

**Universität für Bodenkultur Wien**

University of Natural Resources and Life Science, Vienna

**Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein**

Dienststelle des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus



Masterarbeit

# Schwermetalle in Kompost: Auswirkungen auf Gemüse- und Kräuterkulturen

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieurin

Wien, 2020

**Eingereicht von:** Katharina Fraiß, B.Sc.

**Matrikelnummer:** 01440265

**Studienkennzahl:** UH 066 422

**Betreuer:** Univ.Doz. Dipl.-Ing. Dr. Karl Buchgraber

 **HBLFA**  
Raumberg-Gumpenstein  
Landwirtschaft



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zu aller erst möchte ich meinem Betreuer Dr. Karl Buchgraber danken, der mir die Gelegenheit gegeben hat, an seinem langjährigen Versuch in Bärnbach mitzuarbeiten und mich während der Erstellung unterstützt und beraten hat.

Dieser Fruchtfolgeversuch hätte nie ohne die Saubermacher Dienstleistungs AG durchgeführt werden können, daher möchte ich mich auch für diese Unterstützung herzlich bedanken.

Ein weiterer Dank gilt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und allen Mitarbeitern, die an diesem Projekt beteiligt waren, ihre Ergebnisse und Daten zur Verfügung gestellt haben und offen waren für meine Fragen hatten.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung bedanken, die sie mir während der anstrengenden Zeit der Erstellung meiner Masterarbeit zukommen haben lassen. Ein besonderer Dank gilt Sabine, die die Masterarbeit Korrektur gelesen hat und immer ein offenes Ohr für mich hatte.

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **Kurzfassung**

Die Verwendung verschiedener organischer Abfallstoffe, wie Klärschlamm oder Bioabfall, wird in der Landwirtschaft oft kritisch betrachtet, da sich Schadstoffe, wie Schwermetalle, darin befinden können. Das Kompostieren soll die Gefahr der Kontamination von Böden und Ernteprodukten mit Schwermetallen abschwächen und die organischen Abfallstoffe in den Nährstoffkreislauf integrieren. Im Rahmen eines Exaktversuches in Bärnbach/Steiermark wurden die Auswirkungen von fünf Düngungsvarianten (ungedüngt, Biokompost, NPK-Dünger Stallmistkompost, Klärschlammkompost) auf einer 6-schlägigen Fruchtfolge über mehrere Jahre beobachtet.

Diese Arbeit befasst sich mit Gemüse- und Kräuterkulturen und deren Fähigkeit Schwermetalle (B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) aufzunehmen und zu speichern.

Es zeigt sich, dass die Schwermetall-Aufnahmefähigkeit stark von den einzelnen Kulturen abhängig ist. Außerdem zeigt sich, dass sich die Schwermetalle in unterschiedlichen Pflanzenteilen ablagern können und sich nicht gleichmäßig in der Pflanze verteilen. Die Düngungsvarianten zeigten keine Unterschiede in den Schwermetallgehalten, die in den Gemüse- und Kräuterkulturen gefunden wurden. Deshalb kann daraus der Schluss gezogen werden, dass die Schwermetalle durch die Kompostierung an die organische Substanz gebunden wurden und die Pflanzenverfügbarkeit herabgesetzt wurde.

## **Abstract**

The use of different organic waste materials, like sewage sludge or green waste, is under criticism in agriculture because it contains pollutants like heavy metals. Composting is intended to reduce this risk of contamination with heavy metals. This would be a possibility to integrate these organic waste materials into the nutrient cycle. As part of a field study in Bärnbach/Styria, the effect of 5 fertilizers (unfertilized, green waste compost, NPK, manure compost, sewage sludge compost) on a crop rotation with 6 different cultures were observed over several years.

This work deals with vegetable and herbs and their ability to absorb and store heavy metals (B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn).

The results show that the absorption capacity is strongly dependent on the individual crops. The heavy metals can be deposited in different parts of the plant and are not uniformly distributed in the plant. The 5 fertilizers did not show any differences in the heavy metal contents which were found in the crops. It can be concluded that the heavy metals were bound to the organic substance by composting and that the bioavailability of the heavy metals was reduced.

## Vorwort

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Analyse eines langjährigen Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach und damit die Auswirkungen auf das System Boden-Pflanze-Mensch aufzuzeigen. Auf der Versuchsfläche wurden verschiedene Düngungsvarianten (Stallmistkompost, Biokompost, Klärschlammkompost, Mineraldüngung mit einem NPK-Dünger) eingesetzt und die Auswirkungen auf Boden und Pflanzen gemessen. Die Fruchtfolge war 6-schlägig und umfasste die Kulturen Winterweizen, Winterraps, Kürbis, Kartoffel, Sommergerste und diverse Kräuter- und Gemüsekulturen. Dieser Fruchtfolgeversuch wurde im Jahr 2002 in Kooperation mit der Saubermacher Dienstleistungs AG angelegt, jedoch gab es einen Vorversuch auf dieser Versuchsfläche, der im Jahr 1995 begann (BUCHGRABER, 2002).

Die Düngungsvarianten und der Boden wurden auf die unterschiedlichen Schwermetallgehalte untersucht, um feststellen zu können, inwiefern sich die Schwermetalle im System ablagern.

Insbesondere in Kräuter- und Gemüsekulturen ist der Schwermetallgehalt bedeutend, da große Mengen dieser Pflanzen direkt und unverarbeitet von Menschen konsumiert werden. Daher ist es wesentlich, in welchen Pflanzenteilen sich die Schwermetalle ablagern und ob diese Pflanzenteile konsumiert werden.

Der Einsatz von Klärschlammkompost soll auch im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft und einer effektiven Nutzung unserer begrenzten Ressourcen betrachtet werden. Da der Klärschlamm nicht nur eine Senke für Abfallstoffe ist, sondern auch wertvolle Nährstoffe enthält, stellt der Klärschlamm eine große Nährstoffquelle dar.

In Österreich werden große Teile des anfallenden Klärschlammes verbrannt oder deponiert und nur zum Teil in der Landwirtschaft eingesetzt. In einigen Bundesländern (Salzburg, Wien, Tirol) gibt es ein Ausbringungsverbot für Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen. Im Hinblick auf die Klimaziele und die SDG (Sustainable Development Goals) sollte der Umgang mit Klärschlamm in Österreich überdacht werden beim Versuch die Nährstoffkreisläufe zu schließen. Durch den Konsum von Erntegütern ist der Mensch ein Teil des Ökosystems und darf nicht außen vorgelesen werden.

Es ist deutlich erkennbar, dass es in der Verwendung von Klärschlamm in Österreich seit 1995 eine Verlagerung von der Deponierung hin zur Verbrennung gibt (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017). Damit wird der Klärschlamm zwar genutzt, aber die enthaltenen Nährstoffe gehen für den ökologischen Kreislauf verloren.

Da im Klärschlamm auch sehr viel Phosphor enthalten ist und Österreich sich aus der Abhängigkeit von Phosphorimporten lösen möchte, soll bis zum Jahr 2030 ein Anteil von 65-85% des anfallenden Klärschlammes zur Phosphorrückgewinnung genutzt werden. Die Phosphorrückgewinnung stellt angeblich eine sicherere Methode dar, mit der der Phosphor aus dem Klärschlamm in der Landwirtschaft genutzt werden kann, als die bisherige Verwendung des Klärschlammes und des Klärschlammkomposts (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017). Trotz der möglichen Schadstoffbelastung sollte die Anwendung der Kompostierung zur Klärschlammnutzung überdacht werden, da sich im Klärschlamm nicht nur Phosphor befindet, sondern auch weitere wertvolle Makro- und Mikronährstoffe.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung</b>	<b>8</b>
2.1	Forschungsfragen	9
<b>3</b>	<b>Schwermetalle</b>	<b>10</b>
3.1	Charakterisierung der Schwermetalle	10
3.2	Gesetzliche Normen für Schwermetallgehalte im Boden und in Nahrungsmitteln	10
3.2.1	Gesetzliche Normen für Schwermetalle im Boden	10
3.2.2	Gesetzliche Normen für Schwermetalle in Nahrungsmitteln	11
3.3	Schwermetalle im Klärschlamm	12
3.4	Schwermetalle im Klärschlammkompost	12
3.5	Schwermetalle im Wirtschaftsdünger	13
3.6	Auswirkungen von Schwermetallen auf Pflanzen	14
3.6.1	Blei in Pflanzen	14
3.6.2	Bor in Pflanzen	15
3.6.3	Cadmium in Pflanzen	15
3.6.4	Chrom in Pflanzen	16
3.6.5	Cobalt in Pflanzen	16
3.6.6	Eisen in Pflanzen	16
3.6.7	Kupfer in Pflanzen	16
3.6.8	Mangan in Pflanzen	17
3.6.9	Molybdän in Pflanzen	17
3.6.10	Nickel in Pflanzen	17
3.6.11	Zink in Pflanzen	18
3.7	Auswirkungen von Schwermetallen in der menschlichen Ernährung	18
3.7.1	Blei in der menschlichen Ernährung	19
3.7.2	Bor in der menschlichen Ernährung	19
3.7.3	Cadmium in der menschlichen Ernährung	20
3.7.4	Chrom in der menschlichen Ernährung	20
3.7.5	Cobalt in der menschlichen Ernährung	20
3.7.6	Eisen in der menschlichen Ernährung	21
3.7.7	Kupfer in der menschlichen Ernährung	21
3.7.8	Mangan in der menschlichen Ernährung	22
3.7.9	Molybdän in der menschlichen Ernährung	22
3.7.10	Nickel in der menschlichen Ernährung	22
3.7.11	Zink in der menschlichen Ernährung	22
<b>4</b>	<b>Klärschlamm</b>	<b>23</b>
4.1	Zusammensetzung von Klärschlämmen	23
4.1.1	Nährstoffe im Klärschlamm	23

4.1.2	Schwermetalle im Klärschlamm	23
4.1.3	Sonstige Bestandteile von Klärschlämmen	23
4.2	Klärschlammverwertung	24
4.2.1	Deponierung	24
4.2.2	Thermische Verfahren	24
4.2.3	Landwirtschaftliche Nutzung	25
4.2.4	Kompostierung	25
4.3	Klärschlammverwendung in Österreich	26
<b>5</b>	<b>Charakterisierung der untersuchten Kräuter- und Gemüsekulturen</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>30</b>
6.1	Datengrundlage	30
6.2	Versuchsstandort	30
6.3	Versuchsaufbau	31
6.4	Düngungsvarianten	33
6.5	Untersuchte Merkmale	33
6.6	Statistische Auswertung	33
<b>7</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>34</b>
7.1	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Blei	34
7.2	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Bor	39
7.3	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Cadmium	42
7.4	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Chrom	46
7.5	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Cobalt	48
7.6	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Eisen	51
7.7	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Kupfer	54
7.8	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Mangan	57
7.9	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Molybdän	60
7.10	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Nickel	63
7.11	Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Zink	65
7.12	Ergebnisse und Diskussion der Transferfaktoren	69
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>73</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>78</b>
<b>12</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>81</b>
<b>13</b>	<b>Anhang</b>	<b>83</b>
<b>14</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>84</b>

# 1 Einleitung

Schadstoffe in der Umwelt und in Lebensmitteln belasten Ökosysteme und können diverse Folgen nach sich ziehen. Besonders Schwermetalle in Lebensmitteln können zu gesundheitlichen Problemen bei Menschen führen, wenn sie in zu hohen Dosen aufgenommen werden. Aber auch in Pflanzen führen zu hohe Schwermetallgehalte zu Schädigungen. Der Grundsatz von Paracelsus, dass erst die Dosis das Gift macht, kann auch bei Schwermetallen angewendet werden. Viele Schwermetalle sind trotzdem lebensnotwendige Spurennährstoffe, die von Lebewesen und Pflanzen benötigt werden. Damit ergibt sich ein kniffliger Zwiespalt zwischen essenziellem Spurennährstoff und toxischem Bestandteil.

## 2 Zielsetzung und Abgrenzung der Fragestellung

Diese Masterarbeit hat das Ziel, die gesammelten Daten zu den Schwermetallgehalten in den Gemüse- und Kräuterkulturen aus dem Exaktversuch in Bärnbach auszuwerten und diesen Aspekt genauer zu betrachten. Es ist nicht das Ziel dieser Masterarbeit, die gesamten gesammelten Daten auszuwerten. Im Rahmen dieses Projekts wurden mehrere Bachelor- und Masterarbeiten erstellt, die sich mit den diversen Aspekten dieses Versuchs beschäftigen.

In dieser Masterarbeit werden nur die Gemüse- und Kräuterkulturen betrachtet. Die restlichen Kulturen, wie zum Beispiel Raps oder Getreide, wurden von anderen Projektmitgliedern im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten bearbeitet.

Folgende Arbeiten wurden im Rahmen dieses Projekts von Studierenden der Universität für Bodenkultur erstellt und geben weitere Informationen zum Exaktversuch in Bärnbach wieder:

- Gibt es negative Auswirkungen von Klärschlammkompost auf Boden und Pflanze hinsichtlich Schwermetallgehalte und Schwermetallbilanzen? (Maria Ebner)
- Auswirkungen einer langjährigen Klärschlamm- und Biokompostdüngung auf den Schwermetallgehalt von Feldfutter (Sandra Kapp)
- Gibt es Unterschiede in der Nährstoffversorgung bei Kürbis hinsichtlich Komposte und mineralische NPK-Düngung auf Ertrag und Schwermetallbelastung? (Julia Moser, Christiane Mayr, Laura Sturm)
- Welche Auswirkungen hat die langjährige Anwendung von Klärschlammkompost auf das Gemüse hinsichtlich Ertrags, Boden und Schwermetallbelastung? (Martin Bauer, Thomas Förstel)
- Wie wirkt sich die Düngung mit Klärschlammkompost auf Silomais nach 16 Jahren Monokultur hinsichtlich Ertrags und Schwermetallgehalt im Futter aus (Sebastian Wieser, Florian Trummer)
- Wohin gehen bei der Kartoffel die Schwermetalle aus dem Klärschlammkompost – Blatt oder Knolle? (Michael Permoser, Dominik Razenberger, Gabriel Schiffner)
- Auswirkungen von Biokompost, Stallmistkompost und Klärschlammkompost auf Ertrag und Schwermetallgehalte im Boden und in der Pflanze (Hannes Bogensperger, Markus Harrer, Ralf Wagner)
- Die Auswirkungen von Klärschlammkompost auf Ertrag und Inhaltsstoffe bei Getreide und Raps (Alexander Schwab)

## 2.1 Forschungsfragen

In dieser Masterarbeit werden die folgenden vier Forschungsfragen bearbeitet:

- Gibt es Unterschiede in den Schwermetallgehalten in den Kulturpflanzen hinsichtlich der Düngungsvarianten?
- Welche Unterschiede zeigen sich in der Schwermetallaufnahme zwischen den verschiedenen Kulturen?
- In welchen Pflanzenteilen lagern sich die aufgenommenen Schwermetalle größtenteils in der Kulturpflanze ab?
- Stellen die geernteten Produkte des Fruchtfolgeversuchs eine Gefahr für die menschliche Ernährung dar?

## 3 Schwermetalle

### 3.1 Charakterisierung der Schwermetalle

Für Schwermetalle gibt es sehr viele unterschiedliche Definitionen, aber größtenteils werden Schwermetalle als Metalle bezeichnet, die eine Dichte von 3,5 bis 5 g/cm<sup>3</sup> aufweisen (AMELUNG et al., 2018). Die Dichte sagt aber noch nichts über die chemischen Eigenschaften der Gruppe der Schwermetalle aus, die aus ungefähr 40 Elementen besteht (FUHRMANN, 2006). Einige Schwermetalle sind essenzielle Nährstoffe für Lebewesen, wie Chrom (Cr), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Kupfer (Cu) und Zink (Zn). Einige Schwermetalle haben zudem keine physiologischen Nutzen, wie es bei Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg) und Blei (Pb) der Fall ist (AMELUNG et al., 2018). In Hinblick auf die Wechselwirkungen mit Organismen ist zu beachten, dass Schwermetalle in rein metallischer Form eher selten mit Organismen reagieren. Die löslichen Salze der Schwermetalle haben größtenteils giftige Wirkung (FUHRMANN, 2006).

Schwermetalle können grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten in den Boden gelangen. Zum einen können Schwermetalle durch Verwitterung von Gestein freigesetzt werden oder die Schwermetalle kommen durch den Menschen in den Boden, durch sogenannte anthropogene Quellen. Zu den anthropogenen Quellen zählen die Industrie, Kraftfahrzeuge, Verbrennungsanlagen, Abfälle, Abwässer, Dünger und Pflanzenschutzmittel. Im Hinblick auf die Belastung von Böden ist jedoch zu beachten, dass Schwermetalle schon in geringen Konzentrationen toxische Wirkungen entfalten können. Schwermetalle sind natürliche Bestandteile von Böden und Gesteinen und können nicht durch Mikroorganismen oder chemische Prozesse abgebaut werden (AMELUNG et al., 2018).

### 3.2 Gesetzliche Normen für Schwermetallgehalte im Boden und in Nahrungsmitteln

Der Schutz der Böden und die Verwendung von Klärschlämmen fallen in Österreich in die Gesetzgebung der Länder, weshalb es für jedes Bundesland eigene Rechtsvorschriften gibt. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den gesetzlichen Vorschriften in Bezug auf Schwermetallgehalte, die im Boden und in Düngern zulässig sind und im Weiteren welche Auswirkungen Schwermetalle auf Pflanzen und den Menschen haben können.

Anders ist die Gesetzeslage bei Nahrungsmitteln, denn die Grenzwerte für Nahrungsmittel werden von der Europäischen Kommission auf Grund der Risikobewertungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) festgelegt. Zusätzlich gibt auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Empfehlungen für die Aufnahme von Schadstoffen heraus.

#### 3.2.1 Gesetzliche Normen für Schwermetalle im Boden

Die Tabelle 1 zeigt die in Österreich und der EU zugelassenen Bodengrenzwerte für Schwermetalle in mg/kg. Ausgenommen sind die die Bundesländer Wien, Salzburg und Tirol, da in diesen Bundesländern die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen untersagt ist und daher auch keine Grenzwerte definiert sind.

Tabelle 1 Grenzwerte für den Schwermetallgehalt im mg/kg in landwirtschaftlichen Böden in der EU, Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich, Kärnten, Burgenland und Vorarlberg

Schwermetallgrenzwerte in landwirtschaftlichen Böden in mg/kg							
Schwermetall	EU	Steiermark	Oberösterreich <sup>[1]</sup>	Niederösterreich	Kärnten <sup>[2]</sup>	Burgenland <sup>[4]</sup>	Vorarlberg <sup>[3]</sup>
Zink	150-300	150	150	200	100-150-200	300	300
Kupfer	50-140	60	60	60	40-50-100	100	120
Chrom	-	100	100	100	50-75-100	100	200
Blei	50-300	100	100	100	50-70-100	100	200
Nickel	30-75	60	60	50	30-50-70	60	120
Cadmium	1-3	0,5	0,5	1,5, 1 bei pH < 6	0,5-1-1,5	2	1
Quecksilber	1-1,5	0,5	0,5	1	0,2-0,5-1	1,5	1
Tabelle in Anlehnung an AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, 2000; AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2015; RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1986; AMT DER BURGENLÄNDISCHEN LANDESREGIERUNG, 1991; AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 1986; AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2006a; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007							
[1] Vorsorgewerte							
[2] Bodengrenzwerte abhängig vom Parameter pH-Wert: 5<pH<5,5 – 5,5<pH<6,5 – pH>6,5							
[3] Bodengrenzwerte							
[4] Grenzwerte für Schadstoffe im Boden bei Aufbringung von Klärschlamm oder Müllkompost							

Die Tabelle 1 zeigt auf, dass sich die Grenzwerte für Schwermetalle im Boden in den österreichischen Bundesländern teilweise stark unterscheiden und es wird auch mit verschiedenen Begriffen gearbeitet. So finden sich in den Rechtsvorschriften aus Oberösterreich und Vorarlberg sogenannte Vorsorgewerte für Böden. Wenn diese Werte im Boden überschritten werden, treten Maßnahmen in Kraft, wie die Beschränkung der Ausbringung von bestimmten Materialien auf den Boden (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 1986). In Kärnten gelten besondere Bodengrenzwerte, die vom pH-Wert des Bodens abhängig sind, weshalb drei pH-Kategorien definiert wurden. Diese Lösung bezieht die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle mit ein, denn viele Schwermetalle werden bei niedrigen pH-Werten leichter von Pflanzen aufgenommen (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

### 3.2.2 Gesetzliche Normen für Schwermetalle in Nahrungsmitteln

Für die Belastung von Lebensmitteln mit Schwermetallen und anderen Schadstoffen gibt es gesetzliche Regelungen der EU. Zusätzlich gibt es empfohlene Aufnahmemengen von Schwermetallen, die von der WHO oder der EFSA, mit Hilfe von Risikobewertungen erstellt werden. Für Gemüse hat die Europäische Kommission folgende Höchstgehalte an Metallen definiert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Höchstgehalt für die Blei und Cadmium in diversen Gemüseprodukten in mg/kg Frischgewicht

Schwermetall	Erzeugnis	Höchstgehalt in mg/kg Frischgewicht
Blei	Getreide, Hülsengemüse und Hülsenfrüchte	0,2
	Gemüse, ausgenommen Kohlgemüse, Blattgemüse, frische Kräuter und Pilze.	0,1
	Kohlgemüse, Blattgemüse und Kulturpilze	0,3
Cadmium	Gemüse und Früchte, ausgenommen Blattgemüse, frische Kräuter, Pilze, Stängelgemüse, Pinienkerne, Wurzelgemüse und Kartoffeln	0,05
	Blattgemüse, frische Kräuter, Kulturpilze und Knollensellerie	0,2
	Stängelgemüse, Wurzelgemüse und Kartoffeln, ausgenommen Knollensellerie	0,1
Tabelle in Anlehnung an KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2006		

Zusätzlich zu diesen Höchstgehalten an ausgewählten Schwermetallen hat die EFSA auch tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI – tolerable daily intake) definiert. Da sich eine Anreicherung dieser Schwermetalle negativ auf den menschlichen Körper auswirken kann. Die tolerierbaren täglichen Aufnahmemengen für Nickel liegen bei 2,8 µg/kg KG, für Cadmium bei 2,5 µg/kg KG und für Chrom (III) bei 0,3 µg/kg KG (EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2019).

### 3.3 Schwermetalle im Klärschlamm

Um das Risiko einer Kontamination zu mindern, haben die österreichischen Bundesländer Grenzwerte für den Gehalt an Schwermetallen in Klärschlamm definiert, der auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht wird. Tabelle 3 zeigt diese Grenzwerte für Klärschlämme.

Tabelle 3 Grenzwerte der EU, Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich und Burgenland für den Gehalt an Schwermetallen im Klärschlamm im mg/kg

<b>Schwermetallgrenzwerte in der Trockensubstanz von Klärschlämmen in mg/kg</b>					
<b>Schwermetalle</b>	EU	Steiermark	Oberösterreich	Niederösterreich	Burgenland <sup>[1]</sup>
<b>Zink</b>	2500-4000	1200	1600	1500	1000/2000
<b>Kupfer</b>	750-1000	300	400	300	300/500
<b>Chrom</b>	-	70	400	70	100/500
<b>Blei</b>	750-1200	100	400	100	100/500
<b>Nickel</b>	300-400	60	80	60	60/100
<b>Cadmium</b>	20-40	2	5	2	2/10

Tabelle in Anlehnung an AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2015; RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1986; AMT DER BURGENLÄNDISCHEN LANDESREGIERUNG, 1991; AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2006b; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007

[1] Schwermetallgrenzwerte in mg/kg für Güteklasse 1/Güteklasse 2

### 3.4 Schwermetalle im Klärschlammkompost

Für die Ausbringung von Klärschlammkomposten gibt es eigenen Regelungen und Grenzwerte, die beachtet werden müssen. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Grenzwerte für Klärschlammkomposte in Österreich.

Tabelle 4 Grenzwerte für den Gehalt an Schwermetallen in Klärschlammkompost in den Bundesländern Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich, Kärnten, Burgenland und Vorarlberg

<b>Schwermetalle</b>	<b>Steiermark<sup>[3]</sup></b>	<b>Oberösterreich</b>	<b>Niederösterreich</b>	<b>Kärnten<sup>[2]</sup></b>	<b>Burgenland<sup>[1]</sup></b>	<b>Vorarlberg</b>
<b>Einheit</b>	g/ha	g/ha	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
<b>Zink</b>	3000-1500	1200	1500	1800-1200-500-200	210- 000	1800
<b>Kupfer</b>	750-375	360	300	300-300-150-70	70-400	500
<b>Chrom</b>	175-88	300	70	100-70-70-70	70-150	200
<b>Blei</b>	250-125	400	100	150-150-150-45	70-500	100
<b>Nickel</b>	150-125	100	60	80-60-60-25	42-100	60
<b>Cadmium</b>	5-2,5	6	2	2,5-2-1-0,7	0,7-4	3

Tabelle in Anlehnung an AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, 2000; AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2015; AMT DER BURGENLÄNDISCHEN LANDESREGIERUNG, 1991; AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 1986; AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2006a; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007

[1] Werte beziehen sich auf Güteklasse 1 – Güteklasse 2  
 [2] Werte beziehen sich auf die Parameter Klasse B- Klasse AB- Klasse A- Klasse I  
 [3] Werte beziehen sich auf Ackerland - Grünland

Das Bundesland Salzburg wurde in der Tabelle 4 nicht behandelt da laut der Bodenschutzverordnung das Ausbringen von Klärschlammkompost auf Böden, die mittelbar oder unmittelbar zur Erzeugung von Lebensmitteln dienen, nicht gestattet ist (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 2016). Wien hat sowohl das Aufbringen von Klärschlamm, als auch von Klärschlammkompost auf unversiegelten Flächen verboten (AMT DER WIENER LANDESREGIERUNG, 2000b). Auch in Tirol ist das Aufbringen von Klärschlamm und Produkten, die Klärschlamm enthalten, verboten (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2000).

Teilweise liegen die Grenzwerte für den Klärschlammkompost höher als für die Ausbringung von reinem Klärschlamm. Die höheren Werte für den Klärschlammkompost beziehen sich dabei auf den höheren pH-Wert von Klärschlammkompost, der zwischen 7 und 9 liegen sollte (BILITEWSKI und HÄRDTLE, 2013). Bei einem hohen pH-Wert ist die Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen herabgesetzt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

### 3.5 Schwermetalle im Wirtschaftsdünger

Wie viele Schwermetalle sich in Düngern, Pflanzen- oder Bodenhilfsstoffen befinden dürfen, regelt die Düngemittelverordnung für ganz Österreich. Dabei wird zwischen den Grenzwerten in den Düngern und den Schwermetallfrachten unterschieden. Bei den Schwermetallfrachten geht es um die Menge an Schwermetallen, die auf die Flächen aufgebracht werden und bei den Grenzwerten in den Düngern geht es um die Menge an Schwermetallen, die sich in den Düngern befindet. Die folgenden Tabellen zeigen diese Regelungen aus dem Düngemittelgesetz (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2004).

Tabelle 5 Zulässige Schwermetallfrachten aus Düngern, Pflanzen- und Bodenhilfsstoffen in g/ha

Schwermetalle	g/ha innerhalb von 2 Jahren	g/ha innerhalb eines Jahres
<b>Zink</b>	3000	1500
<b>Kupfer</b>	700	350
<b>Chrom</b>	600	300
<b>Blei</b>	400	200
<b>Nickel</b>	400	200
<b>Cadmium</b>	10	5
<b>Quecksilber</b>	10	5

Tabelle in Anlehnung an die Düngemittelverordnung des BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2004

Tabelle 6 Schwermetallgrenzwerte für Dünger und Pflanzen- und Bodenhilfsstoffen in mg/kg TM

Schwermetalle	Düngemittel, Pflanzen- und Bodenhilfsstoffe	Mineralische Düngemittel mit > 5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Chrom VI</b>	2	2
<b>Blei</b>	100	100
<b>Nickel</b>	100	100
<b>Cadmium</b>	3	75 mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Quecksilber</b>	1	1

Tabelle in Anlehnung an die Düngemittelverordnung des BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2004

### 3.6 Auswirkungen von Schwermetallen auf Pflanzen

Schwermetalle sind grundsätzlich nicht toxisch, denn Einige können in Pflanzen wichtige Mikronährstoffe sein, andere können als Zellgifte wirken. Zu den Mikronährelementen in Pflanzen zählen die Schwermetalle Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Nickel, Molybdän und Cobalt. Die Schwermetalle Quecksilber, Blei, Cadmium, Chrom und Arsen können Zellgifte für Pflanzen sein (SCHULZE et al., 2002). Die lebensnotwendigen Mikronährelemente können bei zu hohen Konzentrationen eine giftige Wirkung entfalten, da die Nährstoffkonzentrationen von Mangel, Optimum und Überschuss für die Pflanze sehr eng beieinanderliegen (SCHULZE et al., 2002).

Über die Transportmechanismen der Wurzeln werden nicht nur die nötigen Nährelemente aufgenommen, sondern auch die toxisch wirkenden Schwermetalle, die in den Pflanzen die Atmung, Photosynthese, Enzyme, Nährstoffaufnahme und das Wachstum beeinträchtigen können (LARCHER, 1994). Die Konzentration des aufgenommenen Schwermetalls richtet sich dabei entweder nach der Konzentration des Schwermetalls im Erdreich oder der Fähigkeit der Pflanze dieses Element aufzunehmen (MÉRILLON und RAMAWAT, 2012). Ob Schadstoffe wie Schwermetalle über Pflanzen und den Boden in die menschliche Nahrungskette gelangen, hängt auch von den Bodenparametern, der Verfügbarkeit für die Pflanze und der Menge im Boden ab. Es gibt auch Schwermetalle, die über die Luft von Pflanzen aufgenommen werden können, wie Quecksilber und Arsen. Diese Schwermetalle verteilen sich dann in der ganzen Pflanze und können Erntegüter dadurch kontaminieren (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

In Böden ist der Schwermetallgehalt für die Aufnahme der nötigen Schwermetalle grundsätzlich genügend, meistens ist der Gesamtgehalt an Schwermetallen zu hoch. Der Gesamtgehalt an Schwermetallen im Boden ist für Pflanzen aber nicht allein ausschlaggebend, sondern nur die Verfügbarkeit dieser Metalle. Die Pflanzenverfügbarkeit ist daher abhängig von der Form der Schwermetalle (Ionen oder komplexe Strukturen), dem pH-Wert und dem Redoxpotential des Bodens (SCHULZE et al., 2002). Zusätzlich können Bodenfaktoren, wie Temperatur, Bodentextur, Kationenaustauschkapazität und Mikroorganismen, Einfluss auf die Verfügbarkeit von Schwermetallen haben. Jedoch haben auch die kultivierten Pflanzen und deren Transpirationsrate einen Einfluss auf die Verfügbarkeit. Zusätzlich sind Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen Schwermetallen sehr komplex und noch nicht vollständig erforscht (GUPTA et al., 2019). Der Gehalt an organischer Substanz im Boden ist auch ein entscheidender Faktor für die Verfügbarkeit von Schwermetallen, denn die organische Masse kann die Schwermetalle binden und ihre toxische Wirkung abschwächen (KHAN et al., 2015).

Durch die Fähigkeit von Pflanzen Schwermetalle aufzunehmen, können sie in Gruppen eingeteilt werden. Pflanzen können akkumulierend, hyperakkumulierend und ausschließend sein in ihrer Schwermetallaufnahmefähigkeit (KHAN et al., 2015). Hyperakkumulatoren werden auch Metallzeigerpflanzen genannt und haben Stoffwechselmechanismen entwickelt, um Schwermetalle entweder auszuschließen, zu entgiften oder aufzunehmen und einzulagern. (SCHULZE et al., 2002). Zu diesen Mechanismen zählen die Immobilisierung von Schwermetallen in den Zellwänden, das erschwerte Eindringen in die Plasmagrenzschichten, die Chelatbildung im Cytoplasma und die Kompartimentierung in den Vakuolen (LARCHER, 1994).

#### 3.6.1 Blei in Pflanzen

Blei ist ein weit verbreitetes Schwermetall, dass in Böden und Pflanzen zu finden ist (REUTER und BRAND, 2004). Eingetragen wird Blei in Böden größtenteils aus den Abgasen des Verkehr und durch Industriebetriebe, die Bleierze verarbeiten (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Durch die Abschaffung der verbleiten Kraftstoffe ist die Konzentration an Blei in der Umwelt und in Pflanzen deutlich gesunken (HARTWIG und JAHNKE, 2017). Blei zählt zu den wichtigsten

Schadstoffen in der Umwelt, die durch den Menschen eingetragen werden, denn Blei ist sehr persistent und dadurch akkumuliert es sich in Böden und zirkuliert lange im System Boden-Pflanze (FELEAFEL und MIRDAD, 2013).

Für Pflanzen ist Blei nicht essentiell und kann toxisch auf sie wirken, jedoch im Vergleich zu Cadmium ist die Phytotoxizität relativ gering (PAHLSSON, 1989). In welchen Mengen Blei aus dem Boden aufgenommen wird, hängt von einigen Faktoren, wie dem pH-Wert, der Kationenaustauschkapazität und der Pflanzenart ab. Blei kann auch über die Blätter aufgenommen werden (FELEAFEL und MIRDAD, 2013). Studien zeigen, dass sich Blei in Pflanzen auf eine spezielle Art verteilt. Blei reichert sich im Wurzel- und Pflanzenbereich an, jedoch verbleibt das Blei in den unteren Blattetagen, wo es sich gleichmäßig in den Blättern verteilt. Für Pflanzen erhöht sich die Verfügbarkeit von Blei aus dem Boden, wenn der pH-Wert unter 5,0 sinkt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Die Pflanzenwurzeln sind in der Lage Blei aufzunehmen und zu akkumulieren, jedoch ist die Verlagerung in höher gelegene Pflanzenorgane limitiert, denn das Blei bindet sich an die Wurzeloberflächen und die Zellwände. Damit fungieren die Pflanzenwurzeln als effektive Barriere beim Transport von Blei in der Pflanze (PAHLSSON, 1989).

Bei einer Überversorgung mit Blei würde es zu verringertem Wachstum der Wurzeln und des Sprosses, sowie zu geschwächtem Sämlingswachstum führen und die Biomasseproduktion verringern. Es wird vermutet, dass sich Blei auf die Zellteilung auswirkt und es deshalb zu Wachstumsstörungen in den Pflanzen kommt. Blei lagert sich in Pflanzen in Bestandteilen der Zellwände ab und verursacht dadurch Wasserstress in den Pflanzen. Außerdem kann Blei die Aufnahme von Nährstoffen in die Pflanze blockieren, wie z.B. die Aufnahme von  $K^+$ ,  $Mg$ ,  $Ca$ ,  $Zn$ ,  $Cu$ ,  $Mn$ ,  $Fe^{3+}$  und  $NO_3^-$  (FELEAFEL und MIRDAD, 2013).

### 3.6.2 Bor in Pflanzen

Bor zählt zu den essenziellen Mikronährstoffen bei Pflanzen und wird überwiegend als ungeladenes Molekül aufgenommen. Für das Pflanzenwachstum ist eine konstante Versorgung mit Bor nötig (BARKER und PILBEAM, 2015).

Bei einem Bormangel kommt es zu Deformationen und spröden Blättern. Die jungen Blätter bleiben oft klein und haben eine dunkelgrüne Farbe, bevor es zu einer Chlorose kommt. Das Wurzelwachstum kann gehemmt werden und es kommt zu Wasserstress in den Pflanzen. Außerdem kann es bei einem Bormangel zu Ertragseinbußen und zu Qualitätsverlust bei Samen und Früchten kommen (BARKER und PILBEAM, 2015).

Aber auch bei einem Borüberschuss kann es zu gestörtem Pflanzenwachstum kommen und die Photosynthese kann beeinträchtigt werden. Dies kann sich daraufhin auch auf den Ertrag auswirken. Bevor es zu einer Nekrose kommt, kann ein reduziertes Sprosswachstum beobachtet werden (BARKER und PILBEAM, 2015).

### 3.6.3 Cadmium in Pflanzen

Cadmium ist ein allgegenwärtiges Element, dass vor allem durch Klärschlammdüngung und Phosphatdünger auf landwirtschaftliche Böden gelangt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Der Übergang von Cadmium vom Boden in Pflanzen und dann weiter in den Menschen geschieht relativ einfach und ist deshalb so wichtig, weil Cadmium auf Menschen relativ stark und auf Pflanzen vergleichsweise kaum toxisch wirkt (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012).

Für die Pflanze ist Cadmium nicht essenziell. Trotzdem wird Cadmium sehr einfach von den Pflanzen aufgenommen. Der Transport von Cadmium zum Spross wird teilweise durch die Bindung an die Pflanzenwurzeln verhindert, jedoch ist Cadmium toxischer für Pflanzen als Blei (PAHLSSON, 1989). In Pflanzen reichert sich Cadmium stark in den Wurzelbereichen und den unteren Blattetagen an und es kann auch mit dem Transpirationsstrom befördert werden und

sich damit auch in höheren Blattetagen sammeln. In den Blättern zeigt Cadmium eine gleichmäßige Verteilung. Die Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium erhöht sich, wenn der pH-Wert im Boden unter 6,0 fällt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

Blattreiche Gemüsesorten, Wurzelgemüse und die Samen von Ölfrüchten sind meistens höher mit Cadmium belastet (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Bei einer Überversorgung mit Cadmium kann es zu einem gestauchten Wuchs und kleinen Blättern kommen, die sich chlorotisch verfärben und zusammenrollen. Zusätzlich kann es bei hohen Cadmiumkonzentrationen zu einer rötlich braunen Verfärbung der Blattränder kommen (PAHLSSON, 1989).

### **3.6.4 Chrom in Pflanzen**

Das Schwermetall Chrom ist ein hartes und beständiges Metall (REUTER und BRAND, 2004). Chrom wird durch Niederschläge in Böden eingetragen und kann auch aus chromreichem Ausgangsgestein in den Boden freigesetzt werden (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

Das Aufnahmevermögen von Chrom durch die Wurzeln ist relativ hoch und Chrom verteilt sich auch gleichmäßig in den Blättern. Eine Anreicherung mit Chrom findet in den unteren Blattetagen statt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Eine Überversorgung mit Chrom zeigt sich durch ein geringeres Sprosswachstum, Chlorosen an Blättern und das Absterben der Blätter (BODENFACHZENTRUM, 2019).

### **3.6.5 Cobalt in Pflanzen**

Für Cobalt konnte in Nicht-Leguminosen keine klare Funktion festgestellt werden, jedoch können vorteilhafte Effekte durch Cobalt beobachtet werden. Beispielsweise kann die Trockenheitstoleranz von Samen erhöht werden, das Pflanzenwachstum kann stimuliert werden und es kann sogar biozide Wirkungen haben. In sehr hohen Dosen kann Cobalt aber in Pflanzen toxisch wirken und das Wachstum und den Stoffwechsel beeinflussen. Die toxischen Effekte von Cobalt können Veränderungen in der Morphologie sein, wozu Blattfall, Verfärbungen oder reduzierte Keimung, zählen (BARKER und PILBEAM, 2015).

### **3.6.6 Eisen in Pflanzen**

Eisen ist das vierthäufigste Element in unserer Erdkruste, aber es ist weitgehend nicht verfügbar, da Eisen sich oft mit anderen Elementen verbindet, Komplexe bildet und somit von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden kann. Für Pflanzen ist Eisen essenziell und ein wichtiger Teil der Photosynthese, der Atmung, der DNA-Synthese und des Hormonhaushaltes. Nach der Aufnahme von Eisen durch die Wurzeln, wird es mit dem Transpirationsstrom im Xylem in höhere Organe verlagert (PRASAD, 2008).

In den Pflanzen ist Eisen ein Bestandteil von Häm-Proteinen und Enzymen, wie zum Beispiel Peroxidase oder Katalase. Eisen ist auch nötig für die Synthese und Funktion von Chlorophyll. Bei einem Eisenmangel kommt es zu einer Verringerung von Chlorophyll und Carotinoiden in den Pflanzen und zu einer verringerten Enzymaktivität (BARKER und PILBEAM, 2015).

### **3.6.7 Kupfer in Pflanzen**

Für Pflanzen ist Kupfer ein essentielles Spurenelement, da es für die Chlorophyllsynthese nötig ist und ein Enzymbestandteil ist (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Außerdem schützt Kupfer gegen oxidativen Stress und ist in den Stoffwechsel von Kohlenstoff und Stickstoff eingebunden (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Die Wurzeln können Kupfer gut

aufnehmen und das Kupfer verteilt sich gleichmäßig in den ganzen Pflanzen (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Kupfer ist auch wichtig für die Samenproduktion, die Wasserverhältnisse in der Pflanze und der Resistenz gegenüber Krankheitserregern (PAHLSSON, 1989). Kupfer hat eine fungizide Wirkung, weshalb es auch als Pflanzenschutzmittel eingesetzt wird (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Kommt es zu einem Mangel an Kupfer in Pflanzen, zeigen sich Chlorosen, Nekrosen, ausgebleichte junge Blätter oder Welkeerscheinungen. Im Gegensatz dazu kommt es bei einer Überversorgung mit Kupfer zu toxischen Wirkungen bei den Pflanzen, die sich durch eine Hemmung des Wurzelwachstums zeigen (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Die Störung der Wurzelentwicklung bei einem Kupferüberschuss kann zu einer verringerten Wasser- und Nährstoffaufnahme und damit zu Stoffwechsel- und Wachstumsverzögerungen führen (PAHLSSON, 1989).

Hohe Gehalte an Kupfer im Boden sind in Regionen mit Kupfer verarbeitender Industrie zu finden oder auf landwirtschaftlichen Flächen, auf denen über längere Zeit kupferhaltige Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden, wie in Wein-, Hopfen- oder Apfelanbaugebieten (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

### **3.6.8 Mangan in Pflanzen**

Mangan ist ein essentieller Spurennährstoff für Pflanzen (SHERAMETI und VARMA, 2010). Besonders hohe Mangangehalte finden sich in den Fortpflanzungsorganen von Pflanzen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Mangan spielt eine wichtige Rolle bei einigen Stoffwechselprozessen, wie der Photosynthese, der Atmung, der Proteinsynthese und bei der Aktivierung von Hormonen. Bei einem Mangel werden auch diese Stoffwechselprozesse gehemmt und es kommt zu reduzierter Auxin-Aktivierung, Störung der Photosynthese oder die Erhöhung der Anfälligkeit für Pflanzenkrankheiten. Mangelsymptome erscheinen kaum in älteren Blättern, da Mangan ein immobiles Element ist. Die Mangan-Mangelsymptome treten in den voll entwickelten jungen Blättern auf und zeigen sich durch Chlorosen zwischen den Blattvenen. Bei einer Mangan-Überversorgung kann es zu veränderten Aktivitäten von Enzymen und Hormonen kommen und die Aufnahme bzw. Nutzung von anderen Nährstoffen, wie Calcium, Magnesium, Eisen oder Phosphor, kann gestört werden (BARKER und PILBEAM, 2015).

### **3.6.9 Molybdän in Pflanzen**

Für Pflanzen ist Molybdän ein essentielles Spurenelement (SHERAMETI und VARMA, 2010). Die Aufnahme von Molybdän durch Pflanzen ist stark durch den Boden-pH-Wert und den Bodentyp beeinflusst. Die Aufnahme wird gefördert durch die Anwesenheit von löslichem Phosphor, aber verringert sich durch die Anwesenheit von Schwefel (BARKER und PILBEAM, 2015). Nicht nur ein niedriger pH-Wert, sondern auch Humusarmut ist ein Grund für geringe Molybdängehalte in Pflanzen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

Innerhalb der Pflanze ist Molybdän sehr mobil und kann sowohl im Xylem als auch im Phloem transportiert werden. Molybdän ist Bestandteil von rund 60 unterschiedlichen Enzymen und ist damit ein wichtiger Faktor für das Pflanzenwachstum. Kommt es zu einem Mangel an Molybdän, kann es zu einer verringerten Blattgröße und einer Gelbfärbung der Blätter, gefolgt von einer Nekrose kommen. Meistens kommt es zeitgleich zu Stickstoffmangelsymptomen. Toxische Symptome durch einen Molybdänüberschuss sind im Freiland kaum zu erwarten (BARKER und PILBEAM, 2015).

### **3.6.10 Nickel in Pflanzen**

Nickel ist ein Metall, das natürlich in der Erdkruste vorkommt und heute stark in der Industrie eingesetzt wird (DENKHAUS und SALNIKOW, 2002). In der Pflanze ist Nickel Bestandteil von

Enzymen und Proteinen und in den Stoffwechsel von Stickstoff eingebunden (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Daher ist Nickel ein essenzielles Nährelement in Pflanzen, insbesondere da es ein Bestandteil des Enzyms Urease ist. Urease ist für die Umwandlung von Harnstoff in Ammonium in Pflanzen nötig (TSADILAS et al., 2017).

Ein früher Mangel an Nickel kann schwer erkannt werden, da sich keine klaren Symptome zeigen, außer dass das Wachstum reduziert sein kann. Später kann es zu verschiedenen Symptomen, wie Chlorosen, Nekrosen oder Deformationen kommen (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Bei einer ausreichenden oder übermäßigen Versorgung mit Nickel wird es im Wurzelbereich und in den unteren Blattetagen angereichert und kann sich in Blättern gleichmäßig verteilen (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Mehr Sorgen als um eine Unterversorgung mit Nickel muss man sich um eine toxische Wirkung bei einer Überversorgung machen. Besonders beim Einsatz von Klärschlamm kann es zu einer Überversorgung mit Nickel kommen, da Klärschlämme oft hohe Nickelanteile aufweisen. Viele Pflanzen reagieren sensibel auf hohe Nickelgehalte und es folgen Wachstumsdepressionen und eine erhöhte Harnstoffbildung in den Pflanzen (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012).

Nickel bindet sich auch an Staubpartikel aus Verbrennungsprozessen und kann damit in den Boden eingetragen werden. Eine weitere Quelle für Nickel ist die Aufbringung von Klärschlamm auf Böden. Im Boden steigt die Verfügbarkeit für Pflanzen für Nickel, wenn der pH-Wert unter 6,0 beträgt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Für Pflanzen beginnt die toxische Konzentration von Nickel bei 50 mg/kg lufttrockenem Boden (FUHRMANN, 2006).

### 3.6.11 Zink in Pflanzen

Grundsätzlich zählt Zink zu den Schwermetallen, die die geringsten toxischen Wirkungen mitbringen, da Zink ein essentielles Spurenelement für die Pflanzen ist (PAHLSSON, 1989). Das Element Zink ist für Pflanzen ein wichtiger Bestandteil von Enzymen und Proteinen und trägt dazu bei, Stressfaktoren aus der Umwelt zu tolerieren. Zusätzlich spielt Zink auch eine Rolle bei der DNA-Replikation und der Regulation der Genexpression (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012). Zink spielt auch eine wichtige Rolle bei der Synthese von Kohlenhydraten und Nukleinsäure und ist in der Lage stabile Komplexe mit der DNA und RNA zu bilden (PAHLSSON, 1989).

Zink wird stark über die Wurzeln der Pflanzen aufgenommen und reichert sich besonders stark in den oberen Blattetagen und den Blatträndern an. Es kann durch Lufteträge zusätzlich im Boden angereichert werden. Die Pflanzenverfügbarkeit für Zink steigt an, wenn der pH-Wert im Boden unter 6,0 liegt (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

Bei einem Mangel an Zink, der in sauren und kalkhaltigen Böden weit verbreitet ist, zeigen sich verkürzte Internodien und es kommt dadurch zu einem gestauchten Wuchs. Zusätzlich verringert sich die Größe der Blätter und es kann auch zum Zurücksterben von Triebspitzen kommen. Ein Überschuss an Zink kommt eher selten vor und wenn, zeigen sich Überschusssymptome, wie Chlorosen an jungen Blättern, aber es kann auch zur Hemmung der Photosynthese kommen (MARSCHNER und MARSCHNER, 2012).

## 3.7 Auswirkungen von Schwermetallen in der menschlichen Ernährung

Schwermetalle sind nicht nur schädlich, denn einige Schwermetalle sind überlebensnotwendig für den Menschen, sie sind essenziell. Wie bei allen Spurenelementen entscheidet bei Schwermetallen die Dosis, ob eine toxische Wirkung auftritt (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Bis zu 90% der aufgenommenen Schwermetalle gelangen über das Gemüse in der Ernährung in den menschlichen Organismus und die restlichen 10% werden durch Hautkontakt oder durch das Einatmen aufgenommen. Damit stellt Gemüse eine der Hauptquellen von Schwermetallen für den Menschen dar (KHAN et al., 2015).

Wenn es zu einer Vergiftung mit Schwermetallen kommt, gibt es mehrere Ziele bei der Behandlung. Einerseits sollen Schwermetalle rasch ausgeschieden und aus ihren Depots im Körper gelöst werden. Zusätzlich sollen Schwermetalle, die im Kreislauf zirkulierend, abgefangen werden und von ihren Bindungsstellen losgelöst werden (FUHRMANN, 2006). In dem folgenden Kapitel wird die Wirkung von diversen Schwermetallen auf den menschlichen Organismus beschrieben.

### 3.7.1 Blei in der menschlichen Ernährung

Blei ist nicht essentiell, denn es ist ein giftiges Spurenelement (MISCHEK, 2013). Der Mensch nimmt Blei entweder über die Nahrung oder über die Atemluft auf. Über den Verdauungstrakt absorbieren Erwachsene bis zu 10% des aufgenommenen Bleis, Kinder sind in der Lage bis zu 50% mehr Blei zu absorbieren (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Blei kann schon bei geringen Dosen hochtoxisch wirken (RZYMSKI et al., 2015).

Bei einer akuten Vergiftung mit Blei treten neurologische Symptome, wie Schlaflosigkeit, Stupor (Aktivitätsverlust) oder Apathie (Abwesenheit) auf, aber auch Koliken, Lähmungen oder Enzephalopathien (Schädigung des Hirns). Chronische Bleivergiftungen zeigen sich durch Anämie (Blutarmut), Bleisaum am Zahnfleischrand, Appetitlosigkeit oder Magenschmerzen. Jedoch treten akute Vergiftungen mit Blei selten auf, da Blei über die Haut kaum aufgenommen wird und oral aufgenommenes Blei gut toleriert wird (FUHRMANN, 2006; REICHL et al., 2009).

Bei Kindern kann es durch akute oder chronische Bleivergiftungen zu schwerwiegenden Schäden kommen. Dazu zählen neurologische Schäden, wie gestörte Bewegungskoordination bis hin zum Koma, Epilepsie, verzögerte geistige Entwicklung und Schäden an der Hirnsubstanz. Da Blei die Plazentaschranke ungehindert passieren kann, kann es sogar schon pränatal zu Bleivergiftungen kommen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019; REUTER und BRAND, 2004).

Vor dem Jahr 2010 galt eine provisorische tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (PTWI) von 25 µg Blei pro kg KG, jedoch wurde diese von der EFSA und der JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) als nicht mehr angemessen eingestuft, da man keinen Schwellenwert definieren kann bei der es zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung durch Blei kommt. Stattdessen wurden folgende Benchmark-Dosen (BMDL) für die Risikobewertung von Bleiexpositionen definiert:

- BMDL<sub>01</sub>: 0,50 µg/kg KG/Tag (Rückgang auf der IQ-Skala bei Kindern um 1%)
- BMDL<sub>01</sub>: 1,50 µg/kg KG/Tag (Anstieg des systolischen Blutdrucks bei Erwachsenen um 1%)
- BMDL<sub>10</sub>: 0,63 µg/kg KG/Tag (Steigerung der Prävalenz für chronische Nierenerkrankungen bei Erwachsenen um 10%) (MISCHEK, 2013)

Bei Erwachsenen stellen nach Wurst- und Fleischwaren die Gruppe der Gemüse, Gemüseerzeugnisse und Pilze mit 13-24% eine der Hauptquellen der Bleiaufnahme dar. Auch bei Kindern sind Frucht-, Gemüsesäfte und Nektare mit 19% eine der Hauptquellen von Blei. Zusätzlich haben Gewürze und Kräuter durchschnittlich hohe Bleigehalte und man rechnet ihnen 12-15% der Gesamtaufnahme von Blei zu (MISCHEK, 2013).

### 3.7.2 Bor in der menschlichen Ernährung

Bor ist wahrscheinlich essenziell für den Menschen, nur konnten die vermuteten Funktionen von Bor noch nicht in Versuchen nachgewiesen werden. Die Hypothesen besagen, dass Bor ein Regulator für verschiedene Enzyme ist und weitere Funktionen im Stoffwechsel hat. Aufgenommen wird Bor vom Menschen größtenteils über grünes Blattgemüse, Hülsenfrüchte und Nüsse. Mangelsymptome sind bis jetzt noch nicht eindeutig identifiziert worden. Toxische

Auswirkungen von Bor sind abhängig von der Struktur, denn Bor-Wasserstoffe können starke toxische Wirkungen auf das Zentralnervensystem haben und Schleimhäute schädigen. Die Upper Intake Levels für Bor liegen für Erwachsene bei 0,16 mg/kg pro Körpergewicht und Tag bzw. für Kinder und Jugendliche bei 10 mg Bor pro Tag (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

### 3.7.3 Cadmium in der menschlichen Ernährung

Cadmium ist ein Spurenelement, das schon in sehr geringen Mengen giftig ist. Typisch für eine Vergiftung mit Cadmium ist, dass es sich im Körper über Jahre ansammeln kann und erst nach langer Zeit Schäden hervorgerufen werden (REUTER und BRAND, 2004). Die Hauptquelle von Cadmium für den Menschen ist das Rauchen von Zigaretten. Die Nieren, Knochen und das Fortpflanzungssystem sind die Ziele von Cadmium im menschlichen Körper (RZYMSKI et al., 2015). Von eingeatmetem Cadmiumstaub wird bis zu 50% absorbiert und von verdautem Cadmium werden 5 bis 10% absorbiert. Die Halbwertszeit von Cadmium im Blut beträgt 75 bis 128 Tage und es kann zu Ablagerungen in Organen kommen (BERNHOF, 2013).

Eine akute Vergiftung zeigt sich durch Kopfschmerzen, Fieber und Husten und schon nach einem Tag können sich Schäden an der Lunge, wie Ödeme oder Entzündungen, zeigen. Für den Menschen liegt die tödliche Dosis an Cadmium bei 6mg/m<sup>3</sup>/8h, wenn es eingeatmet wird (REICHL et al., 2009).

Eine chronische Vergiftung ist gekennzeichnet durch einen Cadmiumsaum an den Zahnhälsen, degenerierende Schleimhäute, Nierenschäden und Atemwegkrankungen. Das erste Mal wurde eine chronische Cadmiumvergiftung 1946 in Japan beobachtet, die Schäden an den Knochen verursachte. Ausgelöst wurde diese schmerzhafteste Vergiftung, die Itai-Itai-Krankheit genannt wird, durch den Verzehr von Lebensmitteln, die mit Cadmium belastet waren (REICHL et al., 2009). Außerdem wird vermutet, dass es einen Zusammenhang zwischen Cadmium Exposition und Endometriose gibt (RZYMSKI et al., 2015).

Die EFSA hat den TWI-Wert für die Cadmiumaufnahme bei 2,5 µg/kg KG/Woche angesetzt (KRISTINA MARCHART et al., 2013).

### 3.7.4 Chrom in der menschlichen Ernährung

Ein erwachsener Mensch benötigt täglich 30-100µg Chrom, denn Chrom spielt im menschlichen Körper eine wichtige Rolle im Glukosemetabolismus. Chrom kann die Wirkung von Insulin verstärken und ist Bestandteil des Glukosetoleranzfaktors, weshalb ein vollständiger Mangel an Chrom zu Diabetes mellitus führen kann (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Außer auf die Insulinaktivität hat Chrom auch Einfluss auf die DNA Transkription (GUERRA et al., 2012).

Eine akute Vergiftung mit Chrom kann durch das Einatmen ausgelöst werden und führt zu Schäden an den Atemwegen. Wird Chrom in zu hohen Dosen mit der Nahrung aufgenommen, kann es zu Nierenschäden führen (REICHL et al., 2009). Die Funktionen von Chrom für den menschlichen Organismus sind noch nicht gänzlich geklärt und es gibt Vermutungen, dass Chrom sogar essenziell für den Menschen sein könnte (EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2014).

### 3.7.5 Cobalt in der menschlichen Ernährung

Cobalt ist ein Bestandteil des Vitamins B<sub>12</sub> und wird hauptsächlich durch tierische Nahrungsmittel aufgenommen, wobei Cobalt fast in allen Lebensmitteln enthalten ist. Cobalt reichert sich im Körper kaum an, da es bei einer erhöhten Cobaltaufnahme zeitgleich zu einer erhöhten Cobaltausscheidung über den Harn kommt. Da der einzig Bekannte Nutzen von Cobalt für den Menschen jener ist, dass es Bestandteil von Vitamin B<sub>12</sub> ist, gibt es keine

Mangelsymptome für Cobalt, solange die Versorgung mit diesem Vitamin gewährleistet ist. Jedoch kann bei einem kompletten Fehlen von Cobalt Anämie auftreten und die Nukleinsäuresynthese kann fehlen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019)

### 3.7.6 Eisen in der menschlichen Ernährung

Eisen ist für den Menschen essenziell. Eine erwachsene Frau benötigt täglich 15mg Eisen und ein erwachsener Mann benötigt 10 mg Eisen täglich. Die Eisenkonzentration im menschlichen Körper liegt bei 50-60 mg/kg Körpergewicht. Eisen ist ein wichtiger Bestandteil von Hämoglobin und von Myoglobin. Außerdem ist Eisen an der Synthese von Steroidhormonen, Gallensäure und Neurotransmittern beteiligt. Es ist an der Atmung und am Sauerstofftransport im Körper beteiligt und ist an der Detoxifikation und zellulären Oxidation beteiligt. Ein Eisenmangel zeigt sich beim Menschen durch Abgeschlagenheit, Erschöpfung, verringerte Schilddrüsenfunktion, verringerte Immunfunktion oder Störungen der Thermoregulation. Außerdem kann es bei einem kompletten Fehlen von Eisen im menschlichen Körper zum Stillstand der Energieproduktion und der Unterbrechung der Oxidation kommen. In Europa sind 20 bis 30% der menstruierenden Frauen von Eisenmangel betroffen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Weltweit sind zwei Drittel der Bevölkerung von Eisenmangel betroffen und damit ist Eisenmangel eine der häufigsten Mikronährstoffmängel beim Menschen (PRASAD, 2008).

### 3.7.7 Kupfer in der menschlichen Ernährung

Kupfer ist ein essenzielles Spurenelement für Menschen. Der tägliche Bedarf an Kupfer liegt bei einem erwachsenen Europäer bei 2 mg. Das Schwermetall Kupfer ist im menschlichen Körper Bestandteil von vielen Metalloenzymen. (REICHL et al., 2009). Kupfer ist Bestandteil der Oxidoreduktasen, die unter anderem für die Melaninbildung und die Eisenmobilisierung verantwortlich sind (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

Nimmt jemand mehr als 10 g Kupfer auf einmal auf, kommt es zu einer akuten Toxizität und es zeigen sich folgende Vergiftungserscheinungen: Erbrechen, Trägheit, Gelbsucht oder in seltenen Fällen eine Kontaktallergie (REICHL et al., 2009). Außerdem kann es durch Kupfer auch zu einer chronischen Toxizität kommen, die insbesondere die Leber schädigt. Die Krankheit ICC/GCC (Indian/German Childhood Cirrhosis) wurde bei Kindern in Deutschland und Indien beobachtet, die Lebensmittel und Wasser zu sich nahmen, die in Kupferbehältern gelagert wurden. Dadurch entstand eine Leberschädigung und das Immunsystem der Kinder wurde beeinträchtigt (REICHL et al., 2009). Bei chronischen Kupfervergiftungen sind oft auch Reizungen des Magen-Darmtrakts zu beobachten und eine Beeinflussung des Eisenstoffwechsels. Kupfer gilt als zytotoxisch, also als Zellgift (REICHL et al., 2009).

Im Gegensatz zu den Vergiftungserscheinungen bei zu großer Kupferaufnahme stehen die Mangelerscheinungen. Ein Kupfermangel zeigt sich bei Menschen durch Störungen bei der Blutbildung, was als hypochrome Anämie bezeichnet wird (REICHL et al., 2009).

Als geschätzter Referenzwert für die Kupferaufnahme bei Erwachsenen gilt 1,0-1,5 mg Kupfer pro Tag (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Die tolerierbare obere Aufnahmemenge bei Kupfer liegt bei 5mg/Tag für einen Erwachsenen und für Kinder, abhängig von ihrem Körpergewicht, bei 1 bis 4 mg/Tag. Der NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) liegt für Kupfer bei 0,0272 mg/kg Körpergewicht pro Tag (ITTER und PABEL, 2013).

### 3.7.8 Mangan in der menschlichen Ernährung

Mangan ist in allen tierischen und pflanzlichen Geweben zu finden. Es ist ein wichtiger Enzymbestandteil und dient auch als Aktivator für andere Enzyme. Außerdem ist Mangan am Proteinmetabolismus beteiligt. Bei einem Manganmangel zeigen sich beim Menschen Gewichtsverlust, Dermatitis oder Veränderungen an Haaren und Nägeln. Bei einem kompletten Fehlen von Mangan kann der Citratzyklus blockiert werden. Bei Tierversuchen konnten auch Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit festgestellt werden. Die empfohlene Manganzufuhr für einen Erwachsenen beträgt 2,5 mg Mangan pro Tag und gilt nur als Empfehlung (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

### 3.7.9 Molybdän in der menschlichen Ernährung

Molybdän ist für den Menschen essenziell, da es als Cofaktor für einige Enzyme dient und ein Bestandteil von Flavinenzymen ist. Ein Mangel an Molybdän wurde noch nicht festgestellt. Zu den molybdänreichen Lebensmitteln zählen Milchprodukte, Innereien, Hülsenfrüchte und Getreide. Da Molybdän in unserer Nahrung ausreichend vorhanden ist und auch keine Mangelerscheinungen bekannt sind, gibt es keine eindeutigen Verzehrempfehlungen für Molybdän, jedoch wird eine Aufnahme von 50-100µg Molybdän täglich empfohlen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

### 3.7.10 Nickel in der menschlichen Ernährung

Nickel kommt als metallisches Element natürlich in der Erdkruste vor und wird häufig in der Industrie oder in der Schmuckherstellung eingesetzt (DENKHAUS und SALNIKOW, 2002). Auch Nickel hat eventuell eine physiologische Funktion bei Menschen, denn es wird vermutet, dass Nickel die Nukleinsäure stabilisiert und es einen Zusammenhang mit dem Vitamin B<sub>12</sub> gibt (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Nickel dient im Menschen auch als Cofaktor für einige Verdauungsenzyme (GUERRA et al., 2012).

Nickel löst öfters allergische Kontaktallergien aus (REUTER und BRAND, 2004). Bei einer Ansammlung von Nickel im Körper durch eine chronische Exposition kann es zu einer Lungenfibrose, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Nierenkrankheiten kommen (DENKHAUS und SALNIKOW, 2002). Bei einem kompletten Mangel an Nickel kann es zu Wachstumsstörungen, Wundheilungsstörungen oder gestörter Blutbildung kommen (ELMADFA und LEITZMANN, 2019).

### 3.7.11 Zink in der menschlichen Ernährung

Das Schwermetall Zink ist ein essenzielles Spurenelement und ein wichtiger Bestandteil von Metalloenzymen und wichtig für die Genexpression. Außerdem hat Zink physiologische Funktionen bei der Metabolisierung von Hormonen, im Immunsystem und wirkt antioxidativ (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Bei einem kompletten Fehlen von Zink kann es zu schwerwiegenden Störungen im Stoffwechsel kommen, da Zink ein essentieller Enzymbestandteil ist (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Zink ist auch für die Ausgewogenheit von Kupfer im Körper verantwortlich und ist essenziell für die männliche Fortpflanzungsfähigkeit. Ein Zinkmangel kann Anämie auslösen und eine Verzögerung des Wachstums und der Entwicklung verursachen (DURUIBE et al., 2007).

Pro Tag sollte eine erwachsene Frau 7 mg und ein erwachsener Mann 10 mg Zink zu sich nehmen, um den Bedarf an diesem Spurennährstoff zu decken (ELMADFA und LEITZMANN, 2019). Die obere tolerierbare Aufnahmemenge von Zink liegt bei 25 mg/Tag für Erwachsene und für Kinder, abhängig vom Gewicht, bei 7 bis 22 mg/Tag (ITTER und PABEL, 2013).

## 4 Klärschlamm

Als Klärschlamm bezeichnet man den anfallenden Schlamm, der bei der Säuberung von häuslichen und industriellen Abwässern entsteht. Die Menge des Klärschlammes ist von den angeschlossenen Haushalten und Industriebetrieben, sowie dem Wirkungsgrad der Kläranlage abhängig (BILITEWSKI und HÄRDTLE, 2013).

Der Klärschlamm wird zu aller erst in Nachklärbecken vom Abwasser abgetrennt und in den meisten Fällen noch einer anaeroben Behandlung unterzogen. Mit dieser anaeroben Behandlung werden noch enthaltene organische Stoffe zersetzt. Danach wird der Klärschlamm eingedickt und entwässert, teilweise auch getrocknet (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

### 4.1 Zusammensetzung von Klärschlämmen

Klärschlamm ist eine Mischung fester Bestandteile, die aus dem Abwasser stammen und dem Bakterien Schleim, der durch die Mikroorganismen in der Kläranlage gebildet wird (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017). Der Klärschlamm entsteht aus Abwasser und daher entsprechen die Schadstoffe, die im Klärschlamm zu finden sind, der Belastung des Abwassers (GUJER, 2007). Im Klärschlamm finden sich nicht nur Schadstoffe, sondern auch Nährstoffe, wie Stickstoff und Phosphor, die in der Landwirtschaft genutzt werden können (GUJER, 2007).

#### 4.1.1 Nährstoffe im Klärschlamm

Im Klärschlamm finden sich wichtige Nährstoffe für Pflanzen wie zum Beispiel Stickstoff, Phosphor, Schwefel oder Kalk (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017). Getrockneter Klärschlamm besteht aus 50-70% organischer Masse und zu 30-50% aus mineralischen Bestandteilen. Im Klärschlamm finden sich bis zu 4% Stickstoff und bis zu 2,5% Phosphor, sowie andere Makro- und Mikronährstoffe.

#### 4.1.2 Schwermetalle im Klärschlamm

Wie schon zuvor erwähnt, finden sich im Klärschlamm dieselben Stoffe wieder, die sich auch im vorangegangenen Abwasser befunden haben. Daher kommt es auch zur Anreicherung mit Schwermetallen. In österreichischem Klärschlamm fanden sich im Jahr 2004 folgende Schwermetallgehalte.

Tabelle 7 Schwermetallgehalte im Klärschlamm im Jahr 2004 in Österreich in mg/kg in der Trockensubstanz

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Schwermetall	53,8	1,19	43,4	197	27,7	1	810

Tabelle in Anlehnung an UMWELTBUNDESAMT, 2009

#### 4.1.3 Sonstige Bestandteile von Klärschlämmen

In Klärschlämmen wurden schon bis zu 300 organische Schadstoffe festgestellt, jedoch können zurzeit nicht alle enthaltenen Schadstoffe erfasst werden, da diese nur in sehr geringen Konzentrationen im Klärschlamm zu finden sind. Medikamente oder endokrin

wirksame Substanzen können schon in geringsten Mengen schädigend wirken (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Zu diesen Substanzen zählen organische Kontaminanten, wie PAHs (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), PCBs (polychlorierte Biphenyle), AOX (adsorbierbare organisch gebundene Halogene) oder die Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, Hormonen, Medikamenten oder Nanopartikeln. Zu den anorganischen Bestandteilen von Klärschlamm zählen die Schwermetalle (KACPRZAK et al., 2017). Die organischen Schadstoffe im Klärschlamm stammen oft aus Wasch- und Reinigungsmitteln, Weichmachern, Flammenschutzmitteln oder anderen Mitteln, die in Haushalten oder in der Industrie eingesetzt werden (UMWELTBUNDESAMT, 2009). Außerdem können sich im Klärschlamm auch krankheitserregenden Bakterien, Viren oder Parasiten befinden (KACPRZAK et al., 2017).

## 4.2 Klärschlammverwertung

Der anfallende Klärschlamm aus den Kläranlagen kann auf unterschiedliche Weise verwertet werden. Im folgenden Kapitel werden die gängigsten Methoden, die in Österreich Anwendung finden, kurz erläutert.

In Österreich wird der anfallende Klärschlamm entweder deponiert, verbrennt, in der Landwirtschaft direkt genutzt oder kompostiert. Da es in jedem Bundesland unterschiedliche gesetzliche Vorschriften in Bezug auf Klärschlamm gibt, sind auch die Verwertungsmethoden in den österreichischen Bundesländern unterschiedlich stark verbreitet. Im EU-Vergleich sind die Hauptverwertungsmethoden für Klärschlamm die Verbrennung und der Einsatz in der Landwirtschaft (KACPRZAK et al., 2017).

### 4.2.1 Deponierung

Die Deponierung ist eine der einfachsten Verwertungs- bzw. Entsorgungsformen und kann mit einfacher Technik durchgeführt werden. Man unterscheidet zwischen fünf Deponieformen: geschlossene Grubendeponie, offene Grubendeponie, Haldendeponie, Deponie am Hang und Deponie im Taleinschnitt (BILITEWSKI und HÄRDTLE, 2013). Die Deponien verwenden unterschiedliche Techniken, um Abfälle zu lagern und werden dadurch in mehrere Betriebsformen eingeteilt. Zu diesen Betriebsformen von Deponien zählen die Rottedeponie, die Verdichtungsdeponie, die Ballendeponie, die Inert- und Monodeponie, sowie die Sonderabfalldeponie. Klärschlämme werden oft auf Rotte- oder Monodeponien entsorgt (BILITEWSKI und HÄRDTLE, 2013).

In Österreich verlagert sich die Klärschlammverwertung von der Deponierung hin zu anderen Methoden (KRETSCHMER et al., 2018). Da die Ausnahmeregelung der Deponieverordnung mit 01.01.2019 ausgelaufen ist, ist die Deponierung von Klärschlämmen in Österreich auch nicht mehr gestattet (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

### 4.2.2 Thermische Verfahren

Zu den thermischen Verfahren der Klärschlammverwertung im Bereich der Abfallbehandlung zählen das Verbrennen, die Pyrolyse, die Hydrierung und die Trocknung, wobei die Abfallverbrennung die wichtigste Methode darstellt (BILITEWSKI und HÄRDTLE, 2013). Verfahren, die mit Vergasung und Pyrolyse arbeiten, haben jedoch in Österreich bei der Verwertung von Klärschlamm keine Bedeutung (ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 2014).

Normalerweise wird der Klärschlamm vor der thermischen Nutzung getrocknet und allein oder in Kombination mit anderen Abfällen oder Brennstoffen verbrannt und zur Energiegewinnung genutzt. Bei der Verbrennung werden organische Schadstoffe zerstört und anorganische

Schadstoffe, wie Schwermetalle, werden abgeschieden und entsorgt (ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 2014).

Die alleinige Verbrennung von Klärschlamm wird auch Klärschlammmonoverbrennung genannt und wird in speziellen Anlagen durchgeführt. Die entstehende Asche ist optimal geeignet, um Phosphor daraus zurückzugewinnen (ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 2014). Wird der Klärschlamm aber zusammen mit anderen Abfällen, wie Restmüll, verbrannt, spricht man von einer gemeinsamen Verbrennung. Aus den entstehenden Rückständen dieser Verbrennung wird kein Phosphor gewonnen, da es keine wirtschaftlich und ökologisch günstigen Methoden gibt (ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 2014). Eine weitere Verbrennungsmethode für Klärschlamm stellt die Mitverbrennung dar. Dabei wird der Klärschlamm in geringen Mengen bei der Zementerzeugung oder in Kohlekraftwerken mitverbrannt. Der enthaltene Phosphor geht bei Mitverbrennung verloren, da die Aschen deponiert werden oder als Baustoff eingesetzt werden (ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 2014). Damit ist nur die Klärschlammmonoverbrennung für die Phosphorrückgewinnung geeignet und führt hierbei diese Ressource wieder in den Kreislauf.

### 4.2.3 Landwirtschaftliche Nutzung

Für die direkte Nutzung von Klärschlamm gibt es strenge Vorschriften, die eingehalten werden müssen. Dazu zählt, dass belastete Klärschlämme nicht auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht werden dürfen und eine unzulässige Anreicherung von Schadstoffen im Boden verhindert werden muss (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

Das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm ist auch in mehreren ÖPUL – Maßnahmen verankert und dazu zählen die folgenden Maßnahmen:

- Einschränkung ertragssteigernder Betriebsmittel,
- Bewirtschaftung von Bergmähwiesen,
- Alpung und Behirtung,
- Vorbeugender Grundwasserschutz auf Ackerflächen,
- Erhaltung naturschutzfachlich wertvoller Pflegeflächen und
- ergebnisorientierter Naturschutzplan (AGRAR MARKT AUSTRIA, 2019).

### 4.2.4 Kompostierung

In Österreich gibt es 401 Kompostierungsanlagen (Stand 2015), die dezentral verteilt sind und rund 1,14 Million t Abfälle pro Jahr verarbeiten (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

Die Kompostierung ist ein aerober Zersetzungsprozess von organischem Material durch Mikroorganismen. Als Ausgangsstoffe für die Kompostierung können diverse organische Stoffe dienen. Zu den wichtigsten Faktoren bei der Kompostierung zählen die Feuchtigkeit, der Sauerstoffgehalt, die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, der Erdzusatz, die Durchmischung, sowie Dunkelheit und Wärme (DUNST, 1997). Die Kompostierung in speziellen Kompostierungsanlagen ist ein gesteuerter aerober Prozess zum Behandeln von organischen Abfallprodukten. Die angewendeten Verfahren in den Kompostierungsanlagen unterscheiden sich durch ihre Durchmischungssysteme, die Durchlüftung und die Kapselung (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

Während des Kompostierungsprozesses kommt es zu drei Rottephasen. Die erste Phase nennt sich Abbauphase und ist durch die steigende Temperatur gekennzeichnet. In dieser Abbauphase werden leicht abbaubare Verbindungen, wie Zucker, Eiweiß oder Stärke, zersetzt. Die in der organischen Substanz befindlichen Nährstoffe werden herausgelöst und

mineralisiert. Anschließend folgt die Umbauphase, bei der die Temperatur wieder sinkt und aus den mineralisierten Nährstoffen ein Humuskomplex entsteht. Die dritte Phase wird auch Aufbau- oder Reifephase genannt, denn nun bekommt der Kompost eine immer erdigere Struktur (DUNST, 1997). Durch die Erhitzung des Materials während der diversen Rottephasen werden auch pathogene Mikroorganismen im Kompost zerstört und damit reduziert sich das Risiko diese Pathogene bei der Ausbringung des Düngers zu verbreiten. Außerdem verringert sich durch die Kompostierung das Volumen des Düngers im Vergleich zum Ausgangsstoff (BERNAL et al., 2009).

Verwendet werden die entstehenden Komposte je nach den erzeugten Qualitäten in der Landwirtschaft und im Hobbygarten als Dünger, als Beimischung zu Kultursubstraten oder der Kompost wird zur Bodenrekultivierung eingesetzt (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2017).

Als mögliche negative Auswirkungen von Komposten wird die Anreicherung mit Schwermetallen im Boden und der Umwelt genannt, wobei sich Schwermetalle wie Cadmium, Chrom, Quecksilber, Nickel und Blei nur in geringen und tolerierbaren Mengen im Boden anreichern. Schwermetalle wie Zink und Kupfer reichern sich im stärkeren Maße an, wobei auch bedacht werden muss, dass die Schwermetalle essenzielle Spurennährstoffe für Pflanzen sind. Als positive Auswirkung des Komposteinsatzes kann die verminderte Erosion durch die Humusanreicherung erwähnt werden (SCHREIBER, 2005). Zusätzlich zeigen Studien, dass der aerobe Kompostierungsprozess die Komplexbildung fördert und die Schwermetalle an das organische Material gebunden werden. Dadurch werden die Löslichkeit und die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle reduziert. Besonders stark wird Blei an die organische Masse gebunden, Zink weist die geringste Bindungsfähigkeit an die organische Masse auf (SMITH, 2009).

### 4.3 Klärschlammverwendung in Österreich

In Österreich zeigt sich eine Zunahme des Klärschlammauftkommens und auch eine Änderung in der Verwertung dieses aufkommenden Klärschlammes. Im Jahr 1995 fielen 187.430 t TS an Klärschlamm an und dieser wurde zum größten Teil verbrannt, deponiert oder in der Landwirtschaft direkt eingesetzt. Die sonstige Verwertung, zu der auch die Kompostierung und der Landschaftsbau zählen, fiel mit 12% relativ gering aus (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2018).

Im Vergleich dazu fielen 2015 rund 239.800 t TS Klärschlamm an, der zu 19% auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht wurde, 52% wurden thermisch behandelt und ungefähr 29% wurden auf eine sonstige Art und Weise, wie Kompostierung oder Vererdung verwertet (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2018). Die nachfolgende Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die Anzahl der Kläranlagen in Österreich, die produzierte Klärschlammmenge und die Nutzung.

Tabelle 8 Übersicht der Kläranlagenzahl, Klärschlammmenge und Klärschlammnutzung in Österreich im Jahr 2017 (NÖ im Jahr 2013)

	Anzahl an Kleinkläranlagen	Anzahl an Kläranlagen über 2.000 Einwohner	Klärschlammmenge in t	Nutzung
Österreich	27.452	635	4.321.964	
Burgenland	20	36	148.003	6% Deponierung 0,3% Verbrennung 77,2% Landwirtschaft 16,5% Sonstige Behandlung
Kärnten	6.961	39	235.507	0,8% Deponierung 18,6% Verbrennung 7,6% Landwirtschaft 73% Sonstige Behandlung
Niederösterreich	4.515	192	900.606	19% Verbrennung 39% Landschaftsbau 42% Landwirtschaft
Oberösterreich	2.398	116	757.532	50,9% Landwirtschaft 37,2% Verbrennung 4,1% Kompostierung 7,8% Sonstige Verwendung
Salzburg	1.655	33	277.649	63,8% Verbrennung 15,4% Landwirtschaft 20,8% Sonstige Behandlung
Steiermark	10.665	143	551.323	38% Landschaftsbau 21% Landwirtschaft 19% Thermische Behandlung 11% Deponierung 8% Zwischenlagerung 3% Sonstige Verwendung
Tirol	1.096	48	391.055	3% Deponierung 12,1% Verbrennung 1% Landwirtschaft 83,9 % Sonstige Behandlung
Vorarlberg	129	27	145.062	19,6% Lager 11,7% Entsorgung im Ausland 35,4% Rekultivierung 17,8% Landwirtschaft 15,5% Kleinmengen
Wien	13	1	887.899	100% Thermische Behandlung
Tabelle in Anlehnung an AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2018; AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2018; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG; AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG ABTEILUNG ABFALLWIRTSCHAFT, 2006; BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2018, 2019; UMWELTBUNDESAMT, 2009, 2009				

Die Verwendung von Klärschlämmen auf Böden ist in Salzburg seit 2016 komplett verboten und der Einsatz von Klärschlammkomposten ist eingeschränkt (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 2016). Die Verwendung von Klärschlammkomposten ist zwar gestattet, aber nicht auf Flächen, die mittelbar oder unmittelbar der Produktion von Lebensmitteln dienen. Unmittelbare Flächen beinhalten Ackerflächen für Getreide, Kartoffeln, Gemüse, Beeren oder Kräuter und als mittelbare Flächen gelten Dauergrünland, Ackerfutterflächen, Weide und Wechselgrünland (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 2016).

Die Ausbringung von Klärschlämmen auf nicht versiegelten Flächen, insbesondere auf landwirtschaftlichen Flächen ist in Wien verboten (AMT DER WIENER LANDESREGIERUNG, 2000a). In Wien gibt es nur eine Kläranlage (Stand 2016) (BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS, 2018) und der gesamte Klärschlamm wird bei der Fernwärme Wien – Simmeringer Haide thermisch behandelt (UMWELTBUNDESAMT, 2009).

Der Einsatz von Klärschlamm und Produkten aus Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen ist in Tirol verboten (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2000).

## 5 Charakterisierung der untersuchten Kräuter- und Gemüsekulturen

Der Exaktversuch in Bärnbach umfasste eine große Anzahl an verschiedenen Gemüse- und Kräuterkulturen. Da nicht in allen Jahren die Analyse der Schwermetallgehalte durchgeführt werden konnte, werden hier nur die Kräuter- und Gemüsekulturen beschrieben, die in den Ergebnissen vertreten sind. Dazu zählen die Zitronenverbene (*Aloysia triphylla*), die den Kräutern zugeordnet wird und die Gemüsekulturen Karotten (*Daucus carota* ssp. *sativus*), Kartoffeln (*Solanum tuberosum*), Kürbis (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*), Knollenfenchel (*Foeniculum vulgare* var. *azoricum*), Linsen (*Lens culinaris*), Rote Rüben (*Beta vulgaris* var. *conditiva*), Sellerie (*Apium graveolens*) und Weißkraut (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*).

Die Tabelle 9 gibt einen Überblick über die deutschen und wissenschaftlichen Namen der untersuchten Gemüse- und Kräuterkulturen, die Pflanzenfamilien, zu denen die einzelnen Kulturen zählen und die Anbaufläche in Österreich im Jahr 2017. Die größten Anbauflächen finden sich hier laut AMA für Kartoffeln und Ölkürbis mit über 20.000 ha. Die geringste Anbaufläche weist Knollenfenchel mit 49 ha auf, wobei für Linsen und Zitronenverbene keine Daten vorliegen zu den Anbauflächen. Eine Gemeinsamkeit kann in den Pflanzenfamilien festgestellt werden, da drei der Kulturen (Karotte, Fenchel und Sellerie) zu den Doldenblütlern zählen.

Tabelle 9 Übersicht über die Gemüse- und Kräuterkulturen des Exaktversuchs in Bärnbach mit Bezeichnung, der zugehörigen Pflanzenfamilie und der Anbaufläche in Österreich im Jahr 2017

Name	Wissenschaftlicher Name	Pflanzenfamilie	Anbaufläche in Österreich 2017
Karotte	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i>	Apiaceae	1.836 ha
Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i>	Solanaceae	22.991 ha
Kürbis	<i>Cucurbita pepo</i> var. <i>styriaca</i>	Cucurbitaceae	22.867 ha
Knollenfenchel	<i>Foeniculum vulgare</i> var. <i>azoricum</i>	Apiaceae	49 ha
Lauch	<i>Allium ampeloprasum</i>	Amaryllidaceae	158 ha
Linsen	<i>Lens culinaris</i>	Fabaceae	k.A.
Rote Rüben	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>conditiva</i>	Amaranthaceae	148 ha
Sellerie	<i>Apium graveolens</i> var. <i>rapaceum</i> / var. <i>dulce</i>	Apiaceae	331 ha
Weißkraut	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>alba</i>	Brassicaceae	399 ha
Zitronenverbene	<i>Aloysia triphylla</i>	Verbenaceae	k.A.

Tabelle in Anlehnung an (AGRAR MARKT AUSTRIA, 2017, 2018; LABER und LATTASCHKE, 2014; LIEBERE et al., 2012)

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt eine Übersicht über die Ansprüche der diversen kultivierten Gemüse- und Kräuterkulturen. Einige Kulturen stellen besondere Ansprüche an die Versorgung mit Mikronährstoffen. Dazu zählen die Roten Rüben, bei denen auf eine ausreichende Borversorgung geachtet werden muss, damit es zu keiner Herz- und Trockenfäule kommt. Auch Sellerie ist eine borliebende Kulturpflanze und Weißkraut benötigt neben Bor auch Mangan (LABER und LATTASCHKE, 2014). Bei Linsen haben sich in diversen Versuchen bei einer Zufuhr von Mangan, Zink, Eisen oder Bor steigende Erträge gezeigt (ERSKINE, 2009).

Bei der Kultivierung ist bei Karotten und Roten Rüben auf einen steinfreien Boden zu achten, damit es zu keinen Ernteerschwernissen kommt und damit sich die Rüben problemlos entwickeln können. Ein weiterer wichtiger Produktionsfaktor ist die Wasserversorgung, denn Karotten, Kartoffeln, Lauch und Sellerie reagieren besonders empfindlich auf Staunässe (LABER und LATTASCHKE, 2014).

## Charakterisierung der untersuchten Kräuter- und Gemüsekulturen

Tabelle 10 Übersicht über die Standortansprüche der untersuchten Gemüse- und Kräuterkulturen, sowie Besonderheiten bei den Nährstoffansprüchen

<b>Name</b>	<b>Ansprüche</b>	<b>Besonderheiten in den Nährstoffansprüchen</b>
Karotte	empfindlich gegen Staunässe, lockerer und steinfreier Boden	chloridempfindlich
Kartoffel	empfindlich gegen Staunässe, kühlsgemäßigtes Klima	k.A.
Kürbis	humusreich, sandiger Lehm oder lehmiger Sand	k.A.
Knollenfenchel	leicht erwärmbare, tiefgründige, nährstoffreiche Böden	mittlerer Nährstoffbedarf
Lauch	empfindlich gegen Staunässe	k.A.
Linsen	leichte, sandige Böden	fixieren N, steigender Ertrag bei Zn-, Mn-, Fe-, B-Gaben
Rote Rüben	anspruchlos, leicht saure bis neutrale Bodenreaktion, steinreiche Böden meiden	B-bedürftig
Sellerie	empfindlich gegen Staunässe, benötigt schwerere humusreiche und nährstoffreiche Böden	salzverträglich, chloridliebend, B-bedürftig
Weißkraut	neutrale bis alkalische Bodenreaktion, humusreich	Starkzehrer, B- und Mn-bedürftig
Zitronenverbene	schwere und kalkhaltige Böden, bevorzugt sonnige, geschützte Lagen	k.A.
Tabelle in Anlehnung an (AUFHAMMER, 1998; ERSKINE, 2009; GEORGE et al., 2009; LABER und LATTASCHKE, 2014; LEMBACHER und BRANDSTETTER, 2015; MATTHEUS-STAAACK, 2006)		

## 6 Material und Methoden

### 6.1 Datengrundlage

Die verwendeten Daten in dieser Masterarbeit stammen aus einem Fruchtfolge- und Düngungsversuch in Bärnbach. Der erste Versuch auf dieser Fläche begann 1994 und wurde bis 2001 durchgeführt. Ab dem Jahr 2002 bis 2019 wurde dieser Versuch weitergeführt mit Änderungen in den Düngungsvarianten und den Analysestandorten. Die Schwermetallgehalte liegen in den Jahren nach 2008 vor, bis auf 2012 und 2013. Die fehlenden Schwermetallanalysen sind Folge von fehlenden finanziellen Mitteln während der Versuchsdauer zur Durchführung dieser Analysen.

### 6.2 Versuchsstandort

Die Versuchsfläche befindet sich in Bärnbach, in der Weststeiermark. Die Versuchsfläche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde von Herrn Herbert Buchgraber seit 1994 als Versuchsfläche für Düngungs- und Fruchtfolgeversuche verwendet (Koordinaten 47.0844295, 15.1226009). In der Tabelle 11 sind die Standorteigenschaften der Versuchsfläche zusammengefasst.

Tabelle 11 Übersicht über die Standorteigenschaften der Versuchsfläche in Bärnbach

Standorteigenschaften	
<b>Bodentyp</b>	Lockersediment-Braunerde aus feinem und grobem Schwemmmaterial, leicht verglejt
<b>Horizonte</b>	Ap, AB, G
<b>Bodenart</b>	Lehmiger Sand (IS), sandiger Lehm (sL)
<b>Wasserverhältnis</b>	Mäßig feucht
<b>Wasserspeicherung</b>	Mäßig
<b>Wasserdurchlässigkeit</b>	Hoch
<b>Neigung</b>	Schwach
<b>Kalkgehalt</b>	Kalkfrei
<b>Humusverhältnisse</b>	Mull: Mittelhumos bis schwach humos
<b>Bodenreaktion</b>	Schwach sauer
Tabelle in Anlehnung an (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT, 2016).	

Die Versuchsfläche weist drei Bodenhorizonte auf. Der oberste Oberbodenhorizont Ap ist durch die pflügende Bodenbearbeitung gekennzeichnet und reicht 20 bis 25 cm in die Tiefe. Darunter findet sich ein braun gefärbter Übergangshorizont AB bis zu einer Tiefe von 55 bis 65 cm. Darunter befindet sich ein Mineralbodenhorizont G der durch Grundwassertätigkeiten geprägt ist (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT, 2016; NESTROY, 2015).

Der Boden ist tiefgründig, was bei landwirtschaftlichen Nutzflächen auf einen mindestens 70 cm mächtigen Lockersedimenthorizont hinweist (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT, 2016; BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2017). Die Versuchsfläche ist gut mit Wasser versorgt und der Boden besitzt eine hohe Durchlässigkeit, wodurch die Wasserspeicherefähigkeit dieses Bodens nur mäßig ist (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND

LANDSCHAFT, 2016). Auf der Fläche ist die Bodenart lehmiger Sand (IS) bis sandigen Lehm (sL) mit einem geringen bis mäßigen Grobanteil. Dadurch ist die Bodenbearbeitung stellenweise leicht erschwert, da der zu Grunde liegende Schotter nach oben treten kann (BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT, 2016).

Für die Einschätzung der klimatischen Verhältnisse werden die Klimadaten der Jahre 1971 bis 2000 der Messstation Lobming herangezogen. In der Tabelle 12 sind die Klimaverhältnisse des Versuchsstandorts zusammengefasst.

Tabelle 12 Übersicht der Klimadaten für die Messstation Lobming

Klimadaten	
<b>Tagesmittel/Jahr</b>	8,2 °C
<b>Temperaturmaximum</b>	35,4 °C
<b>Temperaturminimum</b>	-24,0 °C
<b>Niederschlagssumme/Jahr</b>	921,1 l/m <sup>2</sup>
Tabelle in Anlehnung an (ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK, 2002)	

Die Abbildung 1 zeigt die Klimakurve für die Wetterstation Lobming, in der Nähe der Versuchsfläche. Die Klimakurve zeigt, dass der durchschnittliche Niederschlag in den Sommermonaten (Juni, Juli, August) über 100 mm liegt.

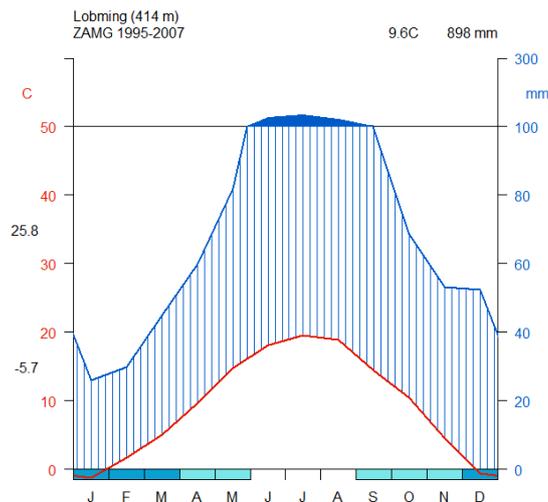


Abbildung 1 Klimakurve nach Walter der Messstation Lobming aus den Jahren 1995-2007

### 6.3 Versuchsaufbau

Der Fruchtfolgeversuch in Bärnbach war in sechs Blöcke geteilt, auf denen die geplante Fruchtfolge jährlich wechselte. Jeder Block hatte eine Größe von 12 m x 18 m und damit eine Fläche von 216 m<sup>2</sup>. Die Fruchtfolge bestand aus Winterweizen (*Triticum*), Winterraps (*Brassica napus*), Kürbis (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*), Kartoffeln (*Solanum tuberosum*), Sommergerste (*Hordeum vulgare*) und den unterschiedlichen Gemüse- oder Kräuterkulturen. Die Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Anordnungen der sechs Blöcke auf der Versuchsfläche in Bärnbach. Jeder Block wurde mit den fünf unterschiedlichen Varianten gedüngt und pro Block gab es 4 Wiederholungen. In Abbildung 3 ist der Grundplan des Blocks 1 schematisch dargestellt, wobei die Kleinbuchstaben (a, b, c, d) die Wiederholungen

benennen und die Zahlen 1 bis 5 die Düngungsvarianten anzeigen (1: ungedüngt, 2: Biokompost, 3: Stallmistkompost, 4: NPK, 5: Klärschlammkompost).

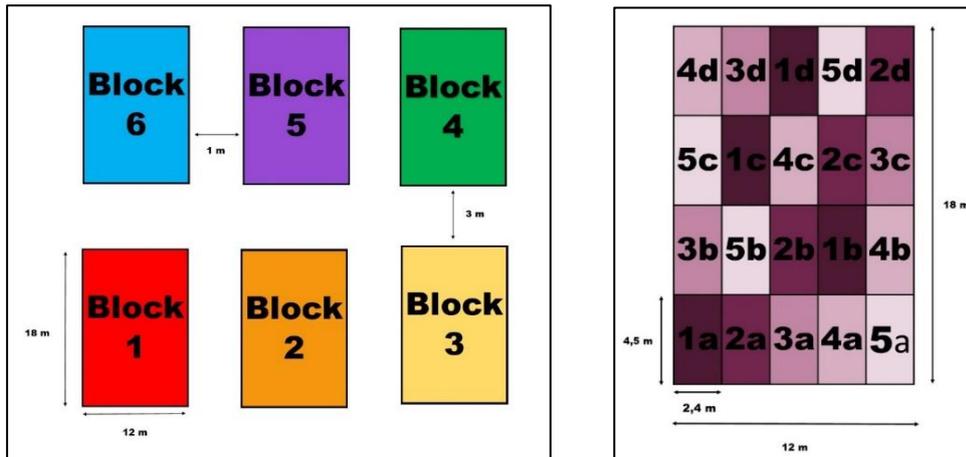


Abbildung 2 Schematische Darstellung des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach mit 6 Blöcken

Abbildung 3 Schematische Darstellung des Grundplans des Blocks 1 des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach mit 5 Düngungsvarianten (1: ungedüngt, 2: Biokompost, 3: Stallmistkompost, 4: NPK, 5: Klärschlammkompost) und 4 Wiederholungen (a, b, c, d).

Die Tabelle 13 zeigt die Fruchtfolge mit den sechs Kulturen auf der Versuchsfläche ab dem Jahr 2002 bis zum Jahr 2018. Im Jahr 2019 wurde noch Klee gras auf der gesamten Versuchsfläche angebaut, um Nährstoff- und Schwermetallunterschiede deutlich zu machen.

Tabelle 13 Sechsschlägige Fruchtfolge der Versuchsfläche von 2002-2018 mit Winterweizen, Winterraps, Kürbis, Kartoffel, Sommergerste und Gemüsekulturen

Jahr	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6
2002	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse
2003	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen
2004	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps
2005	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis
2006	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel
2007	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste
2008	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse
2009	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen
2010	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps
2011	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis
2012	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel
2013	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste
2014	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse
2015	Winterraps	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen
2016	Kürbis	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps
2017	Kartoffel	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis
2018	Sommergerste	Gemüse	Winterweizen	Winterraps	Kürbis	Kartoffel

## 6.4 Düngungsvarianten

Für diesen Versuch wurden fünf unterschiedliche Düngungsvarianten eingesetzt, um die Unterschiede zwischen diesen Düngern festzustellen. Es wurden folgende Düngungsvarianten eingesetzt:

- Biokompost
- Klärschlammkompost
- Stallmistkompost
- Mineraldüngung (NPK)
- Ungedüngt

Die Düngermengen wurden jedes Jahr auf die entsprechende Kultur und deren Nährstoffbedürfnisse angepasst und dementsprechend variieren die Düngermengen über die Jahre und Kulturen hinweg.

## 6.5 Untersuchte Merkmale

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Düngungsvarianten, der Boden und die Ernteprodukte untersucht und auf Makronährstoffe und Mikronährstoffe, sowie auf Spurenelemente und Schwermetalle untersucht. In dieser Masterarbeit werden nur die Schwermetallgehalte in den geernteten Gemüse- und Kräuterkulturen beschrieben und dargestellt. Da die Schwermetallgehalte nur bei ausgewählten Kulturen in ihren verschiedenen Pflanzenteilen erhoben wurden, beziehen sich die Abbildungen dazu auf diese ausgewählten Kulturen.

## 6.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung in dieser Masterarbeit wurde mit dem statistischen Programm SPSS auf der Basis von Datensätzen in Excel Tabellen durchgeführt.

Von den vorhandenen Schwermetallgehalten der einzelnen Gemüsekulturen wurden auch Transferfaktoren berechnet, die auch Bioakkumulationsfaktoren genannt werden. Den Transferfaktor erhält man folgendermaßen:  $TF = \frac{\text{Gehalt in der Pflanze}}{\text{Gehalt im Boden}}$ .

Um die Schwermetallgehalte mit den gesetzlichen Grenzwerten zu vergleichen, müssen die Schwermetallgehalte, die nur in der Trockenmasse vorliegen, auf die Frischmasse aufgerechnet werden, da die gesetzlichen Grenzwerte sich auf die Schwermetalle in der Frischmasse beziehen. Da von den untersuchten Kulturen und Proben keine Wassergehalte erhoben wurden, werden durchschnittliche Wassergehalte verwendet. Die nachfolgende Tabelle 14 fasst die verwendeten Wassergehalte zusammen.

Tabelle 14 Durchschnittliche Wassergehalte ausgewählter Kulturpflanzen in g pro 100g essbarem Anteil

Kultur	Wasser in g pro 100g essbarem Anteil
Kartoffel	77,8
Linse	11,8
Weißkraut	90,5
Karotte	88,2
Rote Rübe	86,2
Knollensellerie	88,6
Fenchel	86
Zitronenverbene	80 (geschätzt)
Sellerie-Pflanze	92,9
Lauch	89
Kürbiskerne	2,1
Tabelle in Anlehnung an JUNG et al., 2019; LIEBEREI et al., 2012	

## 7 Ergebnisse und Diskussion

Dieses Kapitel befasst sich mit den Ergebnissen der statistischen Auswertungen mittels der Software IBM SPSS Statistics Version 26 und Microsoft Excel. Im Anschluss an die beschriebenen Ergebnisse werden diese auch direkt diskutiert.

Eine deskriptive Analyse der Schwermetallgehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen (siehe Anhang) ergibt die folgende Reihenfolge der Konzentrationen: Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Co > Cd.

Betrachtet man die Konzentrationen in Abhängigkeit von den Kulturen, so ergeben sich gesonderte Reihenfolgen für jede der kultivierten Gemüse- und Kräuterkulturen, die in der nachfolgenden Tabelle 15 dargestellt sind. Diese Reihenfolgen zeigen, dass Eisen immer das mengenmäßig am häufigsten aufgenommenen Schwermetall ist und am geringsten werden Cobalt oder Cadmium aufgenommen.

Tabelle 15 Reihenfolge der Schwermetallkonzentrationen von Eisen, Mangan, Bor, Zink, Kupfer, Molybdän, Nickel, Blei, Chrom, Cadmium und Cobalt bei den Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Reihenfolge der Schwermetallgehalte
Fenchel	Fe > Mn > B > Zn > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Cd > Co
Karotte	Fe > B > Zn > Mn > Cu > Ni > Mo > Cr > Pb > Cd > Co
Kartoffel	Fe > Zn > Mn > B > Cu > Mo > Cr > Ni > Pb > Co > Cd
Kürbis	Fe > Zn > Mn > B > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Co > Cd
Lauch	Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Pb > Cr > Ni > Co > Cd
Linse	Fe > Zn > Mn > B > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Cd > Co
Rote Rübe	Fe > Mn > B > Zn > Cu > Mo > Pb > Cr > Ni > Co > Cd
Sellerie	Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Cr > Pb > Ni > Co > Cd
Weißkraut	Fe > Zn > Mn > Mo > Cu > Pb > Cr > Ni > Co > Cd
Zitronenverbene	Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Co > Cd
Summe	Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo > Ni > Cr > Pb > Co > Cd

Die hohen Eisengehalte könnten einerseits von den hohen Eisengehalten im Boden kommen und andererseits ist zu beachten, dass Eisen ein essenzielles Spurenelement. Im Zusammenhang mit der Tabelle 40 ergeben sich interessante Ergebnisse, da die Reihenfolge der Transferfaktoren sich nicht an dieser Reihenfolge orientiert. Die Transferfaktoren zeigen, dass Molybdän stark in den Pflanzen akkumuliert wird, jedoch in den absoluten Gehalten in den Pflanzen eher im mittleren Bereich zu finden ist. Auch bewegt sich Cadmium hier eher am Ende der Reihenfolge in den Gesamtgehalten, jedoch zeigt Cadmium bei den Transferfaktoren eine große Akkumulationsfähigkeit in Gemüse- und Kräuterkulturen.

### 7.1 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Blei

Die Bleikonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Der ST zeigt für alle Kulturen, dass keine Normalverteilung vorliegt. Der KST zeigt nur für Rote Rüben eine Normalverteilung. Beide Testverfahren ergeben für die Pflanzenteile keine Normalverteilung in Kernen, Knollen, Korn und Wurzel. Der ST zeigt auch keine Normalverteilung im Kraut. Der ST zeigt keine Normalverteilung in den Düngungsvarianten, der KST gibt aber eine Normalverteilung für die ungedüngte Variante an. Da die Bleigehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur

weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

In der Tabelle 16 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Bleigehalte der Gemüse- und Kräuterkulturen zusammengefasst und in der nachfolgenden Abbildung 4 sind diese Bleigehalte noch grafisch in einem Balkendiagramm dargestellt. Hier wird ersichtlich, dass die Bleigehalte in den Roten Rüben mit 1,2 mg/kg TM zwar am höchsten sind, jedoch auch mit einer großen Standardabweichung von 1,33 verbunden sind. Der Median gibt für Rote Rüben einen Bleigehalt von 0,7655 mg/kg TM an. Die geringsten Bleigehalte finden sich in Linsen mit 0,09 mg/kg TM. Betrachtet man den Median, der weniger von Ausreißern beeinflusst wird, finden sich die höchsten Bleigehalte in Sellerie mit 1,598 mg/kg TM, gefolgt von Lauch mit 1,497 mg/kg TM.

Tabelle 16 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Median und Minimum der Bleigehalte in der Trockenmasse in mg/kg von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Blei					
	Anzahl	Mittelwert	Standard- abweichung	Maximum	Median	Minimum
Fenchel	10	0,2171	0,2952	1,0200	0,1105	0,0380
Karotte	5	0,2272	0,1514	0,4960	0,1660	0,1300
Kartoffel	45	0,2733	0,2880	1,3700	0,1960	0,0010
Kürbis	25	0,2143	0,3222	1,6400	0,1570	0,0001
Lauch	10	1,5147	0,3461	2,1020	1,4970	0,9707
Linse	10	0,0933	0,1079	0,3760	0,0685	0,0010
Rote Rübe	10	1,1952	1,3264	4,5400	0,7655	0,1950
Sellerie	15	1,3084	0,7804	2,2945	1,5980	0,2588
Weißkraut	5	0,2499	0,0283	0,2812	0,2345	0,2210
Zitronenverbene	5	0,3017	0,0410	0,3395	0,3120	0,2315

Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Bleigehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Bleigehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Bleigehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Bleigehalten unterscheiden.

Bei den einzelnen Kulturen ergibt der KWT signifikante Unterschiede in den Bleigehalten zwischen Linsen und Roten Rüben mit einem p-Wert von 0,002. Zwischen Linsen und Sellerie zeigt sich auch ein höchst signifikanter Unterschied mit 0,000 im Bleigehalt. Die Linse unterscheidet sich auch vom Lauch höchst signifikant mit 0,000.

Ein weiterer signifikanter Unterschied zeigt sich zwischen Fenchel und Sellerie mit einem p-Wert von 0,003. Der Fenchel unterscheidet sich auch vom Lauch signifikant mit 0,001.

Außerdem zeigen sich zwischen Kürbis und Roter Rübe ein signifikanter Unterschied mit 0,017 und ein höchst signifikanter Unterschied von Kürbis zu Sellerie mit 0,000. Der Kürbis zeigt auch zu Lauch einen höchst signifikanten Unterschied mit einem p-Wert von 0,000. In Kartoffeln zeigt sich ein höchst signifikanter Unterschied im Bleigehalt zu Sellerie und auch zu Lauch mit 0,000.

Diese Signifikanzen zeigen, dass Blei in den diversen Gemüse- und Kräuterkulturen unterschiedlich stark aufgenommen und gespeichert werden kann.

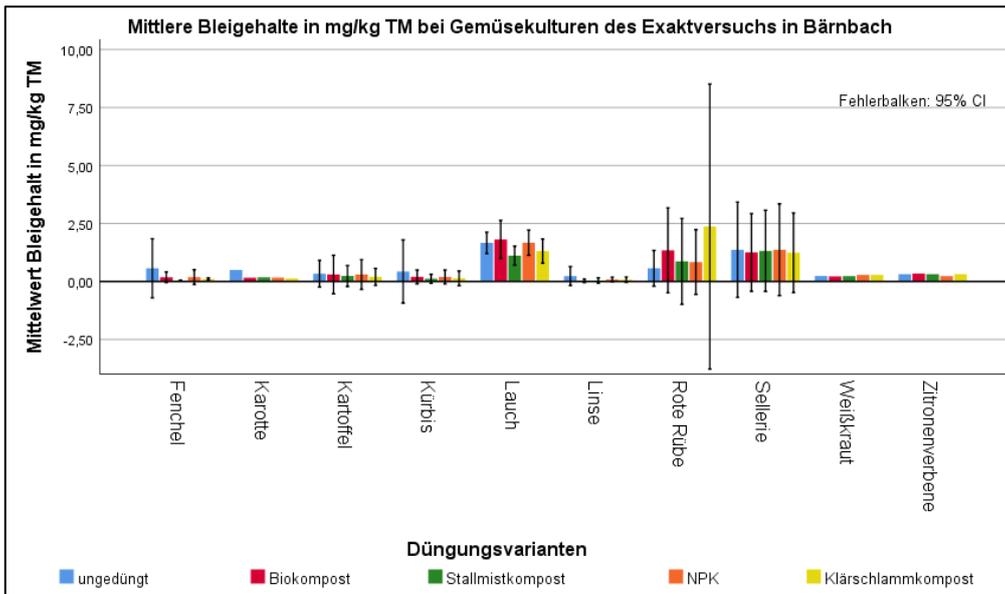


Abbildung 4 Balkendiagramm der Bleigehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Die Bleigehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen zeigen für die fünf Düngungsvarianten keinen signifikanten Unterschied ( $\alpha=0,05$ ). Der KWT zeigt eine Signifikanz von 0,326. Daher wird die Nullhypothese beibehalten, die besagt, dass es keinen Unterschied in der Verteilung der Bleigehalte in den Düngungsvarianten gibt. Damit zeigt sich, dass die Düngung keinen Einfluss auf die Bleigehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen hatte.

Die folgende Tabelle 17 zeigt die Bleigehalte in mg/kg TM in den fünf Kulturen bei denen die Schwermetallgehalte in verschiedenen Pflanzenteilen erhoben wurden. In der Abbildung 5 sind die Bleigehalte in den verschiedenen Pflanzenteilen grafisch dargestellt. Hier zeigt sich, dass bei Fenchel, Roter Rübe und Sellerie die Bleigehalte in den krautigen Pflanzenteilen höher sind als in den Knollen. Betrachtet man bei Fenchel jedoch den Median, ist die Differenz in den Bleigehalten zwischen Kraut und Knolle deutlich geringer. Bei Lauch und Linsen zeigen sich nur geringe Unterschiede im Bleigehalt und die geringsten Bleigehalte konnten in den Linsenkörnern festgestellt werden.

Tabelle 17 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Median und Minimum der Bleigehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Blei					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Maximum	Median	Minimum
Fenchel	Knolle	5	0,1616	0,1145	0,3010	0,1200	0,0380
	Kraut	5	0,2726	0,4187	1,0200	0,1010	0,0480
Karotte	Wurzeln	5	0,2272	0,1514	0,4960	0,1660	0,4960
Kartoffel	Knolle	45	0,2733	0,2880	1,3700	0,1960	0,0010
Kürbis	Kerne	25	0,2143	0,3222	1,6400	0,1570	0,0001
Lauch	Blätter	5	1,7096	0,3316	2,1020	1,8265	1,2610
	Ganzpflanze	5	1,3198	0,2543	1,5215	1,4805	0,9707
Linse	Korn	5	0,0936	0,1594	0,3760	0,0350	0,0010
	Pflanze	5	0,0930	0,0282	0,1220	0,0880	0,0530
Rote Rübe	Knolle	5	0,6062	0,7760	1,9900	0,2930	0,1950
	Kraut	5	1,7842	1,5777	4,5400	1,3300	0,6930
Sellerie	Ganzpflanze	5	2,0620	0,2258	2,2945	2,1715	1,7840
	Knolle	5	0,3040	0,0826	0,4507	0,2629	0,2588
	Kraut	5	1,5592	0,1549	1,6830	1,5980	1,3015
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	0,3017	0,0410	0,3395	0,3120	0,2315

Der KWT zeigt signifikante Unterschiede in den Bleigehalten zwischen den diversen Pflanzenteilen. Die Bleigehalte in den Körnern zeigen signifikante Unterschiede zu den Bleigehalten im Kraut (0,030), in den Ganzpflanzen (0,006) und zu den Blättern (0,003). In den Bleigehalten der Kerne zeigen sich auch signifikante Unterschiede zum Kraut (0,009), zur Ganzpflanze (0,000) und zu den Blättern (0,002).

In den Knollen zeigen sich signifikante Unterschiede zu den Bleigehalten in den Ganzpflanzen (0,004) und zu den Blättern (0,018). Außerdem zeigen sich zwischen den Bleigehalten in den Pflanzen signifikante Unterschiede zu den Ganzpflanzen (0,012) und zu den Blättern (0,005).

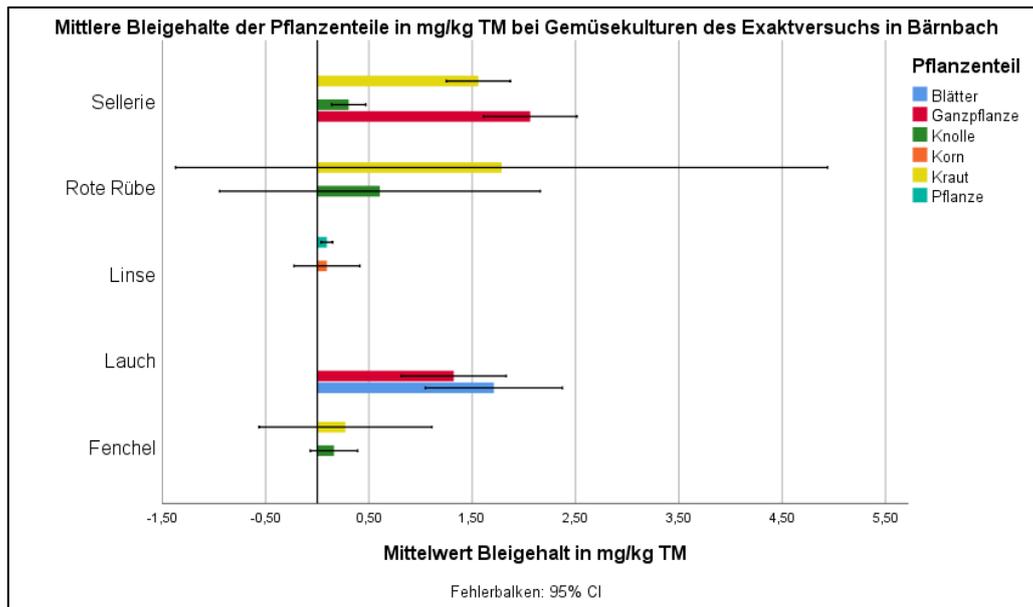


Abbildung 5 Balkendiagramm der Bleigehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Rote Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die Gemüse- und Kräuterkulturen enthielten im Schnitt nicht mehr als 1,5 mg/kg TM Blei, was als gering eingestuft werden kann (CHIZZOLA et al., 2003). Die geringsten Bleigehalte fanden sich in Kartoffeln und Linsen mit 0,001 mg/kg TM und die größten Bleigehalte wurden in Sellerie mit 2,2945 mg/kg TM nachgewiesen. Die Verteilung des Bleis in den Pflanzen tendiert zur Anreicherung in den krautigen Pflanzenteilen. Die Bleigehalte in den essbaren Knollen von Sellerie, Roter Rübe und Fenchel sind deutlich geringer als im Kraut. Bei Linsen zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung des Bleis in der Pflanze, wie in den Körnern. Lauch zeigt hingegen in den Blättern, die den von Menschen verzehrten Teil entsprechen, einen höheren Bleigehalt im Vergleich zur gesamten Lauchpflanze. Die Bleigehalte sind auch in den Kernen und Körnern geringer, als in den krautigen Pflanzenteilen (CHIZZOLA et al., 2003).

Die folgenden Abbildungen zeigen Balkendiagramme mit den gemessenen Bleigehalten in mg/kg in der Frischmasse, im Vergleich zu den gesetzlichen Grenzwerten laut VO (EG) 1881/2006 für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Die Abbildung 6 zeigt, dass die Bleigehalte in einer Variante bei Linsen den Grenzwert von 0,20 mg/kg FM überschreiten und damit laut der VO (EG) 1881/2006 nicht zulässig sind und eine potentielle Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen.

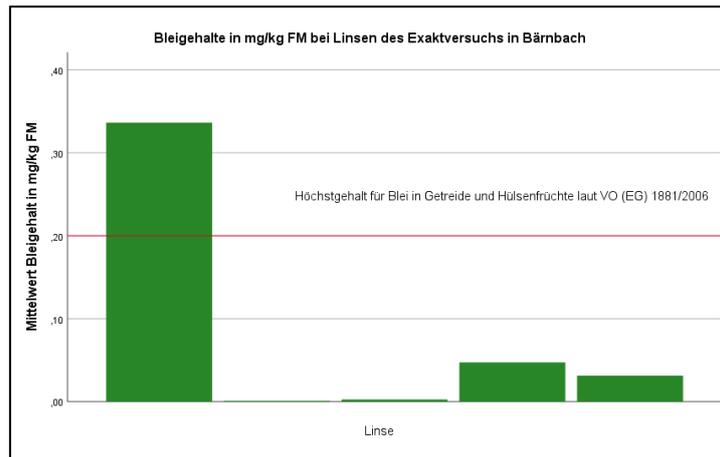


Abbildung 6 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Linsen in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,20 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

Die Abbildung 7 zeigt, dass die Bleigehalte in Lauch den Grenzwert von 0,30 mg/kg FM überschreiten, jedoch Weißkraut und Zitronenverbene den Grenzwert nicht erreichen. Damit stellt der Lauch eine potenzielle Gefahr für die menschliche Ernährung dar, da die Bleigehalte die zulässigen Grenzwerte überschreiten.

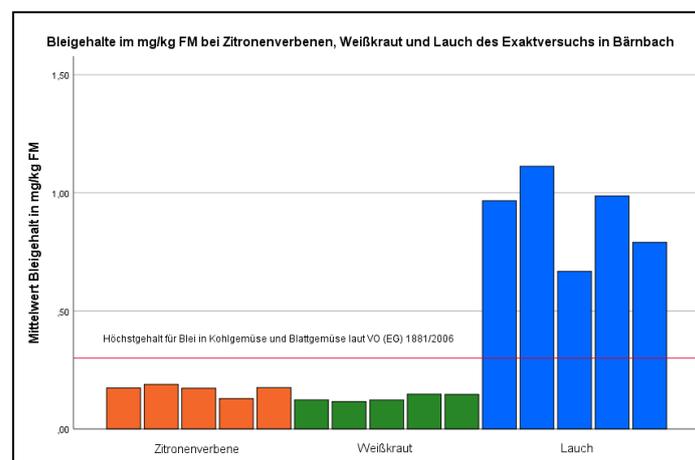


Abbildung 7 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Zitronenverbene, Weißkraut und Lauch in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,30 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

In der Abbildung 8 ist ersichtlich, dass der Grenzwert von 0,10 mg/kg FM von Fenchel, Roter Rübe, Karotte, Sellerie und Kartoffel überschritten wird. Bei den Kartoffeln ist anzumerken, dass sich dieser Grenzwert auf geschälte Kartoffeln bezieht und die erhobenen Bleigehalte in den Kartoffeln mit der Schale erhoben wurden und es dadurch zu Überschreitungen kommen konnte. Auch hier zeigen die Überschreitungen der Grenzwerte, dass es zu potenziellen Gefahren für die menschliche Ernährung durch diese Gemüsekulturen kommen kann.

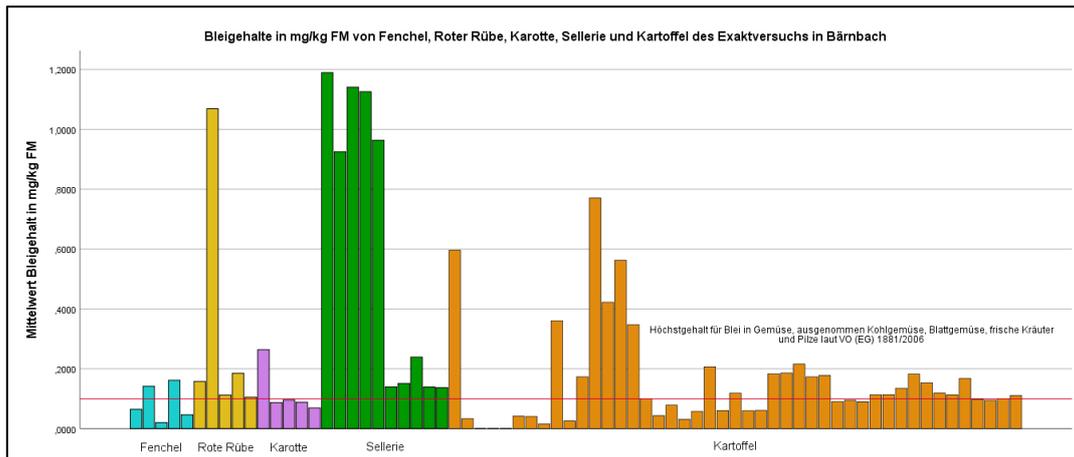


Abbildung 8 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Fenchel, Rote Rübe, Karotte, Sellerie und Kartoffeln in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,10 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

Zusätzlich ist zu erwähnen, dass der Wassergehalt bei den Analysen nicht erhoben wurde und die Bleigehalte in der Trockenmasse erhoben wurden. Die Bleigehalte in der Frischmasse wurden mit durchschnittlichen Wassergehalten für diese Kulturen errechnet und daher könnten diese Werte von den wirklichen Bleigehalten in der Frischmasse abweichen.

## 7.2 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Bor

Die Borkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Die Borgehalte in Fenchel, Karotte und Kürbis sind laut KST normalverteilt und die Gehalte in Kartoffel, Linse und Rote Rübe sind nicht normalverteilt. Auch der ST zeigt für die Borgehalte in Linse und Rote Rübe keine Normalverteilung.

In Bezug auf die Pflanzenteile der Gemüse- und Kräuterkulturen zeigt sich laut KST eine Normalverteilung in Kernen, Korn, Kraut, Pflanze und Wurzeln, jedoch nicht in den Knollen. Nach ST sind Knolle und Kraut nicht normalverteilt.

Der Borgehalt in Bezug auf die fünf Düngungsvarianten zeigt weder beim KST noch beim ST eine Normalverteilung. Da die Borgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

In der Tabelle 18 ist die deskriptive Datenanalyse für die Borgehalte in mg/kg TM für Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Rote Rübe und Linse dargestellt. Hier zeigen sich die höchsten Borgehalte bei Karotten mit 32,2 mg/kg TM, gefolgt von Fenchel mit 31,51 mg/kg TM und Roten Rüben mit 28,57 mg/kg TM. Hier zeigt sich auch bei den Rote Rüben wieder eine große Standardabweichung von 15,21. In der Abbildung 9 sind die Borgehalte auch grafisch in einem Balkendiagramm dargestellt.

Tabelle 18 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Borgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe

	Anzahl	Mittelwert	Bor			
			Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	31,5100	2,9993	27,2000	31,9750	35,9500
Karotte	5	32,2000	2,5661	28,8000	31,9000	36,0000
Kartoffel	45	5,6918	0,5838	4,3800	5,9300	6,4000
Kürbis	25	11,7167	0,3899	11,0500	11,8000	12,4000
Linse	10	9,9740	2,5443	7,4300	9,5000	13,6000
Rote Rübe	10	28,5700	15,2132	13,3000	24,6500	47,4000

Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Borgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Borgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Borgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Borgehalten unterscheiden.

Die festgestellten Borgehalte unterscheiden sich signifikant in Kartoffel und Kürbis mit einem p-Wert von 0,023. Einen höchst signifikanten Unterschied im Borgehalt zeigen Kartoffel und Rote Rübe (0,000), Kartoffel und Fenchel (0,000), sowie Kartoffel und Karotte (0,000). Damit zeigt sich, dass sich Bor in den verschiedenen Gemüsekulturen verschieden stark anreichern kann. Kartoffeln zeigen auch einen signifikant geringeren Borgehalt als die anderen untersuchten Kulturen.

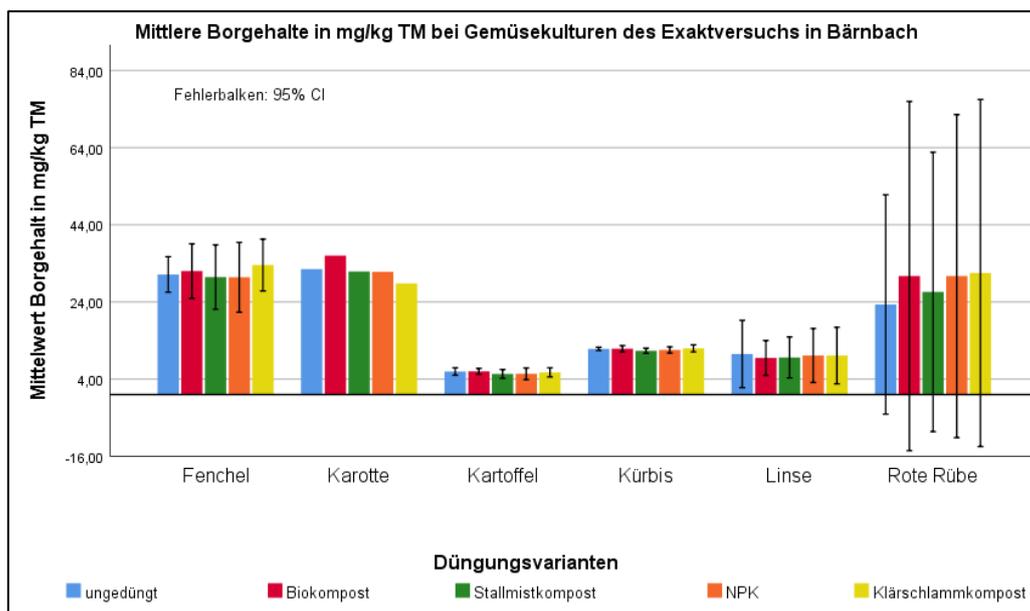


Abbildung 9 Balkendiagramm der Borgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Der KWT zeigt für die Düngungsvarianten mit einem p-Wert von 0,979 keinen signifikanten Unterschied im Borgehalt und daher wird die Nullhypothese beibehalten, die besagt dass die Verteilung der Borgehalte identisch in den Düngungsvarianten ist.

Für die Kulturen Fenchel, Linse und Rote Rübe liegen ebenfalls die Borgehalte in den verschiedenen Pflanzenteilen vor. Diese sind in der Tabelle 19 und in der Abbildung 10

dargestellt. Bei der Roten Rübe zeigen sich in der Knolle geringere Borgehalte als im Kraut und bei den Linsen finden sich in den Körnern geringere Borgehalte als in der Pflanze. Beim Fenchel zeigen sich in der Knolle jedoch höhere Borgehalte als im Kraut.

Tabelle 19 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Borgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe

		Bor					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	34,0400	1,2376	32,7500	33,6000	35,9500
	Kraut	5	28,9800	1,6453	27,2000	29,5000	31,2000
Karotte	Wurzel	5	32,2000	2,5661	28,8000	31,9000	36,0000
Kartoffel	Knolle	45	5,6918	0,5838	4,3800	5,9300	6,4000
Kürbis	Kerne	25	11,7167	0,3899	11,0500	11,8000	12,4000
Linse	Korn	5	7,6480	0,1874	7,4300	7,6500	7,9000
	Pflanze	5	12,3000	1,0025	11,1000	12,6000	13,6000
Rote Rübe	Knolle	5	14,6600	1,1194	13,3000	14,7000	15,9000
	Kraut	5	42,4800	5,9806	33,4000	45,5000	47,4000

Der KWT zeigt für die Borgehalte signifikante Unterschiede in den Pflanzenteilen an. Die Körner unterscheiden sich signifikant vom Kraut (0,023) und die Knollen unterscheiden sich signifikant von Wurzeln (0,021). Ein höchst signifikanter Unterschied konnte zwischen Knolle und Kraut festgestellt werden (0,000). Damit wird bestätigt, dass sich Bor in den Pflanzen nicht gleichmäßig anreichert, sondern in den Pflanzenteilen unterschiedliche stark akkumuliert wird. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der Tabelle 19 ist klar ersichtlich, dass sich das Bor signifikant stärker in den grünen krautigen Pflanzenteilen anreichert als in den Speicherorganen und unterirdischen Pflanzenteilen.

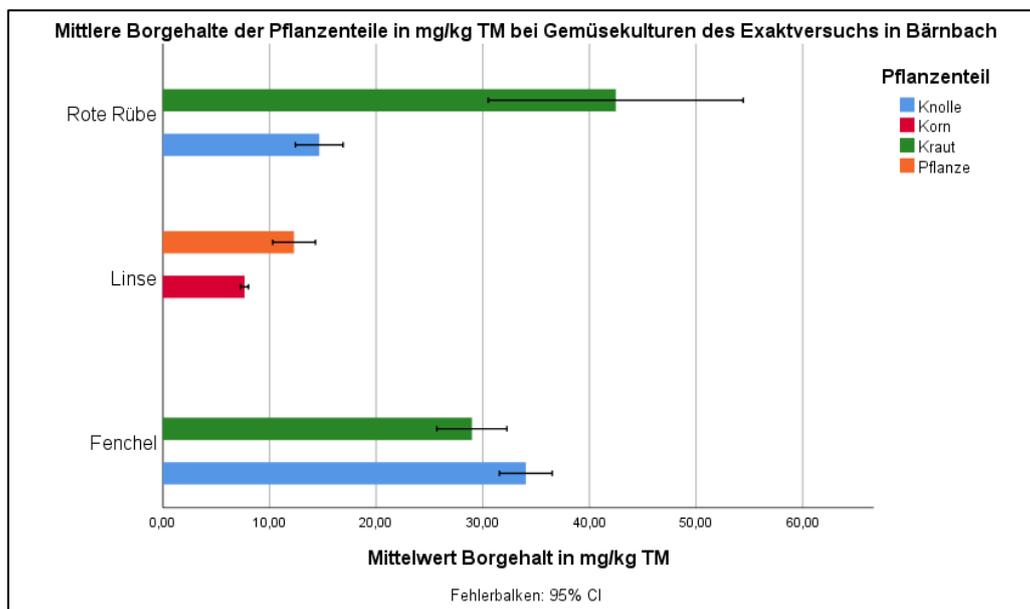


Abbildung 10 Balkendiagramm der Borgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Roter Rübe, Linse und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die geringsten Borgehalte, mit 4,38 mg/kg TM wurden in Kartoffeln gemessen und die größten Borgehalte wurden in Roten Rüben mit 47,4 mg/kg TM festgestellt. Die Verteilung in der Pflanze ist sehr unterschiedlich, denn bei den Roten Rüben findet sich in den essbaren Knollen weniger Bor als im Kraut und bei Fenchel verhält es sich genau umgekehrt.

### 7.3 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Cadmium

Die Cadmiumkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Beide Tests zeigen für Kürbis, Linse und Rote Rübe keine Normalverteilung der Cadmiumgehalte. In den Pflanzenteilen zeigen KST und ST keine Normalverteilung in den Kernen und dem Kraut und bei den fünf Düngungsvarianten gibt es bei keiner Variante eine Normalverteilung.

Die Tabelle 20 zeigt die deskriptive Datenanalyse der Cadmiumgehalte in mg/kg TM in den verschiedenen Gemüse- und Kräuterkulturen. Der höchsten Cadmiumgehalt findet sich in Roten Rüben mit 0,24 mg/kg TM, wobei hier die Standardabweichung 0,15 beträgt. Die geringsten Cadmiumgehalte sind in Weißkraut nachgewiesen worden. In der Abbildung 11 sind diese Cadmiumgehalte in einem Balkendiagramm dargestellt. Da die Cadmiumgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden. Deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Tabelle 20 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cadmiumgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Cadmium					
	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	0,1099	0,0057	0,0990	0,1105	0,1180
Karotte	5	0,1590	0,0168	0,1385	0,1600	0,1825
Kartoffel	45	0,0540	0,0370	0,0125	0,0575	0,1530
Kürbis	25	0,0287	0,0214	0,0005	0,0320	0,0895
Lauch	10	0,0592	0,0103	0,0466	0,0581	0,0739
Linse	10	0,0800	0,0526	0,0295	0,0698	0,1790
Rote Rübe	10	0,2398	0,1511	0,0940	0,2168	0,4715
Sellerie	15	0,1055	0,0242	0,0753	0,0971	0,1731
Weißkraut	5	0,0096	0,0013	0,0078	0,0096	0,0111
Zitronenverbene	5	0,0642	0,0165	0,0500	0,0625	0,0900

Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Cadmiumgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Cadmiumgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Cadmiumgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Cadmiumgehalten unterscheiden.

Die Kulturen zeigen auch im Cadmiumgehalt einige Signifikanzen auf. Weißkraut unterscheidet sich im Cadmiumgehalt höchst signifikant (0,000) von Sellerie, Fenchel, Roter Rübe und Karotte. Der Kürbis zeigt auch höchst signifikante Unterschiede (0,000) zu Sellerie, Fenchel, Roter Rübe und Karotte. Die Kartoffeln zeigen einen höchst signifikanten Unterschied zu den Roten Rüben (0,000) und signifikante Unterschiede zu Karotte (0,006), Fenchel (0,002) und Sellerie (0,008). Damit zeigt sich, dass sich Cadmium unterschiedlich stark in den Gemüsekulturen anreichert.

Der KWT zeigt für die Verteilung der Cadmiumgehalte entlang der Düngungsvariante keine Signifikanz (0,821) und deshalb wird die Nullhypothese beibehalten, dass es keine Unterschiede in den Cadmiumgehalten der Gemüse- und Kräuterkulturen in den fünf Düngungsvarianten gibt.

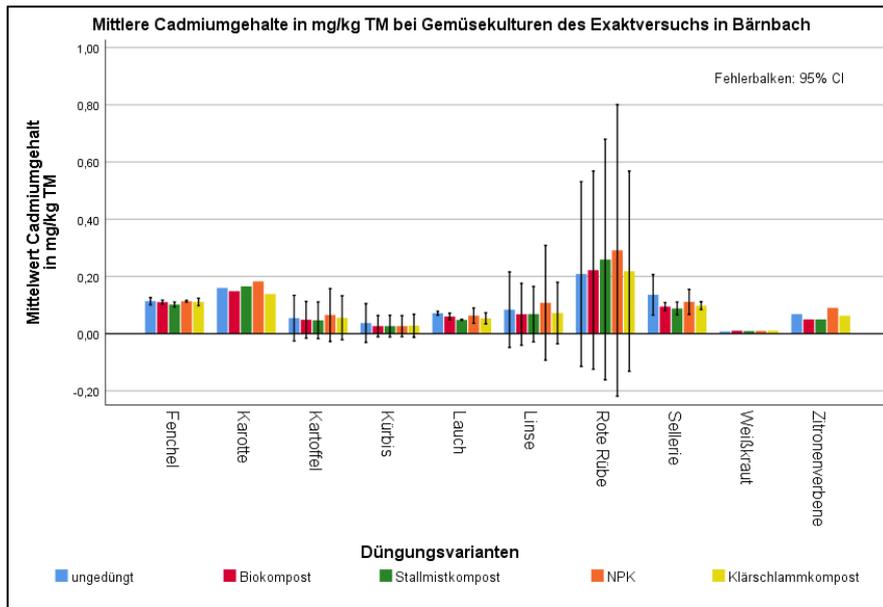


Abbildung 11 Balkendiagramm der Cadmiumgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

In der Tabelle 21 sind die Cadmiumgehalte in mg/kg TM zusammengefasst und nach den einzelnen Pflanzenteilen aufgeschlüsselt. In der Abbildung 12 sind die Cadmiumgehalte in den Pflanzenteilen in einem Balkendiagramm dargestellt. Es ist bei Roter Rübe und bei Linse ein Unterschied erkennbar. Bei Roten Rüben befindet sich im Kraut mehr Cadmium als in der Knolle und bei Linsen sind in der Pflanze höhere Cadmiumgehalte zu finden als in den Körnern.

Tabelle 21 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cadmiumgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Cadmium					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	0,1101	0,0075	0,0990	0,1125	0,1180
	Kraut	5	0,1098	0,0041	0,1050	0,1090	0,1155
Karotte	Wurzel	5	0,1590	0,0168	0,1385	0,1600	0,1825
Kartoffel	Knolle	45	0,0540	0,0370	0,0125	0,0575	0,1530
Kürbis	Kerne	25	0,0287	0,0214	0,0005	0,0320	0,0895
Lauch	Blätter	5	0,0640	0,0101	0,0490	0,0642	0,0739
	Ganzpflanze	5	0,0545	0,0090	0,0466	0,0535	0,0690
Linse	Korn	5	0,0343	0,0031	0,0295	0,0340	0,0370
	Pflanze	5	0,1256	0,0318	0,1025	0,1100	0,1790
Rote Rübe	Knolle	5	0,1019	0,0084	0,0940	0,0995	0,1110
	Kraut	5	0,3777	0,0615	0,3225	0,3445	0,4715
Sellerie	Ganzpflanze	5	0,0978	0,0079	0,0872	0,0961	0,1082
	Knolle	5	0,1205	0,0336	0,0926	0,1058	0,1731
	Kraut	5	0,0982	0,0211	0,0753	0,0925	0,1322
Weißkraut	Ganzpflanze	5	0,0096	0,0013	0,0078	0,0096	0,0111
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	0,0642	0,0165	0,0500	0,0625	0,0900

Der KWT zeigt in den Cadmiumgehalten signifikante Unterschiede in den Pflanzenteilen. Die Cadmiumgehalte in den Kernen unterscheiden sich signifikant von den Knollen (0,004) und den Pflanzen (0,001). Außerdem zeigen die Kerne höchst signifikante Unterschiede zum Kraut (0,000) und den Wurzeln (0,000). Die Cadmiumgehalte in den Körnern unterscheiden sich

signifikant vom Kraut (0,011) und den Wurzeln (0,016). Die Gehalte in den Ganzpflanzen sind signifikant unterschiedlich zu den Cadmiumgehalten im Kraut (0,001) und den Wurzeln (0,012). Auch in den Knollen sind die Cadmiumgehalten signifikant unterschiedlich zum Kraut (0,002) und zur Wurzel (0,041). Dies zeigt, dass sich Cadmium in den Pflanzenteilen nicht gleichmäßig verteilt.

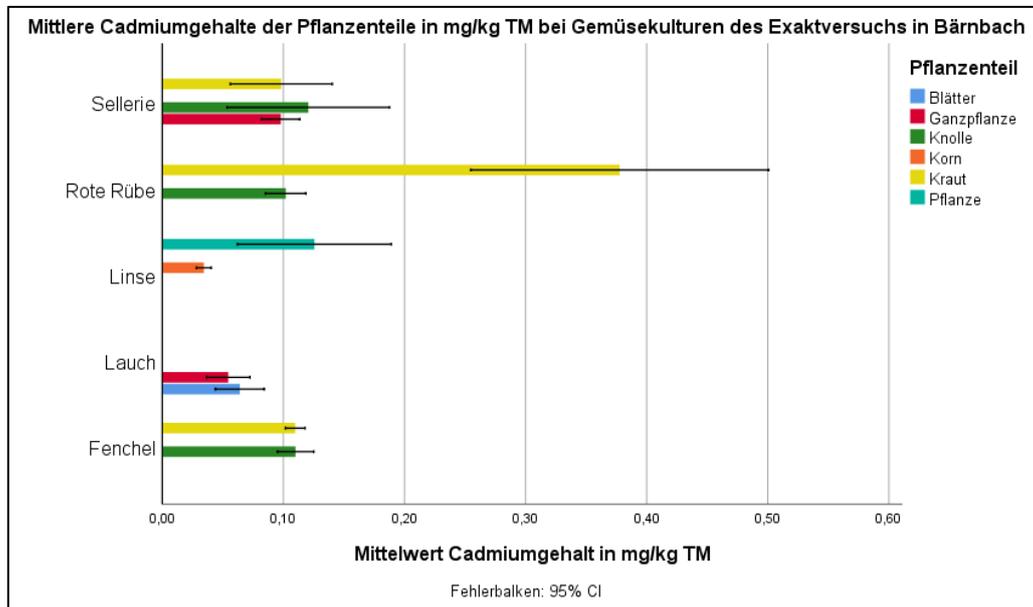


Abbildung 12 Balkendiagramm der Cadmiumgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die Cadmiumkonzentrationen bewegen sich von den geringsten Cadmiumgehalten im Kürbis mit 0,0005 mg/kg TM bis zu den höchsten Cadmiumgehalten in Roten Rüben mit 0,4715 mg/kg TM. In Kernen und Körnern ist weniger Cadmium auffindbar als in den krautigen Pflanzenteilen. Die Cadmiumgehalten sind bei der Roten Rübe im Kraut höher als in der Knolle, jedoch findet man Sellerie und Fenchel genau die gegenteilige Verteilung, denn dort ist die Cadmiumkonzentration in den Knollen geringfügig höher als im Kraut. Das Weißkraut zeigt geringe Cadmiumgehalten und tendiert nicht dazu, Cadmium zu akkumulieren. In den Karotten zeigen sich vergleichsweise hohe Cadmiumgehalten in den essbaren Karottenwurzeln mit durchschnittlich 0,1590 mg/kg TM Cadmium. Damit zeigt sich, dass sich Cadmium im Wurzelbereich stark anreichern kann (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

Die drei nachfolgenden Balkendiagramme zeigen die Cadmiumgehalten in mg/kg Frischmasse im Vergleich zu den Grenzwerten laut VO (EG) 1881/2006. In der Abbildung 13 überschreiten die Cadmiumgehalten in den Kulturen den Grenzwert von 0,20 mg/kg FM nicht. Abbildung 14 zeigt die Cadmiumgehalten in Linsen im Vergleich zum Grenzwert, der bei 0,05 mg/kg FM liegt. Der Grenzwert bei Linsen wird nicht überschritten. Die Abbildung 15 zeigt die Cadmiumgehalten und den Grenzwert von 0,10 mg/kg FM, der auch hier nicht überschritten wird.

Zusammenfassend ist ersichtlich, dass die Grenzwerte für Cadmium laut VO (EG) 1881/2006 bei den Gemüse- und Kräuterkulturen des Exaktversuchs in Bärnbach nicht überschritten werden und damit bezüglich des Cadmiumgehalts als unbedenklich für die menschliche Ernährung gelten.

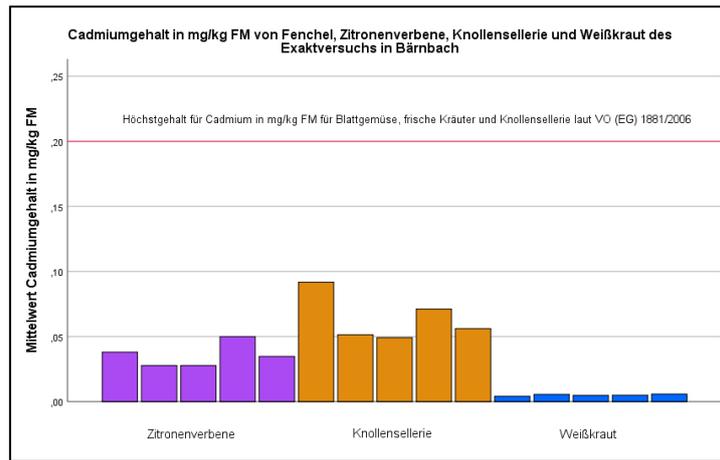


Abbildung 13 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Zitronenverbene, Knollensellerie und Weißkraut mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,20 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

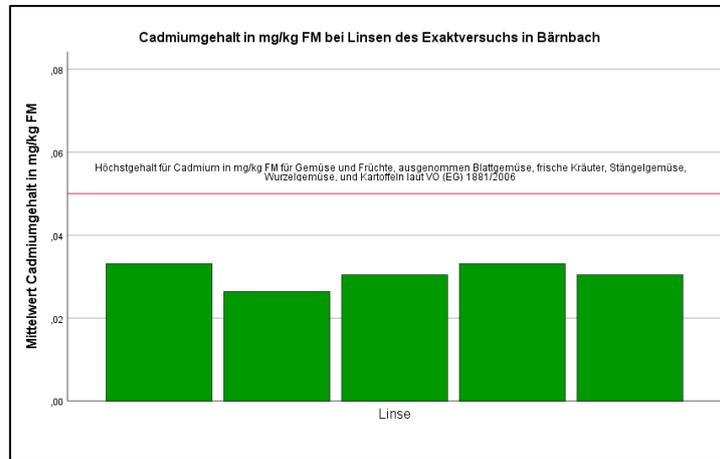


Abbildung 14 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Linsen mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,05 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

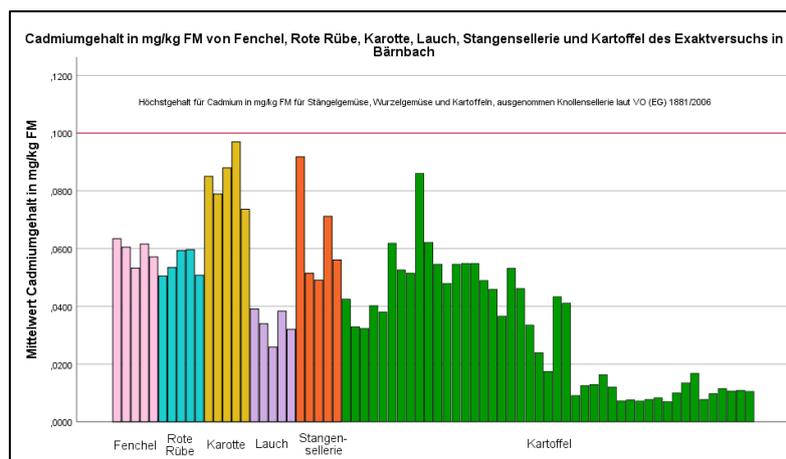


Abbildung 15 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Fenchel, Rote Rübe, Karotte, Lauch, Stangensellerie und Kartoffel mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,10 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006

## 7.4 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Chrom

Die Chromkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Karotte, Kartoffel und Rote Rübe zeigen bei beiden Tests keine Normalverteilung auf. Kürbis zeigt laut ST keine Normalverteilung. Die Pflanzenteile zeigen in den Chromgehalten in den Knollen und den Wurzeln keine Normalverteilung in beiden Tests.

Der ST zeigt auch in Kernen und Kraut keine Normalverteilung. Die Düngung zeigt laut ST nur in Biokompost eine Normalverteilung, laut KST gibt es auch in Klärschlammkompost eine Normalverteilung. Da die Chromgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Tabelle 22 zeigt die deskriptive Datenanalyse der Chromgehalte für die Gemüse- und Kräuterkulturen. Der höchste Chromgehalt wurde in Sellerie mit 1,61 mg/kg TM mit einer Standardabweichung von 0,83 festgestellt. Lauch zeigt einen Chromgehalt von 1,43 mg/kg TM mit einer geringeren Standardabweichung von 0,27. Beim Vergleich der Mediane von Sellerie und Lauch wird ein höherer Chromgehalt für Lauch ersichtlich. Die geringsten Chromgehalte sind in Linsen mit 0,1497 mg/kg TM gefunden worden. Diese Chromgehalte sind auch in der Abbildung 16 in einem Balkendiagramm grafisch dargestellt.

Tabelle 22 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung Minimum, Median und Maximum der Chromgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Mittelwert	Chrom Standard- abweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	0,4112	0,0735	0,2850	0,4065	0,5250
Karotte	5	0,5422	0,0928	0,4290	0,6070	0,6130
Kartoffel	45	0,3178	0,1870	0,0840	0,2876	0,9890
Kürbis	25	0,6661	0,4074	0,2800	0,4770	1,7700
Lauch	10	1,4330	0,2724	1,0220	1,5860	1,7300
Linse	10	0,1497	0,0512	0,0590	0,1585	0,2170
Rote Rübe	10	1,0443	0,7330	0,3625	0,7895	2,3700
Sellerie	15	1,6050	0,8265	0,5636	1,4995	3,0170
Weißkraut	5	0,2208	0,0587	0,1630	0,1957	0,2943
Zitronenverbene	5	0,4309	0,0929	0,3460	0,3960	0,5845

Da keine Normalverteilung vorliegt wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Chromgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Chromgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Chromgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Chromgehalten unterscheiden.

Die Chromgehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen zeigen signifikante Unterschiede. Linsen zeigen im Chromgehalt signifikante Unterschiede zu Fenchel (0,024) und Karotte (0,014).

Höchst signifikante Unterschiede (0,000) ergeben sich auch zwischen Linse und Kürbis, sowie Roter Rübe, Sellerie und Lauch. Das Weißkraut zeigt in den Chromgehalten signifikante Unterschiede zur Roten Rübe (0,017) und höchst signifikante Unterschiede (0,000) zu Sellerie und Lauch.

Außerdem gibt es höchst signifikante Unterschiede zwischen Kartoffeln und Kürbis (0,001), Kartoffeln und Roter Rübe (0,001), Kartoffeln und Sellerie (0,000) und zwischen Kartoffeln und Lauch (0,000). Chrom wird somit von den Gemüsekulturen unterschiedlich stark angereichert.

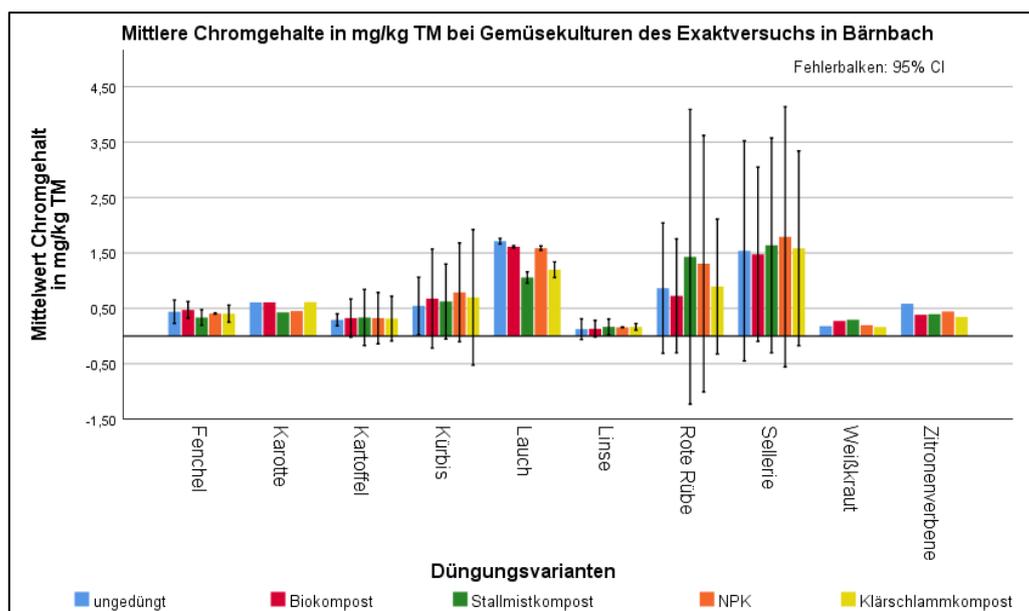


Abbildung 16 Balkendiagramm der Chromgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Die Verteilung von Chrom in den Gemüsekulturen über die Kategorie der Düngungsvarianten zeigt keinen signifikanten Unterschied (0,998). Damit kann die Nullhypothese beibehalten werden, die bestätigt, dass es keine Unterschiede in der Verteilung der Chromgehalte in den fünf Düngungsvarianten gibt.

Die Unterschiede der Chromgehalte in Bezug auf die Pflanzenteile sind in der Tabelle 23 ersichtlich und in der Abbildung 17 grafisch dargestellt. Dabei lässt sich erkennen, dass im Sellerie in den Knollen weniger Chrom zu finden ist als in den krautigen Pflanzenteilen. Auch bei den Roten Rüben ist in den Knollen weniger Chrom vorhanden als im Kraut.

Tabelle 23 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Chromgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Chrom					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	0,3939	0,0852	0,2850	0,4030	0,5140
	Kraut	5	0,4284	0,0644	0,3640	0,4100	0,5250
Karotte	Wurzel	5	0,5422	0,0928	0,4290	0,6070	0,6130
Kartoffel	Knolle	45	0,3178	0,1870	0,0840	0,2876	0,9890
Kürbis	Kerne	25	0,6661	0,4074	0,2800	0,4770	1,7700
Lauch	Blätter	5	1,4308	0,2853	1,0220	1,5720	1,6940
Linse	Ganzpflanze	5	1,4351	0,2925	1,0940	1,6000	1,7300
	Korn	5	0,1110	0,0420	0,0590	0,1160	0,1560
Rote Rübe	Pflanze	5	0,1884	0,0199	0,1610	0,1880	0,2170
	Knolle	5	0,4505	0,0520	0,3625	0,4640	0,4890
Sellerie	Kraut	5	1,6380	0,5700	1,0900	1,3250	2,3700
	Ganzpflanze	5	2,5899	0,2964	2,2580	2,5500	3,0170
Weißkraut	Knolle	5	0,6912	0,1157	0,5636	0,6771	0,8793
	Kraut	5	1,5338	0,1635	1,3030	1,4995	1,7060
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	0,2208	0,0587	0,1630	0,1957	0,2943
	Ganzpflanze	5	0,4309	0,0929	0,3460	0,3960	0,5845

Der KWT für die Chromgehalte in den Pflanzenteilen zeigt Signifikanzen auf. Die Chromgehalte in den Körnern unterscheiden sich signifikant von den Wurzeln (0,026). Es zeigen sich auch höchst signifikante Unterschiede zwischen Korn und Kernen (0,001), Korn und Ganzpflanze (0,001), Korn und Kraut (0,000), sowie Korn und Blättern (0,000). Die

Chromgehalte in den Pflanzen sind signifikant unterschiedlich zu den Kernen (0,010) und zur Ganzpflanze (0,006).

Die Pflanze zeigt auch höchst signifikante Unterschiede in den Chromgehalten zum Kraut (0,000) und zu den Blättern (0,001). In den Knollen zeigen sich signifikante Unterschiede zu den Kernen (0,019), zur Ganzpflanze (0,011) und zu den Blättern (0,006). Die Unterschiede zwischen Knollen und Kraut im Chromgehalt sind höchst signifikant (0,000). Dadurch zeigt sich, dass sich Chrom in den Pflanzen unterschiedlich verteilt und nicht gleichmäßig abgelagert.

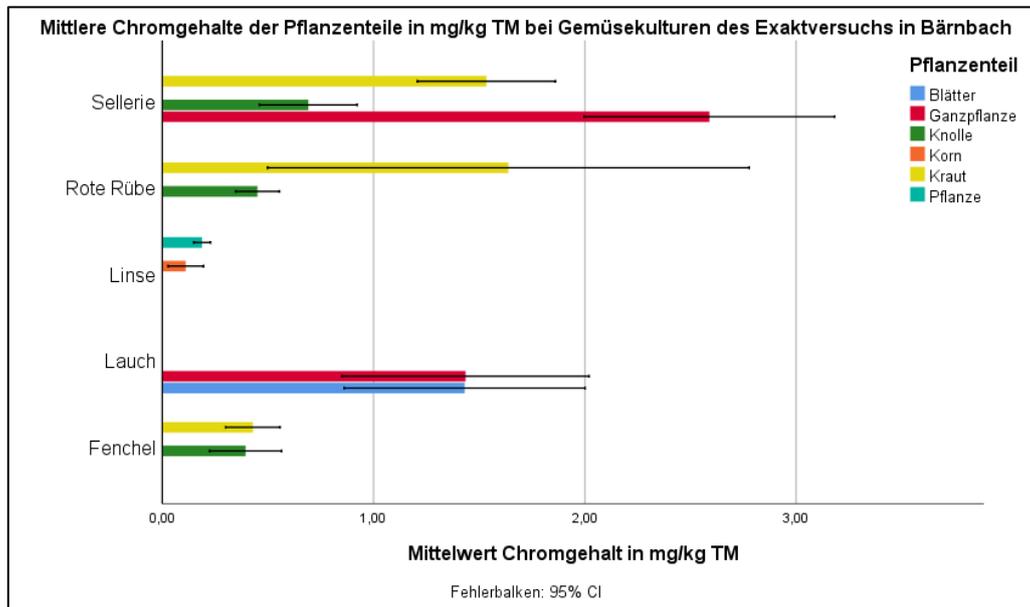


Abbildung 17 Balkendiagramm der Chromgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die geringsten Chromgehalte konnten in Linsen mit 0,0512 mg/kg TM festgestellt werden und die höchsten Chromgehalte wurden mit 3,017 mg/kg TM in Sellerie nachgewiesen. Bei Lauch konnte kein Unterschied in der Chromverteilung in den Pflanzenteilen festgestellt werden, wie auch bei Fenchel. Chrom tendiert dazu, sich bei Sellerie, Roter Rübe und Linse eher im Kraut bzw. in der Pflanze stärker anzureichern. Wurzeln zeigen eine relativ starke Aufnahmefähigkeit für Chrom (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

## 7.5 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Cobalt

Die Cobaltkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Der ST zeigt in Fenchel, Karotte und Kürbis eine Normalverteilung, jedoch nicht in Kartoffel, Linse oder Roter Rübe. Laut KST zeigt die Linse Normalverteilung. Die Cobaltgehalte sind bei beiden Testverfahren in den Knollen und im Kraut nicht normalverteilt und in beiden Tests zeigen die fünf Düngungsvarianten keine Normalverteilung. Da die Cobaltgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden. Deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Cobaltgehalte in mg/kg TM sind in der Tabelle 24 zusammengefasst und in der Abbildung 18 grafisch dargestellt. Das meiste Cobalt ist mit 0,42 mg/kg TM in Lauch festgestellt worden und die geringsten Cobaltgehalte finden sich in Weißkraut mit 0,042 mg/kg TM, dicht gefolgt von Linsen mit 0,047 mg/kg TM. Wenn man die Mediane von Weißkraut und Linsen betrachtet, ist der Cobaltgehalt in Linsen geringer als in Weißkraut.

Tabelle 24 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cobaltgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weskraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Cobalt				
		Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	0,0919	0,0194	0,0560	0,0988	0,1120
Karotte	5	0,0714	0,0124	0,0590	0,0680	0,0910
Kartoffel	45	0,0874	0,0760	0,0270	0,0597	0,3810
Kürbis	25	0,0666	0,0274	0,0370	0,0550	0,1355
Lauch	10	0,4202	0,0907	0,2897	0,4221	0,5657
Linse	10	0,0469	0,0234	0,0270	0,0385	0,0920
Rote Rübe	10	0,4155	0,3496	0,1255	0,2780	1,0135
Sellerie	15	0,3974	0,2658	0,0721	0,4098	0,7777
Weskraut	5	0,0422	0,0060	0,0362	0,0393	0,0510
Zitronenverbene	5	0,0949	0,0229	0,0775	0,0835	0,1335

Da keine Normalverteilung vorliegt wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Cobaltgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet ob sich die Cobaltgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Cobaltgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Cobaltgehalten unterscheiden.

Die Gemüsekulturen zeigen signifikante Unterschiede in den Cobaltgehalten (siehe Abbildung 18). Die Cobaltkonzentrationen in Weskraut unterscheiden sich höchst signifikant (0,000) von Sellerie, Roter Rübe und Lauch. In Linsen zeigen sich höchst signifikante Unterschiede (0,000) in den Cobaltkonzentrationen zu Sellerie, Lauch und Roter Rübe. Bei Kürbis gibt es höchst signifikante Unterschiede (0,000) zu Sellerie, Roter Rübe und Lauch. Außerdem zeigen sich auch bei Kartoffeln höchst signifikante Unterschiede (0,000) zu Sellerie, Roter Rübe und Lauch. Damit zeigt sich, dass sich Cobalt unterschiedlich stark in verschiedenen Gemüsekulturen anreichern kann.

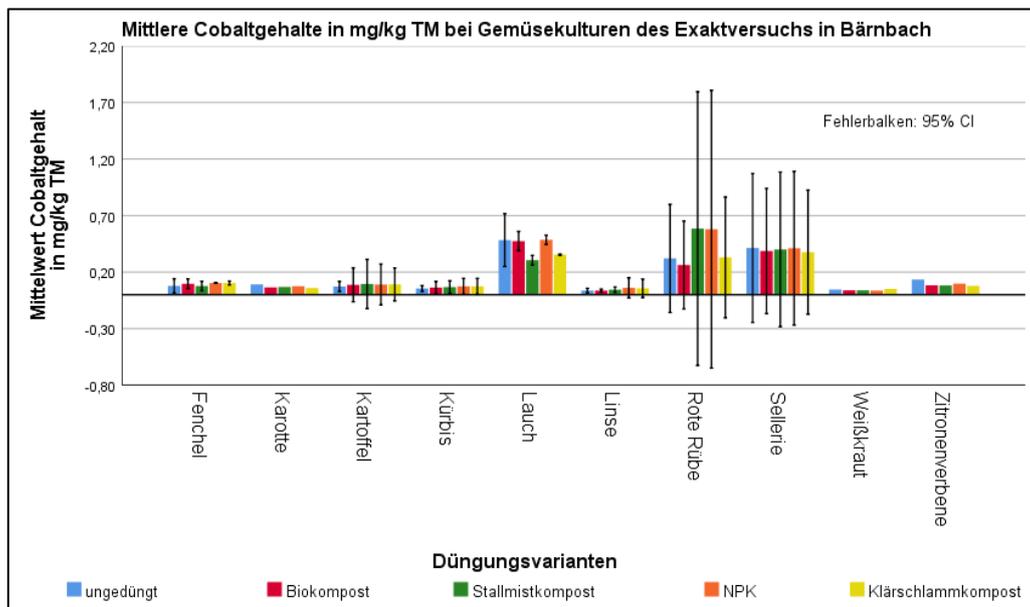


Abbildung 18 Balkendiagramm der Cobaltgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weskraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Die Unterschiede im Cobaltgehalt in Bezug auf die Pflanzenteile sind in der Tabelle 25 sichtbar. In dieser Tabelle ist erkennbar, dass bei Sellerie und Roter Rübe in den Knollen weniger Cobalt gefunden wurde als in den krautigen Pflanzenteilen.

Der KWT ergibt für die Cobaltkonzentrationen signifikante Unterschiede in den Verteilungen in den Pflanzenteilen. Zwischen Pflanze und Knolle gibt es signifikante Unterschiede (0,037). Höchst signifikante Unterschiede zeigen sich zwischen den Cobaltgehalten in der Pflanze und der Ganzpflanze (0,001), dem Kraut (0,000) und den Blättern (0,000). Zwischen Korn und Kraut gibt es auch signifikante Unterschiede (0,032).

Die Kerne zeigen signifikante Unterschiede zur Ganzpflanze (0,023) und zu den Blättern (0,008). Höchst signifikante Unterschiede gibt es zwischen Kernen und Kraut (0,000). Auch zwischen Knolle und Kraut findet sich ein höchst signifikanter Unterschied (0,001) in den Cobaltgehalten. Auch bei Cobalt zeigt sich, dass sich das Schwermetall nicht gleichmäßig in den Pflanzen verteilt, sondern sich in unterschiedlichen Pflanzenteilen verschieden stark anreichert.

Tabelle 25 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cobaltgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Wekraut und Zitronenverbene

		Cobalt					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	0,0891	0,0173	0,0620	0,0970	0,1040
	Kraut	5	0,0946	0,0229	0,0560	0,1040	0,1120
Karotte	Wurzel	5	0,0714	0,0124	0,0590	0,0680	0,0910
Kartoffel	Knolle	45	0,0874	0,0760	0,0270	0,0597	0,3810
Kürbis	Kerne	25	0,0666	0,0274	0,0370	0,0550	0,1355
Lauch	Blätter	5	0,3921	0,0720	0,2897	0,4003	0,4710
	Ganzpflanze	5	0,4483	0,1065	0,3196	0,4997	0,5657
Linse	Korn	5	0,0630	0,0238	0,0410	0,0530	0,0920
	Pflanze	5	0,0308	0,0034	0,0270	0,0300	0,0360
Rote Rübe	Knolle	5	0,1439	0,0118	0,1255	0,1450	0,1560
	Kraut	5	0,6870	0,3008	0,4000	0,5190	1,0135
Sellerie	Ganzpflanze	5	0,7068	0,0713	0,6288	0,7447	0,7777
	Knolle	5	0,0879	0,0143	0,0721	0,0857	0,1113
Wekraut	Kraut	5	0,3975	0,0503	0,3120	0,4098	0,4459
	Ganzpflanze	5	0,0422	0,0060	0,0362	0,0393	0,0510
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	0,0949	0,0229	0,0775	0,0835	0,1335

In der nachfolgenden Abbildung 19 sind die unterschiedlichen Cobaltgehalte in den Pflanzenteilen grafisch in einem Balkendiagramm dargestellt.

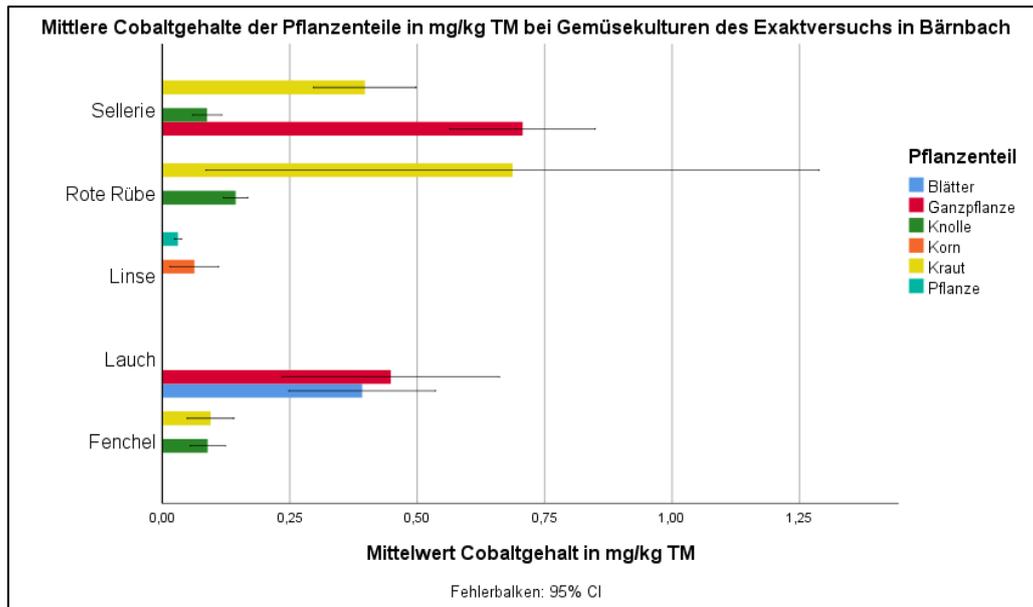


Abbildung 19 Balkendiagramm der Cobaltgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rube, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die Cobaltkonzentrationen in den Gemüse- und Kräuterkulturen befanden sich im Bereich von 0,0270 mg/kg TM (Kartoffel und Linse) und 1,0135 mg/kg TM (Roter Rube). Die Verteilung innerhalb der Pflanze tendiert zu geringen Cobaltkonzentrationen in den Knollen und höheren Gehalten im Kraut. Bei Linsen zeigt sich, dass Cobalt in den Körnern stärker eingelagert wird als in der Pflanze.

## 7.6 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Eisen

Die Eisenkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. In Kartoffeln liegt keine Normalverteilung laut KST vor und der ST zeigt zusätzlich, dass auch in Roten Rüben keine Normalverteilung vorliegt. Beide Testverfahren zeigen in Knollen und Kraut keine Normalverteilung der Eisengehalte, sowie auch keine Normalverteilung in den Düngungsvarianten. Da die Eisengehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Eisengehalte für die Kulturen sind in der Tabelle 26 zusammengefasst. Die höchsten Eisengehalte sind in Roten Rüben mit 804,57 mg/kg TM gefunden worden, wobei die Standardabweichung 581,97 beträgt. Sellerie erreicht einen Eisengehalt von 751,61 mg/kg TM, bei einer Standardabweichung von 496,47 und in Lauch beträgt der Eisengehalt 749,31 mg/kg TM mit einer Standardabweichung von 142,68. Beim Vergleich der Mediane zeigt sich, dass die höchsten Eisengehalte in Lauch gefunden wurden, gefolgt von Sellerie.

Die geringsten Eisengehalte wurden mit 62,75 mg/kg TM in Weißkraut nachgewiesen. Diese Eisengehalte sind auch in der Abbildung 20 in einem Balkendiagramm dargestellt.

Tabelle 26 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Eisengehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weskraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Mittelwert	Eisen Standard- abweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	230,9675	38,0709	155,6750	236,9325	284,3950
Karotte	5	202,1870	7,5710	193,7950	202,2250	211,8050
Kartoffel	45	154,8618	161,1249	61,0350	87,5600	758,2550
Kürbis	25	188,2801	50,2730	125,2500	181,0250	304,5500
Lauch	10	749,3100	142,6795	539,7500	793,1500	936,5500
Linse	10	122,2784	23,4635	85,1810	125,2125	154,6350
Rote Rübe	10	804,5653	581,9726	254,7575	660,7225	1775,1500
Sellerie	15	751,6100	496,4740	130,3500	792,5500	1446,0000
Weskraut	5	62,7530	7,2595	55,5950	60,7950	73,8600
Zitronenverbene	5	253,6300	76,2079	200,9000	212,5000	380,1500

Da keine Normalverteilung vorliegt wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Eisengehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Eisengehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Eisengehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Eisengehalten unterscheiden.

Die Eisengehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen zeigen signifikante Unterschiede auf. Das Weskraut unterscheidet sich signifikant in den Eisengehalten von Kürbis (0,034), von Fenchel (0,005) und von Zitronenverbene (0,030). Das Weskraut zeigt auch höchst signifikante Unterschiede zu Sellerie (0,000), zur Roten Rübe (0,000) und zum Lauch (0,000). Bei Kartoffeln kann ein signifikanter Unterschied zu Fenchel (0,022) festgestellt werden. Kartoffeln zeigen auch einen höchst signifikanten Unterschied (0,000) im Eisengehalt zu Sellerie, Lauch und Roter Rübe. Linsen zeigen signifikante Unterschiede zu Sellerie (0,005) und höchst signifikante Unterschiede zu Roter Rübe (0,001) und Lauch (0,001). Kürbis zeigt im Eisengehalt signifikante Unterschiede zu Lauch (0,036).

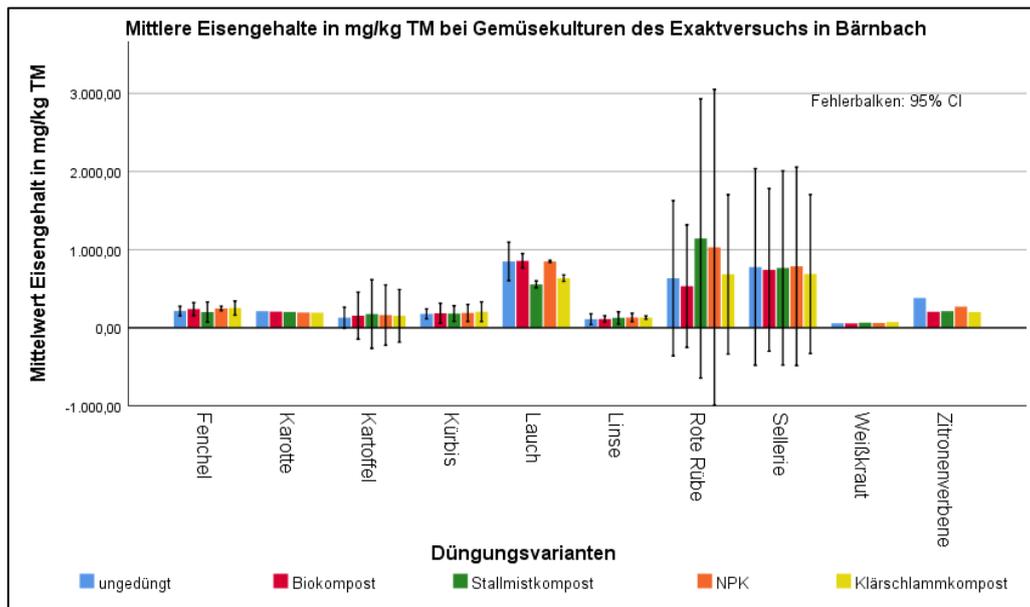


Abbildung 20 Balkendiagramm der Eisengehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weskraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Die Eisengehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen zeigen zwischen den fünf Düngungsvarianten laut KWT keinen signifikanten Unterschied (1,00). Deshalb wird die Nullhypothese beibehalten, dass es keinen Unterschied im Eisengehalt zwischen den Düngungsvarianten gibt.

Die Unterschiede in den Pflanzenteilen bezüglich des Eisengehalts sind in der Tabelle 27 ersichtlich und in der Abbildung 21 grafisch dargestellt. Hier sind bei Sellerie und Roten Rüben die Eisengehalte in den krautigen Pflanzenteilen höher als in den Knollen. Bei Fenchel, Lauch und Linse zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen den Pflanzenteilen im Eisengehalt.

Tabelle 27 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Eisengehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rube, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Eisen					
		Anzahl	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	211,8570	33,5157	155,6750	220,3300	237,7950
	Kraut	5	250,0780	34,9971	192,4850	257,9150	284,3950
Karotte	Wurzel	5	202,1870	7,5710	193,7950	202,2250	211,8050
Kartoffel	Knolle	45	154,8618	161,1249	61,0350	87,5600	758,2550
Kürbis	Kerne	25	188,2801	50,2730	125,2500	181,0250	304,5500
Lauch	Blätter	5	724,0700	128,1774	539,7500	761,8000	845,0500
	Ganzpflanze	5	774,5500	166,6797	571,4000	854,6000	936,5500
Linse	Korn	5	114,2657	28,8594	85,1810	98,6120	150,9750
	Pflanze	5	130,2910	15,6631	112,4150	126,6200	154,6350
Rote Rube	Knolle	5	337,1855	101,0233	254,7575	314,3650	511,3050
	Kraut	5	1271,9450	453,5879	810,1400	1044,8750	1775,1500
Sellerie	Ganzpflanze	5	1317,9000	136,9071	1136,0000	1399,5000	1446,0000
	Knolle	5	163,0800	41,5387	130,3500	141,7000	228,7000
	Kraut	5	773,8500	88,3187	620,1500	792,5500	835,6000
Weißkraut	Ganzpflanze	5	62,7530	7,2595	55,5950	60,7950	73,8600
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	253,6300	76,2079	200,9000	212,5000	380,1500

Der KWT zeigt für die Eisenkonzentrationen in den Pflanzenteilen signifikante Unterschiede. Die Konzentrationen im Korn unterscheiden sich signifikant vom Kraut (0,007) und von den Blättern (0,047). Die Eisengehalte in den Pflanzen unterscheiden sich signifikant von denen im Kraut (0,019). In der Knolle finden sich signifikante Unterschiede zur Ganzpflanze (0,010) und zu den Blättern (0,007), sowie höchst signifikante Unterschiede zum Kraut (0,000). Die Kerne unterscheiden sich signifikant im Eisengehalt von Kraut (0,016). Damit zeigt sich, dass sich Eisen in den Pflanzenteilen unterschiedlich stark anreichert und sich nicht gleichmäßig verteilt.

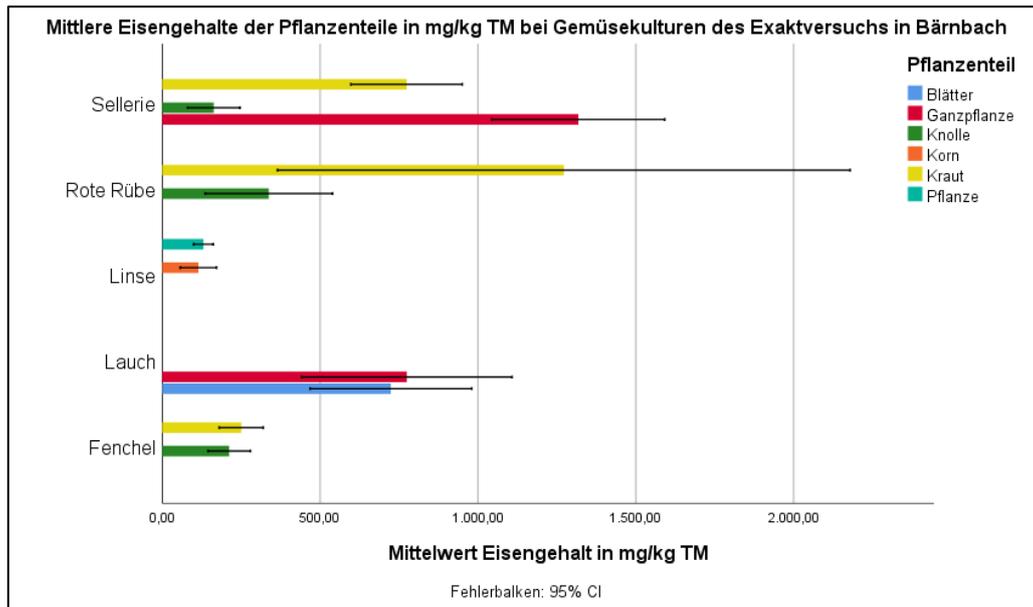


Abbildung 21 Balkendiagramm der Eisengehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die geringste Menge an Eisen wurden in Weißkraut gefunden mit 55,5950 mg/kg TM und die höchste Eisenmenge befand sich in Roten Rüben mit 1775,15 mg/kg TM. Bei Sellerie, Roten Rüben und Fenchel zeigt sich, dass das Eisen in den Knollen geringer angereichert wurde als in den krautigen Pflanzenteilen. Bei Linsen ist die Verteilung relativ ausgewogen, wobei auch hier die Tendenz sichtbar ist, dass das Eisen eher in der Pflanze angereichert wird und weniger in den Körnern. Das Weißkraut zeigt deutlich geringere Eisengehalte als die anderen Kulturen.

## 7.7 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Kupfer

Die Kupferkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Die Kupfergehalte sind in Fenchel laut KST und ST nicht normalverteilt. In den Pflanzenteilen gibt es in den Knollen keine Normalverteilung von Kupfer. Die fünf Düngungsvarianten zeigen bei Kupfer eine Normalverteilung. Da die Kupfergehalte nur in den Düngungsvarianten normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse nicht nur die ANOVA verwendet werden. Neben der folgenden deskriptiven Analyse wird noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die deskriptive Datenanalyse der Kupfergehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen ist in der Tabelle 28 beschrieben und in der Abbildung 22 grafisch in einem Balkendiagramm dargestellt. Die höchsten Kupfergehalte befinden sich in der Zitronenverbene mit 14,03 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 0,599. Die geringsten Kupfergehalte finden sich in Weißkraut mit 1,19 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 0,21.

Tabelle 28 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Kupfergehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Mittelwert	Kupfer Standard- abweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	11,6520	5,3209	5,7700	11,8500	18,6000
Karotte	5	10,1040	0,9825	8,9300	10,1000	11,5000
Kartoffel	45	4,5029	0,8892	3,0705	4,4500	7,6950
Kürbis	25	11,5090	3,2942	4,0735	13,3000	15,6000
Lauch	10	7,8146	3,4025	4,0035	7,6923	11,6100
Linse	10	9,5690	2,4679	6,5900	9,4450	13,1000
Rote Rübe	10	10,0405	2,3278	7,3200	9,8700	13,2000
Sellerie	15	8,5956	2,6375	5,1840	8,4165	13,4300
Weißkraut	5	1,1866	0,2084	0,9327	1,2380	1,4115
Zitronenverbene	5	14,0300	0,5985	13,5000	13,7500	14,7500

Eine Einfaktorielle Varianzanalyse zeigt bei Kupfer, dass es keine signifikanten Unterschiede im Kupfergehalt und den Düngungsvarianten gibt (0,917). Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Düngung keinen Einfluss auf die unterschiedlichen Kupfergehalte in den Pflanzen hat.

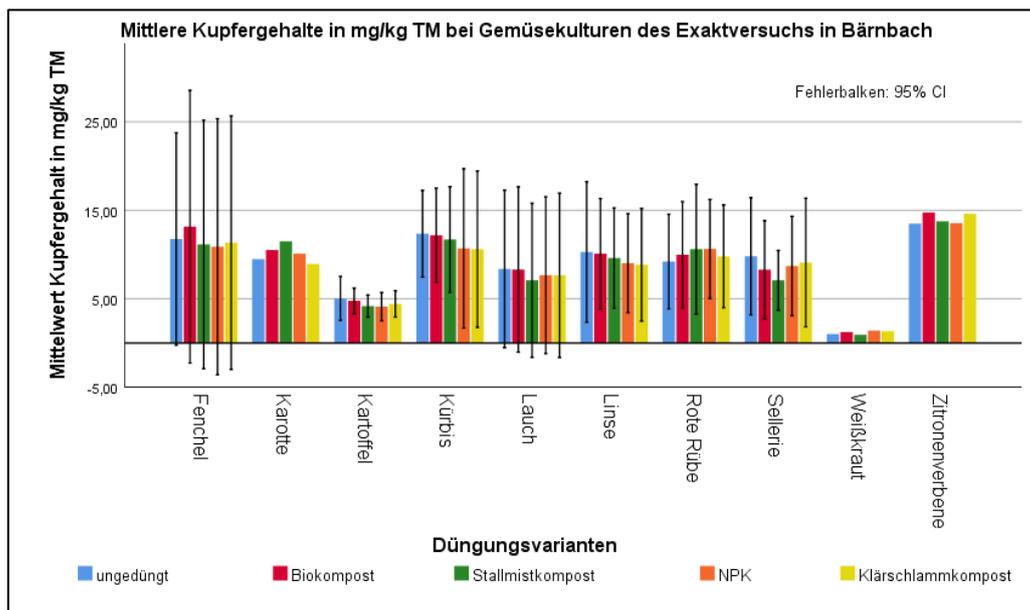


Abbildung 22 Balkendiagramm der Kupfergehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Da teilweise keine Normalverteilung vorliegt wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Eisengehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Eisengehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden und ob sich die Eisengehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden.

Der KWT zeigt für die Kulturen einige signifikante Unterschiede in den Kupfergehalten. Weißkraut unterscheidet sich signifikant von Sellerie (0,010), Linsen (0,006), Roter Rübe (0,002) und Karotte (0,019). Höchst signifikante Unterschiede konnten zwischen Weißkraut und Fenchel (0,000), Kürbis (0,000) und Zitronenverbene (0,000) festgestellt werden. Bei Kartoffeln zeigen sich signifikante Unterschiede im Kupfergehalt zu Sellerie (0,003) und Linse (0,003). Kartoffeln zeigen auch höchst signifikante Unterschiede zu Fenchel (0,000), Kürbis

(0,000) und Zitronenverbene (0,000). Damit ist erkenntlich, dass sich Kupfer in verschiedenen Gemüse- und Kräuterkulturen unterschiedlich stark anreichert und sich nicht in allen Kulturen gleichmäßig verteilt.

Die Kupfergehalte im Vergleich zu den Pflanzenteilen sind in der Tabelle 29 dargestellt. Bei Fenchel zeigen sich in der Knolle höhere Kupfergehalte als im Kraut und bei Lauch sind in den Blättern höhere Kupfergehalte festgestellt worden. Bei Linsen sind im Korn höhere Kupfergehalte als in der Pflanze und bei den Roten Rüben sind im Kraut höhere Kupfergehalte als in der Knolle nachgewiesen worden. Beim Sellerie sind im Gegensatz dazu die Kupfergehalte in der Knolle höher als in den krautigen Pflanzenteilen.

Tabelle 29 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Kupfergehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Kupfer					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	16,6200	1,1189	16,0000	16,1000	18,6000
	Kraut	5	6,6840	0,8639	5,7700	6,2700	7,7000
Karotte	Wurzel	5	10,1040	0,9825	8,9300	10,1000	11,5000
Kartoffel	Knolle	45	4,5029	0,8892	3,0705	4,4500	7,6950
	Kerne	25	11,5090	3,2942	4,0735	13,3000	15,6000
Lauch	Blätter	5	11,0060	0,5885	10,1650	10,9400	11,6100
	Ganzpflanze	5	4,6232	0,4895	4,0035	4,5230	5,2195
Linse	Korn	5	11,8200	0,8815	11,0000	11,6000	13,1000
	Pflanze	5	7,3180	0,5086	6,5900	7,4800	7,8900
Rote Rübe	Knolle	5	7,9110	0,4807	7,3200	7,8450	8,6400
	Kraut	5	12,1700	0,7903	11,1000	12,1000	13,2000
Sellerie	Ganzpflanze	5	8,5038	0,8774	7,4585	8,9835	9,3815
	Knolle	5	11,4233	1,9383	8,4165	11,3850	13,4300
	Kraut	5	5,8598	0,6784	5,1840	5,6150	6,9455
Weißkraut	Ganzpflanze	5	1,1866	0,2084	0,9327	1,2380	1,4115
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	14,0300	0,5985	13,5000	13,7500	14,7500

Der KWT zeigt im Vergleich der Pflanzenteile auch signifikante Unterschiede. Dabei wird ersichtlich, dass sich Knollen und Kerne höchst signifikant voneinander im Kupfergehalt unterscheiden (0,000). Außerdem unterscheiden sich die Kupfergehalte in der Ganzpflanze auch signifikant von den Kernen (0,015). In der Abbildung 23 sind die unterschiedlichen Kupfergehalte in den Pflanzenteilen in einem Balkendiagramm grafisch dargestellt.

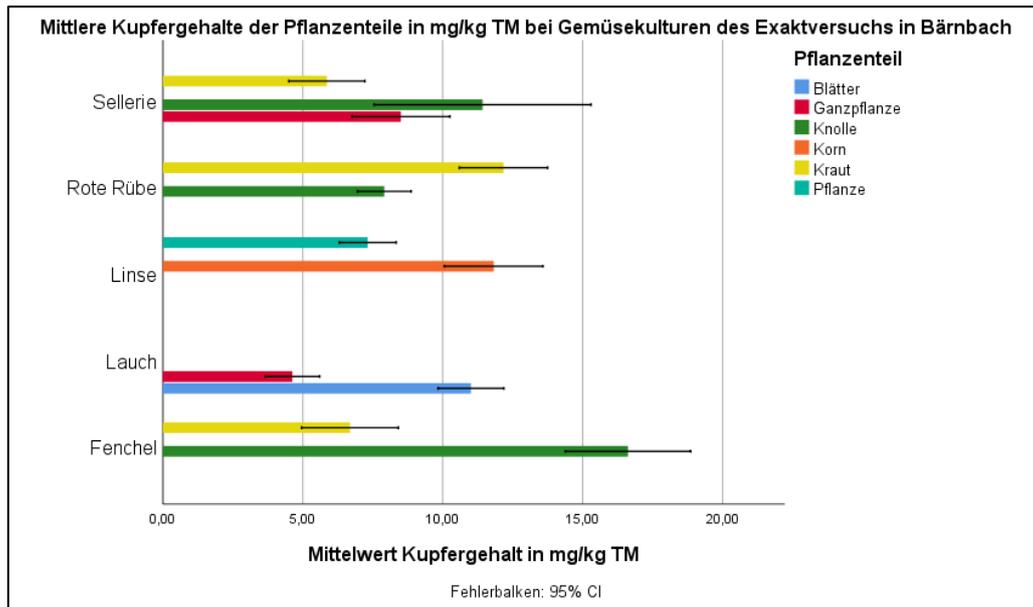


Abbildung 23 Balkendiagramm der Kupfergehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die Verteilung von Kupfer erstreckt sich von den geringsten Kupfergehalten in Weißkraut mit 0,9327 mg/kg TM zum höchsten Kupfergehalt in Kürbis mit 15,6 mg/kg TM. Weißkraut hat die geringsten Kupfergehalte aufzuweisen. Kartoffeln zeigen im Vergleich deutlich geringere Kupfergehalte als die anderen Kulturen. Die Verteilung innerhalb der Pflanze zeigt, dass der Kupfergehalt in den Kernen deutlich unterschiedlich ist zur Verteilung des Kupfers in den krautigen Pflanzenteilen. Ansonsten können in der Verteilung innerhalb der Pflanze wenig Unterschiede erkannt werden. Linsen tendieren dazu Kupfer in den essbaren Körnern anzulagern und weniger im Kraut. Ebenso finden sich in Fenchel- und Sellerieknollen höhere Kupfermengen als in den krautigen Pflanzenteilen.

## 7.8 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Mangan

Die Mangankonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Beide Testverfahren zeigen keine Normalverteilung in Fenchel, Kartoffel und Roter Rübe. In den Pflanzenteilen ist laut ST in den Knollen keine Normalverteilung vorhanden und der KST zeigt auch im Kraut keine Normalverteilung. Der ST gibt für die Düngungsvarianten keine Normalverteilung an, der KST zeigt nur in Klärschlammkompost eine Normalverteilung. Da die Mangangehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Tabelle 30 zeigt die deskriptive Datenanalyse der Mangangehalte und die Abbildung 24 zeigt die mittleren Mangangehalte in den Düngungsvarianten. Die höchsten Mangangehalte befinden sich in Roten Rüben mit 101,43 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 79,65. Der Median liegt beim Mangangehalt von Roten Rüben bei 89,8 mg/kg TM deutlich niedriger. Die geringsten Mangangehalte sind in Kartoffeln mit 10,295 mg/kg TM bei einer Standardabweichung von 6,45 gefunden worden. Der Median liegt bei Kartoffeln bei 7,49 mg/kg TM.

Tabelle 30 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Mangangehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Mittelwert	Mangan Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	36,3600	17,8825	16,5000	33,5500	60,0000
Karotte	5	17,0400	1,5421	14,8000	17,1000	18,9000
Kartoffel	45	10,2953	6,4496	5,9400	7,4900	32,0000
Kürbis	25	49,5500	4,6302	42,7000	48,0000	57,8000
Lauch	10	56,1535	19,4167	30,4050	54,8375	79,4400
Linse	10	19,5700	3,6987	14,5000	19,9000	24,7000
Rote Rübe	10	101,4250	79,6502	26,9000	89,8000	226,0000
Sellerie	15	58,3310	22,2932	24,3300	66,5250	93,6250
Weißkraut	5	14,9670	0,7876	14,0100	15,0550	16,1450
Zitronenverbene	5	55,2700	10,2470	46,5000	50,8000	72,0500

Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Mangangehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Mangangehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Mangangehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Mangangehalten unterscheiden.

Mit dem KWT konnten signifikante Unterschiede im Mangangehalt zwischen den Kulturen festgestellt werden. Die Mangangehalte unterscheiden sich zwischen Kartoffeln und Fenchel signifikant (0,003) und höchst signifikant zwischen Kartoffeln und Kürbis (0,000), Roten Rüben (0,000), Lauch (0,000), Zitronenverbene (0,001) und Sellerie (0,000). Damit zeigt sich, dass Mangan Unterschiede in der Verteilung in den Gemüse- und Kräuterkulturen aufweist, insbesondere in Kartoffeln.

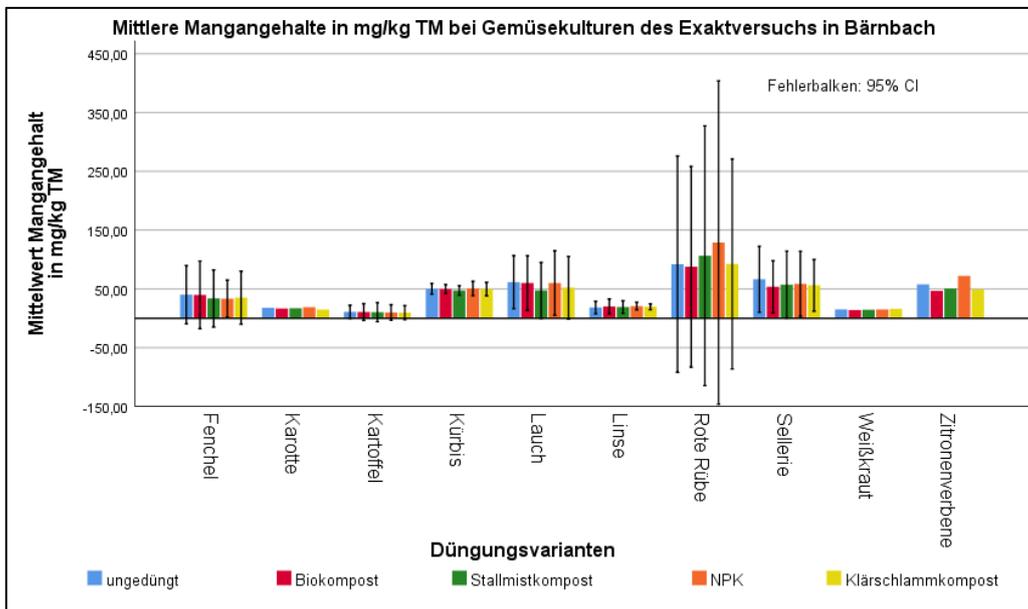


Abbildung 24 Balkendiagramm der Mangangehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Der KWT zeigt für die Mangankonzentrationen in den Gemüse- und Kräuterkulturen und den fünf Düngungsvarianten keine signifikanten Unterschiede (0,997), weshalb die Nullhypothese beibehalten wird. Die Nullhypothese besagt, dass es keine Unterschiede in der Verteilung von Mangan in den Düngungsvarianten gibt.

In der Tabelle 31 sind die Unterschiede in den Mangangehalten in den Pflanzenteilen zusammengefasst. Bei Fenchel, Linse, Sellerie und Roter Rübe sind die Mangangehalte im Kraut höher als in den restlichen Pflanzenteile, wie den Knollen oder Körnern.

Tabelle 31 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Mangangehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weskraut und Zitronenverbene

		Mangan					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	19,9200	2,4844	16,5000	19,3000	22,6000
	Kraut	5	52,8000	6,1364	44,5000	51,0000	60,0000
Karotte	Wurzel	5	17,0400	1,5421	14,8000	17,1000	18,9000
Kartoffel	Knolle	45	10,2953	6,4496	5,9400	7,4900	32,0000
Kürbis	Kerne	25	49,5500	4,6302	42,7000	48,0000	57,8000
Lauch	Blätter	5	73,6570	6,2151	64,1600	76,4650	79,4400
	Ganzpflanze	5	38,6500	6,6112	30,4050	40,6700	45,5150
Linse	Korn	5	16,3200	1,6873	14,5000	15,6000	18,4000
	Pflanze	5	22,8200	1,2357	21,4000	22,9000	24,7000
Rote Rübe	Knolle	5	28,6500	1,8808	26,9000	28,3000	31,6000
	Kraut	5	174,2000	32,0987	148,0000	157,0000	226,0000
Sellerie	Ganzpflanze	5	64,1800	7,0352	55,9200	66,5250	72,6700
	Knolle	5	30,6170	5,0695	24,3300	30,3600	37,5950
	Kraut	5	80,1960	7,9888	74,5300	76,9700	93,6250
Weskraut	Ganzpflanze	5	14,9670	0,7876	14,0100	15,0550	16,1450
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	55,2700	10,2470	46,5000	50,8000	72,0500

Der KWT hat für die Mangangehalte in den Pflanzenteilen signifikante Unterschiede festgestellt. Höchst signifikante Unterschiede (0,000) konnten zwischen Knolle und Ganzpflanze, sowie Kerne, Kraut und Blätter festgestellt werden. Die Mangankonzentrationen im Korn unterscheiden sich signifikant vom Kraut (0,006) und von den Blättern (0,047). Der Mangangehalt in den Wurzeln unterscheidet sich signifikant vom Kraut (0,009). Damit zeigt sich, dass Mangan in den Pflanzenteilen unterschiedlich verteilt wird und sich in verschiedenen Pflanzenorganen ansammelt. Diese unterschiedliche Manganverteilung in den Pflanzenteilen ist in der nachfolgenden Abbildung 25 in einem Balkendiagramm grafisch dargestellt.

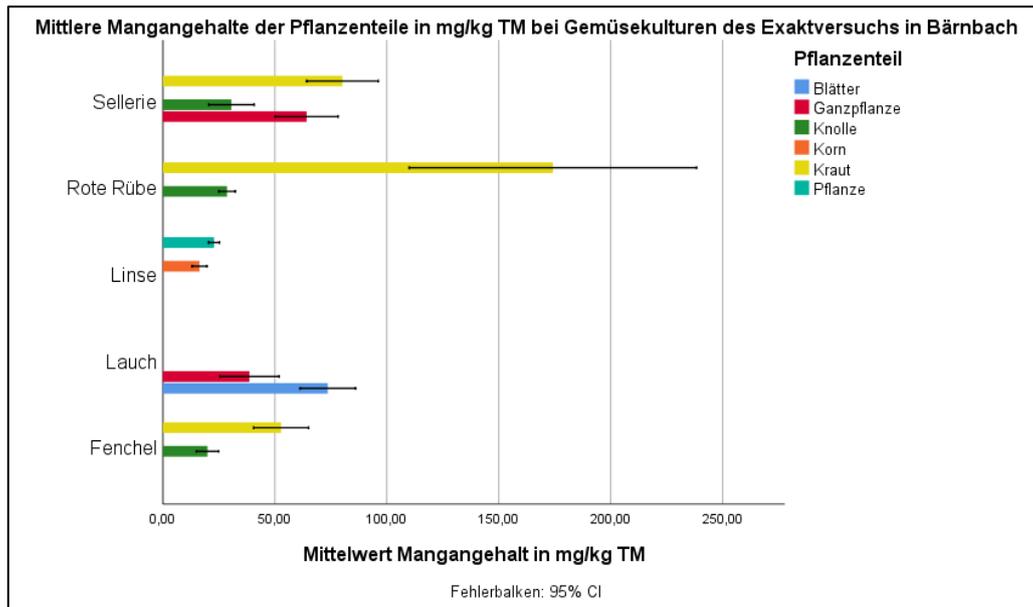


Abbildung 25 Balkendiagramm der Mangangehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die Mangankonzentrationen in den Gemüse- und Kräuterkulturen bewegen sich von den geringsten Gehalten in Kartoffel mit 5,94 mg/kg TM bis zu den höchsten Mangangehalten in Roten Rüben bei 226 mg/kg TM. Studien zeigen, dass sich Mangan in Blättern stark anreichert und dass es von den Pflanzen stark aus dem Boden mobilisiert wird (INTAWONGSE und DEAN, 2006). Diese Ergebnisse erzielte auch der Exaktversuch in Bärnbach. Die Verteilung von Mangan in den Pflanzen zeigt, dass sich in den Knollen von Fenchel, Sellerie und Roter Rübe weniger anreichert als im Kraut. Im Vergleich finden sich in der Zitronenverbene und in den Kürbiskernen mit rund 50 mg/kg TM relativ hohe Mangankonzentrationen in diesen essbaren Pflanzenteilen.

## 7.9 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Molybdän

Die Molybdänkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. KST und ST zeigen in Roten Rüben keine Normalverteilung. Der ST zeigt auch in Fenchel keine Normalverteilung. Molybdän ist in allen Pflanzenteilen normalverteilt. Die Düngungsvarianten sind laut ST nicht normalverteilt, der KST zeigt bei der Düngungsvariante NPK eine Normalverteilung. Da die Molybdängehalte nur in den Pflanzenteilen normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse nicht nur eine ANOVA verwendet werden. Neben der folgenden deskriptiven Analyse wird noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die deskriptive Datenanalyse für Molybdän befindet sich in der Tabelle 32. Die höchsten Molybdängehalte finden sich in Linsen mit 9,22 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 7,22. Beim Vergleich der Mediane der Molybdängehalte erreichen Lauch und Linsen annähernd denselben Molybdängehalt. Die geringsten Molybdängehalte sind in Karotte mit 0,76 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 0,199 nachgewiesen worden. Die Abbildung 26 stellt die mittleren Molybdängehalte der Gemüse- und Kräuterkulturen grafisch in einem Balkendiagramm dar.

Tabelle 32 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Molybdängehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Anzahl	Molybdän				
		Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	3,0842	2,1784	0,7860	2,5525	5,7700
Karotte	5	0,7580	0,1989	0,5580	0,7690	1,0600
Kartoffel	45	0,8521	0,4028	0,2020	0,8007	1,7300
Kürbis	25	2,4799	0,4411	1,4705	2,5600	3,1800
Lauch	10	7,2971	3,9290	3,1785	6,1585	12,9550
Linse	10	9,2200	7,2208	1,1800	6,1450	21,7000
Rote Rübe	10	2,3942	2,0773	0,4150	1,9213	5,7000
Sellerie	15	3,8859	4,1589	0,0801	2,2515	13,1300
Weißkraut	5	3,2947	0,3831	2,9760	3,1890	3,9545
Zitronenverbene	5	3,6850	0,7051	2,9350	3,6300	4,8300

Da teilweise keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Molybdängehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Molybdängehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Molybdängehalten unterscheiden.

Der KWT konnte zwischen den einzelnen Kulturen Unterschiede in der Molybdänkonzentration feststellen. Dabei fanden sich signifikante Unterschiede zwischen Karotten und Linsen (0,010) und Lauch (0,004). Bei Kartoffeln konnte der KWT höchst signifikante Unterschiede (0,000) zu Lauch, Linsen und Kürbis feststellen. Signifikante Unterschiede zeigt die Kartoffel auch zu Fenchel (0,032), Weißkraut (0,024) und Zitronenverbene (0,010).

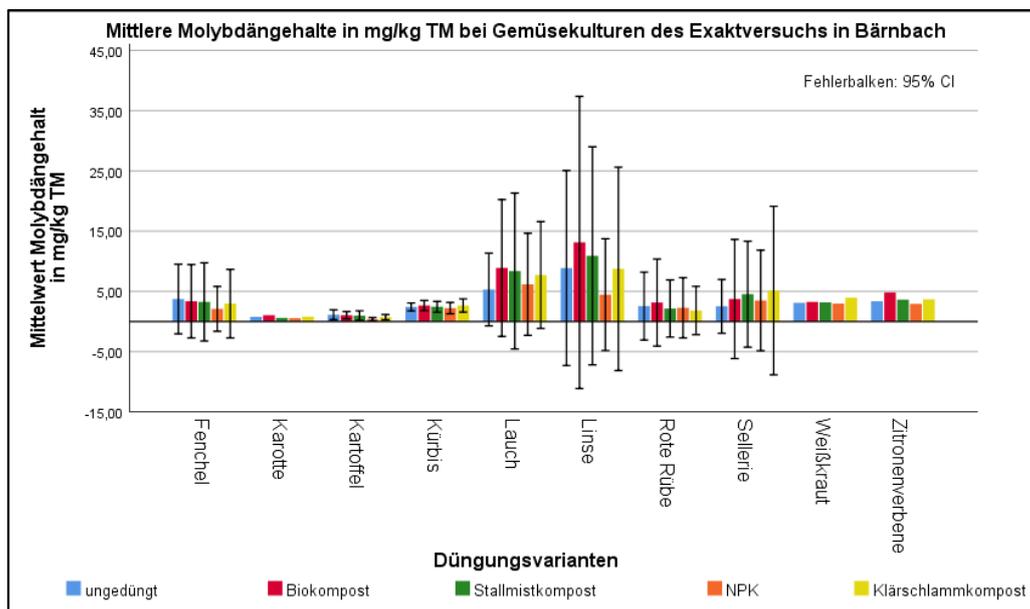


Abbildung 26 Balkendiagramm der Molybdängehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Der KWT zeigte für die Düngungsvarianten keine signifikanten Unterschiede (0,349) in den Molybdängehalten, womit die Nullhypothese beibehalten werden kann, dass es keine Unterschiede in der Molybdänverteilung bezüglich der Düngungsvarianten gibt.

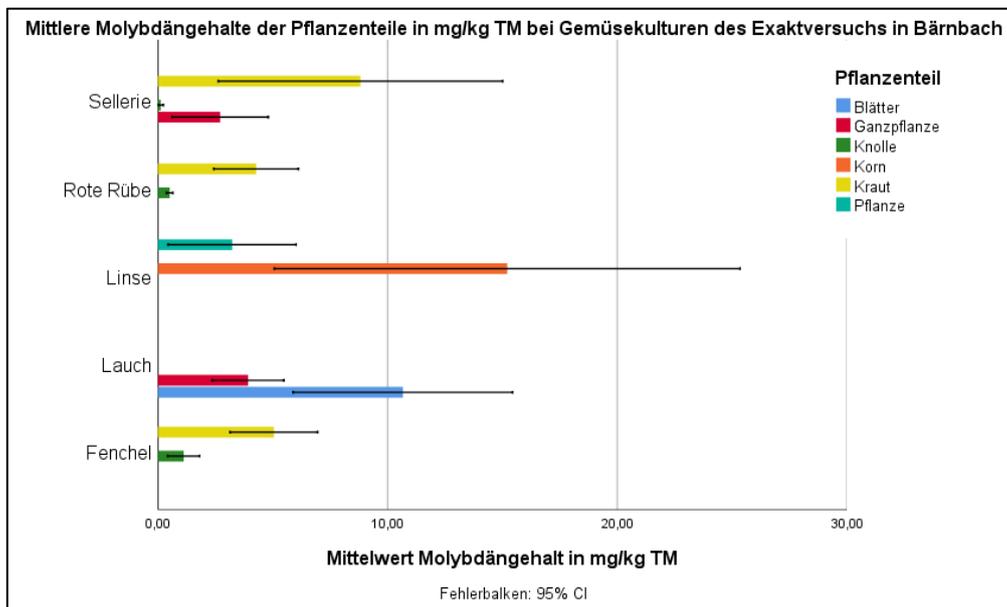
Die Tabelle 33 zeigt die unterschiedlichen Molybdängehalte in den Pflanzenteilen und die Abbildung 27 stellt die Molybdängehalte in den Pflanzenteilen grafisch in einem

Balkendiagramm dar. Bei Fenchel, Roter Rübe und Sellerie zeigen sich im Kraut höhere Molybdängehalte als in den Knollen. Bei Lauch finden sich in den Blättern höhere Gehalte und bei Linsen sind in den Körnern die Molybdängehalte deutlich höher als in der Pflanze.

Tabelle 33 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Molybdängehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Wekraut und Zitronenverbene

		Molybdän					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	1,1203	0,3500	0,7860	0,9640	1,6850
	Kraut	5	5,0480	0,9554	3,4200	5,5200	5,7700
Karotte	Wurzel	5	0,7580	0,1989	0,5580	0,7690	1,0600
Kartoffel	Knolle	45	0,8521	0,4028	0,2020	0,8007	1,7300
Kürbis	Kerne	25	2,4799	0,4411	1,4705	2,5600	3,1800
Lauch	Blätter	5	10,6674	2,3920	7,4480	10,8600	12,9550
	Ganzpflanze	5	3,9267	0,7833	3,1785	3,8090	4,8690
Linse	Korn	5	15,2080	5,0725	7,7400	14,7000	21,7000
	Pflanze	5	3,2320	1,3941	1,1800	3,1600	4,5500
Rote Rübe	Knolle	5	0,5123	0,0705	0,4150	0,5050	0,5925
	Kraut	5	4,2760	0,9224	3,2500	4,0450	5,7000
Sellerie	Ganzpflanze	5	2,7117	1,0479	1,6975	2,2515	4,3870
	Knolle	5	0,1250	0,0573	0,0801	0,1048	0,2189
	Kraut	5	8,8211	3,0965	4,4630	8,9985	13,1300
Wekraut	Ganzpflanze	5	3,2947	0,3831	2,9760	3,1890	3,9545
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	3,6850	0,7051	2,9350	3,6300	4,8300

Abbildung 27 Balkendiagramm der Molybdängehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.



Die geringsten Molybdängehalte konnten in Sellerie mit 0,0801 mg/kg TM nachgewiesen werden und die höchsten Molybdängehalte fanden sich in Linsen mit 21,7 mg/kg TM. Die Kartoffeln weisen durchschnittlich geringere Molybdängehalte auf als die anderen Kulturen. In Linsen ist der Gehalt an Molybdän in den Körnern fast fünffach so hoch als in der Pflanze und auch bei Sellerie, Fenchel und Roter Rber sind die Gehalte im Kraut deutlich höher als in den Knollen.

## 7.10 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Nickel

Die Nickelkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Beide Testverfahren zeigen in Kartoffel, Linse und Roter Rübe keine Normalverteilung. In den Pflanzenteilen zeigen ST und KST in Knolle und Kraut keine Normalverteilung. Der KST zeigt in den Düngungsvarianten, dass alle normalverteilt sind. Der ST zeigt in der ungedüngten Variante und der Stallmistkompostvariante keine Normalverteilung. Da die Nickelgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen des Nickelgehalts für die Gemüse- und Kräuterkulturen sind in der Tabelle 34 zusammengefasst. Die höchsten Nickelgehalte finden sich in Kürbis mit 1,46 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 0,23. Die geringsten Nickelgehalte sind mit 0,19 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 0,02 in Weißkraut zu finden.

Tabelle 34 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Nickelgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Nickel					
	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	0,4677	0,0987	0,3080	0,4435	0,6085
Karotte	5	0,8036	0,0854	0,7170	0,7910	0,9210
Kartoffel	45	0,2988	0,2433	0,1113	0,2030	1,0400
Kürbis	25	1,4639	0,2309	1,1335	1,4700	1,9100
Lauch	10	1,0384	0,2206	0,6934	1,0678	1,3955
Linse	10	0,4443	0,2420	0,2040	0,4080	0,7600
Rote Rübe	10	1,0323	0,8204	0,3010	0,7040	2,4000
Sellerie	15	1,2241	0,4773	0,5863	1,2365	1,9420
Weißkraut	5	0,1854	0,0128	0,1742	0,1798	0,2066
Zitronenverbene	5	0,8680	0,1664	0,7350	0,7640	1,0700

Da keine Normalverteilung vorliegt wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Nickelgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Nickelgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Nickelgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Nickelgehalten unterscheiden.

Der KWT zeigt, dass sich Weißkraut signifikant von Lauch (0,026) und Sellerie (0,002) unterscheidet. Höchst signifikant unterscheidet sich Weißkraut von Kürbis (0,000). Der Nickelgehalte in Kartoffeln unterscheidet sich höchst signifikant von Lauch (0,001), Sellerie (0,000) und Kürbis (0,000). Zwischen Kartoffeln und Roten Rüben kann ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (0,008). Linsen und Kürbis weisen einen höchst signifikanten Unterschied (0,001) in den Nickelgehalten auf. Fenchel und Kürbis unterscheiden sich signifikant (0,003) in den Nickelgehalten. In der nachfolgenden Abbildung 28 ist der mittlere Nickelgehalt der einzelnen Kulturen grafisch dargestellt.

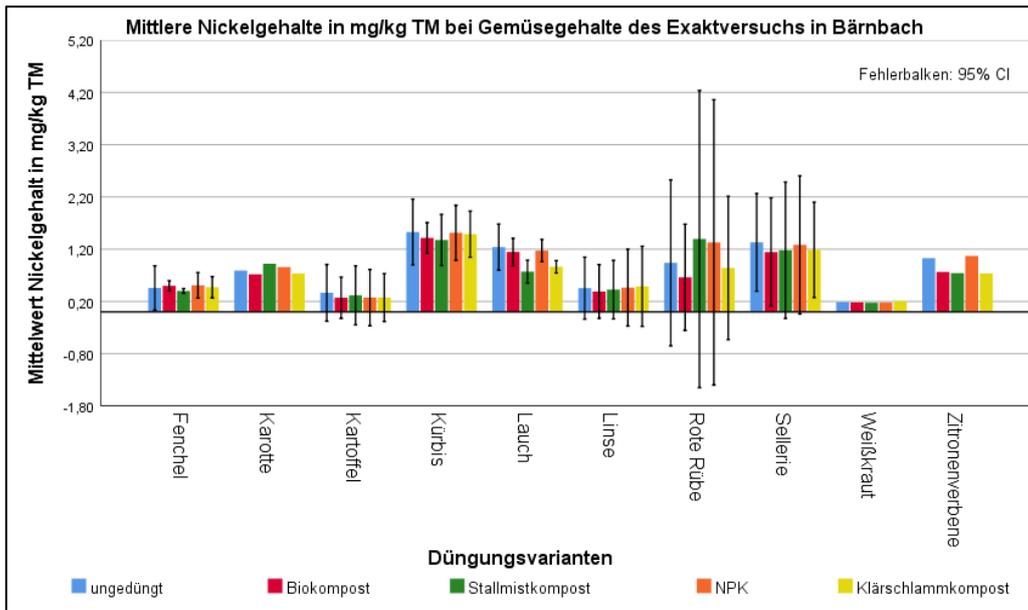


Abbildung 28 Balkendiagramm der Nickelgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Der KWT zeigt, dass sich die Verteilung der Nickelgehalte in den Düngungsvarianten nicht signifikant (0,956) voneinander unterscheiden. Damit wird die Nullhypothese nicht abgelehnt wird. Die Nullhypothese besagt, dass die Nickelgehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen in den fünf Düngungsvarianten ident sind.

In der Tabelle 35 sind die Nickelgehalte in den Pflanzenteilen ersichtlich. Die Nickelgehalte in den Sellerieknollen und den Knollen der Roten Rübe sind geringer als im Kraut. Bei Linsen sind die Nickelgehalte im Korn dreimal so hoch als im Kraut. Bei den Pflanzenteilen von Lauch und Fenchel zeigen sich nur geringe Unterschiede im Nickelgehalt.

Tabelle 35 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Nickelgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Anzahl	Nickel				
			Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	0,5395	0,0755	0,4170	0,5440	0,6085
	Kraut	5	0,3958	0,0577	0,3080	0,3990	0,4650
Karotte	Wurzel	5	0,8036	0,0854	0,7170	0,7910	0,9210
Kartoffel	Knolle	45	0,2988	0,2433	0,1113	0,2030	1,0400
Kürbis	Kerne	25	1,4639	0,2309	1,1335	1,4700	1,9100
Lauch	Blätter	5	0,9497	0,1822	0,6934	1,0520	1,0985
	Ganzpflanze	5	1,1271	0,2379	0,8487	1,2380	1,3955
Linse	Korn	5	0,6686	0,0756	0,5720	0,6640	0,7600
	Pflanze	5	0,2200	0,0161	0,2040	0,2170	0,2440
Rote Rübe	Knolle	5	0,3566	0,0335	0,3010	0,3630	0,3880
	Kraut	5	1,7080	0,6097	1,0200	1,5000	2,4000
Sellerie	Ganzpflanze	5	1,7727	0,1543	1,6105	1,7865	1,9420
	Knolle	5	0,6815	0,1060	0,5863	0,6376	0,8524
	Kraut	5	1,2181	0,1346	0,9945	1,2365	1,3525
Weißkraut	Ganzpflanze	5	0,1854	0,0128	0,1742	0,1798	0,2066
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	0,8680	0,1664	0,7350	0,7640	1,0700

Die Pflanzenteile der Gemüse- und Kräuterkulturen zeigen im KWT signifikante Unterschiede. Die Nickelgehalte in den Pflanzen unterscheiden sich höchst signifikant von den Kernen

(0,000). Die Nickelgehalte in den Knollen unterscheiden sich höchst signifikant von den Ganzpflanzen (0,001), dem Kraut (0,000) und den Kernen (0,000). Nickel reichert sich nicht gleichmäßig in den Pflanzen an, sondern zeigt eine unterschiedliche Verteilung in den Pflanzenorganen. Diese Unterschiede der Nickelgehalte in den verschiedenen Pflanzenteilen sind in der Abbildung 29 grafisch in einem Balkendiagramm dargestellt.

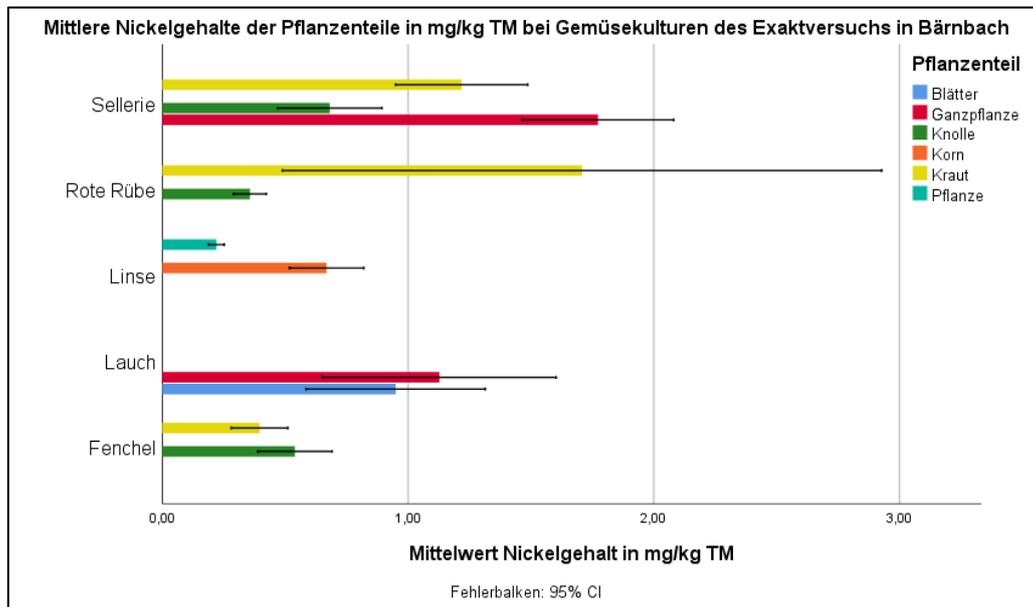


Abbildung 29 Balkendiagramm der Nickelgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Die geringsten Nickelgehalte fanden sich in Weißkraut mit 0,1742 mg/kg TM und die größte Nickelkonzentration konnte in Roter Rübe mit 2,400 mg/kg TM festgestellt werden. Nickel reichert sich sehr im Wurzelbereich und im unteren Pflanzenbereich an (STRUMPF und REICHMUTH, 2009). Bei Fenchel ist die Anreicherung mit Nickel auch im Wurzelbereich in den Knollen höher als im Kraut, jedoch ist bei Sellerie, Roter Rübe und Lauch die Anreicherung mit Nickel im oberirdischen Kraut bzw. in den Pflanzen höher. Bei Linsen ist die Nickelkonzentration in den Körnern deutlich höher als in der Pflanze. Auch in den Kürbiskernen ist ein vergleichsweise hoher Nickelgehalt festgestellt worden.

## 7.11 Ergebnisse und Diskussion des Schwermetalls Zink

Die Zinkkonzentrationen wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov Test (KST) und dem Shapiro Test (ST) auf ihre Normalverteilung überprüft. Der KST zeigt keine Normalverteilung in Linsen und der ST zeigt auch keine Normalverteilung in Kartoffeln. Beide Testverfahren zeigen in den Pflanzenteilen keine Normalverteilung in den Knollen und auch die Düngungsvarianten zeigen keine Normalverteilung. Da die Zinkgehalte nicht durchgehend normalverteilt sind, kann zur weiteren Analyse keine ANOVA verwendet werden, deshalb wird neben der folgenden deskriptiven Analyse noch eine Auswertung mit nichtparametrischen Tests durchgeführt, da für diese Testverfahren keine Normalverteilung der Daten nötig ist.

Die Tabelle 36 zeigt die Zinkgehalte der Gemüse- und Kräuterkulturen mit Mittelwert und Standardabweichung und in der Abbildung 30 sind die mittleren Zinkgehalte der Kulturen grafisch dargestellt. Die höchsten Zinkgehalte konnte in Kürbis mit 89,17 mg/kg TM und einer

Standardabweichung von 13,71 festgestellt werden. Die geringsten Zinkgehalte finden sich in Kartoffel mit 12,95 mg/kg TM und einer Standardabweichung von 3,94.

Tabelle 36 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Zinkgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

	Zink					
	Anzahl	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	10	30,1012	3,0100	24,6270	29,6870	34,2170
Karotte	5	25,7576	3,7806	20,5580	25,9980	30,7180
Kartoffel	45	12,9540	3,9448	8,8800	12,0650	28,3555
Kürbis	25	89,1718	13,7067	72,1690	87,6970	132,0000
Lauch	10	22,4040	3,0037	18,0050	22,3025	27,8150
Linse	10	33,3620	12,7351	18,4210	34,0670	46,9690
Rote Rübe	10	20,1167	3,2317	16,4710	19,3240	26,2285
Sellerie	15	29,0613	6,3773	23,5700	25,2150	40,3250
Weißkraut	5	20,3170	11,5662	10,6200	14,7400	37,9150
Zitronenverbene	5	27,2800	1,0257	26,1000	27,7500	28,2500

Da keine Normalverteilung vorliegt, wurde der Kruskal-Wallis-Test (KWT) angewendet, um Unterschiede in den Zinkgehalten festzustellen. Dabei wurde getestet, ob sich die Zinkgehalte in den Gemüsekulturen unterscheiden, ob sich die Zinkgehalte in den Pflanzenteilen unterscheiden und ob sich die Düngungsvarianten in den Zinkgehalten unterscheiden. Der KWT zeigt bei den Zinkgehalten höchst signifikante Unterschiede bei Kartoffeln und Linsen (0,001), Sellerie (0,000), Fenchel (0,000) und Kürbis (0,000). Kartoffeln zeigen signifikante Unterschiede im Zinkgehalt zu Zitronenverbene (0,041). Weißkraut zeigt signifikante Unterschiede im Zinkgehalt zu Kürbis (0,011). Rote Rüben zeigen höchst signifikante Unterschiede zu Kürbis (0,000) und Lauch zeigt signifikante Unterschiede zu Kürbis (0,002).

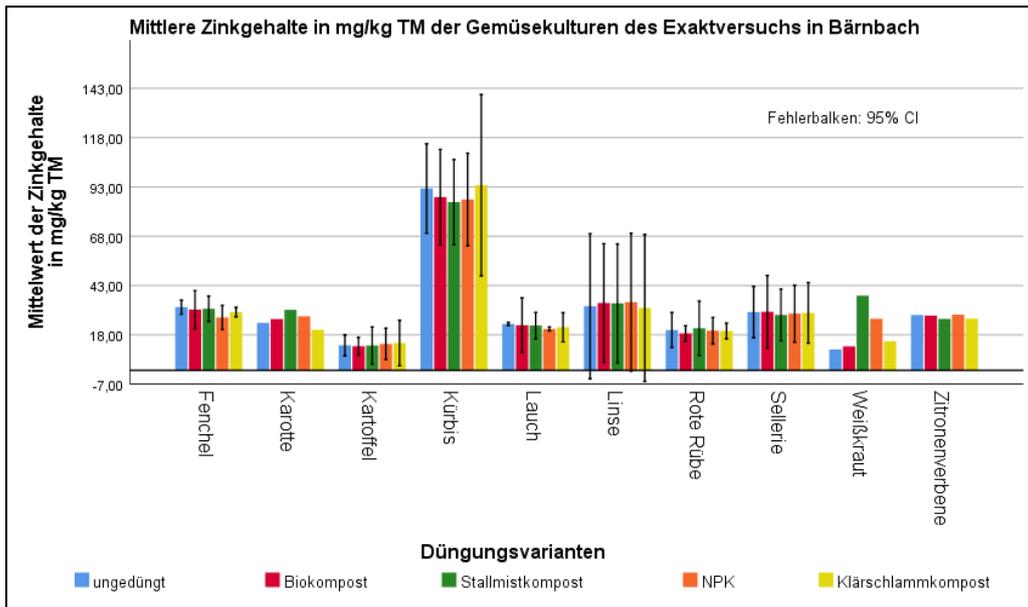


Abbildung 30 Balkendiagramm der Zinkgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.

Der KWT zeigt in der Verteilung von Zink über die Düngungsvarianten keinen signifikanten Unterschied (0,999), weshalb die Nullhypothese beibehalten wird, die aussagt, dass es in der Verteilung der Zinkgehalte keine Unterschiede in den Düngungsvarianten gibt.

In der Tabelle 37 sind die Zinkgehalte nach den Pflanzenteilen aufgelistet und es zeigt sich, dass bei Linsen im Korn mehr als doppelt so viel Zink vorhanden ist als in der Pflanze. Bei Fenchel und Lauch zeigen sich eher geringe Unterschiede im Zinkgehalt in den Pflanzenteilen und bei Sellerie und Roter Rübe findet sich in den Knollen weniger Zink als im Kraut.

Tabelle 37 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Zinkgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene

		Zink					
		Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Median	Maximum
Fenchel	Knolle	5	28,9768	1,2120	27,4300	28,9590	30,8220
	Kraut	5	31,2256	3,9693	24,6270	33,3480	34,2170
Karotte	Wurzel	5	25,7576	3,7806	20,5580	25,9980	30,7180
Kartoffel	Knolle	45	12,9540	3,9448	8,8800	12,0650	28,3555
Kürbis	Kerne	25	89,1718	13,7067	72,1690	87,6970	132,0000
Lauch	Blätter	5	24,2510	2,6211	20,6350	24,4900	27,8150
	Ganzpflanze	5	20,5570	2,2139	18,0050	20,3500	23,8300
Linse	Korn	5	45,3400	0,9735	44,6220	44,7970	46,9690
	Pflanze	5	21,3840	2,2978	18,4210	22,2080	23,5120
Rote Rübe	Knolle	5	17,4716	0,7554	16,4710	17,3170	18,5580
	Kraut	5	22,7618	2,3317	20,0900	22,4900	26,2285
Sellerie	Ganzpflanze	5	24,1900	0,6560	23,5700	24,0750	25,1050
	Knolle	5	25,3800	0,9541	24,0500	25,2150	26,5700
	Kraut	5	37,6140	1,7217	35,6650	37,0950	40,3250
Weißkraut	Ganzpflanze	5	20,3170	11,5662	10,6200	14,7400	37,9150
Zitronenverbene	Ganzpflanze	5	27,2800	1,0257	26,1000	27,7500	28,2500

In den Zinkgehalten in den Pflanzenteilen zeigt der KWT signifikante Unterschiede. Die Knollen unterscheiden sich signifikant vom Korn (0,002) und die Knollen unterscheiden sich höchst signifikant vom Kraut (0,000) und den Kernen (0,000). Die Zinkgehalte in den Pflanzen

unterscheiden sich signifikant von den Kernen (0,016) und die Ganzpflanzen unterscheiden sich höchst signifikant von den Kernen (0,000). Die Zinkgehalte in den unterschiedlichen Pflanzenteilen sind in der nachfolgenden Abbildung 31 grafisch dargestellt.

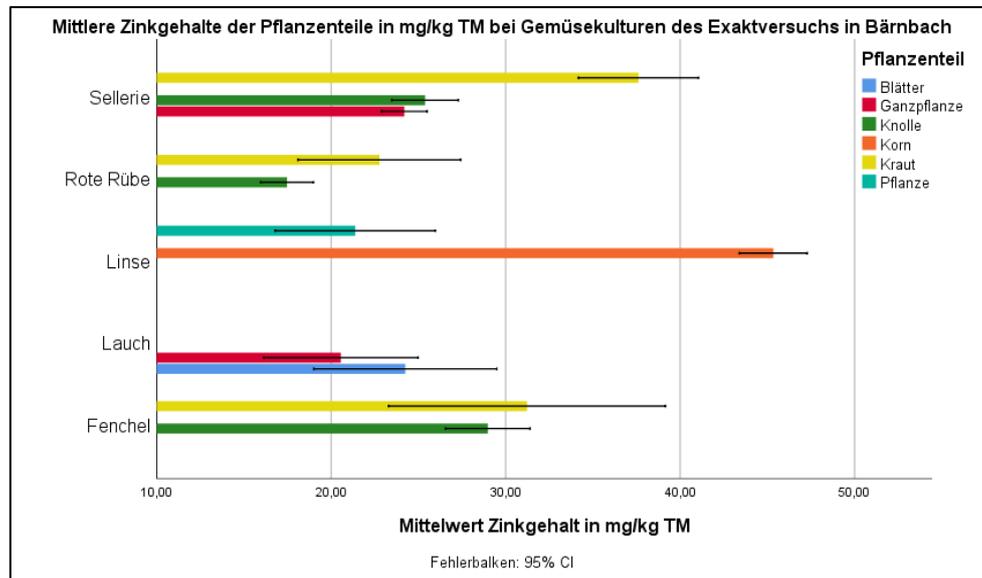


Abbildung 31 Balkendiagramm der Zinkgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.

Zink kann von Pflanzen leicht aus dem Boden aufgenommen und in hohen Konzentrationen angereichert werden (INTAWONGSE und DEAN, 2006). Die Zinkgehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen bewegen sich im Bereich von 8,880 mg/kg TM in Kartoffeln bis zu 132,00 mg/kg TM in Kürbis. Die Anreicherung geschieht vorrangig in den oberen Blatttagen (STRUMPF und REICHMUTH, 2009).

Die Kerne von Kürbis enthalten relativ hohe Gehalte an Zink und auch bei Linsen ist der Gehalt an Zink in den Körnern doppelt so hoch, wie in der Pflanze. Fenchel, Sellerie und Rote Rüben haben im Kraut höhere Zinkkonzentrationen als in den Knollen.

## 7.12 Ergebnisse und Diskussion der Transferfaktoren

Der Transferfaktor vom Boden in die Pflanze zeigt an, wie stark ein Stoff in der jeweiligen Pflanze akkumuliert wird. Je höher der Transferfaktor ist, desto stärker wird dieser Stoff in der Pflanze angereichert (KHAN et al., 2015). Die nachfolgende Tabelle 38 zeigt den Mittelwert der Transferfaktoren für die Gemüsekulturen und den Schwermetallen Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän und Nickel. Die Tabelle zeigt nur diese sieben Schwermetalle, da nur für diese auch die Gehalte im Boden vorhanden sind.

Tabelle 38 Mittelwert der Transferfaktoren von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene für Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän und Nickel

	Mittlere Transferfaktoren						
	Blei	Cadmium	Chrom	Cobalt	Kupfer	Molybdän	Nickel
Fenchel	0,00654	0,33011	0,01190	0,00532	0,23377	3,38546	0,01086
Karotte	0,00669	0,48773	0,01453	0,00401	0,18812	0,77347	0,01752
Kartoffel	0,00815	0,16577	0,00877	0,00502	0,08916	0,93301	0,00678
Kürbis	0,00635	0,08866	0,01836	0,00380	0,22383	2,63910	0,03256
Lauch	0,04463	0,18166	0,03839	0,02358	0,14550	7,44597	0,02264
Linse	0,00279	0,25142	0,00408	0,00266	0,19054	9,88210	0,00995
Rote Rübe	0,03677	0,74472	0,02934	0,02400	0,19543	2,61073	0,02337
Sellerie	0,03942	0,32359	0,04393	0,02281	0,16706	4,17693	0,02726
Weißkraut	0,00753	0,02895	0,00639	0,00244	0,02381	3,61658	0,00431
Zitronenverbene	0,00888	0,19573	0,01143	0,00540	0,27249	3,93276	0,01903

Das größte Vermögen für eine Akkumulation in Gemüse- und Kräuterkulturen besitzt Molybdän. Mit mittleren Transferfaktoren deutlich über 1 zeigt sich, dass viele Gemüse- und Kräuterkulturen Molybdän akkumulieren können. Beim Vergleich der restlichen Transferfaktoren zeigt auch Kupfer und Cadmium höhere Transferfaktoren auf. Cobalt und Blei hingegen haben relativ geringe Transferfaktoren.

Da sich die Schwermetalle aber in den verschiedenen Pflanzenteilen unterschiedliche stark anreichern können (KHAN et al., 2015), sind in der Tabelle 39 die Transferfaktoren der Gemüsekulturen noch einmal nach den Pflanzenteilen aufgeschlüsselt dargestellt.

Tabelle 39 Mittelwert der Transferfaktoren der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene für Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän und Nickel

		Mittlere Transferfaktoren						
		Blei	Cadmium	Chrom	Cobalt	Kupfer	Molybdän	Nickel
Fenchel	Knolle	0,00487	0,33048	0,01140	0,00516	0,33344	1,22975	0,01253
	Kraut	0,00821	0,32973	0,01240	0,00548	0,13410	5,54116	0,00919
Karotte	Rübe	0,00669	0,48773	0,01453	0,00401	0,18812	0,77347	0,01752
Kartoffel	Knolle	0,00815	0,16577	0,00877	0,00502	0,08916	0,93301	0,00678
Kürbis	Kerne	0,00635	0,08866	0,01836	0,00380	0,22383	2,63910	0,03256
Lauch	Blätter	0,05038	0,19626	0,03833	0,02201	0,20492	10,88510	0,02070
	Pflanze	0,03889	0,16706	0,03845	0,02516	0,08608	4,00684	0,02457
Linse	Korn	0,00280	0,10786	0,00302	0,00358	0,23536	16,30011	0,01497
	Pflanze	0,00278	0,39497	0,00513	0,00175	0,14572	3,46409	0,00493
Rote Rübe	Knolle	0,01865	0,31646	0,01266	0,00831	0,15398	0,56359	0,00807
	Kraut	0,05488	1,17298	0,04603	0,03969	0,23688	4,65787	0,03867
Sellerie	Knolle	0,00895	0,36747	0,01833	0,00500	0,22186	0,13342	0,01494
	Kraut	0,04589	0,29948	0,04068	0,02260	0,11381	9,41419	0,02670
	Pflanze	0,06343	0,30382	0,07277	0,04083	0,16552	2,98317	0,04013
Weißkraut	Pflanze	0,00753	0,02895	0,00639	0,00244	0,02381	3,61658	0,00431
Zitronenverbene	Pflanze	0,00888	0,19573	0,01143	0,00540	0,27249	3,93276	0,01903

Nun zeigt sich ein deutlicher Unterschied bei den einzelnen Kulturen in Bezug auf ihre Akkumulationsfähigkeit und die unterschiedlichen Pflanzenteile.

Allgemein reichert sich Molybdän im Korn am stärksten an, gefolgt von den krautigen Pflanzenteilen (Blätter, Kraut, Pflanze). Cadmium reichert sich am stärksten im Kraut an und Kupfer zeigt die Tendenz sich stärker in Körnern und Kernen anzureichern. Bei Blei ist die Anreicherung in den Blättern bzw. im Kraut höher als in den anderen Pflanzenteilen.

Die Tabelle 40 zeigt die Reihenfolge der Schwermetalltransferfaktoren, beginnend mit dem Schwermetall, dass von der Kultur am stärksten akkumuliert wird. Bei allen Kulturen wurde Molybdän am stärksten im Pflanzengewebe angereicht, gefolgt von Cadmium oder Kupfer. Bei Zitronenverbene und Kürbis zeigt sich dieselbe Reihenfolge für die Schwermetallakkumulation. Auch Lauch und Rote Rübe haben dieselbe Reihenfolge bei den Transferfaktoren. Bei Sellerie und Kartoffel zeigt sich auch die gleiche Reihenfolge für die Transferfaktoren.

Tabelle 40 Reihenfolge der Schwermetalltransferfaktoren für Molybdän, Cadmium, Kupfer, Chrom, Nickel, Blei und Cobalt für Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie und Zitronenverbene

	Reihenfolge der Schwermetalltransferfaktoren
Fenchel	Mo > Cd > Cu > Cr > Ni > Pb > Co
Karotte	Mo > Cd > Cu > Ni > Cr > Co > Pb
Kartoffel	Mo > Cd > Cu > Cr > Pb > Ni > Co
Kürbis	Mo > Cu > Cd > Ni > Cr > Pb > Co
Lauch	Mo > Cd > Cu > Pb > Cr > Co > Ni
Linse	Mo > Cd > Cu > Ni > Cr > Pb > Co
Rote Rübe	Mo > Cd > Cu > Pb > Cr > Co > Ni
Sellerie	Mo > Cd > Cu > Cr > Pb > Ni > Co
Zitronenverbene	Mo > Cu > Cd > Ni > Cr > Pb > Co

Diese Reihenfolge zeigt, dass die Konzentration der Schwermetalle im Boden bzw. im Dünger nicht immer direkt mit dem Gehalt als Schwermetallen in der Pflanze zusammenhängt, da jede Pflanze gewisse Schwermetalle stärker im Gewebe anreichert als andere.

Die Reihenfolge der Transferfaktoren bei der Studie von INTAWONGSE AND DEAN (2006) zeigt auch, dass Cadmium stärker als Kupfer und Blei in Gemüsekulturen akkumuliert wird (INTAWONGSE und DEAN, 2006).

## 8 Schlussfolgerung und Ausblick

Als Schlussfolgerung kann festgestellt werden, dass die fünf Düngungsvarianten keinen Einfluss auf die Schwermetallbelastungen in den Gemüse- und Kräuterkulturen zeigten. Damit kann der Einsatz von Qualitätskomposten, nach Abklärung der Schwermetallfrachten, in voruntersuchten Böden in Hinblick auf die Schwermetallbelastung in Gemüse- und Kräuterkulturen bedenkenlos erfolgen.

Die Ergebnisse zeigten interessante Verteilungsmuster der diversen Schwermetalle. Die Gemüse- und Kräuterkulturen sind in der Lage die Schwermetalle in unterschiedlich starkem Maß aufzunehmen und auch die Schwermetalle in ihrem Gewebe in unterschiedlichen Pflanzenteilen anzureichern. Bei den meisten Schwermetallen zeigt sich eine Anreicherung im Kraut bzw. in der Pflanze und in den Speicherorganen, wie den Knollen, sind weniger Schwermetalle zu finden.

Blei tendiert zur Anreicherung in den krautigen Pflanzenteilen und in den Knollen zeigt sich weniger Blei. Bei Lauch wurden hohe Bleimengen in den Blättern nachgewiesen. Die Verteilung in den Linsen war relativ gleichmäßig. Die Anreicherung von Blei in Körnern und Kernen ist gering.

Bei Bor konnten im Kraut von den Roten Rüben höhere Mengen festgestellt werden als in den Knollen und bei Fenchel verhielt sich die Borverteilung umgekehrt mit höheren Bormengen in den Knollen.

Cadmium wird in Körnern und Kernen in geringen Mengen gespeichert und bei Roten Rüben zeigten sich deutlich höhere Cadmiumgehalte im Kraut als in der Knolle. Bei den restlichen Kulturen war die Verteilung relativ gleichmäßig. Bei Sellerie und Fenchel überstieg der Cadmiumgehalt sogar die Mengen im Kraut. In den Karottenwurzeln konnten relativ hohe Cadmiumgehalte nachgewiesen werden. Die gesetzlichen Grenzwerte für Cadmium laut VO (EG) 1881/2006 wurden von den Gemüse- und Kräuterkulturen nicht überschritten.

Krautige Pflanzenteile nehmen deutlich mehr Cobalt auf als die Knollen. Cobalt wird von Linsen aber stärker in den Körnern gespeichert als in der Pflanze.

Chrom verteilte sich in Fenchel und Lauch kaum, sondern wurde relativ gleichmäßig aufgenommen. Bei Chrom konnte die Tendenz zur Akkumulierung im Kraut beobachtet werden, woraufhin weniger Chrom in den Knollen von Roter Rübe und Sellerie erkennbar war.

Eisen zeigte in den Gesamtmengen deutlich höhere Werte als die restlichen Schwermetalle, was darauf zurückzuführen ist, dass das Schwermetall Eisen ein essenzielles Spurenelement ist. Die geringsten Eisengehalte zeigte Weißkraut. In der Verteilung innerhalb der Pflanze zeigten sich in den Knollen die geringsten Eisengehalte.

Bei Kupfer fiel die Verteilung innerhalb der Pflanzen relativ gleichmäßig aus, wobei in den Linsenkörnern höhere Kupfermengen festgestellt wurden und in Kartoffeln und Weißkraut geringe Kupfergehalte.

Die Manganverteilung zeigte eine Tendenz zur Akkumulierung in den krautigen Pflanzenteilen, jedoch fanden sich auch in Kürbiskernen hohe Manganmengen. Die Zitronenverbene stach mit vergleichsmäßig hohen Mangangehalten hervor.

Bei Nickel konnten relativ hohe Gehalte in den Körnern von Linsen und in Kürbiskernen festgestellt werden. Auch Zink wurde in Kürbiskernen stark eingelagert und in den Linsenkörnern fanden sich deutlich höhere Zinkgehalte als in der Pflanze.

Molybdän wurde stark von den Gemüse- und Kräuterkulturen aufgenommen und zeigte auch die höchsten Transferfaktoren aus dem Boden in die Pflanzen. In Kartoffeln waren die Molybdängehalte gering, dafür fanden sich in den Linsenkörnern hohe Gehalte dieses Schwermetalls.

Innerhalb der Pflanzen zeigten sich auch verschiedene Verteilungen der Schwermetalle. Die meisten Schwermetalle reichern sich in den krautigen Pflanzenteilen stärker an als in ihren Speicherorganen, wie den Knollen von Roter Rübe, Sellerie oder Fenchel oder den Linsenkörnern. Dies könnte auf Mechanismen der Pflanzen zurückzuführen sein, die verhindern, dass schädliche Stoffe in den Speicherorganen bzw. Vermehrungsorganen angereichert werden. Da die menschliche Ernährung oft auf diese Organe der Pflanze zurückgreifen, können wir bedenkenlos diese Produkte konsumieren.

Da die Stichprobengröße pro Kultur teilweise gering war und auch nicht gleichmäßig über alle Kulturen hinweg verteilt war, würde ein weiterführender Versuch mit Gemüse- und Kräuterkulturen weitere interessante Ergebnisse bringen können. In Bezug auf die Klärschlammdüngung wäre ein Versuch interessant, der die Klärschlammkompostdüngung mit einer reinen Klärschlammdüngung vergleicht, um den Effekt der Kompostierung deutlicher zum Ausdruck zu bringen. Nur die Verwendung von Klärschlamm bzw. den darin enthaltenen Nährstoffen kann die Kreisläufe schließen und eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft garantieren.

## 9 Zusammenfassung

Die Kreislaufwirtschaft stellt einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz dar, denn durch das Schließen der Kreisläufe können unsere Ressourcen effizient genutzt werden. Um potenziell gefährliche organische Abfallstoffe in der Landwirtschaft nutzen zu können, stellt die Kompostierung eine gute Methode zur Aufbereitung dieser Abfallstoffe dar. Die Kompostierung ist ein aerober Zersetzungsprozess bei dem pathogene Mikroorganismen zerstört werden und sich das Volumen des Materials verringert. Zusätzlich fördert die Kompostierung die Komplexbildung, wodurch beispielsweise Schwermetalle an die organische Substanz gebunden werden. Dadurch wird die Löslichkeit der Schwermetalle herabgesetzt und die Pflanzenverfügbarkeit verringert sich. Der Einsatz von Kompost als Dünger hat zusätzlich den Vorteil, dass die Erosion verringert wird und der Humusaufbau gefördert wird.

Um die Kreisläufe schließen zu können, muss sich auch der Mensch als Teil dieses Ökosystems sehen und somit müssen auch die menschlichen Abfallstoffe in die Kreislaufwirtschaft einbezogen werden. Dazu zählen nicht nur die Abfälle, die in den Biomüll wandern, sondern auch der Klärschlamm. Darin finden sich große Mengen an Nährstoffe, die in der Landwirtschaft genutzt werden können. Die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Nutzflächen ist in mehreren österreichischen Bundesländern verboten. Es wird oft befürchtet, die Flächen mit diversen Schadstoffen zu belasten. Durch die Kompostierung von solchen Abfallstoffen, könnte die Gefahr einer Belastung der Böden und Ernteprodukte verringert werden.

Diese Masterarbeit befasst sich mit einem langjährigen Fruchtfolgeversuch, der die Wirkung von diversen Düngungsvarianten auf verschiedene Ackerkulturen aufzeigen sollte. Es wurden fünf Düngungsvarianten (ungedüngt, Biokompost, Stallmistkompost, NPK, Klärschlammkompost) auf der Versuchsfläche in Bärnbach mit einer sechsschlägigen Fruchtfolge (Winterweizen, Sommergerste, Winterraps, Kartoffel, Kürbis und diverse Gemüse- und Kräuterkulturen) angewendet. In dieser Masterarbeit werden die Schwermetallgehalte in den Gemüse- und Kräuterkulturen genauer betrachtet.

Die Schwermetallgehalte von Bor, Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel und Zink wurden im Boden und in den Ernteprodukten gemessen. Dabei wurden auch die Schwermetallgehalte in den unterschiedlichen Pflanzenteilen der Gemüse- und Kräuterkulturen erhoben. Hier lag der Fokus darauf, die Unterschiede in den Schwermetallgehalten in Bezug auf die Düngung und die Verteilung der Schwermetalle in den Pflanzen aufzuzeigen. Neben dem Vergleich der Schwermetallgehalte wurden aber auch Transferfaktoren errechnet, die angeben, wie stark das jeweilige Schwermetall von den einzelnen Kulturen akkumuliert werden kann. Außerdem wurden die Gehalte an Blei und Cadmium in den Gemüse- und Kräuterkulturen mit Grenzwerten für Lebensmittel verglichen, die in der VO (EG) 1881/2006 festgelegt sind.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Cadmiumgehalte in den Kulturen die Grenzwerte der EU nicht überschritten haben, jedoch zeigten sich bei den Bleigehalten teilweise Überschreitungen der Grenzwerte. Da sich diese Grenzwerte auf die Schwermetallgehalte in der Frischmasse beziehen und die Gehalte für diesen Versuch nur in der Trockenmasse vorliegen, wurden die Gehalte mit durchschnittlichen Wassergehalten umgerechnet. Dadurch könnten sich Abweichungen ergeben haben.

Es konnten keine Unterschiede in den Schwermetallgehalten bezüglich der Düngungsvarianten festgestellt werden. Die Aufnahmefähigkeit von Schwermetallen ist von Kultur zu Kultur unterschiedlich und auch die einzelnen Schwermetalle werden unterschiedlich stark von den Kulturen im Gewebe angereichert. Außerdem verteilen sich die Schwermetalle nicht gleichmäßig innerhalb der Pflanze, sondern unterschiedlich in den Pflanzenteilen.

Blei, Cadmium, Cobalt, Chrom und Mangan reichern sich verstärkt in den krautigen Pflanzenteilen der untersuchten Gemüse- und Kräuterkulturen an und in den Knollen finden sich dahingehend geringere Gehalte. Kupfer verteilt sich relativ gleichmäßig in den Pflanzen. In Körnern und Kernen konnten hohe Gehalte an Nickel und Zink festgestellt werden. Die höchsten Gehalte konnten für Eisen in den Kulturen festgestellt werden, was darauf zurückgeführt werden kann, dass Eisen ein essenzieller Nährstoff für Pflanzen ist. Die höchsten Transferfaktoren zwischen Böden und Pflanzen konnten bei Molybdän festgestellt werden.

## 10 Literaturverzeichnis

- AGRAR MARKT AUSTRIA (2017): Daten & Fakten der AgrarMarkt Austria für den Bereich Getreide und Ölsaaten – K-Ö. laut Mehrfachantrag 2017 – endgültiger Stand per 14.06.2017. AgrarMarkt Austria.
- AGRAR MARKT AUSTRIA (2018): Gemüse-Ernteergebnisse 2017.
- AGRAR MARKT AUSTRIA (2019): ÖPUL - Formulare / Merkblätter. Abruf: 30.9.2019.
- AMELUNG, W., H.-P. BLUME, H. FLEIGE, R. HORN, E. KANDELER, I. KÖGEL-KNABNER, R. KRETZSCHMAR, K. STAHR und B.-M. WILKE (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum, Berlin.
- AMT DER BURGENLÄNDISCHEN LANDESREGIERUNG (1991): Verordnung der Burgenländischen Landesregierung vom 11. September 1991 über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden (Bgl. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung). Bgl. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung.
- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (2000): Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung.
- AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2015): NÖ Klärschlammverordnung, Fassung vom 15.07.2019.
- AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2018): NÖ Abfallwirtschaftsplan 2018. Wertvolle Abfälle. In: [http://www.noee.gv.at/noe/Abfall/NOE\\_Abfallwirtschaftsplan\\_2018.html](http://www.noee.gv.at/noe/Abfall/NOE_Abfallwirtschaftsplan_2018.html).
- AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2006a): Verordnung der Oö. Landesregierung betreffend Bodengrenzwerte (Oö. Bodengrenzwerte-Verordnung 2006). Oö. Bodengrenzwerte-Verordnung 2006.
- AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2006b): Verordnung der Oö. Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden (Oö. Klärschlammverordnung 2006). Oö. Klärschlammverordnung 2006.
- AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2018): Klärschlammanfall und -verwertung in Oberösterreich 2018. Abruf: 30.9.2019.
- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (2016): Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 16. September 2002 zum Schutz des Bodens bei der Verwendung von Klärschlamm und klärschlammhaltigen Materialien (Klärschlamm-Bodenschutzverordnung).
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG: Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark Endbericht.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2007): Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 8. Oktober 2007, über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden (Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007). Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2000): Feldschutzgesetz 2000, Tiroler, Fassung vom 15.07.2019.
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (1986): Verordnung der Landesregierung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz der Bodenqualität (Bodenqualitätsverordnung). Bodenqualitätsverordnung.
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG ABTEILUNG ABFALLWIRTSCHAFT (2006): Vorarlberger Abfallwirtschaftsplan. Bericht im Rahmen der Strategischen Umweltprüfung (SUP) zur 2. Fortschreibung des Vorarlberger Abfallwirtschaftsplanes. Bregenz.
- AMT DER WIENER LANDESREGIERUNG (2000a): Verbot der Ausbringung von Klärschlamm, Fassung vom 15.07.2019.
- AMT DER WIENER LANDESREGIERUNG (2000b): Verbot der Ausbringung von Klärschlamm, Fassung vom 15.07.2019.
- AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Bedeutung, Nutzung und Anbau ; 491 Tabellen. UTB für Wissenschaft Grosse Reihe Agrarwissenschaften, Heft 8156. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BARKER, A. V. und D. J. PILBEAM (Hrsg.) (2015): Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Raton, London, New York.
- BERNAL, M. P., J. A. ALBURQUERQUE und R. MORAL (2009): Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. In: Bioresource technology 100 (22): 5444–5453.
- BERNHOF, R. A. (2013): Cadmium toxicity and treatment. In: TheScientificWorldJournal 2013: 394652.
- BILITEWSKI, B. und G. HÄRDTLE (2013): Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- BODENFACHZENTRUM (2019): Bodenbelastung durch Chrom.
- BUCHGRABER, K. (2002): Einsatz von Biokompost als Düngemittel in der Landwirtschaft. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (2016): eBod - Digitale Bodenkarte. Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2004): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung 2004).

- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017): Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (2017): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, Teil 1. Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (2018): Österreichischer Lagebericht Kommunales Abwasser 2018.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS (2019): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.
- CHIZZOLA, R., H. MICHITSCH und C. FRANZ (2003): Monitoring of metallic micronutrients and heavy metals in herbs, spices and medicinal plants from Austria. In: *European Food Research and Technology* 216 (5): 407–411.
- DENKHAUS, E. und K. SALNIKOW (2002): Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. In: *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 42 (1): 35–56.
- DUNST, G. (1997): Kompostierung. Anleitung für: Hausgarten, bäuerlichen und kommunalen Bereich. Praxisbuch. Stocker, Graz.
- DURUIBE, J. O., M. O. C. OGWUEGBU und J. N. EGWURUGWU (2007): Heavy metal pollution and human biotoxic effects. In: *International Journal of Physical Sciences* (2 (5)): 112–118.
- EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2014): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). In: *EFSA Journal* 12 (10): 3845.
- EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2019): Metalle als Schadstoffe in Lebensmitteln. In: <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/metals-contaminants-food>. Abruf: 19.8.2019.
- ELMADFA, I. und C. LEITZMANN (2019): Ernährung des Menschen. utb-studi-e-book, Heft 8036. UTB GmbH; Ulmer, Stuttgart.
- ERSKINE, W. (Hrsg.) (2009): The lentil. Botany, production and uses. CABI, Cambridge, Mass.
- FELEAFEL, M. N. und Z. M. MIRAD (2013): Hazard and Effects of Pollution by Lead on Vegetable Crops. In: *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 26 (3): 547–567.
- FUHRMANN, G. F. (2006): Toxikologie für Naturwissenschaftler. Einführung in die Theoretische und Spezielle Toxikologie. Teubner Verlag/ GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- GEORGE, E., R. EGHBAL, M. BECK und D. MITHÖFER (Hrsg.) (2009): Ökologischer Gemüseanbau. Handbuch für Beratung und Praxis. Praxis des Ökolandbaus. Bioland-Verl., Mainz.
- GUERRA, F., A. R. TREVIZAM, T. MURAOKA, V. C. MARCANTE und S. G. CANNIATTI-BRAZACA (2012): Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. In: *Scientia Agricola* (69): 54–60.
- GUJER, W. (2007): Siedlungswasserwirtschaft. Mit 84 Tabellen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- GUPTA, N., K. K. YADAV, V. KUMAR, S. KUMAR, R. P. CHADD und A. KUMAR (2019): Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration - A review. In: *The Science of the total environment* 651 (Pt 2): 2927–2942.
- HARTWIG, A. und G. JAHNKE (2017): Metalle und ihre Verbindungen als Kontaminanten in Lebensmitteln : Arsen, Cadmium, Blei und Aluminium. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 60 (7): 715–721.
- INTAWONGSE, M. und J. R. DEAN (2006): Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. In: *Food additives and contaminants* 23 (1): 36–48.
- ITTER, H. und U. PABEL (2013): Toxikologie von Blei, Kupfer und Zink. „Alle(s) Wild?“ BfR-Symposium zu Forschungsvorhaben zum Thema Wildbret, 18.3.2013.
- JUNG, S., T. LANG, K. ROTH, M. WALTHER und K. MÜLLER (2019): Kürbiskerne. In: <https://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittel/fette-oele/samen-nuesse/kuerbiskerne.html>. Abruf: 27.10.2019.
- KACPRZAK, M., E. NECZAJ, K. FIJAŁKOWSKI, A. GROBELAK, A. GROSSER, M. WORWAG, A. RORAT, H. BRATTEBO, Å. ALMÅS und B. R. SINGH (2017): Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. In: *Environmental research* 156: 39–46.
- KHAN, A., S. KHAN, M. A. KHAN, Z. QAMAR und M. WAQAS (2015): The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. In: *Environmental science and pollution research international* 22 (18): 13772–13799.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2006): Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.
- KRETSCHMER, F., T. ZINGERLE und T. ERTL (2018): Perspektiven der künftigen Klärschlammbewirtschaftung in Österreich. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 70 (11-12): 579–587.
- KRISTINA MARCHART, MELANIE KUFFNER, DANIELA HOFSTÄDTER, ANGELIKA KECKEIS und KARIN MANNER (2013): Aufnahme von Cadmium über Lebensmittel 2007-2012. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Wien.
- LABER, H. und G. LATTAUSCHKE (Hrsg.) (2014): Gemüsebau. Ulmer, Stuttgart.

- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt;. 347 Abbildungen; 78 Tabellen;. UTB, 8074 : Botanik, Agrar- und Forstwissenschaften, Ökologie, Geographie. Ulmer, Stuttgart.
- LEMBACHER, F. und A. BRANDSTETTER (2015): Ölkürbis. NÖ. Landes-Landwirtschaftskammer.
- LIEBEREI, R., C. REISDORFF und W. FRANKE (2012): Nutzpflanzen. 118 Tabellen. Thieme, Stuttgart.
- MARSCHNER, H. und P. MARSCHNER (Hrsg.) (2012): Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Amsterdam, Boston, MA.
- MATTHEUS-STAAK, E. (2006): Taschenatlas Gemüse. 200 Arten und Sorten. 203 Farbfotos, 53 Zeichnungen, 2 Tabellen. Ulmer, Stuttgart.
- MÉRILLON, J. M. und K. G. RAMAWAT (2012): Plant Defence: Biological Control. Springer Netherlands, Dordrecht.
- MISCHEK, D. (2013): Aufnahme von Blei über Lebensmittel. AGES- Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Wien.
- NESTROY, O. (2015): Den Boden verstehen. Aufbau - Typen - Fruchtbarkeit. Praxisbuch. Stocker, Graz, Stuttgart.
- ÖSTERREICHISCHE WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (2014): ÖWAV-Positionspapier Klärschlamm als Ressource. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- PAHLSSON, A.-M. B. (1989): Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. In: Water, Air, and Soil Pollution 47 (3-4): 287–319.
- PRASAD, M. N. V. (Hrsg.) (2008): Trace Elements as Contaminants and Nutrients. Consequences in Ecosystems and Human Health. John Wiley & Sons Inc, Hoboken.
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1986): Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.
- REICHL, F.-X., J. BENECKE und M. BENECKE (Hrsg.) (2009): Taschenatlas Toxikologie. Thieme, Stuttgart.
- REUTER, P. und K. BRAND (2004): Springer Lexikon Medizin. Mit 2804 Abbildungen und Tabellen. Springer, Berlin.
- RZYMSKI, P., K. TOMCZYK, P. RZYMSKI, B. PONIEDZIAŁEK, T. OPALA und M. WILCZAK (2015): Impact of heavy metals on the female reproductive system. In: Annals of agricultural and environmental medicine : AAEM 22 (2): 259–264.
- SCHREIBER, A. (2005): Ökonomische und ökologische Beurteilung der Kompostverwertung in der Landwirtschaft. Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2004. Europäische Hochschulschriften Reihe 42, Ökologie, Umwelt und Landespflge, Heft 30. Lang, Frankfurt am Main.
- SCHULZE, E.-D., E. BECK und K. MÜLLER-HOHENSTEIN (2002): Pflanzenökologie. Spektrum-Lehrbuch. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- SHERAMETI, I. und A. VARMA (Hrsg.) (2010): Soil Heavy Metals. Soil Biology, Heft 19. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- SMITH, S. R. (2009): A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. In: Environment international 35 (1): 142–156.
- STRUMPF, T. und C. REICHMUTH (2009): Risikoabschätzung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden/Pflanze. In: Gesunde Pflanzen 61 (1): 39–50.
- TSADILAS, C., J. RINKLEBE und M. SELIM (Hrsg.) (2017): Nickel in Soils and Plants. Advances in Trace Elements in the Environment Ser. Chapman and Hall/CRC, Milton.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Klärschlamm. Materialien zur Abfallwirtschaft. Report / Umweltbundesamt REP-0221. Klagenfurt.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2002): Klimadaten von Österreich 1971-2000.

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Grenzwerte für den Schwermetallgehalt im mg/kg in landwirtschaftlichen Böden in der EU, Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich, Kärnten, Burgenland und Vorarlberg .....	11
Tabelle 2 Höchstgehalt für die Blei und Cadmium in diversen Gemüseprodukten in mg/kg Frischgewicht .....	11
Tabelle 3 Grenzwerte der EU, Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich und Burgenland für den Gehalt an Schwermetallen im Klärschlamm im mg/kg .....	12
Tabelle 4 Grenzwerte für den Gehalt an Schwermetallen in Klärschlammkompost in den Bundesländern Steiermark, Oberösterreich, Niederösterreich, Kärnten, Burgenland und Vorarlberg .....	12
Tabelle 5 Zulässige Schwermetallfrachten aus Düngern, Pflanzen- und Bodenhilfsstoffen in g/ha.....	13
Tabelle 6 Schwermetallgrenzwerte für Dünger und Pflanzen- und Bodenhilfsstoffen in mg/kg TM.....	13
Tabelle 7 Schwermetallgehalte im Klärschlamm im Jahr 2004 in Österreich in mg/kg in der Trockensubstanz .....	23
Tabelle 8 Übersicht der Kläranlagenzahl, Klärschlammmenge und Klärschlammnutzung in Österreich im Jahr 2017 (NÖ im Jahr 2013) .....	27
Tabelle 9 Übersicht über die Gemüse- und Kräuterkulturen des Exaktversuchs in Bärnbach mit Bezeichnung, der zugehörigen Pflanzenfamilie und der Anbaufläche in Österreich im Jahr 2017 .....	28
Tabelle 10 Übersicht über die Standortansprüche der untersuchten Gemüse- und Kräuterkulturen, sowie Besonderheiten bei den Nährstoffansprüchen.....	29
Tabelle 11 Übersicht über die Standorteigenschaften der Versuchsfläche in Bärnbach.....	30
Tabelle 12 Übersicht der Klimadaten für die Messstation Lobming.....	31
Tabelle 13 Sechsschlägige Fruchtfolge der Versuchsfläche von 2002-2018 mit Winterweizen, Winterraps, Kürbis, Kartoffel, Sommergerste und Gemüsekulturen .....	32
Tabelle 14 Durchschnittliche Wassergehalte ausgewählter Kulturpflanzen in g pro 100g essbarem Anteil .....	33
Tabelle 15 Reihenfolge der Schwermetallkonzentrationen von Eisen, Mangan, Bor, Zink, Kupfer, Molybdän, Nickel, Blei, Chrom, Cadmium und Cobalt bei den Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	34
Tabelle 16 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Median und Minimum der Bleigehalte in der Trockenmasse in mg/kg von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene.....	35
Tabelle 17 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Median und Minimum der Bleigehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	36
Tabelle 18 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Borgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe.....	40

Tabelle 19 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Borgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe .....	41
Tabelle 20 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cadmiumgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	42
Tabelle 21 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cadmiumgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	43
Tabelle 22 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung Minimum, Median und Maximum der Chromgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	46
Tabelle 23 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Chromgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	47
Tabelle 24 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cobaltgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	49
Tabelle 25 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Cobaltgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	50
Tabelle 26 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Eisengehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	52
Tabelle 27 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Eisengehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	53
Tabelle 28 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Kupfergehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	55
Tabelle 29 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Kupfergehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	56
Tabelle 30 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Mangangehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	58
Tabelle 31 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Mangangehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von	

Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	59
Tabelle 32 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Molybdängehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	61
Tabelle 33 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Molybdängehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	62
Tabelle 34 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Nickelgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	63
Tabelle 35 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Nickelgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	64
Tabelle 36 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Zinkgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Kulturen Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene...	66
Tabelle 37 Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum der Zinkgehalte in der Trockenmasse in mg/kg der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene .....	67
Tabelle 38 Mittelwert der Transferfaktoren von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene für Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän und Nickel.....	69
Tabelle 39 Mittelwert der Transferfaktoren der Pflanzenteile von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene für Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän und Nickel .....	69
Tabelle 40 Reihenfolge der Schwermetalltransferfaktoren für Molybdän, Cadmium, Kupfer, Chrom, Nickel, Blei und Cobalt für Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie und Zitronenverbene.....	70

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Klimakurve nach Walter der Messstation Lobming aus den Jahren 1995-2007	31
Abbildung 2 Schematische Darstellung des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach mit 6 Blöcken	32
Abbildung 3 Schematische Darstellung des Grundplans des Blocks 1 des Fruchtfolgeversuchs in Bärnbach mit 5 Düngungsvarianten (1: ungedüngt, 2: Biokompost, 3: Stallmistkompost, 4: NPK, 5: Klärschlammkompost) und 4 Wiederholungen (a, b, c, d).	32
Abbildung 4 Balkendiagramm der Bleigehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.	36
Abbildung 5 Balkendiagramm der Bleigehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Rote Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.	37
Abbildung 6 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Linsen in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,20 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006	38
Abbildung 7 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Zitronenverbene, Weißkraut und Lauch in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,30 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006	38
Abbildung 8 Bleigehalt in mg/kg Frischmasse von Fenchel, Rote Rübe, Karotte, Sellerie und Kartoffeln in Bezug auf den gesetzlichen Höchstgehalt von 0,10 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006.	39
Abbildung 9 Balkendiagramm der Borgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Linse und Rote Rübe des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.	40
Abbildung 10 Balkendiagramm der Borgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Roter Rübe, Linse und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.	41
Abbildung 11 Balkendiagramm der Cadmiumgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.	43
Abbildung 12 Balkendiagramm der Cadmiumgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.	44
Abbildung 13 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Zitronenverbene, Knollensellerie und Weißkraut mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,20 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006.	45
Abbildung 14 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Linsen mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,05 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006	45
Abbildung 15 Cadmiumgehalt in mg/kg Frischmasse von Fenchel, Rote Rübe, Karotte, Lauch, Stangensellerie und Kartoffel mit dem gesetzlichen Höchstgehalt von 0,10 mg/kg Frischmasse laut VO (EG) 1881/2006.	45
Abbildung 16 Balkendiagramm der Chromgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Rote Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten.	47
Abbildung 17 Balkendiagramm der Chromgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach.	48

---

Abbildung 18 Balkendiagramm der Cobaltgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	49
Abbildung 19 Balkendiagramm der Cobaltgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	51
Abbildung 20 Balkendiagramm der Eisengehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	52
Abbildung 21 Balkendiagramm der Eisengehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	54
Abbildung 22 Balkendiagramm der Kupfergehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	55
Abbildung 23 Balkendiagramm der Kupfergehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	57
Abbildung 24 Balkendiagramm der Mangangehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	58
Abbildung 25 Balkendiagramm der Mangangehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	60
Abbildung 26 Balkendiagramm der Molybdängehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	61
Abbildung 27 Balkendiagramm der Molybdängehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	62
Abbildung 28 Balkendiagramm der Nickelgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	64
Abbildung 29 Balkendiagramm der Nickelgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	65
Abbildung 30 Balkendiagramm der Zinkgehalte in mg/kg TM von Fenchel, Karotte, Kartoffel, Kürbis, Lauch, Linse, Roter Rübe, Sellerie, Weißkraut und Zitronenverbene des Exaktversuchs in Bärnbach mit Vergleich zu den fünf Düngungsvarianten. ....	67
Abbildung 31 Balkendiagramm der Zinkgehalte in mg/kg TM der Pflanzenteile von Sellerie, Roter Rübe, Linse, Lauch und Fenchel des Exaktversuchs in Bärnbach. ....	68

## 13 Anhang

Anhang 1 Deskriptive Datenanalyse der Schwermetallgehalte mit Anzahl (N), Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung

**Deskriptive Statistik**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
Eisen	140	55,5950	1775,1500	318,671390	354,4728194
Mangan	140	5,9400	226,0000	36,774796	35,0106040
Zink	140	8,8800	132,0000	33,391109	28,0479777
Bor	70	4,3800	47,4000	16,444643	12,2206015
Kupfer	140	0,9327	18,6000	8,118963	4,1189091
Molybdän	140	0,0801	21,7000	2,980524	3,5741905
Nickel	140	0,1113	2,4000	0,767984	0,5663952
Chrom	140	0,0590	3,0170	0,652718	0,6079142
Blei	140	0,0001	4,5400	0,509832	0,6847766
Cobalt	140	0,0270	1,0135	0,159624	0,1967417
Cadmium	140	0,0005	0,4715	0,077018	0,0731518
Gültige Werte (Listenweise)	70				

Anhang 2 Mittelwerte der Schwermetallgehalte in den verschiedenen Gemüse- und Kräuterkulturen

	Zink	Mangan	Kupfer	Eisen	Chrom	Nickel	Blei	Cadmium	Cobalt	Molybdän	Bor
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
Fenchel	30,1012	36,3600	11,6520	230,9675	0,4112	0,4677	0,2171	0,1099	0,0919	3,0842	31,5100
Karotte	25,7576	17,0400	10,1040	202,1870	0,5422	0,8036	0,2272	0,1590	0,0714	0,7580	32,2000
Kartoffel	12,9540	10,2953	4,5029	154,8618	0,3178	0,2988	0,2733	0,0540	0,0874	0,8521	5,6918
Kürbis	89,1718	49,5500	11,5090	188,2801	0,6661	1,4639	0,2143	0,0287	0,0666	2,4799	11,7167
Lauch	22,4040	56,1535	7,8146	749,3100	1,4330	1,0384	1,5147	0,0592	0,4202	7,2971	
Linse	33,3620	19,5700	9,5690	122,2784	0,1497	0,4443	0,0933	0,0800	0,0469	9,2200	9,9740
Rote Rübe	20,1167	101,4250	10,0405	804,5653	1,0443	1,0323	1,1952	0,2398	0,4155	2,3942	28,5700
Sellerie	29,0613	58,3310	8,5956	751,6100	1,6050	1,2241	1,3084	0,1055	0,3974	3,8859	
Weißkraut	20,3170	14,9670	1,1866	62,7530	0,2208	0,1854	0,2499	0,0096	0,0422	3,2947	
Zitronenverbene	27,2800	55,2700	14,0300	253,6300	0,4309	0,8680	0,3017	0,0642	0,0949	3,6850	

## 14 Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
<b>AMA</b>	Agrar Markt Austria
<b>B</b>	Bor
<b>Co</b>	Cobalt
<b>Cr</b>	Chrom
<b>Cu</b>	Kupfer
<b>EFSA</b>	European Food Safety Authority (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit)
<b>Fe</b>	Eisen
<b>Hg</b>	Quecksilber
<b>JECFA</b>	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Gemeinsame FAO/WHO-Sachverständigenausschuss für Lebensmittelzusatzstoffe)
<b>KG</b>	Körpergewicht
<b>KWT</b>	Kruskal-Wallis-Test
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Mo</b>	Molybdän
<b>MW</b>	Mitte
<b>Ni</b>	Nickel
<b>NPK</b>	Stickstoff-Phosphor-Kalium (Dünger)
<b>Pb</b>	Blei
<b>ST</b>	Shapiro Test
<b>TM</b>	Trockenmasse
<b>TS</b>	Trockensubstanz
<b>TWI</b>	Tolerable Weekly Intake (Tolerierbare wöchentliche Aufnahme)
<b>WHO</b>	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
<b>Zn</b>	Zink