw. einem Plus von $459 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bilanzierten, zu einer relativ ausgeglichenen Bilanz. Die großen Mengen an Ca wurden hauptsächlich über den Kompost eingebracht und nur in geringen Mengen von den Kulturpflanzen verbraucht.

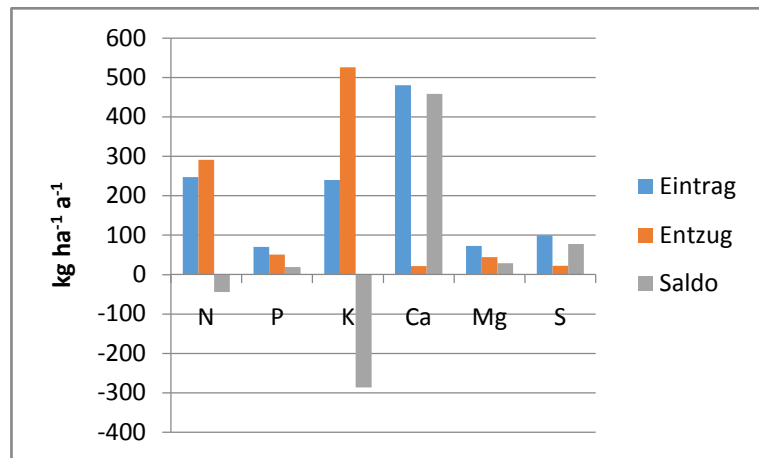


Abbildung 17: Nährstoffbilanz von Betrieb B

Auf **Betrieb C** wurden sehr viele unterschiedliche Dünger eingesetzt. Kompost ($82,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) als Basisdünger war der einzige Dünger, der jährlich verwendet wurde. Als Zusatzdünger wurden in unterschiedlichen Kombinationen Sedumin flüssig® ($1800 \text{ L ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Plantovit® ($0,05 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Vinasse ($1800 \text{ L ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Physio mescal® ($1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) verwendet. Als Mineraldünger kamen Borax ($50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Mangan ($0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Eisen ($0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) zum Einsatz. Die großen Mengen an Nährstoffen welche über das Gießwasser in den Boden eingebracht wurden (siehe Tabelle 26), wurden in der Bilanz mitberücksichtigt.

Der Nährstoffeintrag war mit $990 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $250 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $1000 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sehr hoch (siehe Abbildung 19). Da die Erträge und somit die Entzüge nicht demensprechend hoch ausfielen ($350 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), kam es bei allen Nährstoffen zu einer

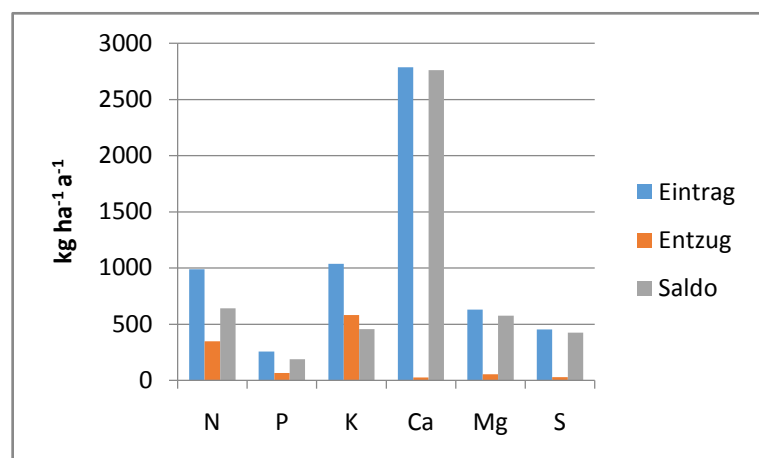


Abbildung 18: Nährstoffbilanz von Betrieb C

starken Überversorgung. Im Saldo wiesen etwa N, P und K einen Überschuss von $640 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf. Die Ca-Gehalte waren mit einem Saldo von $2700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sehr hoch und auch bei den Nährstoffen Ma und S kam es mit einem Saldo von $570 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $425 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu einer stark positiven Bilanz.

In **Betrieb D** wurde als Basisdünger Kuhmistkompost ($80 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) verwendet. Zusätzlich wurden vor Kulturbeginn Schafwolle ($1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Heumulch ($5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ausgebracht. Als Mineraldünger kam Patentkali ($350 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) zum Einsatz.

Der Nährstoffeintrag auf Betrieb D war mit $590 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ relativ hoch (siehe Abbildung 20), im Vergleich zu den anderen Betrieben aber im mittleren

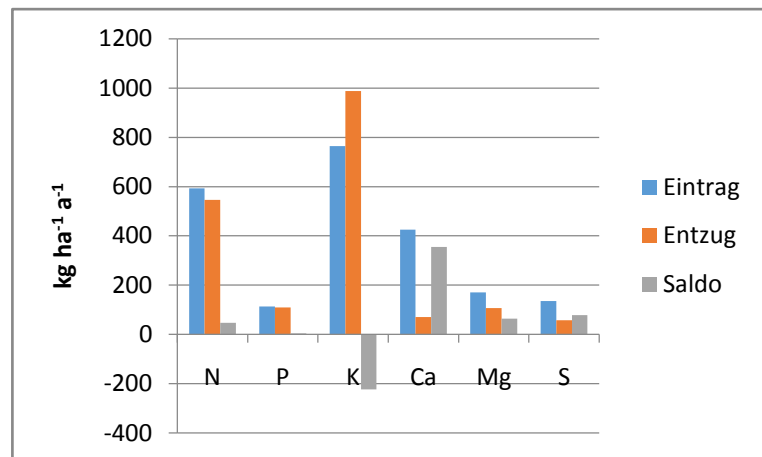


Abbildung 19: Nährstoffbilanz von Betrieb D

Bereich. Da die Nährstoffentzüge ($550 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) sich in einer ähnlichen Größenordnung befanden, bilanzierte dieser Betrieb teilweise ausgeglichen. N und P bilanzierten quasi ausgeglichen, bei K gab es eine Unterversorgung von $220 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Ca, Mg und S bilanzierten leicht bis stark positiv ($355, 64$ und $68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Auf **Betrieb E** wurde als Basisdünger Schafmist ($48 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) verwendet. Zusätzlich wurden vor Kulturbeginn Biofert® ($2,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Schafwolle ($0,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Kleegrassilage ($11 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ausgebracht. $4,3 \text{ t/ha/a}$ Heu wurden als Mulchmaterial in das GWH eingebracht. Als Zusatzdüngung wurde $2.300 \text{ L ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Vinasse verwendet. Als Mineraldünger kamen $34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Bittersalz zum Einsatz.

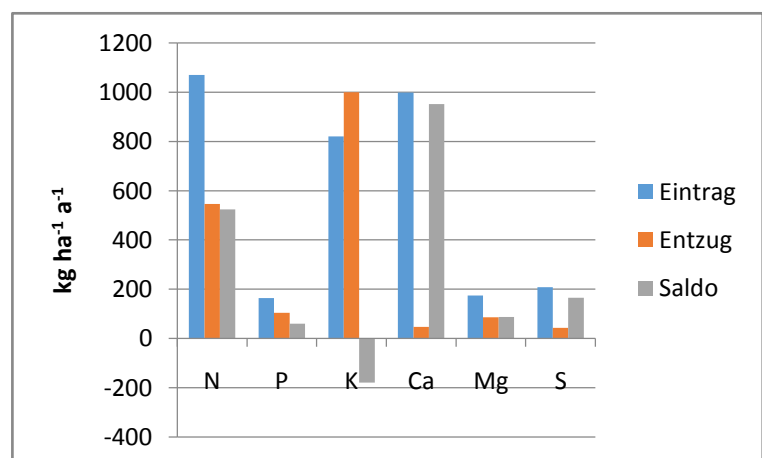


Abbildung 20: Nährstoffbilanz von Betrieb E

Der Nährstoffeintrag auf diesem Betrieb war mit 1000 kg N ha⁻¹ a⁻¹, 164 kg P ha⁻¹ a⁻¹ und 820 kg K ha⁻¹ a⁻¹ ausgesprochen hoch (siehe Abbildung 21). Die Erträge und Nährstoffentzüge waren zwar ebenfalls sehr hoch (550 kg N ha⁻¹ a⁻¹), reichten aber nicht aus, um eine ausgeglichene Bilanz zu ergeben. So kam es zu einem N-Überschuss von 520 kg ha⁻¹ a⁻¹, einem leichten Überschuss von P (60 kg ha⁻¹ a⁻¹), einem großen Überschuss an Ca (950 kg ha⁻¹ a⁻¹) und einem relativ großen Überschuss an Mg (90 kg ha⁻¹ a⁻¹) und S (170 kg ha⁻¹ a⁻¹).

5.3.2. Nährstoffeintrag durch Gießwasser

Der Nährstoffeintrag über das Gießwasser unterschied sich auf den Betrieben sehr stark, abhängig von der Art des verwendeten Wassers. So wurden etwa auf Betrieb B, welcher hauptsächlich Regenwasser verwendet, nur relativ geringe Mengen an Nährstoffen eingetragen (siehe Tabelle 26). Auf Betrieb C hingegen, wo Grundwasser zur Bewässerung verwendet wurde, welches sehr hohe Nährstoffkonzentrationen enthielt, wurden sehr große Mengen an Nährstoffen eingebracht. Das Gießwasser kann in diesem Fall als Nährlösung bezeichnet werden und war ein maßgeblicher Faktor bei den Nährstoffinputs.

Tabelle 26: Nährstoffeintrag durch Gießwasser (in kg ha⁻¹ a⁻¹ bei einer Wassermenge von 700 mm)

Betrieb	N	P	K	Ca	Mg	S	Art
A	5,3	-	4,6	256,2	36,4	35,7	Leitung
B	3,0	14,0	1,4	5,6	3,5	14,0	Regen
C	48,3	0,7	389,8	733,4	408,6	233,3	Brunnen
D	3,9	-	4,5	224	84	2,6	Leitung
E	6,6	-	4,6	341,6	38,7	45,5	Leitung

5.3.3. Nährstoffbilanz gesamt

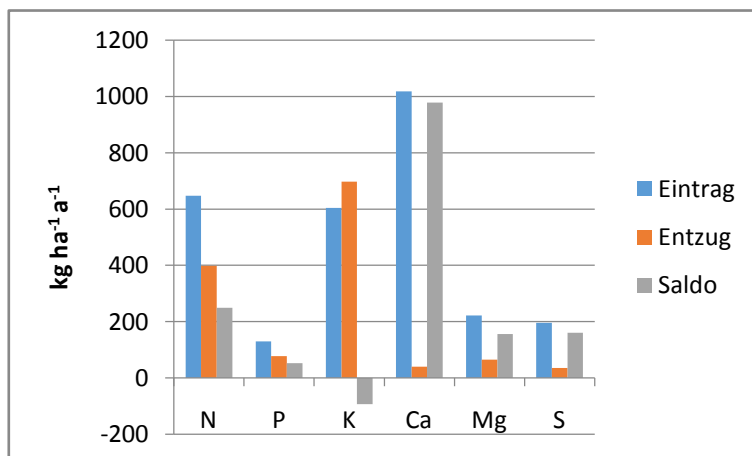


Abbildung 21: Nährstoffbilanz - Durchschnitt aller Betriebe

In der Nährstoffbilanz über die Betriebe hinweg, konnte beobachtet werden, dass es zu einer Überversorgung aller untersuchten Nährstoffe, mit Ausnahme von Kalium, kam (siehe Abbildung 22). Vor allem bei Stickstoff kam es, mit einem Saldo von, im Mittel 250 kg ha⁻¹ a⁻¹, zu einer starken

Überversorgung. Phosphor bilanzierte mit durchschnittlich $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ etwas ausgeglichener, während Kalium mit einem mittleren Minus von $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ stark negativ bilanzierte. Dem hohen Ca-Gehalt, welcher insbesondere über Kompost und Gießwasser zustande kam, steht ein relativ geringer Verbrauch durch Kulturpflanzen gegenüber. Calcium bilanzierte mit einem Überschuss von im Mittel $950 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Magnesium wie auch Schwefel bilanzierten mit einem Mittel von jeweils $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ebenfalls stark positiv.

5.3.4. Bilanz der Hauptnährstoffe

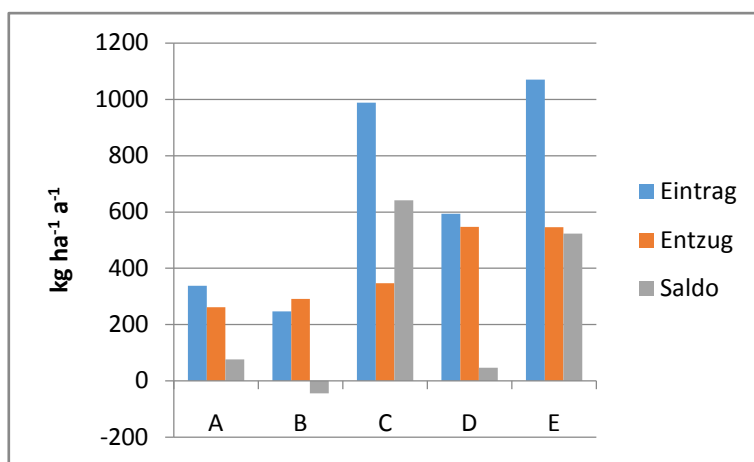


Abbildung 22: Stickstoffbilanz der Betriebe

Stickstoff bilanzierte, abhängig von Düngung und Entzug ausgeglichen bis stark positiv (von -45 bis $650 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Der Input (siehe Abbildung 23) ist relativ hoch, variierte jedoch sehr stark zwischen den verschiedenen Betrieben. Er reichte von 250 bis $1000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Dem gegenüber standen Entzüge von 260 bis $546 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

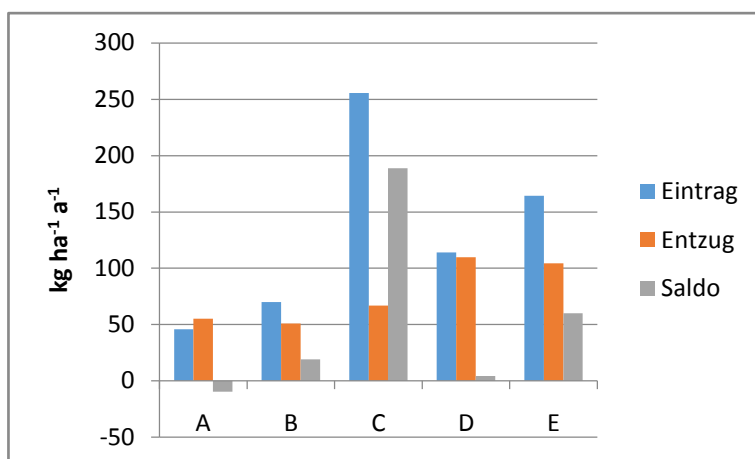


Abbildung 23: Phosphorbilanz der Betrieb

Phosphor bilanzierte ebenfalls ausgeglichen bis stark positiv (von -10 bis $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die Nährstoffeinträge unterschieden sich mit Werten von 50 bis $255 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sehr stark (siehe Abbildung 24). Die Entzüge lagen, mit Werten zwischen 50 bis $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, in einem engeren Bereich.

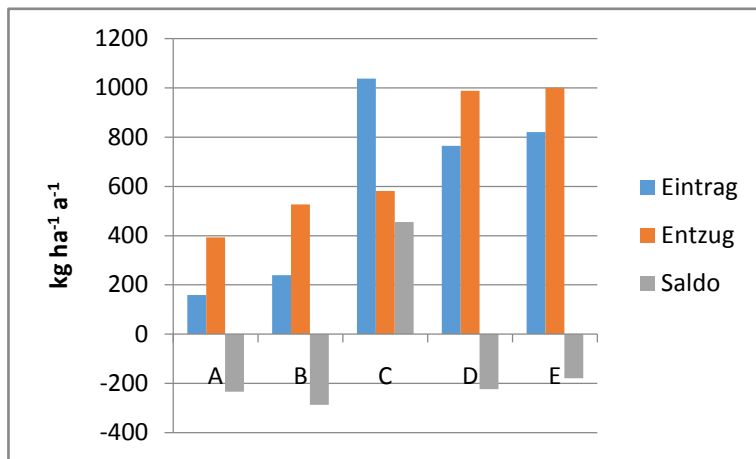


Abbildung 24: Kaliumbilanz der Betriebe

standen Einträgen von 160 bis 1040 kg ha⁻¹ a⁻¹ gegenüber.

Kalium bilanzierte mit Werten von -180 bis -290 kg ha⁻¹ a⁻¹, im Gegensatz zu den anderen Hauptnährstoffen, meist stark negativ (siehe Abbildung 25). Nur auf Betrieb C, wo sehr hohe Kaliumeinträge über Kompost und Gießwasser zustande kamen, bilanzierte Kalium mit 580 kg ha⁻¹ a⁻¹ stark positiv. Die Entzüge reichten von 400 bis 1000 kg ha⁻¹ a⁻¹ und

6. Diskussion

Im Vergleich zu ähnlichen Untersuchungen, die zeigten, dass es in Gewächshäusern zu einem Ansteigen des **pH-Werts** kommt (Bodenschutz, 2016; Zikeli & Deil, 2016), ließ sich auf den untersuchten Betrieben der vorliegenden Arbeit keine Veränderung des pH-Wertes feststellen. Gemessen im Wasser zeigte sich sogar eher ein Absinken des pH-Wertes, allerdings nicht signifikant. Organische Dünger können den pH-Wert im Boden auf verschiedene Arten beeinflussen. Wird Biomasse von einer Fläche abgeführt, tritt dauerhaft eine pH-Senkung ein. Wird die Biomasse bzw. die daraus hergestellten Reststoffe an anderer Stelle ausgebracht, bewirken die darin enthaltenen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) und die mit ihnen assoziierten organischen Säuren eine Erhöhung der Pufferkapazität im Boden und führen zu einer Erhöhung des pH-Wertes in der Bodenlösung. Andererseits führen die Düngung von NH_4^+ -haltigen Düngemitteln sowie eine N-Überdüngung zu einer raschen Senkung des pH-Wertes der Bodenlösung (Möller & Schultheiß, 2014). Torf führt zu einem Absinken des pH-Wertes (Scheffer & Schachtschabel, 2010). In den untersuchten GWH kam es folglich zu unterschiedlichen, gegenläufigen Dynamiken. Es wurden mit den Ernteprodukten und Ernterückständen große Mengen an Biomasse aus dem GWH abgeführt. Der hohe Entzug der Kationen wurde durch große Mengen an organischen Düngern wieder ausgeglichen, allerdings änderte sich dadurch das Verhältnis der Kationen zueinander. Die N-Übersorgung und große Mengen an Torfsubstraten führten tendenziell zu einem Absinken des pH-Wertes.

Beim **Salzgehalt** ergab sich ein ähnliches Bild wie bei bisherigen Untersuchungen, wo gezeigt wurde, dass der Salzgehalt im Boden in den GWH ansteigt (Voogt, 2014; Zikeli & Deil, 2016). In der vorliegenden Studie war der Salzgehalt in den GWH mit durchschnittlich $3,9 \text{ mS cm}^{-1}$ signifikant höher als im Freiland, wo er mit durchschnittlich $0,4 \text{ mS cm}^{-1}$ für Ackerböden übliche Werte aufwies (Blume, Stahr, & Leinweber, 2011).

Für die hohen Salzgehalte der Böden in den GWH gibt es mehrere Ursachen. Eine Ursache sind die großen Mengen eingetragener Salze über organische Dünger (Kompost und Mist) sowie über das Bewässerungswasser. Sehr deutlich wird der Zusammenhang vom Salzgehalt im Boden mit dem Bewässerungswasser auf einem der untersuchten Betriebe, auf dem Grundwasser mit sehr hohem Salzgehalt verwendet wurde. Auf diesem Betrieb wurde der höchste Salzgehalt im Boden ($7,7 \text{ mS cm}^{-1}$) gemessen. Eine weitere Ursache für das Zustandekommen hoher Salzgehalte ist das aride Klima im GWH. Während die Salze im

Freiland über Winter mit Niederschlagswasser teilweise ausgewaschen bzw. in tiefere Bodenschichten verlagert werden, herrschen in den Gewächshäusern durch die Überdachung und die künstliche Bewässerung aride Bedingungen. Das heißt, der Wasserstrom ist nach oben gerichtet, Wasser verdunstet an der Oberfläche, die Salze bleiben in den oberen Bodenschichten und kristallisieren oft sogar sichtbar an der Bodenoberfläche aus. Dies ist zum einen positiv, da hier keine Nährstoffverluste eintreten. Der Nachteil ist jedoch, dass die Salze im Boden verbleiben und sich im Laufe der Jahre akkumulieren (George & Eghbal, 2003; Möller & Schultheiß, 2014).

Der hohe Salzgehalt - der für viele Pflanzen weit vom Optimum entfernt ist - erhöht das osmotische Potential des Bodens, die Saugspannung steigt und die Pflanzenwurzeln müssen mehr Energie aufbringen, um Wasser aufzunehmen. Der hohe Salzgehalt führt möglicherweise zu Wachstumsdepressionen und Ertragseinbußen. Allerdings reagieren Gemüsearten sehr unterschiedlich auf Salze. So sind etwa Tomaten und Kohlarten toleranter gegen hohe Salzgehalte als Salate, Radieschen, Karotten und Bohnen (siehe Kapitel 2.3.1.1).

Weniger problematisch sind die Salze, die von den Pflanzen aufgenommen und verbraucht werden. Bedenklicher sind jene Salze, die sich im Gewächshaus anreichern, weil sie nicht von den Pflanzen aufgenommen werden, insbesondere Natrium und Chlorid. Um der Versalzung der Böden entgegenzuwirken ist es notwendig die Düngung so zu gestalten, dass Nährstoffbilanzen ausgeglichen sind. Um eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu erreichen, ist es notwendig Gründünger zu finden, welche dem Bedarf der Gemüsepflanzen möglichst gut entsprechen. Wird Mist verwendet, ist es wichtig darauf zu achten, dass während der Lagerung möglichst wenig N-Verlust auftritt, um die Aufwandmenge zu minimieren und das ursprüngliche Nährstoffverhältnis (besonders das C/P-Verhältnis) zu erhalten. Komposte und kompostierte Miste weisen, wegen ihrer N-Verluste während des Rotteprozesses, ungünstigere Nährstoffverhältnisse auf. Sie können mit anderen Düngern wie etwa Kleeegrassilage, Gülle oder Gärprodukte kombiniert und so teilweise ersetzt werden.

Befindet sich der Salzgehalt des Bodens bereits in einem, für das Pflanzenwachstum, ungünstigen Bereich, können Salze über intensive Bewässerung ausgewaschen werden. Eine Alternative für kleine bis mittelgroße Betriebe ist die Errichtung von mobilen GWH, welche es ermöglichen eine passende Fruchtfolge zu gestalten, ohne die teure Infrastruktur zu blockieren. Über Leguminosen in der Fruchtfolge ist eine ausgewogene Düngung leichter umsetzbar und da die Flächen immer wieder ungeschützt sind, werden Salze regelmäßig ausgewaschen (Coleman, 2014).

Die **Zusammensetzung der Bodenlösung** in den GWH unterschied sich sehr stark von jener im Freiland. Alle gemessenen Parameter (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ und PO_4^{2-}) waren im GWH signifikant höher als im Freiland, wobei die Werte um ein 10- bis 100-faches erhöht und weit vom Optimalbereich entfernt waren. Auch Salze, die nicht, oder nur in geringen Mengen, für die Pflanzenernährung relevant sind, (wie Na^+ und Cl^-) akkumulierten sich in großen Mengen. Eine Erhöhung der Konzentration einwertiger Ionen wie K^+ und Na^+ im Boden verschlechtert das Bodengefüge und damit den Strukturzustand durch Verdrängung von mehrwertigen Kationen, wie z.B. Ca^{2+} (Möller & Schultheiß, 2014).

Betrachtet man die **Verteilung der Nährstoffe am Sorptionskomplex**, sieht man eine Verschiebung der Nährstoffverteilung von Ca^{2+} hin zu mehr Mg^{2+} , K^+ und Na^+ . Wieder bedeutet das eine Veränderung, weg vom Optimalbereich und eine Verschlechterung der Bodenstruktur.

Der Gehalt an **organischer Substanz** in den Gewächshausböden lag zwischen 2,8 % und 14,4 %, mit einem Durchschnitt von 8,4 %. Für ackerbaulich bewirtschaftete Böden stellt das einen sehr hohen Wert dar und unterscheidet sich deutlich von den untersuchten Böden im Freiland, wo ein durchschnittlicher Wert von 5,1 % gemessen wurde. Nur auf einem der Betriebe war ein Rückgang der organischen Substanz im GWH zu verzeichnen, in allen anderen Fällen kam es zu deutlichen Anstiegen. Die gemessenen Werte lassen auf eine Akkumulation von organischer Substanz in Gewächshausböden schließen und ähnlich hohe Werte wurden auch in anderen Versuchen festgestellt (Bodenschutz, 2016; Zikeli & Deil, 2016). Der Anstieg kommt durch die großen Mengen an organischen Düngern und schwer abbaubarem Torfsubstrat zustande.

Betrachtet man einzelne **Nährstoffe (K, P und Mg)** in ihren pflanzenverfügbaren Bindungsformen „wasserlöslich“ und „austauschbar“, so sieht man, dass die Gehalte im Gewächshaus um ein Vielfaches höher waren als im Freiland. So stand dem pflanzenverfügbaren Kalium im Freiland mit 330 kg/ha ein Gehalt von 950 kg/ha im GWH gegenüber. Bei Phosphor und Magnesium waren die Unterschiede ähnlich stark ausgeprägt.

Beim Vergleich der chemischen Bodenparameter wird also deutlich, dass neben den Unterschieden, welche auf die verschiedenen Standorte und Bodentypen der Betriebe zurückzuführen sind, außerdem deutliche Unterschiede zwischen den Böden im Freiland und jenen im GWH festgestellt werden konnten. Die erste Hypothese kann demnach verworfen werden. Generell kann gesagt werden, dass es negative Veränderungen chemischer Bodenparameter in der Bewirtschaftungsform „geschützter Bio-Gemüsebau“ hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit und der Pflanzenernährung gibt.

Neben den chemischen Bodenparameter im Freiland und im GWH waren **Nährstoffbilanzen** von geschützten Bio-Flächen der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit.

Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Bilanzierung nur als Abschätzung gesehen werden können, da es in ihrer Berechnung zu viele unbekannte Parameter gibt. So wurden von den verwendeten Düngern keine Untersuchungen vorgenommen, sondern Durchschnittswerte aus der Literatur verwendet. Für alle Dünger, die unter dem Begriff Zusatzdünger gefasst sind, gibt es in der Literatur oder von Seiten der Hersteller sehr genaue Nährstoffangaben. Bei Düngern, welche unter dem Begriff Basisdünger gefasst sind, ist das nicht der Fall. Besonders bei Mist und Kompost können die Nährstoffgehalte, je nach Ausgangsmaterial, Behandlung und Lagerung, um mehr als 100 % schwanken (Breuer, et. al. 1997). Die Genauigkeit der Daten für den Nährstoffentzug war von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich. Auf einigen der Betriebe gab es sehr genaue Aufzeichnungen bezüglich der Erntemengen und der Menge der eingesetzten Dünger, auf anderen Betrieben waren weniger detaillierte Aufzeichnungen vorhanden. In diesem Fall, wurden Schätzwerte von den BetriebsleiterInnen oder Durchschnittswerte aus der Literatur verwendet. Die vorliegende Nährstoffbilanzierung gibt also keine exakten Verhältnisse wieder, gibt aber einen Überblick der Nährstoffflüsse auf den jeweiligen Flächen im GWH.

Betrachtet man die Ergebnisse der Bilanzierung der einzelnen Nährstoffe im Durchschnitt aller untersuchten Betriebe, wird deutlich, dass es große Ungleichgewichte in der Nährstoffversorgung gab. Bei gleichzeitiger Überversorgung von Stickstoff, Phosphor, Calcium, Magnesium und Schwefel kam es zu einer starken Unterversorgung von Kalium (siehe Abbildung 22).

Betrachtet man die Bilanzen der einzelnen Nährstoffe, ergibt sich ein differenzierteres Bild. So wird etwa ersichtlich, dass es große Unterschiede zwischen den einzelnen Betrieben gab, auch wenn die Tendenzen ähnlich sind. In der Nährstoffbilanz von Stickstoff, Phosphor und Magnesium bilanzierten drei der fünf Betriebe annähernd ausgeglichen. In der Bilanz von Calcium und Schwefel bilanzierten zwar dieselben drei Betriebe ebenfalls ausgeglichener, aber auf einem hohen Niveau, was zu einer Akkumulation der Nährstoffe führte und eine starke Überversorgung des Bodens bedeutete. Bei dem Hauptnährstoff Kalium zeigte sich ein anderes Bild: vier der fünf untersuchten Betriebe bilanzierten stark negativ, Betrieb C wies eine hohe Überversorgung auf.

In bisherigen Untersuchungen wurden, abhängig von der Bewirtschaftungsintensität der untersuchten Region, ähnliche Ergebnisse aufgezeigt. So stellten Zikeli & Deil (2016), bei der Untersuchung von geschützten Bio-Gemüseflächen in Deutschland für alle untersuchten Elemente außer Kalium und Chlorid eine Überversorgung fest. Kalium bilanzierte mit einem

Durchschnitt von $-143 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Bewirtschaftungsintensität der Betriebe aus dieser Untersuchung ist vergleichbar mit jener aus den Betrieben der vorliegenden Arbeit. Untersuchungen aus Holland, wo die Bewirtschaftungsintensität deutlich höher ist, zeigten ähnliche Tendenzen bei höheren Ausgangswerten. Cuijpers et al. (2008) stellten auf sieben untersuchten Betrieben einen durchschnittlichen Stickstoffentzug von $760 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und einen Stickstoff-Überschuss in derselben Größenordnung fest.

Der Grund für diese Nährstoffungleichgewichte liegt einerseits im Verhältnis zwischen den Erträgen (Nährstoffentzug) und den Düngergaben (Nährstoffeintrag) und andererseits in der Nährstoffzusammensetzung der verwendeten Dünger.

Die Betriebe unterschieden sich relativ stark hinsichtlich der Erträge, demzufolge unterschieden sie sich auch in der Höhe der Nährstoffentzüge. Am Beispiel von Stickstoff wird das Verhältnis von Nährstoffeintrag und -entzug deutlich. Die Stickstoffentzüge über die abgeführte Biomasse reichten von 260 bis $550 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Demgegenüber standen die, über verschiedene Dünger eingebrachten, Nährstoffinputs, welche von 250 bis $1070 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reichten. Auf drei der untersuchten Betriebe entsprachen die zugeführten Nährstoffmengen ungefähr der abgeführten Menge, sodass die Bilanzen mit einem Saldo von -44 bis $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als ausgeglichen bezeichnet werden konnten. Auf zwei der Betriebe überstieg die zugeführte Menge den Verbrauch etwa um das Doppelte, sodass es zu einem großen Überschuss von Stickstoff (520 und $640 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) kam. Teilweise stand also die Aufwandmenge der organischen Düngemittel in keinem Zusammenhang mit der abgeführten Menge an Nährstoffen durch das Ernteprodukt und die Erntereste.

Betrachtet man die Nährstoffzusammensetzung der verwendeten Dünger und vergleicht sie mit dem Bedarf der Gemüsekulturen, wird ersichtlich, dass es schwierig ist bedarfsgerecht zu düngen. Gemüsekulturen haben einen hohen N- und K-Bedarf, aber einen niedrigen P-Bedarf. Besonders Dünger, die zur Grunddüngung verwendet werden, wie Mist oder Kompost, weisen hohe P-Gehalte im Verhältnis zu N und K auf. Möller & Schultheiss (2014) beschreiben, dass im Verhältnis zum Nährstoffbedarf von Gemüsepflanzen bei Bioabfall- bzw. Grüngutkomposten, sowie Rindermist je Einheit pflanzenverfügbaren Stickstoff etwa die drei- bis vierfache Menge an Phosphor verabreicht wird. Bei Pferde-, Schaf-, bzw. Ziegenmist ist es sogar die sechs- bis achtfache Menge. Es wäre also zu erwarten, dass die P-Bilanzen stark positiv ausfallen. In der vorliegenden Untersuchung wird zwar sichtbar, dass Phosphor hauptsächlich über die Basisdüngung (Kompost und Mist) eingebracht wurde, insgesamt bilanzierte der Nährstoff aber relativ ausgeglichen. In den Bodenanalysen fanden sich jedoch hohe P-Überschüsse auf allen Betrieben, mit Ausnahme von Betrieb B,

wo Kompost nicht jährlich als Grunddüngung verwendet wurde und in einigen Jahren gar nicht gedüngt wurde.

Im Verhältnis zum K-Bedarf enthalten viele der eingesetzten Grunddünger wie Kompost und Mist im Gegensatz zu Stickstoff und Phosphor relativ geringe K-Gehalte. Auf den untersuchten Betrieben konnte daher eine starke Unterversorgung von Kalium festgestellt werden. Selbst auf Betrieb E, welcher den N-Bedarf weit überschritt, kam es immer noch zu einer Unterversorgung von Kalium. Nur auf Betrieb C, wo zusätzlich zu hohen Düngergaben viel Kalium im Gießwasser enthalten war, ergab sich eine stark positive K-Bilanz.

Es kann also auch die zweite Hypothese verworfen werden. Es kommt auf allen untersuchten Betrieben zu mehr oder weniger starken Ungleichgewichten in der Bilanz der untersuchten Nährstoffe.

Die **Tierhaltung** wirkt sich insofern auf die Bilanzierung aus, als sie auf die Verfügbarkeit von Düngemitteln und deren Nährstoffzusammensetzung Einfluss nimmt.

Die Verfügbarkeit von Düngemitteln ist hoch, wenn Betriebe Tierhaltung betreiben und somit die Möglichkeit haben eigenen Mist oder Mistkompost zu verwenden. Im Verhältnis zu den zur Verfügung stehenden Mengen an Wirtschaftsdünger sind die Flächen im GWH so klein, dass im Grunde genommen beliebig viel Mist ausgebracht werden kann. Auf den untersuchten Betrieben zeigte sich, dass tierhaltende Betriebe hohe Nährstoffinputs aufwiesen. Die Auswirkung auf den Saldo der Bilanz hing allerdings in Folge davon ab, ob die Erträge (der Nährstoffentzug) den jeweiligen Nährstoffinputs entsprachen. Die zwei Viehhaltenden Betriebe bilanzierten bei gleicher Intensität (N-Entzug von jeweils $550 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), durch die unterschiedliche Aufwandmenge von Mist einmal beinahe ausgeglichen ($+40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und einmal mit starkem Nährstoffüberschuss ($+520 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Wichtiger als die Frage, ob Tiere gehalten und Mist verfügbar ist, ist die Frage nach der Nährstoffverfügbarkeit im Allgemeinen. So hatte Betrieb C zwar keine Tiere am Betrieb, betrieb jedoch eine Biogasanlage und kompostierte die Pflanzenabfälle aus der Landwirtschaft selber. Es waren also ebenfalls große Mengen an betriebseigenen, günstigen Düngemitteln verfügbar. Da diese in großer Menge im GWH eingesetzt wurden und zusätzlich große Mengen an Nährstoffen über das Gießwasser ausgebracht wurden, bilanzierte dieser Betrieb sehr unausgeglichen ($+640 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Betriebe ohne eigene Wirtschaftsdünger wiesen in dieser Untersuchung einen geringeren Nährstoffinput auf. Nachdem sie auch weniger intensiv wirtschafteten, waren die Bilanzen nahezu ausgeglichen.

Die dritte Hypothese dieser Arbeit kann teilweise verworfen werden. Für eine zufriedenstellende Aussage, bedarf es der Untersuchung einer Vielzahl von Betrieben mit und ohne Zugang zu eigenen Wirtschaftsdüngern. In der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass die Verfügbarkeit von betriebseigenen Düngern eine größere Rolle spielt als die Tatsache, ob Tiere gehalten werden oder nicht. Tendenziell bilanzierten Betriebe mit eigenen Wirtschaftsdüngern weniger ausgeglichen, weil die Aufwandmengen der Dünger höher und schlecht auf die Erträge (Output) abgestimmt waren.

Um die **Auswirkung von Gießwasser** auf die Bilanzen und die Bodenuntersuchung aufzuzeigen, möchte ich zwei Extreme miteinander vergleichen. Betrieb B, auf dem Regenwasser, und Betrieb C, auf dem Grundwasser mit hohen Nährstoffgehalten zu Bewässerung verwendet wurde. Betrachtet man den Nährstoffeintrag bei gleicher Bewässerungsmenge, sieht man beachtliche Unterschiede (siehe Tabelle 26). Während die vom Regenwasser eingebrachten Nährstoffgehalte relativ gering und für die Nährstoffbilanzierung nicht relevant sind, können über belastetes Grundwasser große Mengen an Nährstoffen ins GWH eingebracht werden. Auf Betrieb C wurden, bei einer Bewässerungsmenge von 700 mm 48 kg N, 390 kg K und 230 kg S $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ausgebracht. Wird dieser Nährstoffeintrag in der Düngung nicht berücksichtigt, kommt es zu starken Ungleichgewichten in der Nährstoffbilanz. Nährstoffe, wie Schwefel, die von den Kulturpflanzen nicht in diesen großen Mengen benötigt werden, akkumulieren sich über die Zeit und führen somit zu einer Versalzung des Bodens. In der Bilanzierung und den Bodenuntersuchungen schlägt sich der Nährstoffeintrag durch das Grundwasser deutlich nieder. Betrieb C bilanzierte sehr unausgeglichen und auf Grund der hohen K-Gehalte, war sogar der Saldo von Kalium – welcher auf allen anderen Betrieben negativ war - stark positiv ($+450 \text{ kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). In den Bodenuntersuchungen zeigten sich ein stark überhöhter Salzgehalt ($7,7 \text{ mS cm}^{-1}$), ein sehr hoher Anteil von Kalium am Sorptionskomplex (14,3 %) und hohe Gehalte von Nährstoffen in den pflanzenverfügbaren Bindungsformen. Die Menge von pflanzenverfügbarem Kalium in den Nährstoffpools „wasserlöslich“ und „austauschbar“ betrug 1023 und 1300 kg ha^{-1} und deckte den K-Entzug dieses Betriebes ($580 \text{ kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) bei weitem. Es war keine weitere K-Düngung notwendig und der Nährstoffeintrag durch das Gießwasser trug nur weiter zu einer Versalzung des Bodens bei. Auf den anderen Betrieben kam es zwar auch zu einem Nährstoffeintrag über das Gießwasser, dieser war aber in der Bodenuntersuchung nicht sichtbar und spielte in den Nährstoffbilanzen eine untergeordnete Rolle.

Die vierte Hypothese dieser Arbeit kann also teilweise verworfen werden. In extremen Fällen wird der Nährstoffeintrag durch das Gießwasser in der Bodenanalyse, wie auch in der Nährstoffbilanzierung deutlich sichtbar.

Eine weitere Frage dieser Arbeit ist es festzustellen, ob ein **Zusammenhang zwischen** den Ergebnissen der **Nährstoffbilanzierung** und den Ergebnissen der **Bodenanalysen** besteht. Um diese Frage zu erörtern, möchte ich die Ergebnisse der Nährstoffbilanzierungen und der Bodenuntersuchungen, zuerst über alle Betriebe hinweg und anschließend auf Betriebsebene, miteinander vergleichen.

Betrachtet man die einzelnen Nährstoffsalden aus der Bilanzierung und stellt sie den Ergebnissen der Bodenanalyse gegenüber, ergibt sich folgendes Bild: Jene Nährstoffe, die in der Bilanz einen Überschuss aufweisen, weisen auch in den Ergebnissen der Bodenanalyse einen hohen Gehalt auf. So fanden sich etwa bei Phosphor, welcher mit einem Überschuss von durchschnittlich $53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bilanzierte, im GWH mit 111 kg ha^{-1} etwa 80 kg ha^{-1} mehr pflanzenverfügbarer Phosphor als im Freiland. Auch der Gehalt an nachlieferbarem Phosphor war höher, was darauf schließen lässt, dass ein Teil des P-Überschusses im Boden gebunden wird und zum Beispiel zu stabilen Ca-, Fe- und Al-Phosphaten umgewandelt wird. Phosphor kann zusätzlich von mineralischen Teilchen absorbiert oder okkludiert werden. Calcium, das in der Bilanzierung sehr hohe Werte aufwies ($980 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), fand sich auch im Boden in großen Mengen wieder. So war der Ca-Gehalt in der Bodenlösung im GWH mit 408 mg L^{-1} etwa zehnmal so hoch wie im Freiland (45 mg L^{-1}). Der Mg-Gehalt in der Bodenlösung im GWH war sogar etwa 19-mal so hoch wie im Freiland, der Überschuss in der Bilanzierung war mit $156 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sehr hoch, aber deutlich geringer als bei Calcium. Die Überversorgung von Schwefel aus der Bilanz ($161 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) spiegelte sich ebenfalls in der Bodenanalyse wider. In der Bodenlösung war der Gehalt von SO_4^{2-} mit 1300 mg L^{-1} außerordentlich hoch, wies aber eine hohe Standardabweichung auf ($\text{SD} = 1224 \text{ mg L}^{-1}$). Beim Hauptnährstoff Kalium hingegen weichten die Ergebnisse der Bilanz und der Bodenanalyse voneinander ab. Während die Bilanz eine Unterversorgung von $-93 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ergab, fanden sich im Boden große Mengen an Kalium. Im GWH war der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium mit 951 kg ha^{-1} deutlich höher als im Freiland (328 kg ha^{-1}). Zikeli & Deil (2016) kamen in ihren Untersuchungen aber ebenfalls zu dieser Abweichung zwischen der Nährstoffbilanz und den Bodenanalyse beim Nährstoff Kalium. Diese Diskrepanz kann durch eine Verschiebung von Kalium zwischen den verschiedenen Fraktionen teilweise erklärt werden. Der höhere Gehalt an austauschbarem Kalium im GWH entspricht etwa dem Rückgang in der nachlieferbaren Fraktion. Die hohe Zufuhr an

organischer Substanz, die sich in der Erhöhung der organischen Bodensubstanz im GWH spiegelt, führt zu einer Erhöhung der Kationenaustauschkapazität (CEC). Das vergrößert die austauschbare K-Fraktion. Der höhere Gehalt an organischer Bodensubstanz führt auch zu einer gesteigerten Aktivität der Mikroorganismen. Das kann, zusammen mit den hohen K-Entzügen, zu einer verstärkten K-Mobilisierung und einer erhöhten Mineralverwitterungsrate führen, wodurch es zur Verschiebung von Kalium von der nachlieferbaren zur austauschbaren Fraktion kommt. Um diese Diskrepanz genauer zu verstehen und die Erklärung zu überprüfen, bedarf es weiterer Untersuchungen.

Vergleicht man die Nährstoffbilanzierung mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchung auf Betriebsebene, zeigt sich ein differenzierteres Bild: so bilanzierte Betrieb A etwa - mit einer niedrigen Intensität – relativ ausgeglichen, mit Ausnahme einer sehr starken K-Unterversorgung ($-230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Hier spiegelte sich diese Unterversorgung auch in den Bodenanalysen wieder, wo mit nur 140 kg ha^{-1} pflanzenverfügbarem Kalium ein starker Mangel gemessen wurde. Gleichzeitig wurde in der Bodenanalyse ein Phosphorüberschuss sichtbar, obwohl die P-Bilanz auf diesem Betrieb negativ ($-45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ausfiel. Betrieb B wies, wegen niedriger Nährstoffinputs eine relativ ausgeglichene N- und P-Bilanz (-44 und $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) auf, während Kalium stark negativ bilanzierte ($-286 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). In den Bodenanalysen spiegelte sich die negative Kaliumbilanz nicht wieder; im Boden war eine Überversorgung an pflanzenverfügbarem Kalium zu messen (594 kg ha^{-1}). Phosphor war, passend zu den Ergebnissen der Nährstoffbilanzierung, in etwa der Menge im Boden zu finden (35 kg ha^{-1}), die der Betrieb als Entzug aufwies ($50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Auf Betrieb C, wo sehr große Mengen an Nährstoffen über Dünger und Gießwasser ins System gelangten, standen den hohen Nährstoffüberschüssen aus der Bilanz sehr hohe Werte im Boden gegenüber. Betrieb C wies, als einziger der untersuchten Betriebe, auf Grund des belasteten Gießwassers, eine positive K-Bilanz auf ($456 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$); im Boden fand sich ein extremer Überschuss (2340 kg ha^{-1}) von pflanzenverfügbarem Kalium wieder. Betrieb D wirtschaftete, im Vergleich zu den anderen Betrieben, mit einem N-Entzug von $546 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, am intensivsten. Da die Nährstoffeinträge den Entzügen relativ gut entsprachen, war die K- und P-Bilanz dieses Betriebes ausgeglichen. Kalium bilanzierte mit $-223 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ stark negativ. In den Bodenanalysen war, entgegen dem negativen Ergebnis aus der Bilanzierung, eine große Überversorgung mit pflanzenverfügbarem Kalium (1074 kg ha^{-1}) und Phosphor (185 kg ha^{-1}) zu sehen. Auf Betrieb E standen sehr hohen, bilanzierten Nährstoffentzügen noch höhere Nährstoffeinträge gegenüber. Die Bilanz war daher sehr unausgewogen und wie im Durchschnitt, kam es zu einer Überversorgung von N, P, Ca, Mg und S und zu einer Unterversorgung von Kalium. In der Bodenuntersuchung spiegelte sich die unausgeglichene Bilanz zumindest teilweise wieder. Es gab einen extremen Überschuss von P, Ca und S.

Entgegen des negativen Ergebnisses der Bilanz herrschte auch ein extremer K-Überschuss. N und Mg, die eine stark positive Bilanz aufwiesen, kamen in günstiger Menge im Boden vor.

Die fünfte Hypothese dieser Arbeit kann demnach teilweise verworfen werden. Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz spiegeln sich teilweise in den Ergebnissen der Bodenanalyse wieder. Besonders beim Hauptnährstoff Kalium gibt es aber keinen Zusammenhang. Während in der Bilanz meist ein starker Mangel errechnet wird, zeigt die Bodenanalyse, dass Kalium im Überschuss vorhanden ist und ebenso zu einem hohen Salzgehalt im Boden beiträgt.

7. Conclusio

Die Analyse der Nährstoffbilanzen und die Untersuchung von Bodenproben im Freiland sowie im GWH, gaben einen guten Einblick in das Düngemanagement biologisch wirtschaftender Gemüsebaubetriebe und zeigten Veränderungen chemischer Bodenparameter und der Bodenfruchtbarkeit im Allgemeinen auf.

Aus den Ergebnissen der Nährstoffbilanzierung lässt sich schlussfolgern, dass es im Bereich geschützter Bio-Gemüsebau schwierig ist, ausgewogen zu düngen. Alle untersuchten Betriebe wiesen eine unausgewogene Nährstoffbilanz auf. Im Durchschnitt kam es zu einer Überversorgung von allen berechneten Nährstoffen (N, P, Ca, Mg, S) außer Kalium, welches relativ stark negativ bilanzierte.

Die Bodenanalysen spiegelten die Ergebnisse der Nährstoffbilanzierung teilweise wieder, bei einigen Parametern wiesen die Ergebnisse in unterschiedliche Richtungen. Die hohen Überschüsse aus der Bilanz bei den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor, Calcium, Magnesium und Schwefel fanden sich auch in den Bodenanalysen. Für Kalium hingegen wurde eine starke Unterversorgung in der Bilanz errechnet. Trotzdem konnte ein hoher Überschuss in der Bodenanalyse festgestellt werden.

Die Bodenanalysen zeigten, dass in den untersuchten Betrieben die Gefahr der Versalzung der Gewächshausböden besteht. Hohe Düngeraufwandmengen und große Mengen an Torfsubstrat führten zu einer Anreicherung organischen Materials im Boden. Das Verhältnis der Nährstoffe zueinander verschob sich und es kam zu einer Anreicherung von verschiedenen Nährstoffen. Insgesamt stellen diese Entwicklungen eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit dar bzw. mindern sie. Der hohe Salzgehalt führt zu Wachstumsdepressionen und Ertragsminderung bei salzempfindlichen Kulturen. Die Verschiebung der Nährstoffverhältnisse birgt die Gefahr von Mangelerscheinungen, obwohl absolut gesehen hohe Nährstoffgehalte verfügbar sind. Wie etwa Blütenendfäule, die trotz eines hohen Ca-Gehaltes im Boden auftreten kann, wenn gleichzeitig einwertige Ionen (z.B. Kalium) im Überschuss vorhanden sind.

Die Ergebnisse auf Betriebsebene zeigten, dass alle untersuchten Betriebe mit ähnlichen Problemen im Boden und unausgeglichene Nährstoffbilanzen zu kämpfen haben. Das Ausmaß der Ungleichgewichte ist allerdings sehr unterschiedlich und hängt einerseits von der Produktionsintensität und andererseits vom Düngemanagement der Betriebe ab. So bilanzierten Betriebe mit niedriger Intensität (niedrige Erträge) tendenziell ausgeglichener als jene mit hoher Intensität. Wenn allerdings die Aufwandmenge und Art des Düngers dem

jeweiligen Nährstoffentzug entsprachen, bilanzierten auch Betriebe mit hoher Intensität relativ ausgeglichen.

Es hat sich außerdem gezeigt, dass sich der Zugang zu eigenen Wirtschaftsdüngern (Mist, Kompost) nicht günstig auf die Nährstoffbilanz auswirkt. Dieser Umstand birgt eher die Gefahr, dass – weil vorhanden – große Mengen Dünger auf die relativ kleinen Gewächshausflächen ausgebracht werden, und es so zu einer Überversorgung mit Nährstoffen kommt. Diese Ungleichgewichte in der Düngung führen über die Zeit zu einer Akkumulation von Nährstoffen und somit zur Versalzung des Bodens.

Wegen der hohen Aufwandmengen spielt das Gießwasser in einer ausgeglichenen Düngung eine entscheidende Rolle. Wird belastetes Grundwasser verwendet, werden Nährstoffe (besonders Stickstoff, Kalium, Magnesium und Calcium) in so großen Mengen eingebracht, dass sie relevant für die Düngung werden. Werden sie in der Berechnung der Düngung nicht beachtet, kommt es über die Jahre gesehen zu einer Überversorgung und Versalzung. Abhilfe kann die Verwendung von Regenwasser oder zumindest die Verschneidung von Grund- mit Regenwasser bringen.

Um oben genannten Problemen vorzubeugen und zu einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz zu kommen, ist es für LandwirtInnen notwendig einen Überblick über Nährstoffinputs und Nährstoffoutputs zu gewinnen. Mit dem Wissen über die Nährstoffgehalte können verschiedene Basisdünger miteinander kombiniert werden und mit Düngern wie zum Beispiel Jauchen, Gülle oder Kleegrassilage ergänzt werden. Mit dem Wissen um den Entzug der Pflanzen, können Dünger in notwendigen Mengen eingesetzt werden und so Kosten gespart und der Versalzung entgegengewirkt werden. Übliche Maßnahmen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit, wie der Einsatz von Winterbegrünung, eine vielseitige Fruchtfolge oder der Einsatz von Leguminosen, können auch im GWH ein Weg sein, Systeme nachhaltiger zu gestalten. Regelmäßig durchgeführte Bodenuntersuchungen geben ein genaueres Bild, wie sich Düngung und Nährstoffentzug auf die Nährstoffverhältnisse im Boden und die Bodenfruchtbarkeit auswirken.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beziehungsgefüge einiger Nährstoffe in der Bodenlösung (Unterfrauner, 2010)	9
Abbildung 2: Landwirtschaftliche Haupt- und Nebenproduktionsgebiete Österreichs, Gebietsstand 2016 (Statistik Austria)	17
Abbildung 3: Bodenprofil im Freiland, Betrieb B (mittelgründige Schwarzerde)	18
Abbildung 4: Bodenprofil im Freiland, Betrieb C (tiefgründige Feuchtschwarzerde)	19
Abbildung 5: Bodenprofil im Freiland, Betrieb D (mittelgründige Lockersediment-Braunerde)	20
Abbildung 6: Bodenprofil im Freiland, Betrieb E (mittelgründige Lockersediment-Braunerde/Grauer Auboden)	21
Abbildung 7: Darstellung der verschiedenen Fraktionen. Die Balkenlänge zeigt die potentielle Nährstofflagerung der verschiedenen Fraktionen, im Verhältnis zueinander, an.	26
Abbildung 8: pH-Wert gemessen in Wasser und pH-Wert gemessen in KCl. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern. (Querbalken: Median; Farbige Box: 50% der Werte; Fühler: 95% der Werte; Punkt: Extremwert)	30
Abbildung 9: Boxplots des Kalkgehalts und des Salzgehalts. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern	31
Abbildung 10: Boxplot des Gehalts an organischer Bodensubstanz und C/N Verhältnis. Gegenüberstellung der Werte aus dem Freiland und den Gewächshäusern.	32
Abbildung 11 Zusammensetzung der Bodenlösung (Mittelwert der Betriebe)	33
Abbildung 12: Verteilung der Nährstoffe am Sorptionskomplex (Sollwerte aus ÖNORM (2004))	35
Abbildung 13: Gegenüberstellung der verschiedenen Kaliumpools in Freiland und GWH	36
Abbildung 14: Gegenüberstellung der verschiedenen Phosphorpools in Freiland und GWH. Die y-Achse ist zur besseren Darstellung logarithmiert.	37
Abbildung 15: Gegenüberstellung der verschiedenen Magnesiumpools in Freiland und GWH. Die y-Achse ist zur besseren Darstellung logarithmiert.	37
Abbildung 17: Nährstoffbilanz von Betrieb A	47

Abbildung 18: Nährstoffbilanz von Betrieb B.....	48
Abbildung 19: Nährstoffbilanz von Betrieb C	48
Abbildung 20: Nährstoffbilanz von Betrieb D	49
Abbildung 21: Nährstoffbilanz von Betrieb E.....	49
Abbildung 22: Nährstoffbilanz - Durchschnitt aller Betriebe	50
Abbildung 23: Stickstoffbilanz der Betriebe.....	51
Abbildung 24: Phosphorbilanz der Betrieb.....	51
Abbildung 25: Kaliumbilanz der Betriebe	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Salztoleranz verschiedener Gemüsearten und ihr Wachstumsrückgang bei steigender Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (verändert nach Röber & Schacht, 2008).	8
Tabelle 2: Charakterisierung von organischen Basisdüngern (adaptiert von (Möller & Schultheiß, 2014).	12
Tabelle 3: Charakterisierung verschiedener organischer Ergänzungsdünger (adaptiert von Möller & Schultheiß, 2014).....	13
Tabelle 4: Beschreibung der Betriebe.....	16
Tabelle 5: Verhältniszahlen zum Errechnen der Ernterückstände für die Kulturarten, bei welchen die Ernterückstände abgeführt werden.	23
Tabelle 6: Basisparameter Betrieb A	38
Tabelle 7: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb A. Werte in mg L^{-1}	38
Tabelle 8: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb A	39
Tabelle 9: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb A	39
Tabelle 10: Basisparameter Betrieb B	40
Tabelle 11: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb B. Werte in mg L^{-1}	40
Tabelle 12: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb B	40
Tabelle 13: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb B	41

Tabelle 14: Basisparameter Betrieb C	41
Tabelle 15: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb C. Werte in mg L^{-1}	42
Tabelle 16: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb C	42
Tabelle 17: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb C	42
Tabelle 18: Basisparameter Betrieb D	43
Tabelle 19: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb D. Werte in mg L^{-1}	43
Tabelle 20: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb D	44
Tabelle 21: Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb D	44
Tabelle 22: Basisparameter Betrieb E	45
Tabelle 23: Zusammensetzung der Bodenlösung Betrieb E. Werte in mg L^{-1}	45
Tabelle 24: Nährstoffe am Sorptionskomplex in % von Betrieb E	46
Tabelle 25 Nährstoffe in verschiedenen Bindungsformen in kg ha^{-1} von Betrieb E	46
Tabelle 26: Nährstoffeintrag durch Gießwasser (in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ bei einer Wassermenge von 700 mm)	50
Tabelle 27: Basisparameter Durchschnitt aller Betriebe	72
Tabelle 28: Basisparameter Durchschnitt aller Betriebe	72
Tabelle 29: Zusammensetzung der Bodenlösung (Durchschnitt aller Betriebe) im Freiland und GWH in mg L^{-1} und Standardabweichung (SD) im Freiland (FL) und GWH in mg L^{-1}	73
Tabelle 30: Optimalbereiche (Soll) zu gemessenen Mittelwerten im Freiland und im GWH am Sorptionskomplex in % (Sollwerte aus ÖNORM (2004). Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau	73
Tabelle 31: Nährstoffgehalte der verschiedenen P-Pools in kg ha^{-1} und Standardabweichung (SD) in kg ha^{-1} im Durchschnitt aller Betriebe	73
Tabelle 32: Nährstoffgehalte der verschiedenen K-Pools in kg ha^{-1} und Standardabweichung (SD) in kg ha^{-1} im Durchschnitt aller Betriebe	74
Tabelle 33: Nährstoffgehalte der verschiedenen Mg-Pools in kg ha^{-1} und Standardabweichung (SD) in kg ha^{-1} im Durchschnitt aller Betriebe	74

Literaturverzeichnis

AMA. (2016). *AMAINfo Marktinformationen*. Abgerufen am 6. März 2017 von <https://amainfo.at/ueber-uns/marktinformationen/>

Anonym. (2007). *Umsatz der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis*. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.

Bergmann, W. (1993). *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Dritte, erweiterte Auflage*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena.

Bio-Austria. (2017). *Düngungsrichtlinien*. Abgerufen am 15. Februar 2017 von <http://www.bio-austria.at/bio-bauern/beratung/richtlinien/bio-austria-richtlinien/duengungsrichtlinien/>

Blom, M. (25. 11 2011). Organic greenhouses: Development fo the regulatory framework within Europe. *Acta horiculturae* 915 , S. 31-38.

Blume, H., Stahr, K., & Leinweber, P. (2011). *Bodenkundliches Praktikum. 3., neubearbeitete Auflage*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Bodenschutz, F. (Juli 2016). *Bodenqualität in Gewächshäusern mit bodenabhängiger Produktion, Faktenblatt*. Abgerufen am 13. Februar 2017 von Kanton Zürich, Baudirektion: http://www.aln.zh.ch/internet/audirektion/aln/de/aktuell/mitteilungen/2016/Gewaechshaus-Untersuchung/_jcr_content/contentPar/downloadlist/downloaditems/321_1470638659106.spooler.download.1481270521592.pdf/Faktenblatt-Bodenqualität+in+Gewächshäusern.pdf

Breuer, J., Drescher, G., Schenkel, H., & Schwador, K. (1997). *Hohe Kompostqualität ist möglich, räumliche und zeitliche Variabilität der Inhaltsstoffe von Komposten*. Baden-Württemberg: Ministerium für Umwelt und Verkehr.

Coleman, E. (2014). The Design and Management of Moveable Pipe-Frame, Plastic-Covered Greenhouses for Year-Round Organic Vegetable Production without Supplementary Heating. *Acta Hort.* 1041 , S. 311-314.

Cuijpers, W., Burgt, G. v., & Voogt, W. (2008). Nitrogen balances in Dutch organic greenhouse production. *16th IFOAM Organic World Congress* (S. 16-20). Modena, Italy: Organic eprints.

Cuijpers, W., van der Burgt, G., & Voogt, W. (2008). Nitrogen balances in Dutch organic greenhouse production. *Proc. of the 16th IFOAM World Congress*, (S. 16-20). Modena, Italy.

Dewes, T., & Hünsche, E. (15. Mai 1998). Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farms. *Agriculture & Horticulture* 16:3 , S. 251-268.

eBoD. (2017). eBOD. Abgerufen am 06. Februar 2017 von http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&146=true&gui_id=eBOD

Fiedler, H. (2001). *Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsräumen*. Renningen-Malmsheim: Expert Verlag.

George, E., & Eghbal, R. (2003). *Ökologischer Gemüsebau. Handbuch für Beratung und Praxis. 1. Auflage*. Mainz: Bioland Verlags GmbH.

IFOAM. (2012). *Crop rotation: Benefiting farmers, the environment and the economy*. Abgerufen am 16. Februar 2017 von http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/ngo_policy_crop_rotation_legume_cultivation_position_201207.pdf

IFOAM. (2013). *Position Paper on Organic Greenhouse production*. Abgerufen am 7. Februar 2017 von http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/ifoameu_reg_greenhouse_production_position_201302.pdf

IFOAM. (2014). *The IFOAM Norms for Organic Production and Processing. Version 2014*. Abgerufen am 7. Februar 2017 von http://www.ifoam.bio/sites/default/files/ifoam_norms_version_july_2014.pdf

Köhler, W., Schachtel, G., & Voleske, P. (2012). *Biostatistik. Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Kommission, E. (2007). *Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91*. Abgerufen am 13. Februar 2017 von <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32007R0834>

Kommission, E. (2008). *Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsich*. Abgerufen am 13. Februar 2017 von <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32008R0889>

Köster, W., & Nieder, R. (2007). *Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar?* Abgerufen am 14. Februar 2017 von http://www.beratung-mal-anders.de/pdf/Wann_ist_eine_Grundduengung_wirtschaftlich_DIN_A_4.pdf

Lernoud, J., & Willer, H. (2016). Current Statistics on Organic Agriculture Worldwide: Area, Producers, Markets, and Selected Crops. In H. Willer, & J. Lernoud, *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2016*. (S. 33-116). Bonn: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) and IFOAM-Organics International.

Möller, K., & Schultheiß, U. (2014). Organische Handelsdüngermittel im ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlung für die Praxis. *KTBL-Schrift 499*. Darmstadt: KTBL.

ÖNORM S 2122-1. (2004). *Erden aus Abfällen. Teil 1: Fraktionierte Analyse-Untersuchungsmethoden*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM S 2122-2. (2004). *Erden aus Abfällen. Teil 2: Bewertung auf Basis der fraktionierten Analyse*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

Röber, R., & Schacht, H. (2008). *Pflanzenernährung im Gartenbau*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (2010). *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Shannon, M., & Grieve, C. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78 , S. 5-38.

Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant nutrition of Greenhouse Crops*. Dordrecht: Springer.

Statistik Austria. (2016). *Gartenbau- und Feldgemüseanbauerhebung 2015*. Wien: Statistik Austria.

Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., & Schmitt, L. (2004). *Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL).

Tittarelli, F., Bath, B., Ceglie, F., Garcia, M. M., Reents, H., Védie, H., et al. (2016). *Soil fertility management in organic greenhouses in Europe*. BioGreenhouse COST Action FA 1105, www.biogreenhouse.org.

Unterfrauner, H. (September 2010). Ein ganzheitliches Konzept stellt sich vor. Nährstoffe im Boden anders bewerten. *Landwirtschaft ohne Pflug* 9/10 , S. 40-43.

Van der Lans, C., Meijer, R., & Blom, M. (25. November 2011). A View of Organic Greenhouse Horticulture Worldwide. *Acta horticulturae* 915 , S. 15-21.

Voogt, W. (2014). Soil Fertility Management in Organic Greenhouse Crops; a Case Study on Fruit Vegetables. *Acta Hort.* 1041 , S. 21-35.

Voogt, W. (1999). Water and mineral balances of organically grown vegetables under glass. *Acta Hortic.* 506 , S. 51-58.

Willer, H., & Schaack, D. (2016). Organic Farming and Market Development in Europe. In H. Willer, & J. Lernoud, *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2016*. Bonn: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) and IFOAM-Organics International.

Willer, H., Schaack, D., & Bteich, M. (2014). *Wachstumstrends des Öko-Lebensmittelsektors und des ökologischen Landbaus in Europa*. Brüssel: IFOAM EU Group.

Zikeli, S., & Deil, L. (2016). *The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of Organic greenhouses in Southern Germany*. Stuttgart: Universität Hohenheim.

Anhang

Bodenparameter im Durchschnitt aller Betriebe

Tabelle 27: Basisparameter Durchschnitt aller Betriebe

	pH-Wert (Wasser)	pH-Wert (KCl)	Salzgehalt [mS cm ⁻¹]
Freiland	7,7 ^a	7,1 ^a	0,4 ^a
GWH	7,3 ^a	7,2 ^a	3,9 ^b
SD_{FL}	0,8	0,7	0,2
SD_{GWH}	0,3	0,4	2,7

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 28: Basisparameter Durchschnitt aller Betriebe

	Kalkgehalt [%]	Org. Bodensubst. [%]	C/N-Verhältnis
Freiland	13,9 ^a	5,1 ^a	10,7 ^a
GWH	9,3 ^a	8,4 ^a	13 ^b
SD_{FL}	18,2	1,0	1,2
SD_{GWH}	15,0	4,4	1,4

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 29: Zusammensetzung der Bodenlösung (Durchschnitt aller Betriebe) im Freiland und GWH in mg L⁻¹ und Standardabweichung (SD) im Freiland (FL) und GWH in mg L⁻¹

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	P
Freiland	45,6 ^a	13,2 ^a	28,4 ^a	3,4 ^a	18,0 ^a	16,8 ^a	12,0 ^a	0,2 ^a	1,5 ^a
GWH	408 ^b	251 ^b	356 ^b	159 ^b	256 ^b	1300 ^b	287 ^b	2,4 ^a	3,4 ^b
SD_{FL}	14,6	10,1	35,3	2,2	10,1	10,7	20,2	0,4	1,3
SD_{GWH}	265	261	396	150	242	1224	442	4,3	2,2

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 30: Optimalbereiche (Soll) zu gemessenen Mittelwerten im Freiland und im GWH am Sorptionskomplex in % (Sollwerte aus ÖNORM (2004). Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺
Soll	65-80	12-17	2-5	<1	<10
Freiland	66,3 ^a	17,7 ^a	3,9 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a
GWH	62,3 ^a	23,2 ^b	6,6 ^a	1,6 ^b	6 ^a

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 31: Nährstoffgehalte der verschiedenen P-Pools in kg ha⁻¹ und Standardabweichung (SD) in kg ha⁻¹ im Durchschnitt aller Betriebe

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar	Organisch
Freiland	2,8 ^a	24,2 ^a	1270 ^a	647 ^a
GWH	8,1 ^b	103,2 ^b	1630 ^a	628 ^a
SD_{FL}	2,5	27,1	498	182
SD_{GWH}	5,7	62,4	626	315

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 32: Nährstoffgehalte der verschiedenen K-Pools in kg ha⁻¹ und Standardabweichung (SD) in kg ha⁻¹ im Durchschnitt aller Betriebe

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar
Freiland	26,8 ^a	301 ^a	1050 ^a
GWH	395 ^b	556 ^a	730 ^a
SD_{FL}	34,4	273	876
SD_{GWH}	407	448	584

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Tabelle 33: Nährstoffgehalte der verschiedenen Mg-Pools in kg ha⁻¹ und Standardabweichung (SD) in kg ha⁻¹ im Durchschnitt aller Betriebe

	Wasserlöslich	Austauschbar	Nachlieferbar
Freiland	13,1 ^a	380 ^a	36.980 ^a
GWH	270 ^b	599 ^b	25.240 ^a
SD_{FL}	10,5	209	63.610
SD_{GWH}	267	261	46.659

Anmerkung: Gruppen mit unterschiedlichen Kennbuchstaben (a, b) unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau

Daten Nährstoffbilanzierung Betrieb A

2016	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	477	53	205	368	62	113
Output	368	63	581	28	45	30
Saldo	109	-10	-376	339	18	82
2015	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	292	45	144	317	55	56
Output	182	35	247	34	22	19
Saldo	110	11	-103	283	33	36
2014	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	242	38	124	309	53	53
Output	332	45	398	43	50	27
Saldo	-90	-7	-274	266	3	25
2013	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	431	48	184	353	60	105
Output	266	46	473	28	38	24
Saldo	165	3	-289	326	22	82
2012	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	246	44	138	635	74	83
Output	159	89	267	28	30	16
Saldo	87	-45	-129	607	44	67

Daten Nährstoffbilanzierung Betrieb B

2016	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	486	156	432	1501	200	112
Output	426	76	795	31	66	32
Saldo	60	80	-363	1469	134	80
2015	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	497	147	462	1505	195	124
Output	396	71	750	28	64	28
Saldo	101	76	-287	1477	130	96
2014	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	20	22	14	6	8	14
Output	76	11	100	10	5	6
Saldo	-56	11	-86	-4	4	8

2013	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	15	19	10	6	7	14
Output	67	9	88	9	4	6
Saldo	-52	10	-78	-3	3	8
2012	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	340	77	267	690	88	85
Output	396	71	750	28	64	28
Saldo	-56	6	-483	662	24	57
2011	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	119	25	265	20	39	155
Output	396	71	750	28	64	28
Saldo	-277	-46	-484	-8	-25	127
2010	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	192	26	124	15	8	83
Output	146	23	179	7	17	16
Saldo	46	4	-55	8	-9	67
2009	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	311	89	345	103	41	212
Output	430	76	800	34	66	35
Saldo	-119	14	-455	69	-26	177

Daten Nährstoffbilanzierung Betrieb C

2016	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	423	81	652	1654	535	1027
Output	171	43	285	18	29	13
Saldo	252	38	367	1636	506	1014
2015	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1529	310	1414	4222	860	469
Output	153	38	256	16	26	11
Saldo	1375	272	1158	4206	834	457
2014	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1129	208	1123	2640	576	316
Output	560	100	1059	40	91	40
Saldo	569	107	63	2601	486	276
2013	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	793	143	879	1879	454	260

Output	494	76	607	25	58	54
Saldo	299	67	272	1855	396	206
2012	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1195	662	1239	4378	865	378
Output	242	61	404	26	41	18
Saldo	952	602	836	4353	824	360
2011	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	867	130	918	1946	488	270
Output	465	83	879	33	75	33
Saldo	402	46	38	1913	413	238

Daten Nährstoffbilanzierung Betrieb D

2016	N	P	K	Ca	Mg	S
Eintrag	594	114	764	425	170	136
Entzug	547	110	987	70	107	58
Saldo	47	4	-223	355	64	78
2015	N	P	K	Ca	Mg	S
Eintrag	593,6	114,0	764,4	425,4	170,4	135,8
Entzug	546,8	109,7	987,5	70,2	106,6	58,0
Saldo	46,8	4,3	-223,1	355,2	63,8	77,7
2014	N	P	K	Ca	Mg	S
Eintrag	593,6	114,0	764,4	425,4	170,4	135,8
Entzug	546,8	109,7	987,5	70,2	106,6	58,0
Saldo	46,8	4,3	-223,1	355,2	63,8	77,7
2013	N	P	K	Ca	Mg	S
Eintrag	593,6	114,0	764,4	425,4	170,4	135,8
Entzug	546,8	109,7	987,5	70,2	106,6	58,0
Saldo	46,8	4,3	-223,1	355,2	63,8	77,7
2012	N	P	K	Ca	Mg	S
Eintrag	593,6	114,0	764,4	425,4	170,4	135,8
Entzug	546,8	109,7	987,5	70,2	106,6	58,0
Saldo	46,8	4,3	-223,1	355,2	63,8	77,7

Daten Nährstoffbilanzierung Betrieb E

2016	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1028	165	918	809	165	183
Output	628	120	1166	51	103	47
Saldo	400	46	-248	758	63	136
2015	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1359	210	1071	1196	203	249
Output	522	100	952	45	82	42
Saldo	837	110	119	1151	120	208
2014	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	1352	210	1071	1196	203	247
Output	527	101	960	46	83	42
Saldo	825	110	111	1150	120	205
2013	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	805	118	521	896	151	182
Output	527	101	960	46	83	42
Saldo	278	18	-439	850	69	140
2012	N	P	K	Ca	Mg	S
Input	805	118	521	896	151	182
Output	527	101	960	46	83	42
Saldo	278	18	-439	850	69	140

Fragebogen zur Masterarbeit

Bodenfruchtbarkeit im geschützten Fruchtgemüseanbau

Allgemeine Daten

Betriebsname:

Umstellungszeitpunkt:

Verbandszugehörigkeit:

Klimadaten

Höhenlage:

Niederschlag/Jahr in mm:

Mittlere Jahrestemperatur:

Standortdaten (am gewachsenen Boden)

Grundwasserstand:

Bodentyp:

Bodenzahl:

Horizontierung/Gründigkeit:

Infiltrationsvermögen:

Wasserhaltevermögen (Feldkapazität):

Betriebsgröße:

- Ackerbauha
- Grünlandha
- Gemüsebau Freiland ha
 Geschützt.....ha

Tierhaltung:

- Nein
 - Ja
- | Tierart | Anzahl |
|---------|--------|
| | |
| | |
| | |

Flächenbezogene Daten

Jahr:

Art des Gewächshauses:

Temperaturführung:

Kulturart (+Pflanzzeitpunkt und Kulturende):

- Nebenkultur:
- Hauptkultur:
- Nebenkultur:

Daten für flächenbezogene Nährstoffbilanz

Nährstoff Input

Zugekaufte Dünger:

Analysen vorhanden:

☐ Nein

☐ Ja

.....

☐ Mineralisch

Art (Qualität)

Menge (kg/Jahr)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

☐ Organisch

Art (Qualität)

Menge (kg/Jahr)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Ernterückstände:

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Art

Menge (kg/ha)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Zwischenbegrünung:

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Kulturart

Zeitraum

Saatdichte

.....

.....

.....

Zugekaufte Samen

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Art

Menge

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Zugekaufte Pflanzen

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Art

Menge

.....

.....

Gießwasser:

Menge (l/ha/Jahr)

.....

Gießwasseruntersuchung vorhanden:

- ☐ Ja
- ☐ Nein

Nährstoff Output

Erntegut:

Kultur

Menge (kg/ha)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Abgeführte Ernterückstände:

Art

Menge (kg/ha)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Gibt es weitere Ergebnisse von Bodenuntersuchungen in ihrem Betrieb? (Hinsichtlich Versalzung, Schadstoffe, Pcal oder Kcal)

- ☐ Nein
- ☐ Ja

.....