

Universität für Bodenkultur  
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und  
Pflanzenbiotechnologie  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung



LFZ Raumberg-Gumpenstein  
Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft



# **Langjähriger Einfluss von Bio- und Klärschlammkompost auf Boden, Pflanze und Lebensmittel im Hinblick auf Schwermetalle und Spurenelemente**

## **Long-standing influence of organic compost and sewage sludge on soil, plants and food in terms of heavy metals and trace elements**

Diplomarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur

eingereicht von  
**Martina Fischer**

betreut von  
Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. Karl Buchgraber

Wien, im April 2011

# Danksagung

Ich bedanke mich ...

...bei meinem Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Dr. Karl Buchgraber, für die Vergabe eines sehr interessanten Diplomarbeitsthemas, welches ich großteils von Zuhause aus bearbeiten konnte und für die großartige Hilfe und Unterstützung während der gesamten Arbeitszeit.

...bei Frau Edeltrude Schwaiger, welche mir die Daten für meine Arbeit zur Verfügung gestellt hat und mir jederzeit und gerne mit Rat und Tat zur Seite stand, wenn ich eine Frage hatte.

...bei Herrn Ing. Herbert Buchgraber, dem Versuchsleiter des Fruchtfolgeversuches in Bärnbach, welcher es mir die Versuchsanlage vorgestellt hat und es mir ermöglicht hat, einen Tag bei der Gemüseernte mitzuarbeiten.

...bei allen Personen, welche so hilfsbereit waren, mir Fragen im Hinblick auf die Diplomarbeit zu beantworten oder die sich die Mühe gemacht haben, mir Daten zusammenzusuchen und zu übermitteln.

...bei meinem Freund Reinhard, welcher mich die gesamte Zeit, in der ich an meiner Diplomarbeit geschrieben habe, tatkräftig unterstützt hat.

...bei meiner Mutter Anna, meinen Schwestern Christine, Anna und Regina, bei meiner Schwägerin Loisi und meiner Familienhelferin Gerlinde, welche mir bei der Betreuung meiner Kinder geholfen haben.

...und bei den Menschen, welche mich meine gesamte Studienzeit unterstützt haben: meinem Vater und meiner „2. Familie“, die Familie Pesendorfer.

## **Abstract**

Kompostierung stellt sowohl für die seit 1996 in Österreich getrennt gesammelten biologischen "Abfälle" als auch für die steigenden, anfallenden Klärschlammengen eine zentrale und sinnvolle Verwertungsmöglichkeit dar. Im Hinblick darauf drängt sich immer wieder die Frage auf, inwieweit durch diese Komposte Schwermetalle und Spurenelemente auf landwirtschaftlich genutzte Böden aufgebracht werden und wie sich diese im Boden und in den Pflanzen und somit in Lebens- und Futtermitteln akkumulieren. In der Steiermark wurden dazu ein Grünlandversuch mit 4 jähriger Laufzeit (1994 bis 1998) und ein Ackerkulturversuch mit sechsgliedriger Fruchtfolge (Laufzeit seit 1996) angelegt. Exemplarisch wurden für die Versuche einige Schwermetalle (Blei, Cadmium, Quecksilber) und Spurenelemente (Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Molybdän, Selen, Zink) ausgewählt, welche in regelmäßigen Abständen sowohl im Boden als auch in Pflanzenteilen analysiert wurden/werden.

In dieser Arbeit werden Unterschiede in Bodenbilanzen und Gehalten in Pflanzenteilen bei unterschiedlicher Düngung (ungedüngt, Biokompost, Stallmistkompost, mineralisch gedüngt, Granulierter Biokompost und Klärschlammkompost) herausgearbeitet und verglichen.

## **Abstract**

Composting is both for the 1996 separately in Austria collected biological "waste" as well as for the increasing and of sludge quantities, a central and appropriate re possibility dar. In this regard, urges again and again to the extent on agricultural by this compost heavy metals and trace elements soils are applied and how they accumulate in soil and the plants and thus in food and feed. In Styria, to a grassland experiment, with 4 year term (1994-1998) and an arable crop rotation experiment with six-membered (term applied since 1996). Exemplarily chosen for the experiments some of heavy metals (lead, cadmium, mercury) and trace elements (arsenic, chromium, copper, nickel, molybdenum, selenium, zinc), which at regular intervals over the bottom and were also analyzed in plant parts / are.

In this work, differences in base budgets and levels in plant parts at different fertilization are (unfertilized, bio-compost, manure compost, mineral fertilizer, granules of bio-compost and sewage sludge) identified and compared.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1. Charakteristik der Schwermetalle und Spurenelemente .....	2
1.2. Schwermetall- und Spurenelementrichtlinien für Erntefrüchte .....	8
1.2.1. Lebensmittel .....	8
1.2.2. Futtermittel .....	9
1.3. Aufkommen und Verwertung von Komposten .....	11
1.3.1. Biokompost.....	11
1.4. Relevante Richtlinien für Umwelt und Produktion.....	13
1.4.1. Bodenschutz in Österreich.....	13
1.4.2. Biokompost.....	16
1.4.3. Klärschlammkompost.....	18
1.5. Problemstellung.....	21
<b>2. Material und Methoden.....</b>	<b>23</b>
2.1. Versuchsstandorte .....	23
2.1.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach.....	23
2.1.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß .....	23
2.2. Versuchsplanungen .....	24
2.2.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach.....	25
2.2.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß .....	26
2.3. Düngung.....	28
2.3.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach.....	28
2.3.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß .....	29
2.4. Untersuchungsmethoden und Analysen .....	29
2.4.1. Boden.....	29
2.4.2. Düngemittel .....	29
2.4.3. Erntefrüchte .....	30

2.5.	Auswertungen .....	30
2.5.1.	Berechnung Düngemittel.....	30
2.5.2.	Gehaltsermittlung von Schwermetallen und Spurenelementen in den Erntefrüchten .....	31
2.5.3.	Berechnung Bilanzen.....	31
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>33</b>
3.1.	Boden .....	33
3.1.1.	pH-Wert (Untersuchungsergebnisse 1994-2002).....	33
3.1.2.	Humusgehalt (Untersuchungsergebnisse 1994-2002).....	34
3.1.3.	Nährstoffzufuhren und Erträge (Untersuchungsergebnisse 1994-2007)...	36
3.1.4.	Bodenlebewesen .....	38
3.1.5.	Schwermetalle und Spurenelemente.....	38
3.1.5.1.	Chrom .....	40
3.1.5.2.	Nickel .....	42
3.1.5.3.	Kupfer.....	44
3.1.5.4.	Zink.....	46
3.1.5.5.	Cadmium .....	48
3.1.5.6.	Blei .....	50
3.2.	Pflanze.....	52
3.2.1.	Chrom .....	53
3.2.2.	Nickel .....	59
3.2.3.	Kupfer.....	65
3.2.4.	Zink.....	70
3.2.5.	Cadmium .....	74
3.2.6.	Blei .....	80
3.2.7.	Arsen.....	87
3.2.8.	Selen .....	89
3.2.9.	Molybdän.....	91
3.2.10.	Quecksilber.....	94
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>96</b>
<b>5.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>105</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bioabfallverwertung in Deutschland 2009 .....	11
Abbildung 2: Bioabfall in der Europäischen Union .....	12
Abbildung 3: Kommunale Klärschlammverwertung in Österreich .....	12
Abbildung 5: Klärschlammverwertung in der EU 2003 .....	13
Abbildung 4: Klärschlammanfall und Verwertung in der EU (2001-2003).....	13
Abbildung 6: Kürbisernte beim Fruchtfolgeversuch .....	24
Abbildung 8: Ausschnitt der Versuchsanlage und Abbildung 9: Strukturplan der Versuchsanlage in Bärnbach.....	25
Abbildung 7: Struktur des Blockes I.....	25
Abbildung 10: Fruchtfolgeplan in Bärnbach .....	26
Abbildung 11: Versuchsanlagenstruktur des Grünlandversuches .....	27
Abbildung 12: Kompostierungsanlage .....	29
Abbildung 13: pH-Wertentwicklung im Grünlandversuch .....	33
Abbildung 14: pH-Werte im Fruchtfolgeversuch Bärnbach bei verschiedenen Düngervarianten im Jahre 2002 .....	34
Abbildung 16: Humusgehaltentwicklung im Grünlandversuch Wald/Schoberpaß.....	35
Abbildung 15: Humusgehalt im Fruchtfolgeversuch Bärnbach bei verschiedenen Düngervarianten.....	35
Abbildung 17: Korrelation zwischen N-Düngung und Ertrag im Grünland .....	37
Abbildung 18: Nährstoffzufuhr im Fruchtfolgeversuch in 12 Jahren.....	37
Abbildung 19: Korrelation zwischen N-Düngung und Ertrag im Fruchtfolgevers. ....	38
Abbildung 20: Berechnete Bodenbilanz von Chrom im Fruchtfolgeversuch.....	40
Abbildung 21: Berechnete Bodenbilanz von Nickel im Fruchtfolgeversuch.....	42
Abbildung 22: Berechnete Bodenbilanz von Kupfer im Fruchtfolgeversuch .....	44
Abbildung 23: Vergleich von Zinkgehalten im Grünland .....	46
Abbildung 24: Berechnete Bodenbilanz von Zink im Fruchtfolgeversuch .....	46
Abbildung 25: Berechnete Bodenbilanz von Cadmium im Fruchtfolgeversuch.....	48
Abbildung 26: Berechnete Bodenbilanz von Blei im Fruchtfolgeversuch.....	50
Abbildung 27: Analytierte Chromgehalte vom Grünland und den Kulturen.....	53
Abbildung 28: Chromgehalte des Grünfutters (1994-1998).....	54
Abbildung 29: Chromgehalte der Lippenblütler (1997).....	54

Abbildung 30: Chromgehalte der Kartoffel (1996-2007).....	55
Abbildung 31: Chromgehalte der Karotte (1999).....	55
Abbildung 32: Chromgehalte im Weizen .....	56
Abbildung 33: Nickelgehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch.....	59
Abbildung 34: Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und Nickel im Grünfutter ....	60
Abbildung 35: Nickelakkumulation bei der Roten Rübe.....	60
Abbildung 36: Nickelakkumulation beim Kürbis.....	61
Abbildung 37: Nickelakkumulation beim Merrettich.....	61
Abbildung 38: Nickelgehalte im Weizen.....	62
Abbildung 39: Kupfergehalte vom Grünland und d. Kulturen im Fruchtfolgeversuch .	65
Abbildung 40: Kupfergehalte im Grünfutter in den versch. Düngervarianten .....	66
Abbildung 41: Kupferakkumulation in den einzelnen Pflanzenteilen bei unterschiedlicher Düngung im Fruchtfolgeversuch.....	66
Abbildung 42: Kupfergehalte im Weizen.....	67
Abbildung 43: Zinkgehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch ...	70
Abbildung 44: Zinkgehalte im Weizen.....	72
Abbildung 45: Cadmiumgehalte im Grünland und in d. Kulturen im Fruchtfolgeversuch..	74
Abbildung 46: Korrelation zwischen Boden-pH-Wert im Grünland und dem Cadmiumgehalt im Futter .....	75
Abbildung 47: Cadmiumgehalte im Weizen- und Gerstenkorn in den unterschiedlichen Düngervarianten.....	75
Abbildung 48: Cadmiumgehalte im Frischgemüse .....	76
Abbildung 49: Cadmiumakkumulation in verschiedenen Pflanzenteilen im Gemüse.....	76
Abbildung 50: Cadmiumwerte im Weizen .....	77
Abbildung 51: Bleigehalte im Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch.....	80
Abbildung 52: Bleigehalte im Grünfutter .....	81
Abbildung 53: Bleigehalte in Getreide und Gemüse mit EU-Grenzwerte .....	82
Abbildung 54: Bleigehalte im Blattgemüse und die dazugehörigen EU-Grenzwerten ..	82
Abbildung 55: Bleiakkumulation in den Pflanzenteilen verschiedener Gemüsearten ...	83
Abbildung 56: Bleigehalte im Weizen.....	84
Abbildung 57: Arsengehalte im Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch ....	87
Abbildung 58: Arsengehalte in verschiedenen Gemüsearten .....	87
Abbildung 59: Selengehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch..	89
Abbildung 60: Selengehalte verschiedener Gemüsearten .....	89

Abbildung 61: Molybdängehalte im Grünland und d. Kulturen in d. Fruchtfolgevers. .	91
Abbildung 62: Korrelation zwischen Boden-pH-Wert und Molybdängehalte im Gras .	91
Abbildung 63: Molybdänakkumulation in verschiedenen Pflanzenteilen .....	92
Abbildung 64: Molybdängehalt verschiedener Erntefrüchte .....	92
Abbildung 65: Molybdängehalte im Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgevers. .	94
Abbildung 66: Quecksilbergehalte im Futter .....	95

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: EU-Verordnung für Höchstgehalte an Blei und Cadmium in Lebensmitteln..	9
Tabelle 2: EU-Richtlinien für Höchstgehalte an Schwermetallen.....	10
Tabelle 3: EU-Verordnung für Höchstgehalte an Futtermittelzusatzstoffen .....	10
Tabelle 4: Schwermetalle im Königswasserauszug, Normal- und Grenzwerte für die Steiermark.....	14
Tabelle 5: Frachtbegrenzungen für Schwermetalle in den Bundesländern .....	15
Tabelle 6: Erlaubte Stickstoffzufuhr/ha lt. Ö Aktionsprogramm 2008; Anlage 3 .....	16
Tabelle 7: Kompostqualitäten in Österreich nach der Kompostverordnung 2001 .....	17
Tabelle 8: Richtwerte für Komposte in Deutschland.....	18
Tabelle 9: Grenzwerte für Schwermetalle im Ausgangsmaterial für österreichische Klärschlammqualitäten lt. Bundeskompostverordnung 2006.....	19
Tabelle 10: Anlage 2 der Düngemittelverordnung 1994 .....	19
Tabelle 12: Nährstoffbilanz des Grünlandversuches .....	37
Tabelle 13: Chromdaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten .....	57
Tabelle 14: Nickeldaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten.....	63
Tabelle 15: Kupferdaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten .....	68
Tabelle 16: Zinkdaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten .....	73
Tabelle 17: Cadmiumdaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten.....	78
Tabelle 18: Bleidaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten.....	85

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AL	Ackerland
As	Arsen
Bgld.	Burgenland
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BK	Biokompost
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
dt	Dezitonne
g	Gramm
GBK	Granulierter Biokompost
GL	Grünland
ha	Hektar
Hg	Quecksilber
K	Kalium
KSK	Klärschlammkompost
KTN	Kärnten
kg	Kilogramm
mg	Milligramm
med.	Median
Mo	Molybdän
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
Ni	Nickel
Pb	Blei
P	Phosphor
Se	Selen
SM	Schwermetall
STMK	Stallmistkompost
t	Tonne

TM	Trockenmasse
UG	ungedüngt
Var.	Variante
WW	Wiesen und Weiden
vgl.	vergleiche
Zn	Zink
zB	zum Beispiel

## 1. Einleitung

Kompost war in Österreich lange eine Angelegenheit von privaten Gartenliebhabern und Landwirten. Mit der Einführung der Biotonne in Wien im Juli 1996 fiel der Startschuss zur getrennten Sammlung von hochwertigen biogenen Abfällen.

Zukünftig werden Komposte aus den verschiedensten, kontrollierten Ausgangsmaterialien durch eine steigende Nachfrage an Düngemitteln und eine gleichzeitige Verknappung der mineralischen Düngemittel (z.B.: Phosphor) an Bedeutung gewinnen.

Die Kompostdüngung von Acker- und Grünlandflächen mittels Kompost bringt viele Vorteile gegenüber alleiniger, mineralischer Düngung mit sich.

### **Den Boden betreffend kommt es zu folgenden positiven Wirkungen:**

- Mit organischen Düngern wird dem Boden die Nahrungsgrundlage für die Bodenlebewesen zugeführt und somit werden die **Bodenlebewesen gefördert**. Diese bewirken den Lebendverbau der Bodenkrümel und damit eine hohe Krümelstabilität, was zu einer
- **verminderten Erosionsanfälligkeit** führt. Die Bodenkrümel werden größer und sind weniger erosionsgefährdet. Der hohe Grobporenanteil verbessert die Drainageeigenschaften des Bodens und fördert ein rascheres Abtrocknen der Fläche. Zudem steigt das Wasserspeichervermögen.
- Die **phytosanitäre Wirkung** bei den Komposten wird der Förderung des Bodenlebewesens zugeschrieben. Untersuchungen belegen, dass Komposte eine unterdrückende Wirkung gegenüber bodenbürtigen Krankheitserregern haben können.
- Durch optimale, an den Standort angepasste Humusgehalte wird das Bodengefüge verbessert. Es kommt zu einer **leichteren Bodenbefahrbarkeit und einer besseren Befahrbarkeit**.
- Durch die standort- und kulturgerechte Ausbringung von Komposten wird der Humusgehalt im Boden erhöht und somit steigt die Kationenaustauschkapazität. Dies bringt ein höheres **Nährstoffspeichervermögen** mit sich.

**Die klimawirksamen Begleiteffekte der Kompostierung sind:**

- ein **verringertes Energieverbrauch**, welcher äquivalent dem eingespartem Mineraldünger (Substitutionseffekt) ist
- die **Verringerung der Lachgasemissionen** (N<sub>2</sub>O) durch die Reduktion verfügbarer Stickstoffüberschüsse aus leicht-löslichen Stickstoffquellen (z.B. aus Mineraldüngern)
- **Reduktion des Krankheitsdruckes** in den Pflanzenbeständen (hierdurch Reduktion des Energiebedarfes für die Herstellung und die Anwendung von Pestiziden)
- **Geringere Anfälligkeit der Böden für Erosion** (hier besteht die Frage, wie Bodenverluste ökobilanziell zu bewerten wären)
- **Verringerung des Beregnungsbedarfes bzw. der Beregnungsintensität** (geringerer Energiebedarf hierfür)
- **Bessere mechanische Bearbeitbarkeit des Bodens** (geringerer Energiebedarf für Pflügen, Eggen, Grubbern, Sähen etc.)
- **Kohlenstoffsенke** - Kompost als Beitrag zum Klimaschutz
- Kompost als Torfersatz - Einsparung an Kohlenstoffdioxid

(vgl. ARGE Kompost und Biogas, 2010).

**1.1. Charakteristik der Schwermetalle und Spurenelemente**

Schwermetalle gehören biochemisch gesehen zu den Spurenelementen, das heißt ihre Gehalte in Pflanzen und im Tiergewebe betragen weniger als 0,005 Gew. -%. Einige Schwermetalle, wie Kupfer, Chrom oder Zink, sind nicht generell giftige Substanzen, sondern gehören zu den essentiellen Spurenelementen und sind für Pflanzen, Tier und Mensch physiologisch unentbehrlich (vgl. KEHRES 1991). Die Schädlichkeit dieser Metalle ist daher eine Frage ihrer Konzentration (PEYR, 2000). Die Schwermetalle Cadmium und Blei sind nicht essentiell.

Viele Schwermetalle kommen in der Natur nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Durch Gewinnung und Verarbeitung werden sie vom Menschen in Form von Emissionen flüssiger, fester oder gasförmiger Art in die Umwelt gebracht. Schwermetalle werden in der Industrie, z.B. zur Herstellung von Kunststoffen, zur

Metallveredelung, für Trinkwasserleitungen, für Dächer als Kunststoff-Additive, als Pigmente und im Korrosionsschutz verwendet. Schwermetalle sind nicht abbaubar und können sich in der Nahrungskette anreichern (vgl. WECOBIS, 2009).

**Chrom (Cr)** ist ein relativ häufiges Element und kommt in einer durchschnittlichen Konzentration von 200 mg/kg in der Erdkruste vor. In Böden findet man im Allgemeinen 10 bis 90 mg/kg.

Dreiwertiges Chrom ist ein essentielles Spurenelement für Mensch und Tier. Sechswertige Chromverbindungen verursachen allergische und asthmatische Reaktionen und gelten als krebserregend.

Chrom und seine Verbindungen haben in Industrie und Gewerbe eine vielfältige Anwendung als Beiz-, Oxidations-, Ätz- und Färbemittel sowie als Legierungsbestandteil gefunden. Quantitativ bedeutsame Chrommengen werden in der Stahlindustrie und bei galvanischen Prozessen gebraucht (WECOBIS, 2009).

In den meisten Böden liegt pflanzenverfügbares Chrom nur in äußerst geringen Konzentrationen vor. Diese schwache Löslichkeit erklärt auch die niedrigen Gehalte an diesem Element in Pflanzen. Konzentrationen in den Blattteilen von Pflanzen weisen kaum eine Korrelation mit dem Chromgesamtgehalt in Böden auf. Werte für Pflanzen auf nicht verunreinigten Böden liegen bei etwa 0,23 mg/kg und im Allgemeinen überschreiten die Chromwerte in Pflanzen auch bei einer breiten Spannweite von Chrom im Boden nicht die 1 mg/kg-Grenze (vgl. ALLOWAY, 1999).

Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Chrom III bei 4,5 (vgl. SCHILLING, 2000).

Die tägliche Aufnahme beträgt 40-70 Mikrogramm pro Tag (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Die Deutsche Gesellschaft empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 30-100 Mikrogramm/Tag/Erwachsenen (DGE, 2010).

Der größte Teil erzeugten **Nickels (Ni)** wird in der Stahlverarbeitung und für Nickelbasislegierungen verbraucht (KEHRES, 1991). Zu einem geringen Teil dient Nickel als Bestandteil von Schmuck, Brillenfassungen, Münzen, Trockenbatterien, Uhren, als Katalysator und im chemischen Apparatebau. Auch in orthopädischen, zahntechnischen und kosmetischen Materialien findet man Nickel (vgl. RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Nickel bei 5,5 (vgl. SCHILLING, 2000).

Nickel ist Bestandteil vieler Enzyme und darüber direkt an einer Reihe von Stoffwechselprozessen beteiligt. Genaue Angaben zur biologischen Funktion des Spurenelementes existieren bisher jedoch noch nicht. Die Toxizität von Nickel hängt in erheblichem Maße davon ab, in welcher chemischen Verbindung es vorliegt. Die tägliche Nickelaufnahme wird mit ca. 150-500 Mikrogramm pro Erwachsenen geschätzt (vgl. RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

**Kupfer (Cu)** gehört zu den Mikronährelementen. In belasteten Böden können bis zu 1000 mg/kg festgestellt werden. Die Kupfergehalte der Pflanzen betragen in der Regel zwischen 2 und 20 mg/kg TS. (vgl. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

Kupfer gibt in saurer Umgebung Kupferionen ab, die eine giftige Wirkung besitzen. Empfindlich dafür sind vor allem niedere Pflanzen. Auch höhere Pflanzen sind auf große Mengen Kupfer empfindlich, für Menschen und Tier ist Kupfer in hohen Dosen ebenfalls ein Gift ([www.enius.de](http://www.enius.de)).

Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Kupfer bei 4,5 (vgl. SCHILLING, 2000).

Die alimentäre Kupferaufnahme beträgt in Mitteleuropa ca. 1-4 mg/Tag (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Die deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine Aufnahme von 1-1,5 mg Kupfer/Erwachsenen/Tag (DGE, 2010).

**Zink (Zn)** ist ein essentielles Spurenelement für Mensch, Tier und höhere Pflanzen. Die empfohlene Tagesdosis für den erwachsenen Menschen liegt bei etwa 15 Milligramm (ALLOWAY 1999, 309). Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 7-10 mg/Erwachsenen (DGE, 2010). Eine orale Zufuhr bis zum 5- 10fachen des täglichen Bedarfs (entspricht ca. 100-250 Milligramm) wird ohne Nebenwirkungen vertragen (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Der Zinkgehalt im Boden liegt bei 1 bis 300 mg/kg, meist jedoch unter 75 mg/kg (SCHILLING, 2000).

Im reifen Blattgewebe von Pflanzen ist ein Zinkgehalt zwischen 25 und 150 mg/kg in der Trockenmasse als ausreichend bzw. normal anzusehen (vgl. ALLOWAY, 1999).

Zink wird heute hauptsächlich zur Verzinkung von Stahl verwendet. Weitere Verwendungsformen dieses Metalls sind die Produktion von Rostschutzfarben, Taschenbatterien und galvanischen Elementen (KEHRES, 1991).

Die Verbrennung von Kohle und anderen fossilen Brennstoffen sowie die Verhütung von Nichteisenmetallen stellen die wesentlichen Zinkquellen bei der Luftverschmutzung dar.

Zink kann als ein überaus mobiles und leicht bioverfügbares Metall angesehen werden (ALLOWAY, 1999).

Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Zink bei 6,0 (vgl. SCHILLING, 2000).

**Cadmium (Cd)** ist ein verhältnismäßig seltenes Metall, erfüllt keine essentielle Funktion und wirkt hochgradig toxisch auf Tiere und Pflanzen. Die Halbwertszeit in Böden beträgt zwischen 15 und 1500 Jahren (vgl. ALLOWAY, 1999).

Wegen seiner langen Halbwertszeit im menschlichen Körper (10 bis 40 Jahre), der Ablagerung in den Nieren und der nachgesagten kanzerogenen Wirkung von Cadmiumverbindungen, steht Cadmium im gegenwärtigen Zentrum der Aufmerksamkeit (vgl. SCHILLING, 2000).

Bei andauernder Cadmium-Belastung kann es zu Nierenschäden und unter bestimmten Bedingungen zu Knochenveränderungen (Itai-Itai-Krankheit) kommen. (PEYR, 2000).

Quellen für die Cadmiumverunreinigung von Böden sind die Gewinnung von Blei- und Zinkerzen, Emissionen von Metallverarbeitenden Betrieben, die Entsorgung cadmiumhaltiger Abfälle (z.B. Verbrennung von Kunststoffbehältern und Batterien, Ausbringung von Klärschlämmen, Verbrennung fossiler Brennstoffe) und die Herstellung von Phosphatdüngern (vgl. ALLOWAY, 1999).

Cadmium besitzt in Böden eine höhere Mobilität als viele andere Schwermetalle und ist daher für Pflanzen leichter verfügbar (ALLOWAY, 1999).

Neben der Aufnahme aus dem Boden, kann Cadmium auch direkt aus Aerosolpartikeln aus Industrieller Luftverschmutzung über die Blätter aufgenommen werden (N.N.).

Der Boden-pH-Wert stellt den zentralen Faktor bei der Steuerung der Cadmiumverfügbarkeit in Böden dar. Die Cadmiumaufnahme ist umgekehrt proportional zum pH-Wert (ALLOWAY, 1999). Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Cadmium bei 6,5 (vgl. SCHILLING, 2000).

**Blei (Pb)** ist ein Element, welches für Pflanzen und Tiere keinerlei essentielle Bedeutung besitzt (ALLOWAY, 1999).

Blei und seine Verbindungen gehören zu den starken Umweltgiften (PEYR, 2000).

Die Wirkung des toxischen Stoffes beruht auf einer Inaktivierung der Enzyme, auf neuro- und immuntoxischen Schädigungen, einer gestörten Blutbildung und auf psychiatrischen Folgeerscheinungen infolge herabgesetzter Konzentrationsfähigkeit (vgl. RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Es akkumuliert sich, wie andere Schwermetalle auch, in Klärschlämmen, Sedimenten aber auch in Lebewesen (N.N. 1998).

Der Bleigehalt unbelasteter Böden liegt unter 20 mg/kg. Wird Blei in die Umwelt freigesetzt, so ist seine Verweilzeit im Vergleich zu anderen Schadstoffen sehr groß.

Die Böden stellen eine Senke für anthropogenes Blei dar. Verschiedene, eindeutig identifizierbare Quellen für diesen Element sind bekannt: Bergbau und Verhüttung, Düngung, Klärschlammasbringung in der Landwirtschaft und Autoabgase. Es besteht eine eindeutige Korrelation zwischen der Bleikonzentration im Boden und in den darauf wachsenden Pflanzen (vgl. ALLOWAY, 1999).

Blei wird allenfalls in sehr geringen Mengen von Pflanzen aufgenommen, da es im Boden sehr schwer beweglich ist (SCHILLING, 2000).

Es hat sich herausgestellt, dass die Aufnahme von Blei durch eine Reihe von Bodenfaktoren gesteuert wird. Der Einfluss des Boden-pH-Wertes ist nicht groß (ALLOWAY, 1999).

Die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung liegt für Blei bei 4,0 (vgl. SCHILLING, 2000).

Die tägliche Bleiaufnahme mit der Nahrung wird mit 100 bis 300 Mikrogramm geschätzt (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

**Arsen (As)** ist berüchtigt für die Giftigkeit einiger seiner Verbindungen. In der Toxizität der einzelnen Verbindungen bestehen aber große Unterschiede, und die in Böden am häufigsten auftretenden Spezies gehören zum Glück nicht zu den giftigsten. Die Arsenaufnahme vieler terrestrischer Pflanzen ist eher gering, weshalb Pflanzen auf relativ arsenreichen Böden üblicherweise keine gefährlichen Gehalte des Elementes aufweisen (ALLOWAY, 1999).

Arsen wurde mehr als 100 Jahre lang weitverbreitet als Pestizid eingesetzt, jedoch ist diese Verwendung stark rückläufig.

Außerdem werden organische Arsenverbindungen in geringen Konzentrationen als Tierfutterzusatz zur Wachstumsförderung und für eine höhere Fortpflanzungsleistung von Hühnern, Truthühnern und Schweinen eingesetzt (vgl. ALLOWAY, 1999 und FIEDER und RÖSLER, 1993).

Arsen wird eine kanzerogene Wirkung zugeschrieben. Die täglich mit der Nahrung aufgenommene Arsenmenge wird mit ca. 10-50 Mikrogramm geschätzt und liegt damit deutlich unter dem von der WHO/FAO vorgeschlagenen ADI-Wert von 50 Mikrogramm/kg Körpergewicht (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

### **Selen (Se)**

Der Selengehalt eines Bodens spiegelt die Verwitterung der Ausgangsmaterialien wieder.

In einer natürlichen Umgebung gehen erhöhte Selengehalte in Böden im wesentlichen mit vulkanischen Gesteinen, mit Sulfidlagerstätten, Schwarzschiefern und kohlenstoffhaltigen Sandsteinen einher (ALLOWAY, 1999).

Die Aufnahme und Ansammlung von Selen durch Pflanzen kann durch eine Reihe von Umweltfaktoren beeinflusst werden, wie z.B. pH-Wert, mineralogische Zusammensetzung des Bodens oder Pflanzenart (vgl. ALLOWAY, 1999).

Bei Tieren kann Selen, je nach Gehalt im Futter, entweder toxisch wirken oder zu Mangelerscheinungen führen (vgl. ALLOWAY, 1999).

Im Humanbereich sind Selenvergiftungen selten. Sie treten vornehmlich bei beruflicher Exposition auf. Der tägliche Bedarf des Elementes wird auf ca. 50-200 Mikrogramm geschätzt (in Mitteleuropa liegt die Aufnahme bei ca. 30-150 Mikrogramm). Selen ist für den Menschen essentiell (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 30-70 Mikrogramm/Erwachsenen (DGL, 2010).

**Molybdän (Mo)** nimmt unter den Pflanzennährstoffen eine Sonderstellung ein, da es im Boden als Anion auftritt und infolgedessen mit steigenden pH-Wert verstärkt in Lösung geht. Molybdän wird hauptsächlich bei der Stahlerzeugung und bei Legierungen zur Erhöhung der Härte und der Korrosionsfestigkeit sowie zur Verhinderung von Metallversprödung verwendet. Fossile Brennstoffe enthalten häufig Molybdän.

Es spielt im Stickstoffwechsel der Pflanze eine essentielle Rolle. Hohe Gehalte im Grünfütter führen zu Molybdänose bei Weidetieren, eine durch Molybdän verursachten Kupfermangel (ALLOWAY, 1999).

Die tägliche Molybdän-Aufnahme mit der Nahrung wird für Mitteleuropa mit ca. 90-180 Mikrogramm/Erwachsenen angegeben (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003). Die Deutsche Gesellschaft empfiehlt eine tägliche Aufnahme für einen Erwachsenen von 50-100 Mikrogramm.

Für **Quecksilber (Hg)** ist keine essentielle biologische Funktion bekannt. Vielmehr gehört es zu den Elementen, mit der höchsten Toxizität für den Menschen und viele höhere Tiere.

Im Allgemeinen ist die Verfügbarkeit von Bodenquecksilber für Pflanzen gering, und die Wurzeln wirken als Barriere gegen die Aufnahme dieses Elements.

Zurzeit sind die wichtigsten anthropogenen Quellen, welche Quecksilber in den Boden, ins Wasser und in die Luft emittieren, folgende:

- Bergbau und Verhüttung von Erzen
- Verbrennung fossiler Stoffe (v.a. Kohle)
- industrielle Verfahren (insbesondere zur Herstellung von Chlor und Natronlauge mittels Quecksilberkathoden) und
- konsumbedingte Emissionen (vgl. ALLOWAY, 1999).

Die tägliche Aufnahme mit der Nahrung wird auf 10-20 Mikrogramm Quecksilber pro Tag geschätzt. Als „Provisional Tolerable Weekly Intake“ wurden von der WHO/FAO 50 Mikrogramm empfohlen (RADERMACHER-REUTER und WENZEL, 2003).

## **1.2. Schwermetall- und Spurenelementrichtlinien für Erntefrüchte**

### **1.2.1. Lebensmittel**

Auf EU-Ebene werden die Höchstgehalte der Schwermetalle Blei und Cadmium in der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 geregelt.

		Höchstgehalt in mg/kg Frischmasse
<b>Blei</b>	Getreide, Hülsengemüse und Hülsenfrüchte	0,2
	Gemüse, ausgenommen Kohlgemüse, Blattgemüse, frische Kräuter	0,1
	Kohlgemüse, Blattgemüse	0,3
<b>Cadmium</b>	Getreide, ausgenommen Kleie, Weizen, Mais	0,1
	Gemüse, ausgenommen Blattgemüse	0,05
	Blattgemüse, frische Kräuter, Knollensellerie	0,2
	Stängelgemüse, Wurzelgemüse und Kartoffelknollen geschält	0,1

**Tabelle 1: EU-Verordnung für Höchstgehalte an Schwermetallen in Lebensmitteln (Quelle: EU-Verordnung: (EG) Nr. 1881/2006)**

Im österreichischen Lebensmittelkodex finden sich einige Aktionswerte für Schwermetalle in Lebensmitteln. Bei Roggen- und Weizenkörnern dürfen an Quecksilber max. 0,3 mg/kg Frischgewicht enthalten sein. Für Kürbiskerne gibt es die Beschränkung auf 0,2 mg/kg Frischmasse für Blei und auf 0,02 mg/kg Frischmasse für Cadmium.

### 1.2.2. Futtermittel

Grundsätzlich gibt es für unerwünschte Stoffe und zugelassene Zusatzstoffe in Futtermitteln eine harmonisierte Gesetzgebung in der Europäischen Union; die nationalen Regelungen sind seit 10 Jahren gefallen.

Um schädliche Wirkungen auf die Gesundheit von Tier und Mensch zu minimieren, sieht die einschlägige Gesetzgebung für unerwünschte Elemente wie Blei (Pb), Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg), Arsen (As) und Fluor (F) Höchstgehalte in Futtermitteln, Zusatzstoffen und Vormischungen vor.

Die zulässigen Höchstgehalte werden in der Richtlinie 2002/32/EG für unerwünschte Stoffe in der Tierernährung geregelt und sind dort nach dem Verwendungszweck des Futters und der vorgesehenen Tierart abgestuft.

In nachstehender Tabelle werden die gesetzlichen Höchstgehalte für Schwermetalle in einigen Futtermitteln in mg/kg (ausgehend von 12% Feuchtigkeitsgehalt) angegeben.

	Allein- futtermittel	Ergänzungs- futtermittel	Mineral- futtermittel	Gesetzliche Grundlage
<b>Blei (Pb)</b>	5	10	15	RL 2005/87/EG
<b>Cadmium (Cd)</b>	0,5-2	0,5-2	5-7,5	RL 2005/87/EG
<b>Quecksilber (Hg)</b>	0,1	0,1	0,2	RL 2010/6 EU
<b>Arsen (As)</b>	2	4	12	RL 2009/141/EU

**Tabelle 2: EU-Richtlinien für Höchstgehalte an Schwermetallen in mg/kg Frischmasse (ausgehend von 12 % Feuchtigkeitsgehalt) in Futtermitteln aus den Jahren 2005, 2009, 2010**

In Österreich werden rund 450 Proben jährlich auf Schwermetalle untersucht. Hauptaugenmerk liegt bei den Schwermetallen Blei, Cadmium, Quecksilber und Arsen. Bei allen vier Schadelementen fallen nur sehr wenige durch erhöhte Konzentrationen bzw. durch Höchstgehaltsüberschreitungen auf. Im letzten derzeit aufliegenden Ergebnis, aus dem Jahre 2007, gab es keine einzige Höchstwertüberschreitung (vgl. AGES, 2010).

Der Höchstgehalt der Futtermittelzusatzstoffe Kupfer, Zink, Molybdän und Selen sind in der Verordnung (EG) Nr. 1334/2003 geregelt.

		Höchstgehalt des Elements in mg/kg des Alleinfuttermittel oder in mg/Tag
<b>Kupfer</b>	Ferkel bis 12 Wochen	170 (pro Tag)
	Sonstige Schweine	25 (pro Tag)
	Wiederkäuer vor dem Wiederkäueralter	15 (pro Tag)
	Sonstige Rinder	35 (pro Tag)
	Schafe	15 (pro Tag)
	Sonstige Tierarten	25 (pro Tag)
<b>Zink</b>	Heimtiere	250 (pro Tag)
	Sonstige Tierarten	150 (pro Tag)
<b>Molybdän</b>		2,5
<b>Selen</b>		0,5

**Tabelle 3: EU-Verordnung für Höchstgehalte an Futtermittelzusatzstoffen laut EU-Verordnung Nr. VERORDNUNG (EG) Nr. 1334/2003 und RICHTLINIE 91/248/EWG (Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Deutschland).**

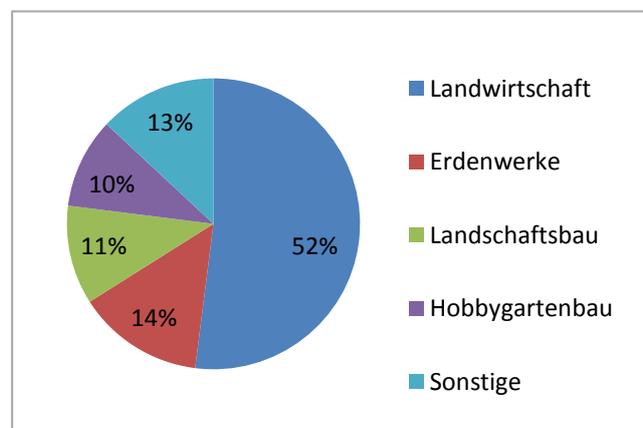
### 1.3. Aufkommen und Verwertung von Komposten

#### 1.3.1. Biokompost

Von der ARGE Biokompost wurde eine Statistik Kompost für Österreich ausgearbeitet. Sie beinhaltet Angaben für das bundesweite Aufkommen von biologisch verwertbaren Abfällen für das Kalenderjahr 2006. Den größten Teil machten die Grünabfälle mit 1.310.000 Tonnen aus. Markt-, Küchen- und Kantinenabfälle ergaben gemeinsam eine Abfallmenge von 109.000 Tonnen. Getrennt gesammelte, biogene Abfälle aus Haushalten wurden auf 631.300 Tonnen (entspricht 80 kg/Einwohner) geschätzt. Der für die Kompostierung anfallende „Abfall“ betrug (ohne Klär- und Fäkalschlämme) im Jahr 2006 2.080.300 Tonnen.

In Deutschland wurden im Jahr 2003 rund 12,3 Mio. Tonnen Bioabfälle in Kompostierungsanlagen verarbeitet. Private Haushalte sammelten zusätzlich ca. 3,4 Mio. Tonnen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Deutschland, 2009). Laut Bundesgütegemeinschaft für Kompost (2009) wurde der im Deutschland erzeugte Kompost zu 52 % in der Landwirtschaft, zu 14 % in Erdenwerken, zu 11 % für Landschaftsbau und Rekultivierung und zu 10 % im Hobbygartenbau (Sonstiges 12%) verwendet.

Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, ist das Potential für Kompostrohstoffe in Europa noch lange nicht ausgeschöpft. Große Mengen an wertvollen Pflanzennährstoffen, Mineralstoffen und Spurenelementen gehen nach wie vor wegen fehlender Sammlung für die Umwelt verloren.



**Abbildung 1: Bioabfallverwertung in Deutschland 2009**  
(Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Deutschland)

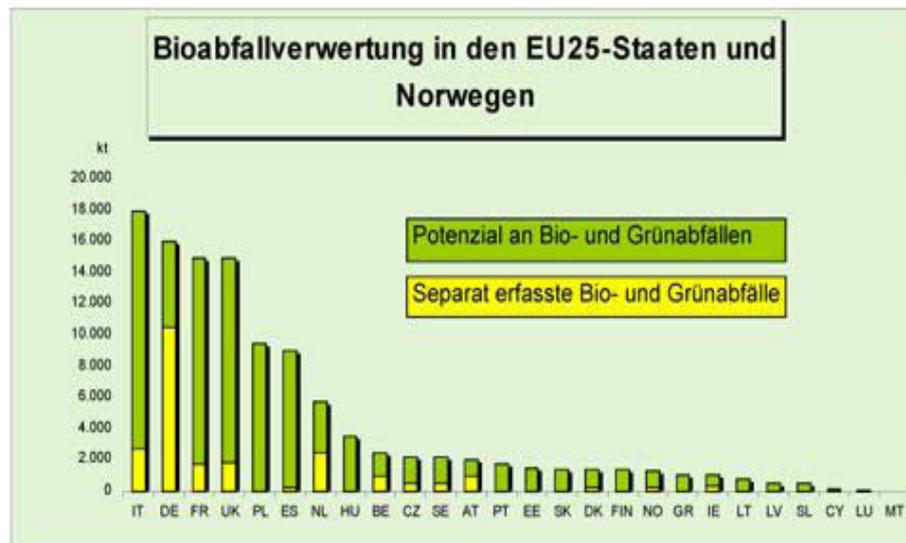


Abbildung 2: Bioabfall in der Europäischen Union (Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Deutschland, 2006)

### 1.3.2. Klärschlammkompost

Zur Definition von Klärschlamm:

Klärschlamm ist ein Gemisch aus Wasser und Feststoffen, das durch die Reinigung von Abwässern entsteht. Kommunale Klärschlämme entstehen in Abwasserreinigungsanlagen, Fäkalschlämme in privaten Kleinklä- und Sammelanlagen (BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 2006).

Laut Bundesabfallwirtschaftsplan fielen in Österreich zwischen den Jahren 2002 und 2004 jährlich 264000 Tonnen Trockensubstanz an kommunalen Klärschlamm im Jahr an. Diese wurden zu 37 % einer thermischen Behandlung und zu 34 % einer sonstigen Behandlung zugeführt, zu 18 % in der Landwirtschaft wiederverwertet und zu 11 % auf Deponien entsorgt.

Der Anfall industrieller Klärschlämme in Österreich wird im Jahr 2007 auf 178.000 Tonnen Trockensubstanz geschätzt (Umweltbundesamt, 2009).

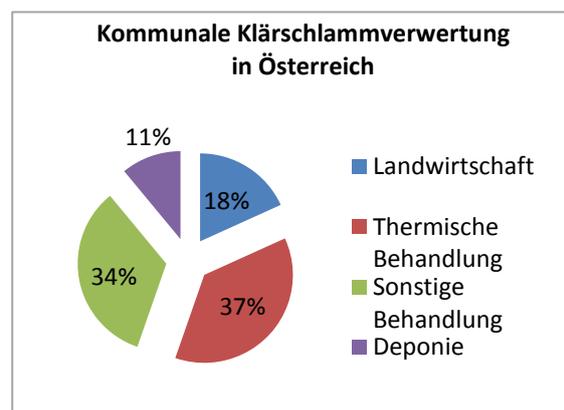
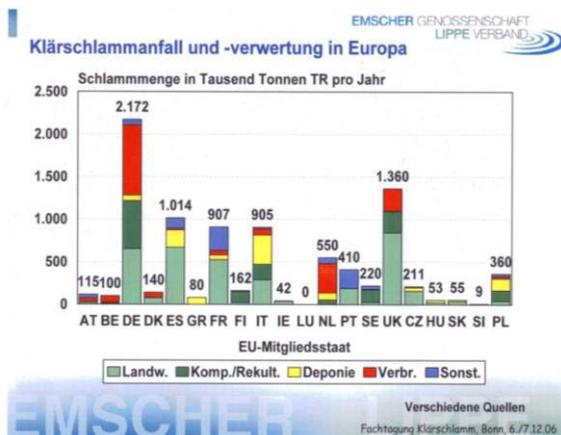


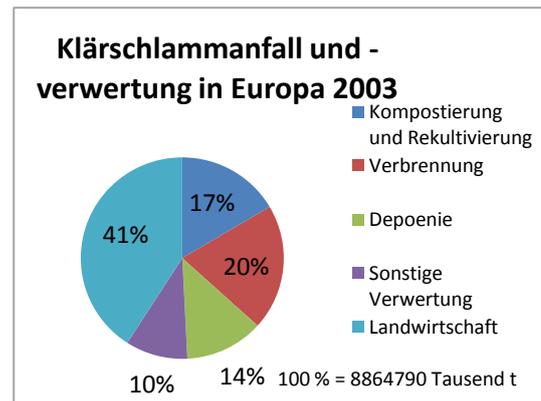
Abbildung 3: Kommunale Klärschlammverwertung in Österreich (Quelle: Bundesabfallwirtschaftsplan 2006)

In Deutschland fielen im Jahr 2008 2,054 Mio. Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm an, wovon 29% in der Landwirtschaft verwertet wurden (vgl.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Deutschland).

Laut eines Berichtes der Europäischen Union sind im Jahr 2003 in den 19 EU Mitgliedsstaaten 8864798 Tonnen Trockenmasse an Klärschlamm angefallen (BERICHT DER EUROPÄISCHEN KOMMISSION FÜR DIE PERIODE, 2001-2003).



**Abbildung 5: Klärschlammfall und Verwertung in den einzelnen Ländern der EU 2001-2003,** (Quelle: [www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag\\_10.pdf](http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag_10.pdf))



**Abbildung 4: Klärschlammverwertung in der EU 2001-2003,** (Quelle: [www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag\\_10.pdf](http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag_10.pdf))

## 1.4. Relevante Richtlinien für Umwelt und Produktion

### 1.4.1. Bodenschutz in Österreich

In Österreich werden die Bodenschutzvorgaben und somit die jährliche, erlaubte Frachtbegrenzung an Schwermetallmengen von den einzelnen Bundesländern festgelegt. Dazu gibt es entweder generelle Bodenschutzgesetze, welche für alle Düngemittel und Böden gelten oder spezielle Regelungen, welche bei der Aufbringung von Klärschlammkompost zu befolgen sind. In Oberösterreich, Burgenland und Kärnten gibt es exakte Vorschriften, welche Schwermetallmengen in g/ha und Jahr auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden dürfen.

In **Oberösterreich** werden im Landesgesetzblatt Nr. 50/2006 die Bodengrenzwerte verordnet.

Dabei darf laut Paragraph 2 die zulässige jährliche Fracht an Schadstoffen (Auflistung am Kapitelende), über alle Eintragungspfade nicht überschritten werden.

Die Verordnung der **Burgenländischen** Landesregierung vom 11. September 1991 über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden (BURGENLÄNDISCHE KLÄRSCHLAMM- UND MÜLLKOMPOSTVERORDNUNG) schreibt die jährlichen, maximalen Schwermetallfrachten vor.

In der Verordnung der **Kärntner** Landesregierung vom 3. Oktober 2000 über die Aufbringung von behandeltem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzten Böden (KÄRNTNER KLÄRSCHLAMM- UND KOMPOSTVERORDNUNG), sind die Grenzwerte für die Menge an Schwermetallen, die gemittelt über zehn Jahre jährlich den Böden zugeführt werden dürfen (in g/ha/Jahr), festgelegt.

Das Bundesland **Steiermark** verfügt über eine vorbildhafte, flächenmäßige Kartierung (Raster von 4x4 km), bei welcher die standortüblichen Schwermetallgehalte im Königswasser aufgenommen und ausgewertet wurden. Diese Daten sind auf der Umweltinformationsseite des Bundeslandes im Internet abrufbar. Der Bezirk Voitsberg (in welchen der Fruchtfolgeversuch angelegt ist) hatte die größten Höchstwertüberschreitungen im Bereich der Schwermetalle, was in der Diskussion zu beachten ist.

In der Steiermark gibt es für viele Schwermetalle eine Auflistung in einer Tabelle, welche Gehalte im Königswasser als normal zu betrachten sind und welche Werte als oberste Grenze gelten. Bei Überschreitung dieser Grenzwerte im Boden muss laut Bodenschutzgesetz eine zusätzliche Untersuchung der Pflanzen am Standort erfolgen.

mg/kg	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	Mo	Hg
Grenzwert	100	60	100	300	2	100	20	10	1
Normalwert	80	60	50	140	0,3	30	40	1,5	0,25

**Tabelle 4: Schwermetalle im Königswasserauszug, Normal- und Grenzwerte für die Steiermark in mg/kg**

Da sich sowohl der Standort des Grünlandversuches, als auch der des Fruchtfolgeversuches im Bundesland Steiermark befinden, sind für die Diskussion der Ergebnisse in dieser Arbeit vor allem die betreffenden Bodenschutzgesetze von Bedeutung.

Laut Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 8. Oktober 2007 über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Böden, dürfen höchstens, sich Tabelle 5 befindliche, Frachten pro Hektar und Jahr aufgebracht werden.

	<b>Oberösterreich</b> (Landesgesetz- blatt Nr. 50/2006)	<b>Burgenland</b> (Bgl. Klärschlamm- und Müllkompost- verordnung 1991);	<b>Kärnten</b> (Klärschlamm- und Kompost- verordnung 2000)	<b>Steiermark</b> (Steiermärkische Klärschlamm- kompostverordnung 2007);
Chrom (g/ha/a)	300	AL: 1250 WW: 625	350	AL: 175 GL: 88
Nickel (g/ha/a)	100	AL: 250 WW: 125	300	AL: 150 GL: 125
Kupfer (g/ha/a)	360	AL: 1250 WW: 625	1800	AL: 750 GL: 375
Zink (g/ha/a)	1200	AL: 5000 WW: 2500	4500	AL: 3000 GL: 1500
Cadmium (g/ha/a)	6	AL: 25 WW: 12,5	6	AL: 5 GL: 2,5
Blei (g/ha/a)	400	AL: 1250 WW: 625	600	AL: 250 GL: 125
Quecksilber (g/ha/a)	1,5	AL: 25 WW: 12,5	6	AL: 5 GL: 2,5

**Tabelle 5: Frachtbegrenzungen für Schwermetalle in ausgewählten Bundesländern**

Bezüglich rechtlicher Vorschriften bei der Ausbringung von Komposten ist neben den spezifischen Regelungen von der EU und Österreich, auf welche in den einzelnen Kapiteln noch näher eingegangen wird, die Einhaltung der maximal erlaubten Stickstoffmenge auf eine landwirtschaftliche Fläche zu achten. Diese sind in der Österreichischen Nitratrichtlinie geregelt.

Die **EU-Nitratrichtlinie** erlaubt es, maximal 170 kg Gesamt-N (nach Abzug der Stall- und Lagerverluste) mit Kompost auf einen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche auszubringen.

Zur Umsetzung der Richtlinie 91/676/EG des Rates, wurde mit Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, das Aktionsprogramm 2008 zum Schutz vor Verunreinigung der Gewässer durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen erstellt.

Ziel **des österreichischen Aktionsprogrammes 2008** ist es, die durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursachte oder ausgelöste Gewässerverunreinigung zu verringern und weiterer Gewässerverunreinigung dieser Art vorzubeugen.

In der Anlage 3 des Aktionsprogrammes sind folgende Obergrenzen für die jährliche Stickstoffzufuhr abzuleiten:

<b>Kultur</b>	<b>Ertrag (t/ha) bzw. Nutzungen pro Jahr</b>	<b>max. kg N/ha/Jahr</b>
Weizen (bis 14%RP)	3,5 bis 6	145
Sommergerste	3,5 bis 5,5	110
Wintergerste	3,5 bis 6	130
Speise- u. Industriekartoffel	25 bis 30	145
Leguminosen	x	60
Zwiebel	40 bis 50	170
Kopfsalat	25 bis 30	160
Karotten	75 bis 80	210
Kraut	90 bis 110	380
Zuckermais	12 bis 14	200
Chinakohl	50 bis 70	240
Ölkürbis	0,4 bis 0,7	120

**Tabelle 6: Maximal erlaubte Stickstoffzufuhr/ha laut dem österreichischen Aktionsprogramm 2008; Anlage 3**

#### **1.4.2. Biokompost**

In der Kompostverordnung mit dem BGBl. II Nr. 292/2001 wurden die Richtlinien zur Produktion und Anwendung von Kompost verankert.

Die für die Einteilung bzgl. Schwermetallgehalte in Komposten wurden die Güteklassen A+, A und B geschaffen.

Zudem ist die allgemeine Ausbringungsmenge von Kompost auf landwirtschaftliche Flächen im 5 Jährigen Durchschnitt mit 8 t TM pro ha und Jahr begrenzt.

Für die Verwendung im Falle der landwirtschaftlichen Verwertung von Kompost als Abfall durch Düngemaßnahmen gelten folgende maximale Ausbringungsmengen:

- **Qualitätsklasse A+:** Aufbringung bis maximal 16 t TM pro ha und Jahr im 5jährigen Durchschnitt- aufgeteilt auf zumindest 2 Aufbringungen.

- **Qualitätsklasse A:** Aufbringung bis maximal 12 t Trockenmasse pro ha und Jahr im 5jährigen Durchschnitt- aufgeteilt auf zumindest 2 Gaben.
- **Qualitätsklasse B:** Aufbringung bis maximal 4 t Trockenmasse pro ha und Jahr im 5jährigen Durchschnitt. Auf Grund des deutlich höheren Risikos im Falle der missbräuchlichen Verwendung von Kompost der Qualitätsklasse B ist bei der Verwendung dieser Klasse in der Landwirtschaft nur dann von einer Verwertung auszugehen, wenn eine Bodenschutzrechtliche Regelung dafür vorgesehen ist (vgl. BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 2006).

#### Qualitätsklassen Schwermetalle Kompost Ö. (Grenzwerte)

	A +	A	B
	Hobbygartenbau, Pflanzungen, Landwirtschaft, Landschaftsbau, und -pflege, Rekultivierung	Hobbygartenbau, Pflanzungen, Landschaftsbau und -pflege, Rekultivierung von Deponien	Landschaftsbau und -pflege, Rekultivierung von Deponien
Chrom in mg/kg TM	70	70	250
Nickel in mg/kg TM	25	60	100
Kupfer in mg/kg TM	70	150	500
Zink in mg/kg TM	200	500	1800
Cadmium in mg/kg TM	0,7	1	3
Blei in mg/kg TM	45	120	200
Quecksilber in mg/kg TM	0,4	0,7	3

Tabelle 7: Kompostqualitäten in Österreich nach der Kompostverordnung 2001

Die Bioabfallverordnung in Deutschland gilt, wenn der Dünger (auch in geringen Anteilen) Bioabfälle enthält.

Diese Bioabfallverordnung enthält hauptsächlich:

- Anforderung an die Behandlung zur Hygienisierung
- Untersuchungspflichten, Grenzwerte und Anwendungsbeschränkungen sowie

- Nachweis der ordnungsgemäßen Anwendung und Berichtspflichten gegenüber der Behörden.

Grundsätzlich dürfen innerhalb von 3 Jahren nicht mehr als 20 Tonnen Bioabfälle (Trockenmasse) je Hektar aufgebracht werden (Ausnahmeregelungen bei sehr niedrigen Schwermetallgehalten des Kompostes durch die landwirtschaftliche Fachbehörde). Folgende Schwermetallgrenzen müssen dazu eingehalten werden (Angaben in mg/kg TM):

Chrom	100
Nickel	50
Kupfer	100
Zink	400
Cadmium	1,5
Blei	150
Quecksilber	1
Zulässige max. Aufwandsmenge	30 t TM in 3 Jahren

**Tabelle 8: Richtwerte für max. Schwermetallgehalte im Kompost bei Ausbringung auf LW Flächen in Deutschland in mg/kg TM, (Quelle: Bioabfallverordnung, BGBL: 2955)**

Ein in Deutschland wichtiges Gütezeichen, welches für qualitativ hochwertigen Kompost steht, ist das RAL-Gütezeichen.

### 1.4.3. Klärschlammkompost

In Österreich werden Klärschlämme und Klärschlammkomposte sowohl auf Bundesebene als auch auf Landesebene durch gesetzliche Bestimmungen geregelt.

Verschiedene Bundesgesetze sind für den Umgang mit, und die Behandlung von Klärschlamm von Bedeutung. Folgend eine kleine Auswahl der bundesweiten Regelungen:

- Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002)
- Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 (BAWP 2006), darin ist z.B. das Verbot der Ablagerung von Klärschlamm auf Deponien enthalten
- Deponienverordnung 2008
- Altlastensanierungsgesetz
- Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Bundeskompostverordnung). Darin sind unter anderem die Höchstgehalte an

Schwermetallen zur Herstellung von Qualitätsklärschlammkompost und Klärschlammkompost geregelt.

	Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost in mg/kg TM bzw. für die Aufbringung von KS auf landwirtschaftlich genutzte Flächen (BAWP 2006)	Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Klärschlammkompost in mg/kg TM bzw. für die nicht landwirtschaftliche Verwertung von KS (BAWP 2006)
Chrom	70	300
Nickel	60	100
Kupfer	300	500
Zink	1200	2000
Cadmium	2	3
Blei	100	200
Quecksilber	2	5

**Tabelle 9: Grenzwerte für Schwermetalle im Ausgangsmaterial für österreichische Klärschlammqualitäten lt. Bundeskompostverordnung 2006**

- Wasserrechtsgesetz 1959
- Düngemittelgesetz und Düngemittelverordnung 1994. Hierin sind unter anderem die maximal zulässigen Schadstofffrachten in einem Zeitraum von zwei Jahren, in g/ha geregelt. Diese Verordnung gilt für alle Düngemittel, also auch für Biokompost.

Parameter	Chrom	Nickel	Kupfer	Zink	Cadmium	Blei	Quecksilber
Grenzw.	600	400	700	3000	10	600	10

**Tabelle 10: Anlage 2 der Düngemittelverordnung 1994 über die erlaubten Höchstfrachten an Schwermetallen (Grenzwerte in g/ha in 2 Jahren)**

- Österreichisches Aktionsprogramm Nitrat 2008 (Siehe Kapitelanfang)
- ÖPUL 2007: Bei der Teilnahme am Österreichischen Programm für umweltgerechte Landwirtschaft mit Verzicht auf ertragssteigernde Mittel ist die Anwendung von Klärschlammkompost untersagt. Ebenso darf Klärschlamm

nicht auf zertifizierten Biolandbauflächen ausgebracht werden (vgl.: UMWELTBUNDESAMT, 2009).

Beim Klärschlammkompost wird das Ausgangsprodukt, in diesem Fall der Schlamm, zur Klassifizierung des Endproduktes herangezogen. Klärschlammkompost wird in Kompost und Qualitätsklärschlammkompost eingeteilt. Zudem kommen beim Endprodukt die gleichen Qualitätsklassen mit denselben Grenzwerten wie beim Kompost zum Einsatz (A+, A und B).

Eine Klärschlammverordnung gibt es in Deutschland schon seit 1982. Sie wurde 1992 verschärft.

So wurden insbesondere Vorgaben für höchstzulässige Schwermetallgehalte der Klärschlämme sowie der Böden, auf denen Klärschlamm verwertet wird, festgelegt.

Trotz rückläufiger Schadstoffgehalte ist nicht auszuschließen, dass durch das Aufbringen von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen langfristig eine allmähliche Anreicherung von Schadstoffen im Boden erfolgen könnte. Es ist daher vorgesehen, die Klärschlamm-Verordnung weiter zu verschärfen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

Der Einsatz von Klärschlamm wird von der EU in der Richtlinie **86/278/EWG** des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft geregelt.

Die Richtlinie enthält Grenzwerte

- für die Konzentration von Schwermetallen in Böden (Anhang I A)
- für Konzentrationen von Schwermetallen in den für die Landwirtschaft bestimmten Schlämmen (Anhang I B)
- für Mengen von Schwermetallen, die auf landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraums von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen (Anhang I C).

In Anhang II sind Zeiträume, Häufigkeiten Parameter für die Analysen von Schlämmen und Bodenanalysen betreffend Klärschlamm geregelt (vgl. UMWELTBUNDESAMT 2009, 36).

Alle Mitgliedsländer sind zur Einhaltung dieser Richtlinie verpflichtet und müssen alle 4 Jahre einen Bericht über die Verwendung von Klärschlämmen und deren Menge an die Europäische Union abgeben.

Aufgrund der BSE-Krise und der medialen Berichterstattungen über anderer Probleme mit Klärschlämmen (Schadstoffanreicherung in Böden, Dissipation von Schadstoffen,...) wurden in einigen Mitgliedsstaaten schärfere gesetzliche Regelungen zum Klärschlamm, insbesondere zu dessen Behandlung (zum Beispiel Verbot der Verwertung in der Landwirtschaft), eingeführt (UMWELTBUNDESAMT, 2009).

	Anhang I A	Anhang 1 B	Anhang 1 C
	Grenzwerte für die Konzentrationen von Schwermetallen in den Böden bei pH- Wert 6-7 (Angaben in mg/kg)	Konzentrationsgrenzwerte für Schwermetalle in den für die Verwendung in der Landwirtschaft bestimmten Schlämmen (Angaben in mg/kg)	Grenzwerte für Mengen von Schwermetallen, die auf landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraums von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen (Angaben in kg/ha/Jahr).
Chrom	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
Nickel	30 bis 75	300 bis 400	3
Kupfer	50 bis 140	1000 bis 1750	12
Zink	50 bis 300	2500 bis 4000	30
Cadmium	1 bis 3	20 bis 40	0,15
Blei	50 bis 300	750 bis 1200	15
Quecksilber	1 bis 1,5	16 bis 25	0,1

**Tabelle 11: Anhänge zur EU-Richtlinie 86/278/EWG**

Die Ausbringung von Klärschlamm ist verboten auf:

- Grünland oder Futterpflanzen, wenn die Wiesen beweidet werden soll oder die Futterpflanzen, bevor ein bestimmter Zeitraum verstrichen ist, geerntet werden.
- Obst- und Gemüsekulturen während der Vegetationszeit, mit Ausnahme von Obstbäumen.
- Böden für den Anbau von Obst- und Gemüsekulturen, die üblicherweise in direktem Kontakt mit dem Boden sind und in der Regel roh verzehrt werden sollen, für einen Zeitraum von zehn Monaten vor der Ernte und während der Ernte selbst.

## 1.5. Problemstellung

Da weltweit täglich enorme Mengen an biologisch abbaubaren, inhaltsstoffreichen Abfällen (Bio“müll“, Klärschlamm) anfallen, die Nachfrage nach Düngemitteln steigt und die Verfügbarkeit mineralischer Düngemittel sinkt, ist es wichtig, Forschung in

diese Richtung der zweckmäßigen und sachgerechten Verwendung der anfallenden Komposte zu betreiben.

- In dieser Arbeit werden vor allem die Verwertung und die sachgerechte Aufbringung von verschiedenen Komposten auf lebensmittel- und futtermittelproduzierende Grünland- und Ackerflächen im Hinblick auf die Schwermetallproblematik (Cadmium, Blei, Arsen und Quecksilber) untersucht. Es werden auch einige Spurenelemente (Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Selen und Molybdän), welche in geringen Dosen essentiell sind und in hohen Dosen toxisch wirken, beleuchtet werden.
- Die Bodenfruchtbarkeit und die zukünftige Erzeugung wertvoller und gering mit Schwermetallen kontaminierte Lebens- und Futtermittel spielt für die Landwirte zukünftig eine bedeutende Rolle. Es sollte die Schwermetallakkumulation im Boden bei den unterschiedlichen Düngermittelvarianten sowohl rechnerisch (in den Bodenbilanzen) als auch empirisch mittels Nachweis von Schwermetallen im Königswasserauszug dargestellt werden.
- Da es große Unterschiede bei der Akkumulation der Schwermetalle in verschiedenen Pflanzenteilen gibt (Kraut-Rübe oder Korn-Stroh), sollten einige interessante Beispiele aufzeigen, wie sich die ausgewählten Schwermetalle und Spurenelemente im System "Nutzpflanze" positionieren.
- Im Fruchtfolgeversuch in Bärnbach werden seit 1996 die Schwermetalle/Spurenelemente: Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei untersucht.

Da es sich beim Lebens- und Futtermittel Weizen um eines der Hauptgetreidearten handelt und zahlreiche Wiederholungen der Schwermetall- und Spurenelementanalysen im Korn und Stroh vorliegen (ungedüngt, mineralisch gedüngt, Bio- und Stallmistkompost mit 5 Wiederholungen, Granulierter Biokompost mit 2 und Klärschlammkompost mit 3 Wiederholungen), sollten anhand dieser Kultur die Akkumulationsunterschiede bei unterschiedlichen Düngermittelvarianten herausgearbeitet werden.

## **2. Material und Methoden**

Um die Effizienz des Einsatzes von Bio- und Klärschlammkompost und die Unbedenklichkeit im Hinblick auf die Schwermetallproblematik zu beweisen, wurden unter der Leitung von Dr. Karl Buchgraber (Leiter des Institutes für Pflanzenbau und Kulturlandschaft im Landwirtschaftlichen Versuchszentrum Raumberg-Grumpenstein) mehrere Feldversuche in den Jahren 1994 und 1996 angelegt. Um die Schwermetallproblematik sowohl von der Acker- als auch von der Grünlandwirtschaftlichen Seite her zu betrachten, wurden in dieser Arbeit die Versuchsergebnisse aus Wald am Schoberpaß (Grünlandversuch) und aus Bärnbach (Fruchtfolgeversuch) herangezogen.

### **2.1. Versuchsstandorte**

#### **2.1.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach**

Die Versuchsanlage in Bärnbach in der Weststeiermark, in der Nähe des Gestütes Piber, wurde auf einer schwach krumenpseudovergleyten Braunerde angelegt. Die Seehöhe liegt bei 483 m, die jährliche Niederschlagsmenge bei 938 mm und die durchschnittliche Temperatur bei 8,2 °C. Der tiefgründige Boden weist einen pH-Wert von 6,7 und einen Humusgehalt von 3,3% im Oberboden auf. Die Nährstoffgehalte sind gut und die Schwermetallgehalte gering.

Das Bodenprofil wurde bis 100 cm aufgegraben, es ergaben sich folgende Horizonte:

ApP 0 – 20 cm

AB 20 – 56 cm

B ab 56 cm (BUCHGRABER, 1999).

Der Fruchtfolgeversuch Bärnbach begann im Jahre 1996 und wird bis heute fortgeführt.

#### **2.1.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß**

Der Dauerwiesenstandort in Wald am Schoberpaß am Betrieb Haberl besteht aus einer alten dreischnittigen Dauerwiese. Der Versuch liegt auf einer Seehöhe von 904 m, erhält im Jahr durchschnittlich 1198 mm Niederschlag und weist eine durchschnittliche Temperatur von 5,8 ° C auf. Der mittelgründige Boden zeigt einen

krumenpseudovergleytes Rankerkolluvium mit wechselfeuchtem Wasserhaushalt. Der Humusgehalt lag im Oberboden bei 6,3 %. Der pH-Wert ist mit 5,7 für das Grünland ausreichend. Im Oberboden lag der Phosphorgehalt über 30 mg/100 g Feinboden für das Leguminosenwachstum ausreichend. Außer dem Gehalt an Cadmium, der rund 30% vom Grenzwert einnahm, wies bei den Schwermetallen kein Element erhöhte Werte auf (BUCHGRABER, 1999).

Die Versuche in Wald am Schoberpaß liefen von 1994 bis 1998.

## 2.2. Versuchsplanungen

Ziele der Versuche im Grünland und im Fruchtfolgeversuch waren es, die Unterschiede von verschiedenen Kompostdüngervarianten (Bio-, Stallmist- und Klärschlammkompost) im Vergleich zur konventionellen, mineralischen Düngung im Hinblick auf die

Nährstoffwirksamkeit, auf die Schwermetallbelastung der Erntefrüchte und des Bodens,

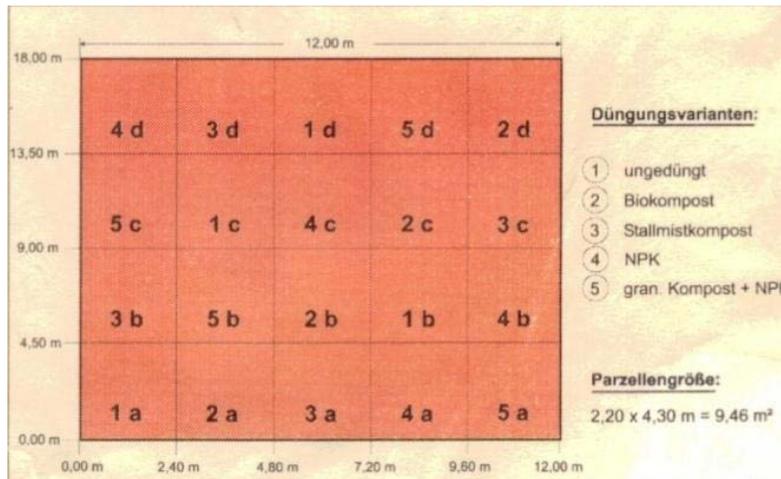


auf die Einwirkung auf das Bodenlebewesen, auf das Wasser und auf die Pflanzengesundheit zu vergleichen.

**Abbildung 6: Kürbisernte beim Fruchtfolgeversuch (Quelle: LFZ-Raumberg-Gumpenstein, Herbert Buchgraber)**

### 2.2.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach

Der sechsschlägige Fruchtfolgeversuch in Bärnbach wurde 1996 angelegt und wird seither von fachkundigem Personal betreut. Grundsätzliche Entscheidungen werden vom der Zentrale in Gumpenstein getroffen, an den Zweigstellenleiter Herbert Buchgraber weitergegeben und von ihm und seinem Team ausgeführt. Die sechs



verschiedenen Blöcke (18 m x 12 m) sind in fünf verschiedene Düngebereiche mit jeweils vier Wiederholungen, also 20 Parzellen (4,5 m x 2,4 m) aufgeteilt.

Abbildung 7: Struktur des Blockes I

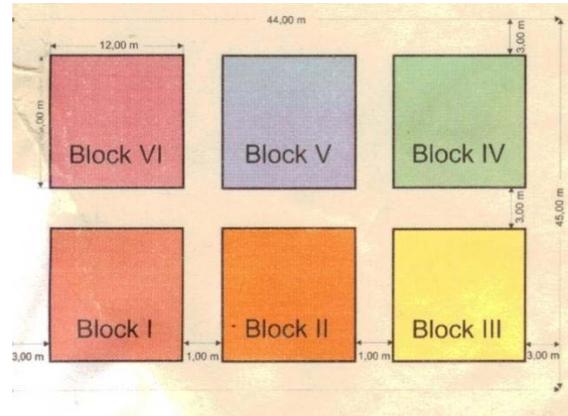


Abbildung 8: Ausschnitt der Versuchsanlage (Quelle: LFZ-Raumberg-Gumpenstein, Herbert Buchgraber) und Abbildung 9: Strukturplan der Versuchsanlage in Bärnbach (Quelle: BUCHGRABER, K.: Abschlussbericht - Einsatz von Biokompost als Düngemittel in der Landwirtschaft, 2002)

	Block I	Block II	Block III	Block IV	Block V	Block VI
1996	Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel	Gerste	Grazer KH und Radiccio
1997	Kraut und Endivie	Kürbis	Kartoffel	Gerste	Zwiebel	Weizen
1998	Kürbis	Kartoffel	Gerste und Chinakohl	Rote Rübe	Weizen	Raps und Schwarzer Rettich
1999	Kartoffel	Gerste	Karotte	Weizen	Raps	Kürbis
2000	Gerste	Knoblauch	Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel
2001	Kohlrabi und Grazer KH	Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel	Gerste
2002	Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel	Gerste	Zuckermais
2003	Raps	Kürbis	Kartoffel	Gerste	Grazer Krauthäupl	Weizen
2004	Kürbis	Kartoffel	Gerste und Forellenschl.	Buschbohne	Weizen	Raps
2005	Kartoffel	Gerste	Kren	Weizen	Raps	Kürbis
2006	Gerste	Zuckerblatt	Kren und Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel
2007	Kräuter	Weizen	Raps	Kürbis	Kartoffel	Gerste

Abbildung 10: Fruchtfolgeplan in Bärnbach mit den einzelnen Blöcken für die Versuchsperioden 1996 bis 2001 und 2002 bis 2007

### 2.2.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß

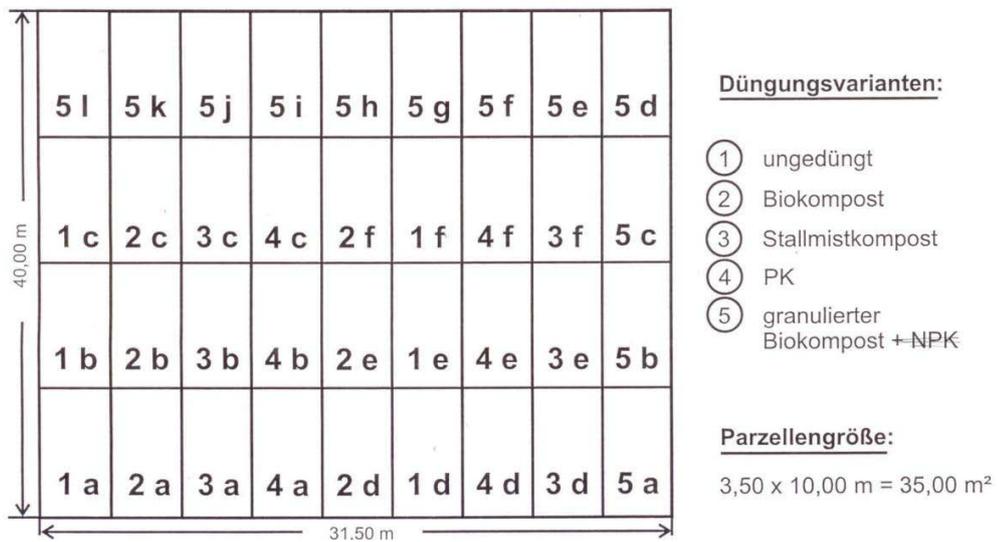
Der Grünlandversuch wurde 1994 für die Dauer von vier Jahren angelegt. Die Düngungsvarianten ungedüngt, Biokompost, Stallmistkompost und mineralisch wurden sechsmal wiederholt. 1996 kam die Düngungsvariante Granulierter Biokompost mit zwölf Versuchspartzellen dazu. Die Parzellengröße betrug 35 m<sup>2</sup>. Düngung, Pflege und Ernte sowie alle Beobachtungen und Bonituren wurden vom Fachpersonal zeitgerecht bei dem Versuch veranlasst (BUCHGRABER, 2002).

## GRÜNLAND - VERSUCH      PROJEKT SAUBERMACHER

ANLAGEJAHR: 1994

STANDORT: WALD AM SCHOBERPAß

BETRIEB: HABERL



**Abbildung 11: Versuchsanlagenstruktur des Grünlandversuches in Wald am Schoberpaß (Quelle: BUCHGRABER, K.: Abschlussbericht - Einsatz von Biokompost als Düngemittel in der Landwirtschaft, 2002)**

### 2.3. Düngung

Die Versuchsfelder wurden vor Versuchsbeginn von den Landwirten in einer landesüblichen Bewirtschaftung geführt. Es wurden Wirtschaftsdünger (Gülle bzw. Stallmist) und mineralischer Dünger eingesetzt und die Ernterückstände wurden untergepflügt. Die Böden waren vor Versuchsbeginn in einem fruchtbaren Zustand und wiesen keinerlei Verdichtungen und Nährstoffmängel auf (BUCHGRABER, 1999).

#### 2.3.1. Fruchtfolgeversuch Bärnbach

Bei der ungedüngten Variante wird die Versuchsfläche seit 1996 wie bei den anderen Varianten bepflanzt und abgeerntet, jedoch in keiner Weise gedüngt. Lediglich Ernterückstände wie das Kartoffel- und das Kürbiskraut werden untergepflügt.

Der Biokompostvariante werden je nach Kultur jährlich 7 – 15 Tonnen (Frischmasse) Biokompost mineralischen Ergänzungsdüngung zugeführt.

Der Biokompost wurde von der Firma Saubermacher (Kompostanlage Lannach) gestellt, wobei die Materialien zu 75 % aus dem Bioabfall von Haushalten, 20% aus Garten –und Parkabfällen sowie weitere 5 % aus getrennt gesammelten pflanzlichen Abfällen stammten (BUCHGRABER, 1999).

Der Stallmistkompost wurde am LFZ Raumberg-Gumpenstein aus einem strohreichen Rindermist hergestellt. Zwischen 10 und 20 Tonnen Stallmistkompost und einer mineralischen Ergänzungsdüngung werden bei der Versuchsvariante Stallmistkompost aufgetragen.

Die letzte Variante setzt sich aus Granuliertem Biokompost (jährlich 600-1200 kg TM, der granulierter Biokompost wurde mit Ammoniumstickstoff gepresst) in den Jahren 1996-2001 und Klärschlammkompost (7 – 10 Tonnen Frischmasse und einer Kalkgabe von 1000 kg jährlich und gegebenenfalls mineralische Ergänzungsdüngung) von 2002-2007 zusammen. Der Klärschlammkompost wird von der Firma UMS (U.M.S. - Umweltschutz mit System Dienstleistungs- und Handelsgesellschaft mit beschränkter Haftung) mit Firmensitz in Heiligenkreuz b. L. zur Verfügung gestellt.

### 2.3.2. Grünlandversuch Wald am Schoberpaß

Wie beim Fruchtfolgeversuch in Bärnbach wurde die ungedüngte Variante nur abgeerntet aber nie gedüngt.

Bei den Varianten Bio- und Stallmistkompost wurden jährlich 10 bis 30 Tonnen Frischmasse aufgetragen.

Auf der Versuchsfläche mit Phosphor- und Kalidüngung wurde jährlich mit einer Menge von 72 kg reinem Phosphor und 192 kg reinem Kalium gedüngt.

## 2.4. Untersuchungsmethoden und Analysen

### 2.4.1. Boden

Der Boden wurde vom Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Abteilung Bodenwirtschaft, in Wien auf viele Parameter und besonders auf die Schwermetallgehalte untersucht. Die Bodenproben wurden vor Versuchsbeginn in Abschnitten von 10 cm bis zu einer Bodentiefe von 50 cm genommen.

### 2.4.2. Düngemittel

Die Untersuchung der Bio- und Stallmistkomposte wurde von der Landwirtschaftlich-chemischen Landesversuchs- und Untersuchungsanstalt in Graz sowie KO-Datenservice



Abbildung 12: Kompostierungsanlage (Quelle: LFZ-Raumberg-Gumpenstein, Herbert Buchgraber)

durchgeführt (BUCHGRABER, 2002).

Mineralische Düngemittel wurden weder bei der Ergänzungsdüngung bei den Kompostvarianten noch bei der alleinigen mineralischen Düngung auf Schwermetallgehalte untersucht. Es wird angenommen,

dass die Schwermetallgehalte in mineralischen Düngemitteln vernachlässigbar klein sind.

Für den granulierten Biokompost sind die Untersuchungsergebnisse des Biokompostes anzuwenden, da genau dieser mit Stickstoff versetzt und granuliert wurde.

Der Klärschlammkompost wurde, wie vorhin erwähnt, von der zur Verfügung gestellten Firma untersucht.

### **2.4.3. Erntefrüchte**

Die Futterqualität wurde vom Futtermittellabor Rosenau der Niederösterreichischen Landes-Landwirtschaftskammer untersucht. Für die 1. Versuchsperiode von 1996 bis 2001 wurden die Schwermetalle, Nitrat- und Vitamingehalte im Gemüse sowie im Erntegut vom Institut für Analytische Chemie der Universität Graz analysiert (vgl. BUCHGRABER, 2002).

Die Schwermetallanalysen für die Versuchsperiode 2002-2007 wurden vom Landwirtschaftlichen Versuchszentrum im Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung 10 B übernommen.

## **2.5. Auswertungen**

Die Daten über aufgetragene Düngemittel und Erntegewichte der Versuche im Grünland und in Bärnbach wurden von geschultem Personal ermittelt und aufgezeichnet.

Alle Werte wurden von der Versuchsfläche auf ein Hektar umgerechnet. Die Schwermetallgehalte sind immer für die Trockenmasse angegeben.

### **2.5.1. Berechnung Düngemittel**

Bei Bio-, Stallmist-, und Granulierten Biokompost wurde die Zufuhr von Trockenmasse des jeweiligen Düngemittels, dessen Aschegehalt, Nährstoffe und Schwermetalle analysiert und exakt auf ein Hektar hochgerechnet. Für die Jahre 1996-2001 sind exakte Daten (jede Charge wurde bis dahin analysiert) vorhanden und für die Periode 2001-2007 wurden Durchschnittswerte der vorhergehenden Jahre verwendet.

Beim **Klärschlammkompost** sind vom Lehr- und Versuchszentrum Raumberg-Gumpenstein die Untersuchungen für die Trockenmasse, den Aschegehalt und für die Nährstoffe gemacht worden. Die Schwermetallgehalte wurden von der herstellenden

Firma UMS Umwelttechnik analysiert. Als Basis für diese Arbeit wurde ein Durchschnittswert aus drei verschiedenen Proben und Jahren herangezogen.

Bei den mineralischen Düngemitteln wurden das Ausbringungsgewicht und die Nährstoffe aufgezeichnet.

Die Schwermetallwerte mineralischer Düngemittel werden von den produzierenden Firmen leider nicht freigegeben. Scheinbar sind sie bis auf das Schwermetall Cadmium in Phosphordüngemitteln vernachlässigbar gering. Unter anderem werden bzgl. Cadmium von der AGES regelmäßig Proben genommen, um die Einhaltung der Grenzwerte zu überwachen.

### **2.5.2. Gehaltsermittlung von Schwermetallen und Spurenelementen in den Erntefrüchten**

Die meisten Erntefrüchte wurden zumindest einmal auf ihre Schwermetall- und Spurenelementgehalte untersucht.

Fruchtfolgeglieder wie Weizen, Kartoffel, Gerste und Raps wurden des Öfteren im Labor untersucht. Dabei wurden unter anderem immer der Trockenmasseanteil und Gehalt an Schwermetallen und Spurenelementen ermittelt (Großteils wurden Frucht und Stroh/Abfall separat untersucht).

Bei Vorhandensein von Schwermetalldaten aus mindestens 2 Jahren einer Variante wurde der Durchschnitt und bei Vorhandensein von Daten aus mindestens 3 Jahren Daten wurde der Median verwendet.

Für die Darstellung der einzelnen Schwermetallwerte in Erntefrüchten wurde je nach Vorhandensein der Median bzw. der Durchschnitt zur Berechnung herangezogen.

Zur Rückrechnung (im Kapitel „Ergebnisse und Diskussion“) der Angaben in Trockenmasse, wurden folgende Faustzahlen angenommen: Grünland mit 17% Trockenmasse, Rapskorn mit 15%, Zwiebel mit 12%, Kohlrabiknolle mit 7 %, Rote Rübe mit 11%, Getreide mit 90 %, Kartoffelknolle mit 22 %, Salat mit 8 %, Karotten mit 10 %, Kürbisfleisch mit 8 % und die Kürbiskerne mit 45 %.

### **2.5.3. Berechnung Bilanzen**

Auf den Versuchsfeldern wurde bei den meisten Kulturen die ganze Frucht, incl. Stroh/Abfall geerntet. Bei den Kulturen Kartoffel und Kürbis wurde das Feld (außen bei

den einmaligen Analysen) auf dem Feld belassen und eingearbeitet. Somit sind die Schwermetalle davon im Boden verblieben. Da mir dies vor der Berechnung der Bilanzen nicht bekannt war, wurde das Kartoffelkraut als Entzug in die Bilanz aufgenommen, obwohl es am Feld verblieb. Diese Mengen sind aber nur ein geringer Beitrag zum Schwermetallentzug, da das Kartoffelkraut sehr geringe Mengen an Trockenmasse hat.

Für die Bilanzierung wurden bei den Entzügen sowohl die Früchte als auch das Stroh mit den jeweilig dazugehörenden Schwermetalldaten multipliziert.

Bei Vorhandensein von Daten einer Kultur oder eines Düngemittels in einem bestimmten Jahr wurden exakt diese zur Berechnung der Bilanz verwendet. Waren keine Untersuchungsdaten in dem jeweiligen Jahr vorhanden, wurde der Durchschnitt aus den anderen Jahren einer Variante verwendet.

Waren keine Untersuchungsdaten zu einer Kultur vorhanden, wurden die Daten einer ähnlichen Kultur zur Bilanzierung herangezogen (z.B.: Forellenschlussalat anstatt Blattsalat oder Silomais anstatt Zuckermais).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Boden

Im Hinblick auf Bodenkennwerte, vor allem bei der Schwermetall- und Spurenelementakkumulation, gibt es bei vielen Parametern beträchtliche Unterschiede in den verschiedenen Düngervarianten, welche hier genauer beleuchtet werden sollten.

##### 3.1.1. pH-Wert (Untersuchungsergebnisse 1994-2002)

Aus den Kalziumgehalten im Bio- aber auch im Stallmistkompost, welche jährlich auf die Versuchsflächen ausgebracht wurden, hat sich nach der ersten Periode auf den einzelnen Versuchsstandorten eine durchschnittliche Anhebung des pH-Wertes von 0,2 Einheiten gegenüber der ungedüngten Variante ergeben (vergleiche Abbildung 13). Bei der Düngung mit Stallmistkompost war eine geringere Reaktion zu erkennen, während die Variante „NPK“ und „Granulierter Biokompost“ im pH-Wert auf dem Niveau der ungedüngten Variante blieben (vgl. BUCHGRABER, 2001).

Die Variante „Klärschlammkompost“ wurde erst nach Abschluss der letzten Bodenproben (2001) angelegt, weshalb leider noch keine Ergebnisse bzgl. Boden-pH-Wert vorliegen. Um eine Versauerung des Bodens vorzubeugen, wurde diese Variante

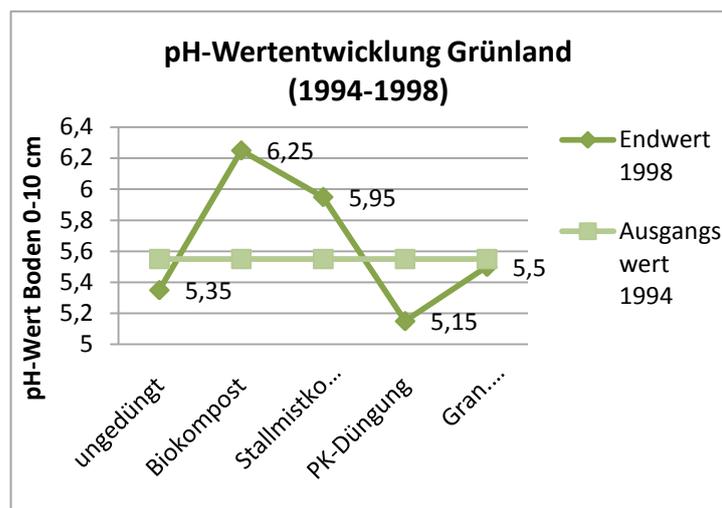


Abbildung 13: pH-Wertentwicklung im Grünlandversuch Wald am Schoberpaß im Jahre 1998

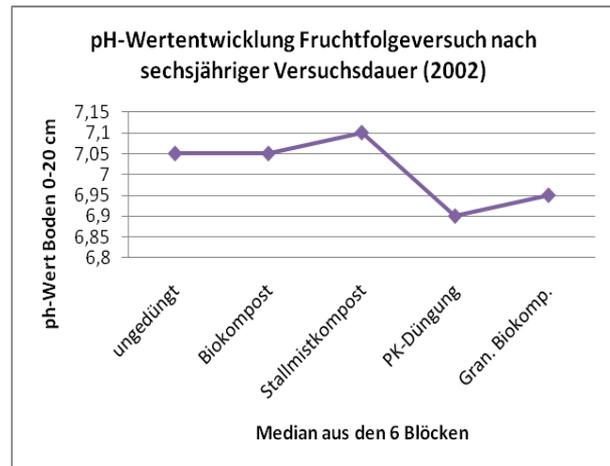
der Boden-pH-Wert, desto mobiler sind die meisten Schwermetalle und Spurenelemente und desto höher ist Schwermetallaufnahme der Pflanzen.

mit 1000 kg/ha jährlich gekalkt.

Im **Grünland** wurden zu Versuchsbeginn 1994 und zu Versuchsbeendigung 1998 Bodenproben gezogen.

Die Ergebnisse belegen die positive Wirkung von Komposten auf den pH-Wert und somit auf das Schwermetallaufnahmevermögen der Pflanzen. Je niedriger

Im **Fruchtfolgeversuch** in Bärnbach zeigt sich nach der ersten, sechsjährigen Versuchsperiode ein ähnliches Ergebnis. Die geringeren Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten ist eventuell auf die geringeren Düngemittelmengen zurückzuführen. Weiters wurde bei den meisten Kulturen eine mineralische Ergänzungsdüngung vorgenommen. Diese senkt den Boden-pH-Wert.



**Abbildung 14: pH-Werte im Fruchtfolgeversuch Bärnbach bei verschiedenen Düngervarianten im Jahre 2002**

In Grünland konnte der Boden-pH-Wert nach vierjähriger Versuchsdauer von 5,5 auf 6,25 beim Bio- und auf 5,95 beim Stallmistkompost angehoben werden. Die mineralische Düngervariante erbrachte mit pH-Wert von 5,15 ein negatives Ergebnis.

Im Fruchtfolgeversuch zeigt sich ein ähnliches Bild. Nach sechsjähriger Versuchsdauer lag der Boden-pH-Wert bei der Stallmistkompostvariante bei 7,1 und bei der Variante mineralisch gedüngt bei 5,9.

Der steigende pH-Wert ist vorallem auf die positiven Effekte des Kalziums in den Komposten zurückzuführen. Organische Düngung steigert den pH-Wert und senkt großteils die Schwermetall- und Spurenelementmobilisierung im Boden.

### 3.1.2. Humusgehalt (Untersuchungsergebnisse 1994-2002)

Die Humusgehalte sind naturgemäß unterschiedlich und von vielen Faktoren abhängig - sei es die Bewirtschaftung (Acker oder Grünland), die Bodenschwere (Tonanteil), die Wasserverhältnisse, die Witterungseinflüsse und die spezifischen Bewirtschaftungseinflüsse bestimmen den Humusgehalt. Unter unseren Verhältnissen liegt der Humusgehalt im Ackerland bei etwa 2 - 3 % in der obersten Bodenschicht bis 20 cm.

Durch die Anreicherung von Humus im Boden kann CO<sub>2</sub> gebunden werden und bringt somit einen positiven Begleiteffekt zum Schutz unsere Klimas. Es ist zu beachten, dass

der Humusgehalt nicht unendlich steigerbar und die Humusmehrung im Boden sehr komplex ist und lange dauert. Eine zu hohe Steigerung an Humus bringt negative Folgen mit sich, da sich damit auch Nährstoffe anreichern (vor allem Stickstoff), welche folglich über das Grundwasser oder die Atmosphäre abgegeben werden.

Humus kann anorganische und organische Schadstoffe, zum Beispiel Schwermetalle wie Blei oder nicht abbaubare Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, speichern, sodass sie vor Verlagerung in tiefere Bodenschichten bzw. Auswaschung in das Grundwasser geschützt sind (vgl. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH, 2010).

Im Normalfall liegt der Humusgehalt im Grünland über dem in Ackerkulturen.

Im Grünland zeigte sich mit Abstand eine größere Anreicherung an Humus als im Fruchtfolgeversuch.

### Grünland

Im Grünland zeigten sich in den Varianten Bio- und Stallmistkompost nach der vierjährigen Versuchsdauer eine enorme Humusgehaltssteigerung im Oberboden (0-10 cm). Grund dafür ist eindeutig die Zuführung großer Mengen organischer Substanz.

Beim Biokompost lag die Humusmehrung bei ca. 2-3 % in vier Jahren.

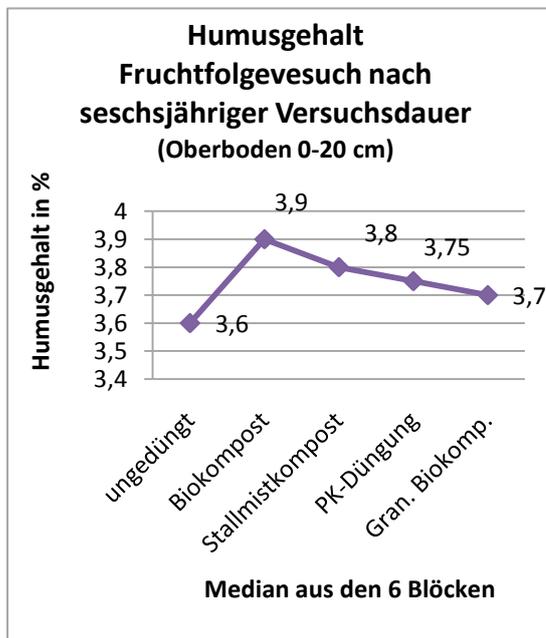


Abbildung 16: Humusgehalt im Fruchtfolgeversuch Bärnbach bei verschiedenen Düngervarianten

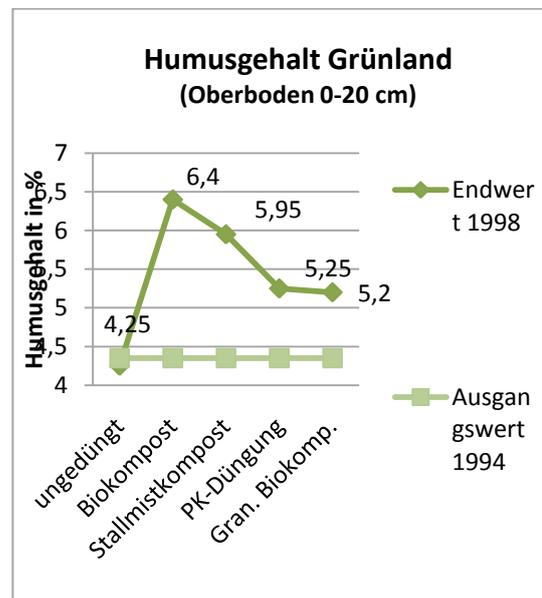


Abbildung 15: Humusgehaltentwicklung im Grünlandversuch Wald/Schoberpaß

Der Humusgehalt im **Fruchtfolgeversuch** lag im Oberboden(0-20 cm) bei in allen gedüngten Varianten über der ungedüngten.

Am besten schnitt die Variante Biokompost mit 0,3 % mehr Humus im Oberboden als die ungedüngte Variante ab. Gefolgt vom Stallmistkompost mit 0,2 %, dem PK-Dünger mit 0,15 und dem Granulierten Biokompost mit 0,1 %.

Bezüglich Humusgehalte im Oberboden kann mittels der vorliegenden Ergebnisse im Grünland und in den Ackerkulturen der Beweis erbracht werden:

Die Düngungsvarianten mit Komposten (vorallem mit Biokompost) bringen die höchste Anreicherung an Humus im Oberboden und tragen somit zur Bodenfruchtbarkeit und zum Klimaschutz bei.

In Grünland lag der Humusgehalt bei der Variante ungedüngt nach 4jähriger Versuchsdauer beim Ausgangswert, während die Bio- und Stallmistkompostvariante zwischen 1,7 und 2,15 % mehr Humus auswies.

Im Fruchtfolgeversuch konnte nach 6jähriger Versuchsdauer ein Unterschied von 0,3 % mehr Humus bei Biokompostdüngung in Gegensatz zur ungedüngten Variante festgestellt werden.

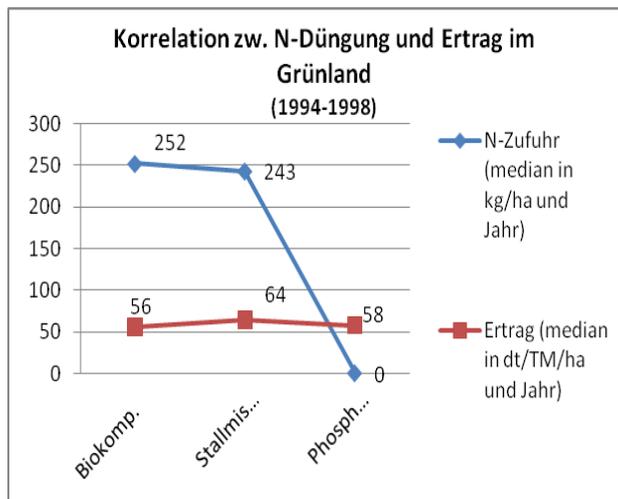
#### **3.1.3. Nährstoffzufuhren und Erträge (Untersuchungsergebnisse 1994-2007)**

##### **Grünland**

Für die Varianten Biokompost, Stallmistkompost und PK-Düngung im Grünland liegen exakte Ergebnisse für die Zufuhren und Entzüge der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium vor. Der größte positive Effekt wird durch die Düngung mit Stallmistkompost, gefolgt von Biokompost, erzielt. Zurückzuführen ist dies vor allem durch die höheren Kompostgaben beim Stallmistkompost. Die PK-Variante liegt bzgl. Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumanreicherung im negativen Bereich und ist somit für den Vorrat an Nährstoffen im Boden am wenigsten geeignete Düngervariante.

Düngervariante	Zufuhr an organischer Masse	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Ertrag
	Frischmasse in Tonnen/ha/Jahr	median Bilanz jährl. in kg/ha	median Bilanz jährl. in kg/ha	median Bilanz jährl. in kg/ha	med. jährlich dt/TM/ha
Biokompost	20	111	50	-41	56
Stallmistkompost	30	143	104	100	64
Phosphor-Kali	0	-130	16	-11	58

**Tabelle 12: Nährstoffbilanz der 4jährigen Versuchsdauer am Grünland im Hinblick auf die organische Masse, N, P, K und Ertrag**



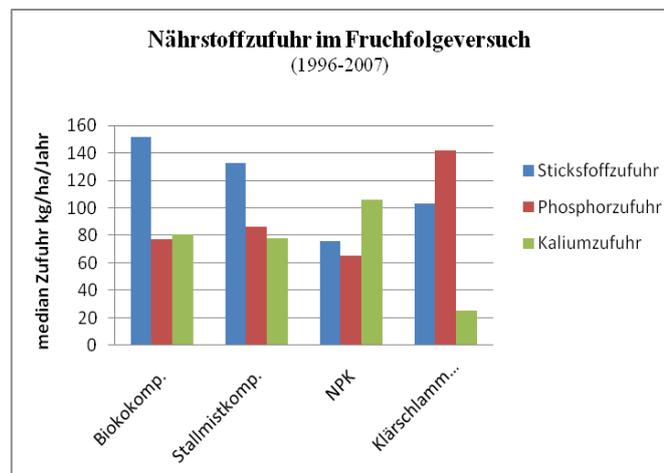
Ein interessanter Aspekt ist die nicht zu erkennende Korrelation zwischen Ertrag und Stickstoffbilanz. Die Phosphor-Kali-Variante ohne Stickstoffzufuhr zeigt im Grünland die höchsten Trockenmasseerträge.

**Abbildung 17: Korrelation zwischen N-Düngung und Ertrag im Grünland in den 4 Versuchsjahren**

### Fruchtfolgeversuch

Aus Kostengründen wurden im Fruchtfolgeversuch die Entzugsdaten der Feldfrüchte nur sporadisch erhoben, weshalb eine Bilanzierung leider nicht möglich ist.

Die Zufuhren der Hauptnährstoffe (inkl. der Daten über die organische Ergänzungsdüngung) liegen gesammelt vor.



**Abbildung 18: Nährstoffzufuhr im Fruchtfolgeversuch in 12 Jahren (med. 1996-2007)**

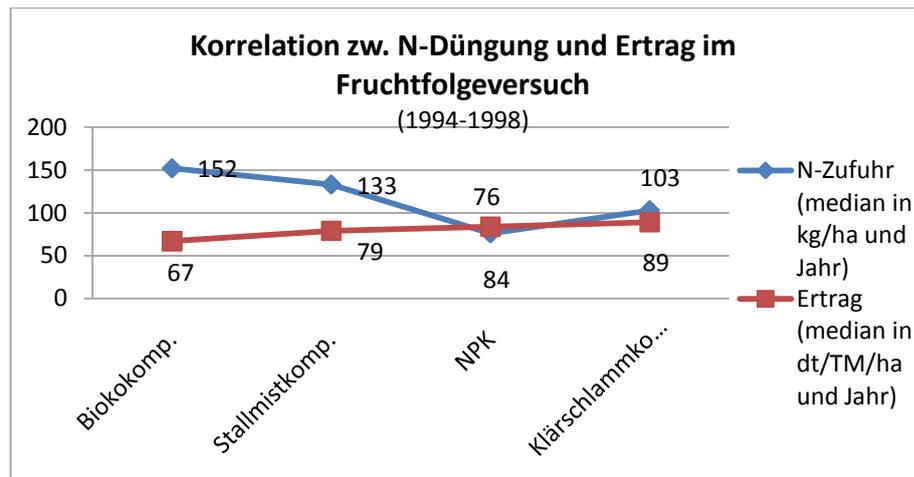


Abbildung 19: Korrelation zwischen N-Düngung und Ertrag im Fruchtfolgeversuch

### 3.1.4. Bodenlebewesen

Unter der Projektleitung von Frau Dr. E. STEINLECHNER vom Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung des Joanneum Research Graz wurde von M. UKOVIC die Diplomarbeit „Einsatz von Biokompost als Düngemittel zu den Kulturarten Gerste, Weizen, Raps, Kürbis, Kartoffel, Salat und Grünland“ im Jahre 2001 durchgeführt. Sie befasste sich mit ausgewählten Milben als Vertreter des Mesofauna im Boden.

Bei Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich, dass unter allen gedüngten Flächen die mit Biokompost behandelten, dicht gefolgt von den mit Stallmistkompost gedüngten, insgesamt die höchsten Individuenzahlen aufwiesen (vgl. BUCHGRABER, 2001).

### 3.1.5. Schwermetalle und Spurenelemente

Die maximale Kompostausbringungsmenge von durchschnittlich 8 Tonnen/ha/Jahr in einem Zeitraum von 5 Jahren sind in allen Varianten im Fruchtfolgeversuch eingehalten worden.

Bei der Düngung des Grünlandes kommen die höheren erlaubten Ausbringungsmengen von Kompost zur Anwendung. Dabei dürfen mit der Deklaration „Ausbringung von Kompost als Abfall“ die 8 Tonnen TM/ha und Jahr überschritten werden.

Bei den Bilanzen wurden die zugeführten Schwermetalle und Spurenelemente mittels mineralischen Düngemitteln ausser Betracht gelassen. Es wird angenommen, dass die Schwermetallmengen in diesen vernachlässigbar klein sind. Zudem gibt es keine

Verpflichtung seitens der mineralischen Düngemittelproduzenten, die Untersuchungsergebnisse zu veröffentlichen.

Beim Durchschnitt von Schwermetallen und Spurenelementen im Biokompost, konnte die Qualitätsklasse A+ bis auf Nickel eingehalten werden. Durchschnittlich überstieg der Nickelwert die Höchstgrenze um 10 mg/kg TM (das entspricht eine Überschreitung um 40 %).

Die Schwermetall- und Spurenelemente für die Qualitätsklasse A+ konnten beim Stallmistkompost sehr gut eingehalten werden.

Beim Klärschlammkompost wurden die Höchstgrenzwerte für die Qualitätsklasse A+ bei Nickel, Kupfer und Zink überschritten. Somit ist der Klärschlammkompost, ebenso wie der Biokompost, der Qualitätsklasse A zuzuordnen und dürften nicht im Biolandbau eingesetzt werden (im Biolandbau ist nur Kompost der Qualitätsklasse A+ erlaubt).

Die Höchstgrenzen können laut Anhang 1 C der EU Richtlinie 86/278/EWG für die Schwermetallausbringung beim Klärschlammkompost bei weitem unterschritten werden.

Bei der berechneten Anreicherung von Schwermetallen und Spurenelementen im Hinblick auf die verschiedenen Düngevarianten zeigt sich ein relativ einheitliches Bild. Einen Abbau bei allen Schwermetallen und Spurenelementen im Boden zeigt vor allem die mineralisch gedüngte, gefolgt von der ungedüngten Variante. Die größte Anreicherung von Spurenelementen müsste laut den Bilanzen bei der Variante Bio- oder Klärschlammkompost stattfinden. Stallmistkompost nimmt meist eine mittlere Stellung ein. Um die Bilanzierungsergebnisse zu untermauern, wurden im Grünlandversuch 1994 und 1998 und im Fruchtfolgeversuch nach der ersten Versuchsperiode im Jahr 2002 Bodenuntersuchungen durchgeführt. Für den Fruchtfolgeversuch sind für 2010 Bodenproben angesetzt, um die Bilanzierungsergebnisse mit den Bodenprobenergebnissen zu vergleichen.

### 3.1.5.1. Chrom

Chrom reichert sich vor allem bei der Düngung in den Variante Bio- und Stallmistkompost an.

Die Anreicherung von Chrom bei der Klärschlammkompostdüngung liegt an dritter Stelle. In den Varianten ungedüngt und NPK finden sich laut Bilanz negative Werte im Boden. Die Untersuchungen der Feldfrüchte ergaben in allen Varianten Chromwerte, bei denen keine Schäden für Mensch und Tier zu erwarten sind. Grund dafür dürfte die niedrige pH-Wert-Grenze der Chrommobilisierung (liegt bei 4,5) im Boden sein. Es bedeutet, dass auch hohe Chromwerte im Boden nur wenig Einfluss darauf haben, wieviel Chrom sich in den Erntefrüchten akkumuliert.

In der Steiermark gilt ein Chromwert im Königswasser (in mg/kg) von 80 als normal und 100 stellt der Grenzwert dar. Im Grünland lag der Ausgangswert 1994 bei 27. Nach der 4jährigen Versuchsperiode stiegen die Werte beim Bio- und Stallmistkompost auf 32, bei der Variante PK und Granulierter Biokompost auf 30,5 und bei der Variante ungedüngt auf 31,5 mg/kg Feinboden.

Alle Werte reihen sich unter dem Normwert ein und stellen für die tierische Ernährung kein Problem dar. Fraglich ist, weshalb auch die ungedüngte Variante und die Variante

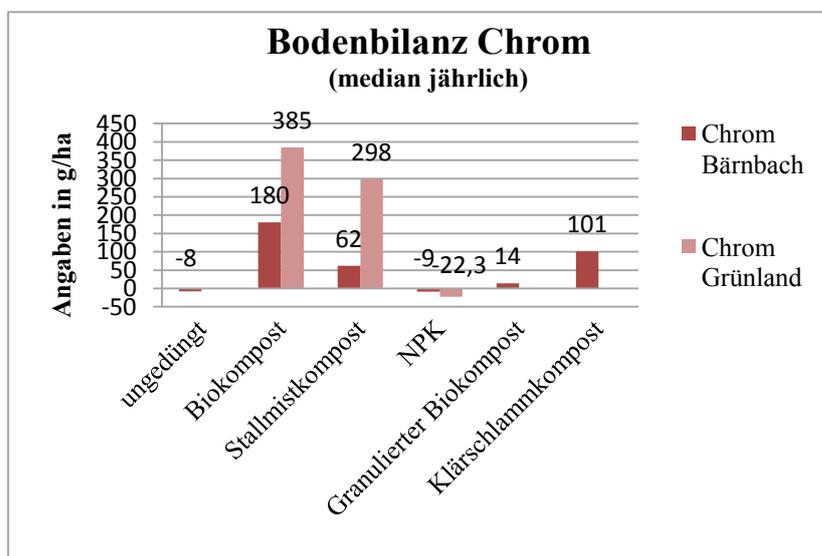


Abbildung 20: Berechnete Bodenbilanz von Chrom im Fruchtfolgeversuch (med. 1996-2007)

NPK, bei der keine bis sehr geringe Chromeinträge stattgefunden haben, eine geringe Anreicherung der Bodenchromwerte im Königswasser ergaben.

Im Fruchtfolgeversuch wurde Chrom im Königswasser nicht analysiert.

Die Höchstfracht an Chromeinträgen von 109 g/ha und Jahr mittels Klärschlammkompost werden nach Steiermärkischem Landesgesetz (max. 175 g/ha/a) eingehalten.

In Oberösterreich gäbe es eine generelle maximale Frachtvorschrift mit 300 g/ha/Jahr, gleich, mit welchen Düngemitteln gewirtschaftet wird. Nach diesem Gesetz würden die jährlichen Schwermetallfrachten an Chrom in allen Düngemittelvarianten in beiden Versuchen (Grünland- und Fruchtfolgeversuch) eingehalten werden. Die jährlichen Frachten im Fruchtfolgeversuch betragen bei der ungedüngten und bei der mineralisch gedüngten Variante keine Einträge, bei der Variante Granulierter Biokompost 23 g/ha, bei der Variante Stallmistkompost 71 g/ha, bei der Variante Klärschlammkompost 109 g/ha und bei der Variante Biokompost 190 g/ha.

Die Chromwerte im Königswasserauszug des Bodens sind im Grünlandversuch bei allen Varianten leicht angestiegen. Eine Korrelation zwischen Grünlandbilanz und Königswasseruntersuchung im Hinblick auf die Düngemittelvariante lässt sich feststellen. Die höchsten Bodenbilanzen bei Chrom in Grünland waren bei den Varianten Bio- und Stallmistkompost zu finden - die Werte im Königswasserauszug waren bei diesen beiden Varianten auch am Höchsten.

Nach standortspezifischen Landesgesetzen wurden die jährlichen Chromfrachten bei Düngung mittels Klärschlammkompost eingehalten.

### 3.1.5.2. Nickel

Nickel zeigt bezüglich rechnerischer Bilanz ein sehr ähnliches Bild wie Chrom. Mit pH-Wert 5,5 liegt die Schwermetallmobilisierung im Boden eher hoch. Im Grünland konnte die Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und Nickelgehalt Grünfüttererbracht werden (siehe 3.2.2.: Nickelergebnisse bei der Pflanze). Im Fruchtfolgeversuch lagen alle pH-Werte über der Mobilisierungsgrenze.

Für Nickel gibt es keine Vorschriften über Höchstgehalte in Lebens- oder Futtermitteln, jedoch für die jährlichen Frachten und für maximal tolerable Werte im Boden.

Das Bundesland Steiermark hat den Normal- und Grenzwert mit 60 g/kg im Königswasser für Nickel festgesetzt. Im Grünland sanken die Nickelwerte bei allen Düngervarianten von 27 mg/kg Feinboden im Jahre 1994 auf 24 – 25,5 mg/kg. Trotz berechneter positiver Bilanz von Nickel bei den Varianten Bio- und Stallmistkompost, lässt sich keine Akkumulation von Nickel im Boden nachweisen-die Werte im Königswasser sind nach 4jähriger Versuchsdauer bei beiden Düngermittelvarianten gesunken.

Nach 6jähriger Versuchsdauer lagen die Bodenwerte bei Nickel im Fruchtfolgeversuch (Königswasserextrakt) je nach Variante zwischen 41 und 42 mg/kg. Leider gibt es keine Ausgangswerte, da die Nickelwerte im Königswasser zu Versuchsbeginn nicht ermittelt wurden. Nachdem sich die Nickelwerte im Königswasser bei den unterschiedlichen Düngemittelvarianten

(Schwankung der jährlichen Frachten zwischen 0 bei der Variante ungedüngt und 228 g/ha/Jahr bei der Variante Biokompost) nach 6jähriger Versuchsdauer kaum voneinander

unterscheiden, lässt sich die Interpretation

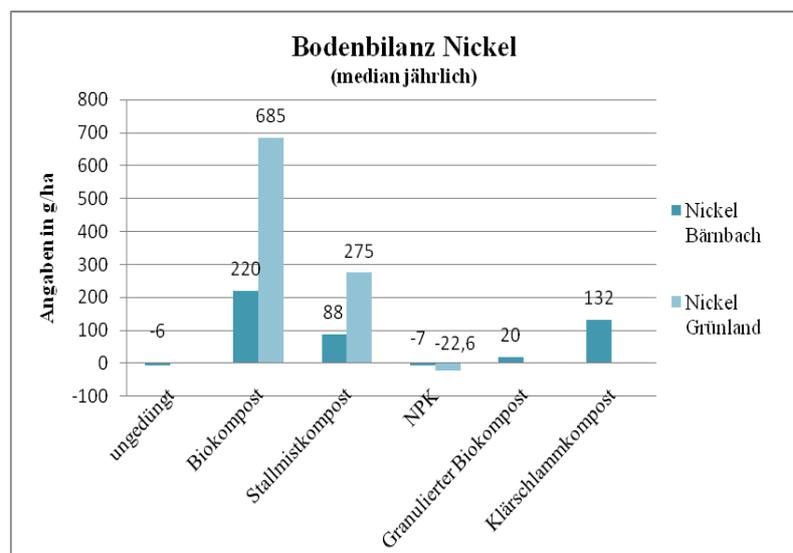


Abbildung 21: Berechnete Bodenbilanz von Nickel im Fruchtfolgeversuch (med. 1996-2007)

machen, dass der Gehalt an Nickel im Boden nicht wesentlich von den Frachten abhängig ist.

In der Steiermark ist eine Fracht von 125 g/ha und Jahr im Ackerland bei Klärschlammdüngung erlaubt. Rechnerisch wird diese Fracht median jährlich mit 14g/ha überschritten und lag in den ersten 3 Versuchsjahren bei medianen 139g/ha und Jahr.

Im Bundesland Oberösterreich gilt für Nickel eine jährliche Frachtenhöchstgrenze von 100g/ha. Betrachtet man die Werte in der Bilanz, so würde diese Grenze in der Variante Biokompost im Acker (jährliche mediane Zufuhr: 228 g/ha) und Grünland (jährliche mediane Zufuhr von 698 g/ha), in der Variante Stallmistkompost (jährliche mediane Zufuhr von 302 g/ha) im Grünland und in der Variante Klärschlammkompost die Höchstgrenzen bei weitem übersteigen.

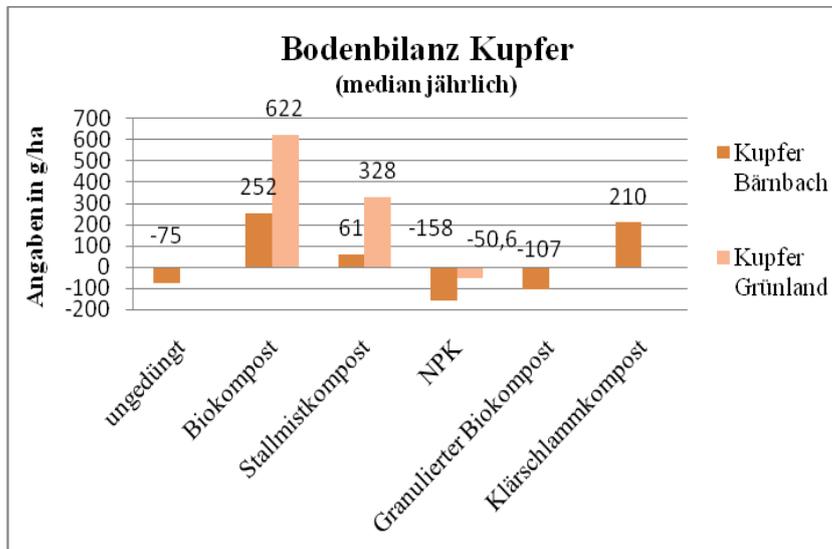
Trotz großer Überschreitung der Nickelfrachten nach oberösterreichischem Bodenschutzgesetz sind die Werte nach 4jähriger Versuchsdauer bei allen Düngermittelvarianten im Königswasser des Grünlandversuches um 1,5 % bis 3 % gesunken.

Die Nickelwerte im Königswasser nach 6jähriger Versuchsdauer im Fruchtfolgeversuch zeigen trotz einer jährlichen Frachtenanlieferung zwischen 0 bei der ungedüngten Variante und 228 g/ha bei der Variante Biokompost kaum Unterschiede.

Der Steiermärkische Grenzwert von 60 g/kg im Königswasser wird trotz der hohen Frachtenanlieferung (vor allem im Grünland) bei weitem unterschritten. Es lässt die Vermutung zu, dass der Nickelgehalt im Boden kaum mit der jährlichen Frachtenanlieferung im Zusammenhang steht.

### 3.1.5.3. Kupfer

Kupfer wird unter einem pH-Wert von 4,5 mobilisiert und dürfte somit auch bei hohen



Gehalten im Boden kein Problem für die humane und tierische Ernährung darstellen. Zudem ist zu beachten, dass Kupfer ein essentielles Spurenelement für Organismen darstellt

**Abbildung 22: Berechnete Bodenbilanz von Kupfer im Fruchtfolgeversuch (med. 1996-2007)**

und es relativ selten zu toxikologischen Problemen mit Kupfer

bzgl. Überdosierung kommt.

In den berechneten Bilanzen wird Kupfer vor allem in den Varianten Bio- und Stallmistkompost, gefolgt von Klärschlammkompost, angereichert. Obwohl bei der Variante Granulierter Biokompost auch organisches, kupferhältiges Material auf das Feld ausgebracht wurde, ist die Bilanz negativ. Die Varianten ungedüngt und mineralisch zeigen ebenfalls eine negative Bilanz.

Bei der mineralischen Düngung wird, wie bei der ungedüngten Variante, kaum Kupfer zugeführt. Durch die höheren Erntemengen und die damit höheren Kupferentzüge ist die Bilanz der mineralischen Variante stärker im Minus als die der ungedüngten.

In der Steiermark liegt der Normalwert für Kupfer im Königswasser bei 50 mg/kg und der Grenzwert bei 100 mg/kg. Im Grünlandversuch in Wald am Schoberpass lag der Ausgangswert bei Versuchsbeginn bei 27,5. Nach 4 Jahren stiegen die Werte bei allen Versuchsvarianten leicht an. Die höchsten Werte mit 36 waren bei den Varianten ungedüngt und Stallmistkompost zu finden. Biokompost und mineralisch gedüngt reihten sich mit 34mg/kg im Mittelfeld ein. Der niedrigste Wert mit 32,5 mg/kg wird dem Granulierten Biokompost zugewiesen.

Im Fruchtfolgeversuch sind die Kupferwerte im Königswasser nach 6jähriger Versuchsdauer in den unterschiedlichen Düngemittelvarianten sehr ähnlich (Ergebnisse liegen bei 49,5 bis 50,5 mg/kg) und liegen bei dem vom Bundesland Steiermark angegebenen Normalwert mit 50 mg/kg Feinboden.

Die jährliche, gesetzliche Maximalfracht an Kupfer mittels Klärschlammaufbringung liegt in der Steiermark bei 750 g/ha in Ackerland. Die rechnerische Ausbringung an Kupfer in der Variante Klärschlammkompost liegt bei 305 g/ha/Jahr. Die gesetzlichen Vorgaben können somit gut eingehalten werden.

Betrachtet man die Oberösterreichischen Richtlinien bzgl. allgemeiner erlaubter Kupferfracht von 360 g/ha, so würden diese bei allen Düngemittelvarianten im Ackerland eingehalten werden. Im Grünland würden die Grenzen mit 390 beim Stallmist- und mit 671 g/ha und Jahr beim Biokompost überschritten werden.

Der berechneten Bodenbilanz bei Kupfer im Grünlandversuch zufolge müssten die Kupferwerte im Königswasser bei der Variante Biokompost, gefolgt von der Variante Stallmistkompost am höchsten und bei der mineralischen Variante am niedrigsten sein.

Der Beweis dafür kann durch die Bodenproben 1998 nicht erbracht werden.

Auch im Fruchtfolgeversuch kann absolut keine Korrelation zwischen errechneter Kupferbilanz und den analysierten Kupferwerte im Boden nach 6jähriger Versuchsdauer erbracht werden. Die Grenzwerte bei Kupfer in den Königswasserproben werden sowohl im Grünland als auch im Fruchtfolgeversuch bei weitem unterschritten.

Durch die Düngung mit Klärschlammkompost können die vorgegebenen Grenzwerte für die jährliche Fracht nach Steiermärkischen Landesgesetz mit 305g/ha (erlaubt wären 750 g/ha/Jahr) gut einhalten werden.

### 3.1.5.4. Zink

Zink ist ein essentielles Spurenelement und stellte bei den Ergebnissen der Erntefrüchte im Grünland und im Fruchtfolgeversuch kein einziges zu hohes Ergebnis dar. Eine tendenzielle Anreicherung von Zink in einer bestimmten Düngervariante lässt sich in den Pflanzenergebnissen nicht erkennen.

In der Steiermark liegt der Normalwert im Königswasser für Zink bei 140 und der Grenzwert bei 300 mg/kg. Die Zinkwerte im Königswasser sind in allen Düngervarianten nach der 4jährigen Versuchsdauer angestiegen. Der

Ausgangswert lag bei 93. Bilanzmäßig müssten die Zinkwerte in den

Varianten Bio- und Stallmistkompost deutlich höher liegen als bei der mineralischen Variante. Dieser Beweis kann erbracht werden. Bio- und Stallmistkompost weisen mit medianen errechneten Bilanzwerten von +1755 und +1598 g/ha Jahr, einen Wert im Königswasser von 100,5 mg/kg und die Variante PK, welche in der berechneten Bilanz mit einem negativen Wert von -304g/ha/ steht, weist im Königswasser nur 94 mg/kg

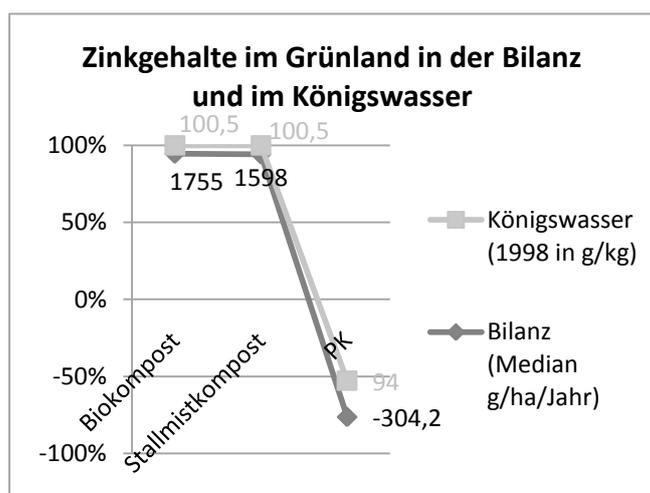


Abbildung 24: Berechnete Bodenbilanz von Zink im Fruchtfolgeversuch (1994-2007)

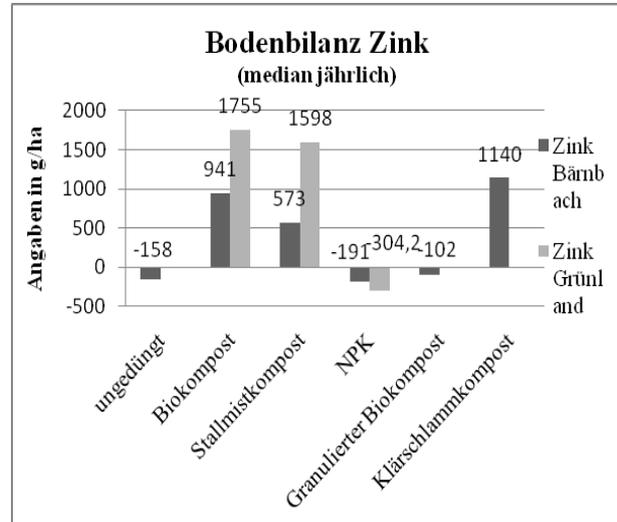


Abbildung 23: Vergleich von Gehalten an Zink im Grünland in der berechneten Bilanz und im Königswasser

Feinboden auf. Die mineralisch gedüngte Variante liegt somit fast beim Ausgangswert.

Im Fruchtfolgeversuch liegt die berechnete Bilanz in der Variante Klärschlammkompost (+ 1140 g/ha/a) an erster Stelle, gefolgt von Bio (941 g/ha/a)- und Stallmistkompost (573 g/ha/a). Die am stärksten negative Bilanz zeigt

die mineralische Variante (-191 g/ha/a), gefolgt von ungedüngt (-158 g/ha/a) und Granuliertem Biokompost (-102 g/ha/a). Obwohl die Werte in der Bilanz große Unterschiede in den einzelnen Düngermittelvarianten ergeben, weisen die Zinkwerte im Königswasser nur geringe Unterschiede auf. Sie liegen zwischen 107 g/kg in der ungedüngten und 111,5 g/kg in der Variante Stallmistkompost. Nach einer 6jährigen Versuchsperiode lässt sich kein Zusammenhang zwischen den berechneten Werten in der Bilanz und den Ergebnissen im Königswasser erbringen.

Die Frachtenbegrenzung im Klärschlammkompost liegt in der Steiermark bei 3000g/ha und Jahr im Ackerland und bei 1500 g/ha und Jahr. Somit stellen die medianen 1280 g/ha und Jahr im Fruchtfolgeversuch kein Problem im Hinblick auf die Landesgesetzgebung dar.

Die Erwartungen, welche nach Zinkbilanzierung an die Königswasseruntersuchungen gestellt wurden, können im Grünland bestätigt werden. Bei Düngung mit Bio- und Stallmistkompost lassen sich wesentlich höhere Werte in den Bodenproben finden als bei der Variante mineralisch gedüngt, welche laut berechneter Bilanz sogar negativ sein müsste.

Im Fruchtfolgeversuch lassen sich die Unterschiede in den errechneten Bilanzen nach 6jähriger Versuchsdauer nicht durch Bodenproben bestätigen.

Fazit: die Zinkgehalte im Boden sind allesamt unter den Normalwerten zu finden.

Die Frachtbegrenzung für Zink mittels Klärschlammkompostausbringung kann laut Steiermärkischen Landesgesetz eingehalten werden.

### 3.1.5.5. Cadmium

Cadmium stellt ein rein toxisches Schwermetall dar und bedarf besonderer Beobachtung im Boden und in der Nahrungskette. Die Bedenken bzgl. hoher Cadmiumwerte können bei den untersuchten Erntefrüchten im Fruchtfolge- und Grünlandversuch entkräftet werden, obwohl die pH-Mobilisierungsgrenze für Cadmium im Boden relativ hoch bei 6,5 liegt.

Die Bodenbilanz für Cadmium im Grünland zeigt das gleiche Bild wie bei allen anderen Spurenelementen.

Der Normalwert des Bundeslandes Steiermark für Cadmium in Königswasser wird mit 0,3 mg/kg festgelegt (Grenzwert liegt bei 2 mg/kg) und kann sowohl bei der Untersuchung vor Versuchsbeginn als auch nach Versuchsbeendigung eingehalten

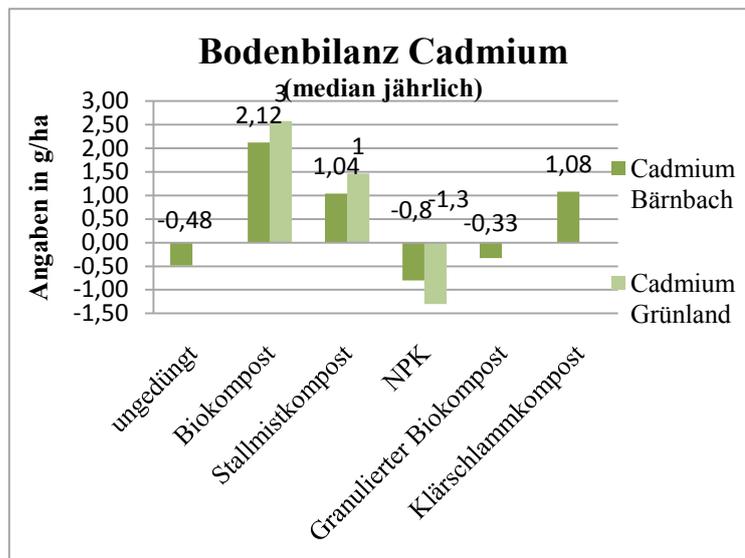


Abbildung 25: Berechnete Bodenbilanz von Cadmium im Fruchtfolgeversuch (med. 1996-2007)

werden. In der ungedüngten Variante ist nach den 4 Jahren der Ausgangswert von 0,15 g/kg im Königswasser wiederzufinden. Bei den Varianten Biokompost, mineralisch gedüngt und Granulierter Biokompost hat sich der Ausgangswert von 0,15 mg/kg Feinboden auf 0,3 mg/kg Feinboden verdoppelt.

Stallmistkompost erzielt einen Wert von 0,25 mg/kg Feinboden.

Im Fruchtfolgeversuch lässt sich nach 6jähriger Versuchsdauer trotz der unterschiedlichen Düngervarianten kein Unterschied bzgl. Cadmiumgehalte im Königswasser feststellen. Sie lagen alle bei 0,3 g/kg und somit genau am angegebenen Normalwert.

In der Steiermärkischen Klärschlammverordnung, welche eher streng ist, wird die Frachtenbegrenzung für das Ackerland mit 5 g/ha und Jahr und mit 2,5 g/ha und Jahr festgelegt. Die berechnete Cadmiumfracht bei der Düngung mit Klärschlammkompost

lag im Median bei 1,83 g/ha und Jahr und somit weit unter dem vorgeschriebenen Grenzwert.

In Oberösterreich gibt es im Vergleich dazu die einheitliche Richtlinie für die jährliche Frachtenregelung aller Düngemittel mit 6 g/ha. Betrachtet man die berechneten medianen Cadmiumfrachten zwischen 0 und 2,83 g/ha und Jahr in den unterschiedlichen Düngervarianten, so konnte sich den gesetzlichen Vorgaben sehr gut Folge geleistet werden.

Die Bodenproben mittels Königswasseranalyse ergaben bei allen Düngervarianten sowohl im Grünland als auch im Fruchtfolgeversuch für Cadmium Normalwerte. Es werden eindeutige Hinweise auf eine hohe Akkumulation von Cadmiumfrachten im Grünland erbracht. Die erlaubten Cadmiumfrachten mittels Klärschlammkompostdüngung lassen sich laut steiermärkischen Gesetz gut einhalten.

### 3.1.5.6. Blei

Das rein toxische Element Blei hat glücklicherweise eine niedrige Schwermetallmobilisierungsgrenze und liegt bei einem pH-Wert von 4.

In der Steiermark sind Bleiwerte mit 30 mg/kg im Königswasser als normal und 100 mg/kg als grenzwertig festgelegt. Der Ausgangswert im Grünland mit 30 sank nach 4 Jahren in der ungedüngten Variante auf 25, beim Biokompost auf 27,5, beim Stallmistkompost auf 27, bei der mineralischen Variante auf 25 und beim Granulierten Biokompost auf 24,5 g/kg herab. Zwischen der berechneten Bodenbilanz und den tatsächlichen

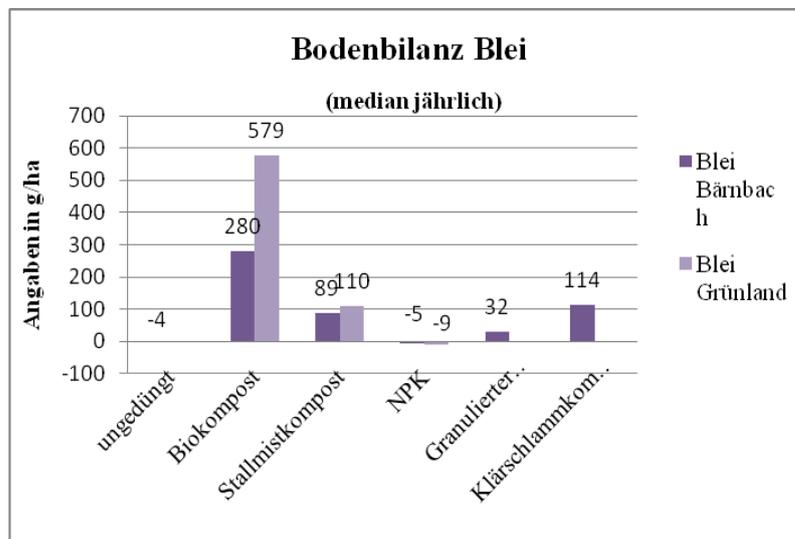


Abbildung 26: Berechnete Bodenbilanz von Blei im Fruchfolgeversuch (1996-2007)

Ergebnissen im Königswasser lässt sich nur feststellen, dass in den Varianten Bio- und Stallmistkompost, wo die größten Anreicherungen an Blei bilanziert wurden, nach den 4 Jahren die höchsten Bleiwerte im Königswasser aufzeigten. Es ist

nochmals darauf hinzuweisen, dass die Bodenbleiwerte aber in allen Düngervarianten gesunken sind.

Bzgl. Bodenprobenergebnisse im Fruchfolgeversuch lässt sich kein Hinweis darauf finden, dass die mit Kompost gedüngten Varianten einen höheren Bleigehalt aufweisen würden. Sie liegen alle zwischen 30,5 und 32 und sind somit als normal einzustufen.

Die Höchstfracht für Blei mittels Klärschlammasbringung ist in der Steiermark mit 250 g/ha und Jahr geregelt (in Kärnten liegt sie für Klärschlammkompost vergleichsweise bei 600). Im Fruchfolgeversuch lag die Fracht im Median bei 120 g/ha und Jahr.

Laut berechneter Bilanzen müssten die Bleiwerte im Boden bei den organischen Düngervarianten nach der ersten Versuchsperiode im Grünlandversuch gestiegen sein. Das Gegenteil ist laut Bodenproben der Fall. Trotz stark positiver berechneter Bilanz für Biokompost im Grünland ist der gemessene Bleiwert im Boden gesunken.

Auch im Fruchtfolgeversuch scheint Blei nach der ersten Versuchsperiode bzgl. Akkumulation im Boden kein Problem darzustellen. Die höchsten Bleiwerte im Boden wurden jedoch beim Bio- und Klärschlammkompost erzielt, welche laut Bilanzierung auch die höchsten Werte erreichen müssten. Der Unterschied ist nach 6jähriger Versuchsdauer jedoch minimal.

Die maximale Frachtenbegrenzung mit 250 g/ha/a für Blei mittels Klärschlammausbringung wird laut Steiermärkischem Landesgesetz mit medianen Wert von 120 g/ha/a bestens eingehalten.

### **3.2. Pflanze**

Die am häufigsten gestellte Frage aus der Praxis im Zusammenhang mit der Kompostanwendung bezieht sich auf die Schwermetalle. Der Landwirt interessiert sich für die Schwermetallgehalte im Biokompost und es ist ihm sehr wichtig, dass seine Böden auch nachhaltig diesbezüglich keinen Schaden nehmen.

Der Konsument verlangt von den Lebensmitteln eine qualitativ hervorragende Ware, bei welcher die Schwermetallkonzentrationen möglichst weit unter den Grenzwerten liegt. (vgl. BUCHGRABER, 2001).

Ein heikler Punkt für die Konsumenten ist mit Sicherheit die Ausbringung von Klärschlammkompost auf lebensmittelproduzierenden Betrieben, da die Rückstände im Klärschlamm ständig in Diskussion sind. Auf den folgenden Seiten soll aufgezeigt werden, dass es bei der korrekten Anwendung von Klärschlammkompost bei fast allen Schwermetallen kein Risiko für den Konsumenten besteht.

Wie in der Einleitung beschrieben, gibt es zwar für die Ausbringung von Komposten Richtlinien zur Einhaltung von Höchstgrenzwerten, für die Lebens- und Futtermittelkontrolle gibt es jedoch nur wenige vorgegebene Grenzwerte und vorgesehene Kontrollen.

Bei den pflanzlichen Lebensmitteln wird der maximale Gehalt von Blei und Cadmium und bei den Futtermitteln wird zusätzlich noch Quecksilber und Arsen vorgeschrieben.

3.2.1. Chrom

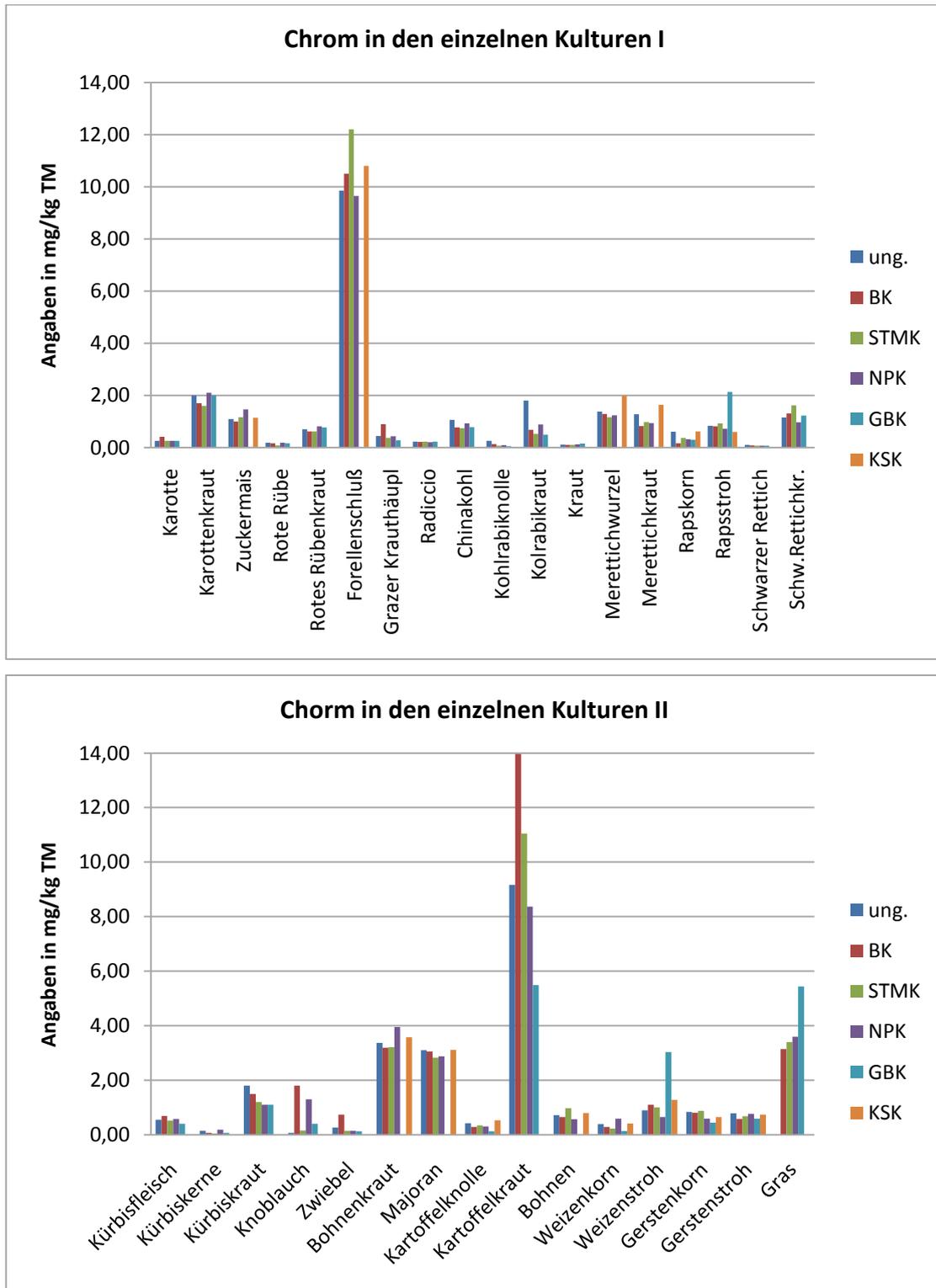
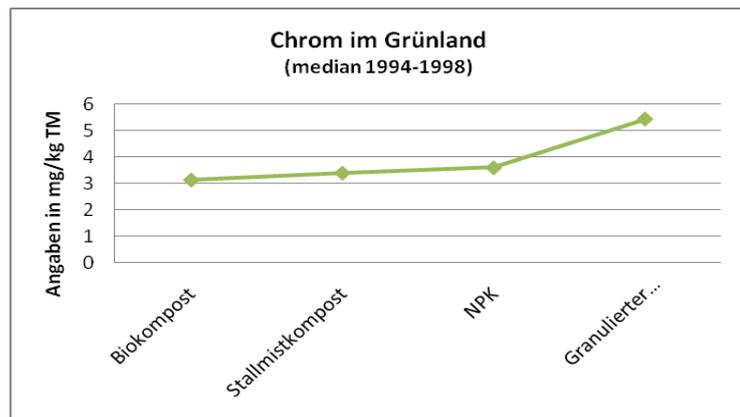


Abbildung 27: Analytierte Chromgehalte vom Grünland und den Kulturen im Fruchtfolgeversuch in Bärnbach (Median aus den Daten von 1994-2007)

Bevor die Toxizität von Chrom in Nahrungs- und Futtermitteln diskutiert wird, sollte nochmals darauf hingewiesen werden, dass nur einige Verbindungen von Chrom toxisch wirken, andere sind in der richtigen Dosis essentiell. In dieser Studie wurde der Gesamtchromgehalt analysiert, nicht jedoch die einzelnen Verbindungen.

Da die Grenze für die Chrommobilisierung bei pH-Wert 4,5 liegt, ist Chrom für Pflanzen schwer verfügbar und stellt kaum Probleme in den Lebens- und Futtermitteln dar. Der niedrigste pH-Wert im Grünland lag bei 5,15 bei der Variante PK-Düngung und der niedrigste pH-Wert im Fruchtfolgeversuch lag bei 6,9-ebenfalls in der mineralischen



Düngemittelvariante. Somit liegen alle pH-Werte auf den

Versuchsfeldern über denen der Schwermetallmobilisierung. Die Chromwerte in den Kulturen sollten somit eher niedrig ausfallen. Im Grünland liegen die Chromwerte zwischen 3,14 und 5,44 mg/kg Trockenmasse. Die positive Wirkung von Bio- und Stallmistkompost auf den Boden-pH-Wert lässt sich an einem niedrigeren Chromgehalt im Grünfütter erkennen.

In der Humanernährung empfiehlt die Deutsche Gesellschaft eine Aufnahme von 0,03-0,1 mg

Chrom/Erwachsenen/täglich.

Im Fruchtfolgeversuch lagen nur die Kulturen Forellenschluß, Bohnenkraut, Majoran und das Kartoffelkraut über 2 mg/kg TM.

Bohnenkraut und Majoran

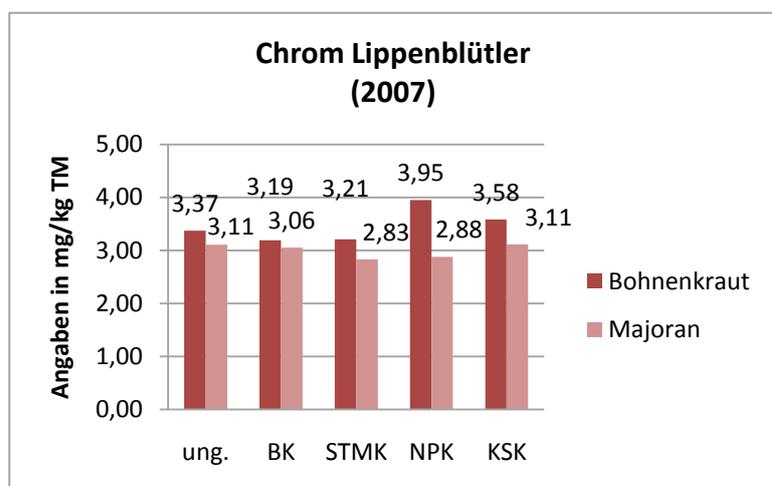


Abbildung 29: Chromgehalte der Lippenblütler (1997)

enthalten sehr viel Wasser und da sie nur in sehr geringen Mengen aufgenommen werden, stellt Chrom bei den ermittelten Ergebnissen keinesfalls ein Problem für die Humanernährung dar.

Das Kartoffelkraut ist fast bei allen betrachteten Schwermetallen und Spurenelementen ein interessanter Akkumulator. Die Kartoffelknolle weist im Vergleich zum Kraut immer für die menschliche Ernährung herangezogen wird, wirkt sich diese Verteilung in der Pflanze sehr positiv aus. Das Kartoffelkraut bleibt meist auf dem Feld und kommt

somit nicht in den Nahrungskreislauf.

Rechnet man die ca. 78% Wassergehalt der Kartoffelknolle ein, würde man bei der Variante Klärschlammkompost (ergab bei den Untersuchungen die höchsten Chromwerte) 0,12 mg Chrom mit dem Verzehr von einem kg

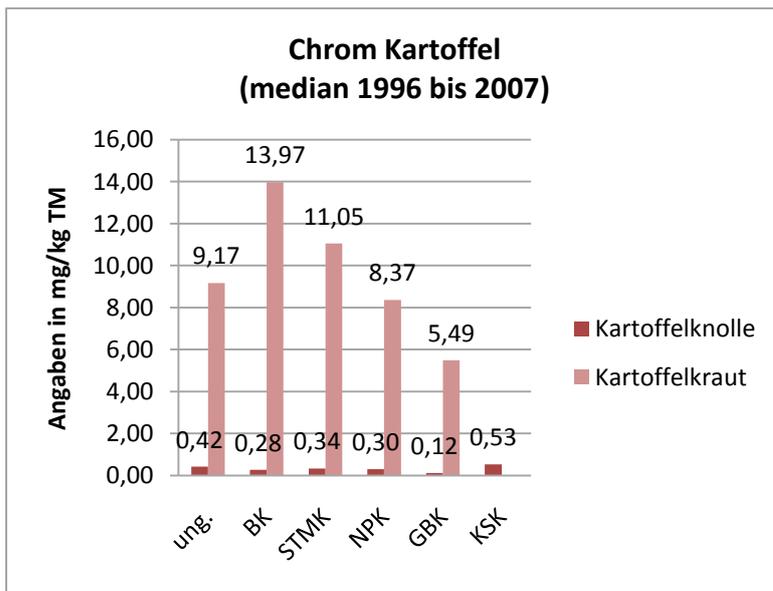


Abbildung 30: Chromgehalte der Kartoffel (med. 1996-2007)

frischer Kartoffel aufnehmen. Die geringste Aufnahmemenge von

Chrom ergab sich bei der Variante granulierter Biokompost (0,0264 mg/kg Frischmasse), gefolgt vom Biokompost (0,062 mg/kg Frischmasse).

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Karotte. Die Chromgehalte im Karottenkraut liegen um ca. 4 - 8 mal höher als die in der

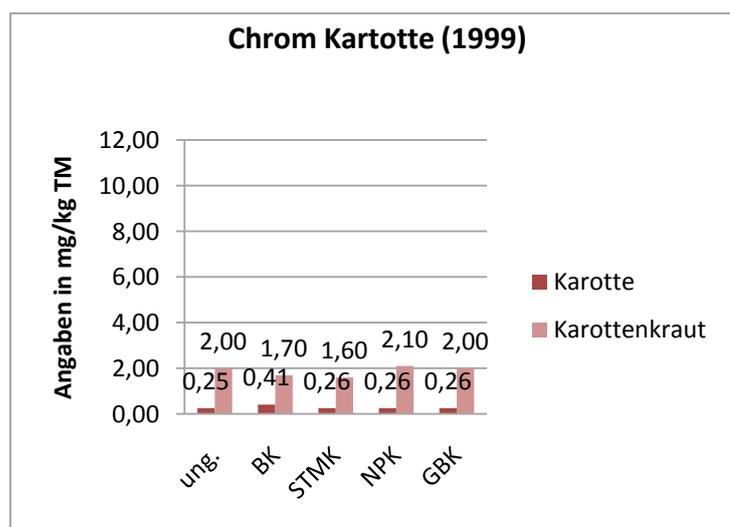


Abbildung 31: Chromgehalte der Karotte (1999)

Rübe. Auffallend ist, dass die Variante Biokompost eindeutig höhere Chromwerte aufweist als die anderen vier Varianten, welche sehr ähnliche Ergebnisse erbrachten. Für die Humanernährung kann für den Verzehr der Karottenrübe grünes Licht gegeben werden, da selbst bei der Variante Biokompost fast 2,5 kg frische Karotten von einem Erwachsenen pro Tag aufgenommen werden müssten, um die Empfehlungen der DGE zu überschreiten.

Betrachtet man Chrom in den verschiedenen Kulturen, lässt sich kaum ein Trend, dass eine gewisse Düngervariante mehr Gehalt

aufweisen würde als eine andere, feststellen. Es gibt jedoch eindeutige Ergebnisse, dass die nichtverzehrbaren Anteile der Kulturen (Stroh, Kraut) signifikant mehr Chrom je kg/TM beinhalten.

Da es weder seitens der EU noch seitens der Bundesrepublik Österreich eine Höchstgrenze für Chrom in Futtermitteln gibt und dass nur vage Empfehlungen für Chromgehalte Futtermitteln existieren, lassen sich hinsichtlich Tierernährung kaum Empfehlungen für die Futtermittelkulturen im Versuch machen.

Anhand des **Chromgehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.

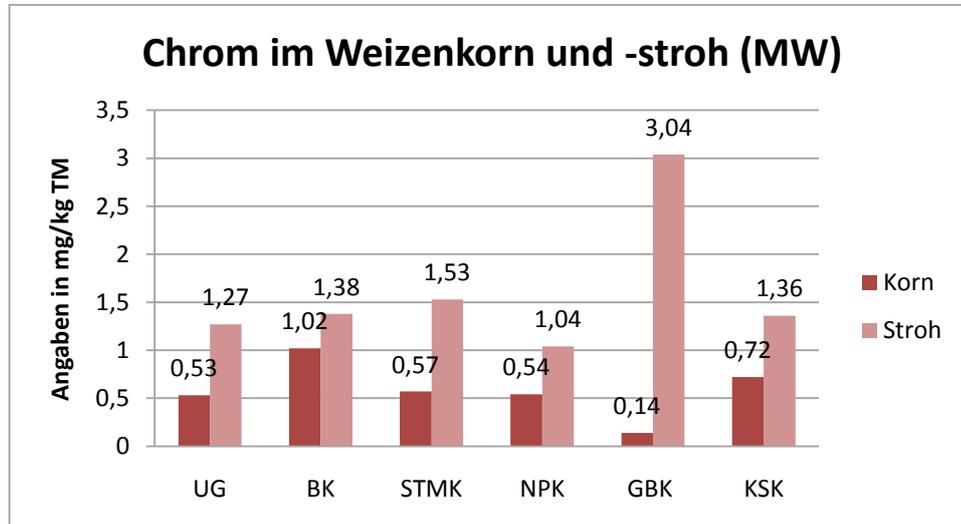


Abbildung 32: Chromgehalte im Weizen (MW 1996-2007)

Der höchste Chromwert beim Weizenkorn wird bei der Düngemittelvariante Biokompost mit einem Mittelwert von 1,021 mg/kg Trockenmasse aus 5 Wiederholungen erzielt. Gefolgt wird der Biokompost von den Varianten Klärschlammkompost mit 0,723 mg/kg TM, Stallmistkompost mit 0,566 mg/kg TM, NPK mit 0,54 mg/kg TM und ungedüngt mit 0,53 mg Chrom pro kg Trockenmasse.

Den niedrigsten werte erzielt die Variante Granulierter Biokompost mit 0,135 mg/kg Trockenmasse. Dabei ist zu beachten, dass bei der zu letzt genannten Variante nur 2 Proben für den Mittelwert herangezogen wurden und diese somit weniger aussagekräftig ist als die anderen.

Das Weizenstroh zeigt bezüglich Chromgehalte in den unterschiedlichen Düngemittelvarianten ein ganz anderes Bild als die Akkumulation im Korn. Der höchste Wert wird beim Granulierten Biokompost mit 3,04 mg/kg Trockenmasse (die Aussagekraft bei dieser Düngemittelvariante mit 2 Wiederholungen ist fraglich) und der niedrigste Wert wird bei der mineralisch gedüngten Variante mit 1,04 mg/kg Trockenmasse erzielt. Die Ergebnisse der übrigen Düngemittelvarianten liegen zwischen 1,27 bei der ungedüngten Variante und 1,53 mg/kg Trockenmasse bei der Düngemittelvariante Stallmistkompost.

**Tabelle 13: Chromdaten Weizen bei den unterschiedlichen Düngervarianten**

<b>Chrom</b>					
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>
Korn UG	5	0,120	1,450	0,539	0,530
Korn BK	5	0,083	4,300	1,836	1,021
Korn STMK	5	0,071	1,760	0,715	0,566
Korn NPK	5	0,051	1,380	0,544	0,540
Korn GBK	2	0,110	0,160	0,035	0,135
Korn KSK	3	0,140	1,620	0,788	0,723
Stroh UG.	5	0,810	2,850	0,883	1,272
Stroh BK	5	0,730	2,820	0,833	1,378
Stroh STMK	5	0,780	3,710	1,237	1,534
Stroh NPK	5	0,460	2,810	0,993	1,042
Stroh GBK		2,200	3,870	1,181	3,035
Stroh KSK		1,280	1,520	0,142	1,357
<b>Anmerkung:</b> N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert; SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert alle Angaben in mg/kg Trockenmasse					

Für Chrom gibt es weder Seitens der EU noch seitens Österreichs Vorschriften für Höchstgehalte von Chrom (essentielle oder toxische Verbindungen) in Lebens- oder Futtermitteln. Die Chromwerte im Fruchtfolgeversuch lagen bei den für die Humanernährung bedeutenden Pflanzenteile weitgehend unter 1 mg/kg Trockenmasse. Die DGE empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 0,030,1 mg täglich. Die Chromakkumulation findet vor allem in den, für die Human- und Tierernährung, ungenutzten Pflanzenteile statt.

Die höchste Akkumulation von Chrom im Weizenkorn findet bei der Variante Biokompost (1,021 mg/kg TM), gefolgt von den Varianten Klärschlammkompost, Stallmistkompost, NPK und ungedüngt. Den geringsten Chromwert im Weizenkorn weist die Variante Granulierter Biokompost mit 0,135 mg/kg auf.

Bei allen Düngemittelvarianten finden sich im Stroh höhere Chromgehalte als im Weizenkorn. Am stärksten kontaminiert ist die Variante Granulierten Biokompost. Gereiht nach abnehmenden Chromgehalt folgen die Varianten: Stallmist-, Bio-, Klärschlammkompost, ungedüngt und mineralisch gedüngt.

3.2.2. Nickel

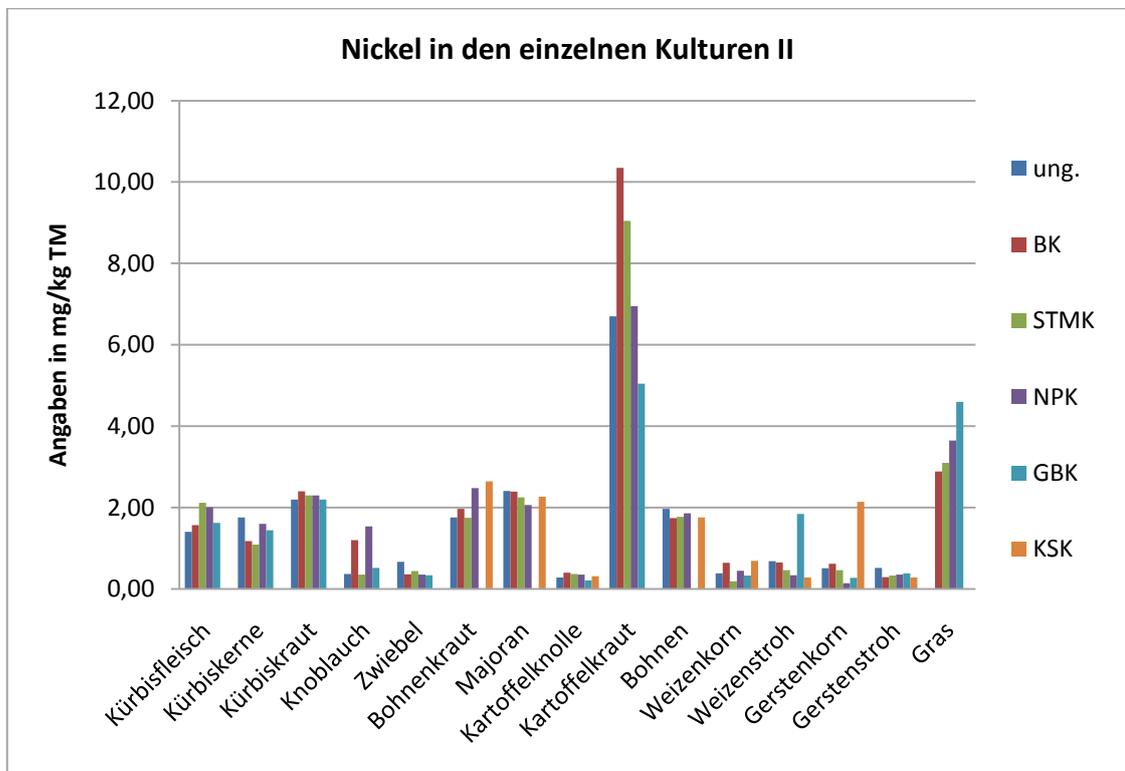
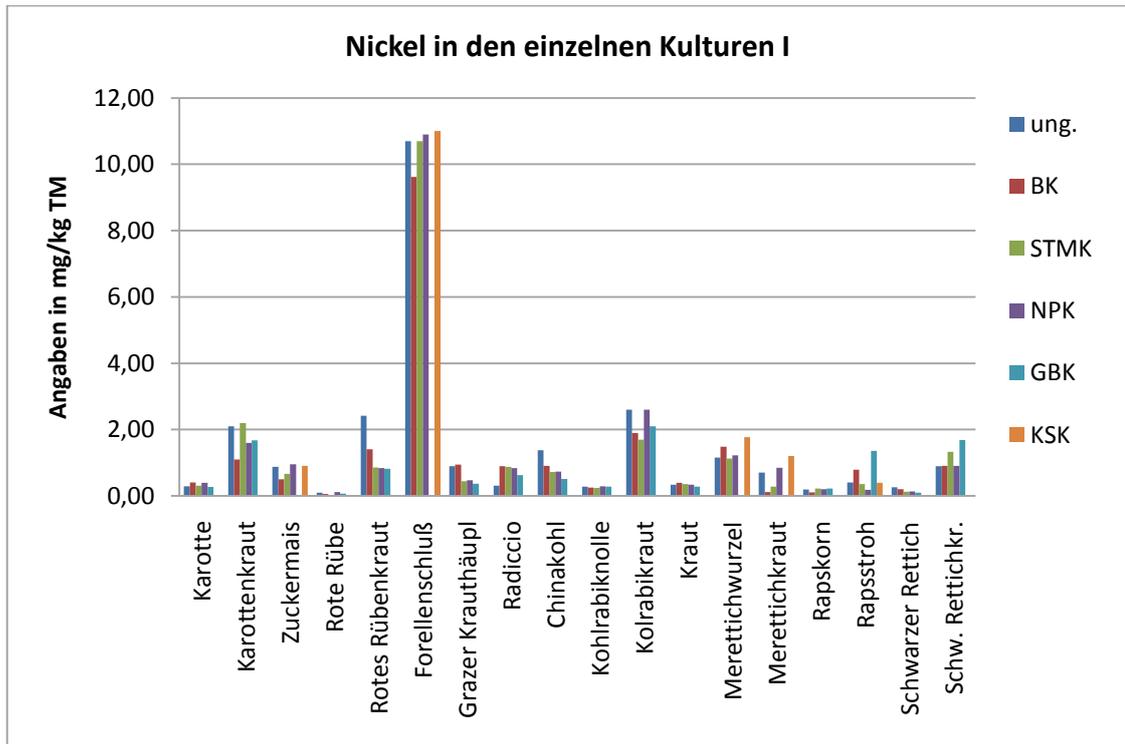
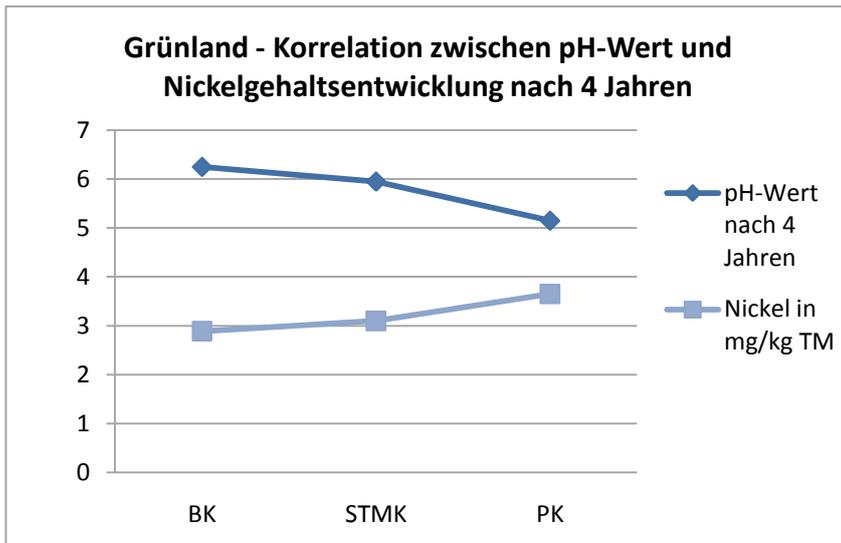


Abbildung 33: Analytierte Nickelgehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (Median aus den Daten von 1994-2007)

Laut Scholz (1996) ist der Nickelbedarf für den Menschen nicht bekannt und wird auf 25-30 Milligramm/Person und Tag geschätzt. Weder vom Land Österreich noch von der EU sind für den Bereich der Humanernährung oder für die tierische Ernährung Grenzen für einen Höchstgehalt an Nickel in Lebens- oder Futtermittel vorhanden.

Im Gegensatz zu Chorm liegt die Mobilisierungsgrenze von Nickel mit pH-Wert 5,5 relativ hoch.

Demnach müssten laut den festgestellten pH-Werten im Grünland 1998 bei den



Varianten ungedüngt (pH 5,35), PK (pH 5,15) und granulierter Biokompost (pH 5,5) höhere Nickelwerte zu erwarten sein als bei den anderen beiden Varianten im Grünland und bei allen Varianten

Abbildung 34: Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und Nickel im Grünfütter nach einer 4jährigen Versuchsdauer

im Fruchtfolgeversuch (niedrigster pH 6,9).

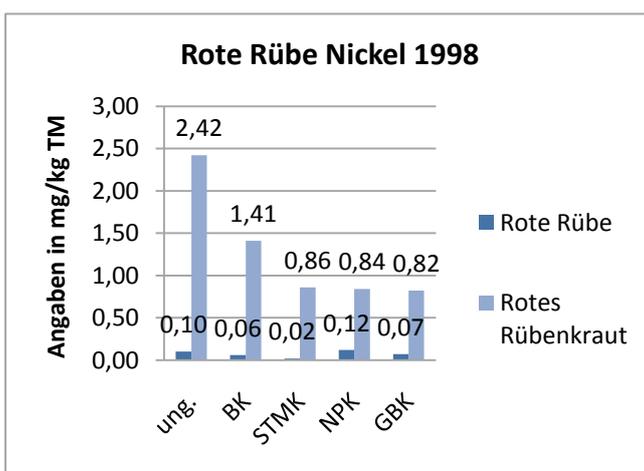


Abbildung 35: Nickelakkumulation bei der Roten Rübe und beim Roten Rübenkraut (1998)

Im Grünland kann bei den Varianten Biokompost, Stallmistkompost und PK-Düngung ein eindeutiger Beweis für die Korrelation zwischen Boden-pH-Wert und Nickelakkumulation im Feldfutter erbracht werden. Die Variante Granulierter Biokompost wurde außer Betracht gelassen, weil sie erst 2 Jahre vor Versuchsende

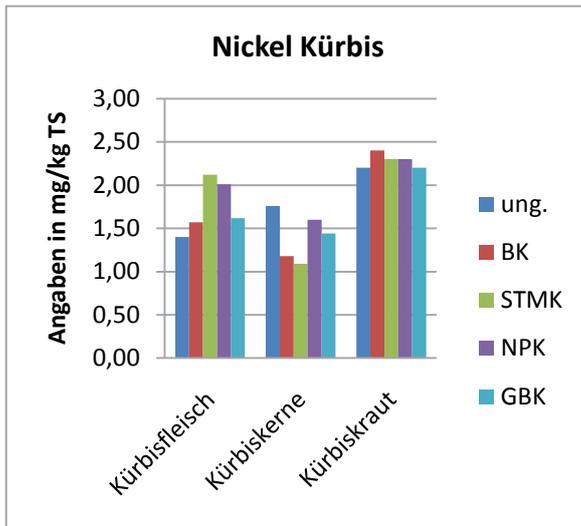


Abbildung 36: Nickelakkumulation beim Kürbis in untersch. Pflanzenteilen (MW 1996-2007)

Verhältnis von Korn und Stroh bzgl. Nickel ziemlich ausgeglichen. Einzig beim Meerrettich ist das Verhältnis der Nickelanreicherung umgekehrt – Nickel sammelt sich vor allem in der Wurzel an. Bei der Düngervariante Biokompost ist dies besonders deutlich zu erkennen. Große Unterschiede im Hinblick auf die Düngervariante lassen sich zwar von Kultur zu Kultur feststellen. Eine Tendenz, bei welcher Düngemittelvariante am meisten Nickel in die Frucht eingelagert werden, lässt sich nicht erkennen.

Für die tierische Ernährung lassen sich keine Angaben bezüglich Nickelgehalt im Futter finden. Laut JEROCH, DROCHNER, und SIMON (1999) kommt ein Nickelmangel bei praxisüblichen Rationen kaum vor. Eine Nickel-Intoxikation führt zu Störungen des Zink-Stoffwechsels. Da die in der Tierernährung gebräuchlichen Futtermittel wie Weizen- und Gerstenkorn und Raps vergleichsweise niedrige Nickelgehalte aufweisen

angelegt wurde.

Im Fruchtfolgeversuch fallen die Ergebnisse bezüglich Akkumulation in den Pflanzenteilen ähnlich wie beim Chrom aus. Bei Kulturen wie der Karotte, der Roten Rübe, dem Kohlrabi, dem Schwarzen Rettich und der Kartoffel sammelt sich Nickel vor allem im nicht verwendenden Kraut an. Beim Kürbis und bei den Getreiden Weizen und Gerste ist das

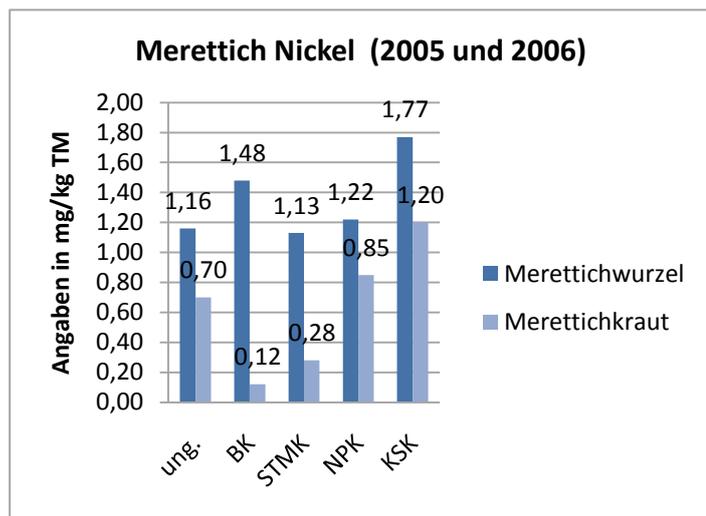


Abbildung 37: Nickelakkumulation beim Merrettich in den unterschiedlichen Pflanzenteilen (MW 2005-2006)

(genannte Kulturen alle unter 2 mg/kg TM), ist eine Intoxikation nicht zu erwarten. Im Gras liegt der Nickelgehalt zwischen 2,9 und 4,6 mg/kg TM.

Anhand des **Nickelgehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.

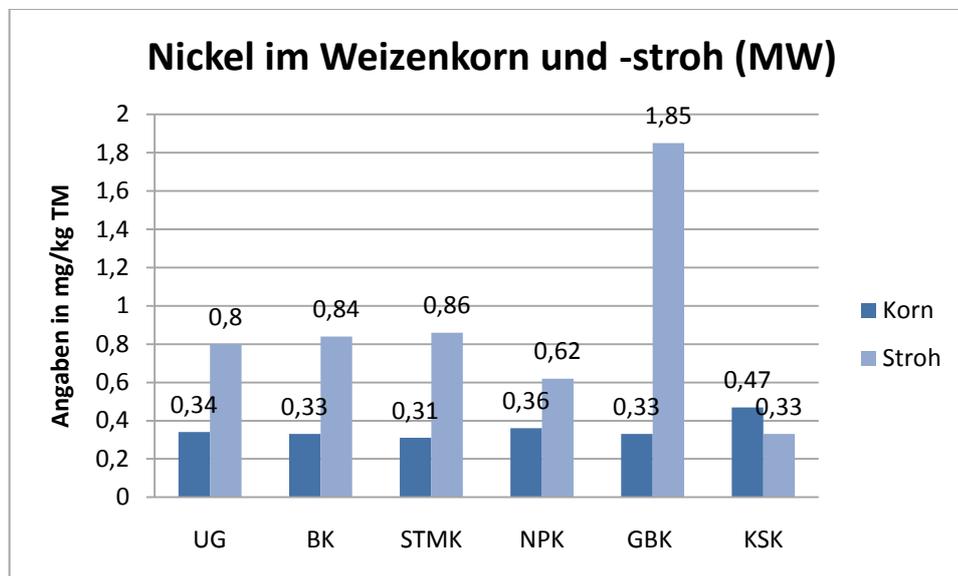


Abbildung 38: Nickelgehalte im Weizen (MW 1996-2007)

Das Weizenkorn beinhaltet bei den Varianten ungedüngt (0,338 mg/kg TM), Biokompost (0,334 mg/kg TM), Stallmistkompost (0,31 mg/kg TM), NPK (0,364 mg/kg TM) und GBK (0,325 mg/kg TM) einen ähnlichen Nickelgehalt. Die Variante Klärschlammkompost zeichnet sich durch den höchsten Nickelwert mit 0,473 mg/kg TM (Mittelwert aus 3 Messungen) deutlich von den anderen Mittelwerten ab.

Im Gegensatz dazu war im Stroh bei der Variante Klärschlammkompost mit 0,333 mg/kg TM der niedrigste Wert bei den verschiedenen Düngemittelvarianten zu finden.

Der höchste Nickelgehalt im Weizenstroh konnte beim Granulierten Biokompost festgestellt werden. Er lag bei 1,845 mg/kg Trockenmasse (Hinweis: es gab bei dieser Variante nur 2 Wiederholungen). Im Mittelfeld bewegten sich alle übrigen Düngemittelvarianten zwischen 0,621 mg/kg TM bei der Variante mineralisch gedüngt und 0,857 mg/kg TM bei der Variante Stallmistkompost.

Tabelle 14: Nickel Daten Weizen bei den unterschiedlichen Düngervarianten

<b>Nickel</b>					
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>
Korn UG	5	0,050	0,770	0,321	0,338
Korn BK	5	0,050	0,830	0,373	0,334
Korn STMK	5	0,170	0,650	0,203	0,310
Korn NPK	5	0,050	0,730	0,279	0,364
Korn GBK	2	0,310	0,340	0,021	0,325
Korn KSK	3	0,050	0,880	0,415	0,473
Stroh UG	5	0,400	1,540	0,448	0,800
Stroh BK	5	0,460	1,630	0,467	0,836
Stroh STMK	5	0,050	1,970	0,801	0,857
Stroh NPK	5	0,043	1,670	0,634	0,621
Stroh GBK	2	1,300	2,390	0,771	1,845
Stroh KSK	3	0,050	0,670	0,313	0,333
<b>Anmerkung:</b>	N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert; SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert alle Angaben in mg/kg Trockenmasse				

Da es keine gesetzlichen Vorlagen bezüglich Nickel in Lebens- oder Futtermitteln gibt, scheint es keine Problematik im Hinblick auf dieses Schwermetall zu geben. Im Grünlandversuch konnte belegt werden, dass der Nickelgehalt stark mit dem Boden-pH-Wert zusammenhängt. Im Fruchtfolgeversuch lässt sich, wie bei vielen anderen Schwermetallen/Spurenelementen, die hauptsächliche Akkumulation von Nickel im Stroh/Kraut einer Kulturpflanze erkennen.

Die Nickelakkumulation im Weizenkorn ist bei der Klärschlammkompostvariante mit 0,473 mg/kg TM am höchsten. Die Gehalte im Weizenkorn liegen bei allen anderen Varianten zwischen 0,31 (Stallmistkompost) und 0,364 (NPK) mg/kg Trockenmasse.

Im Weizenstroh wird bei der Düngemittelvariante Granulierter Biokompost der höchste Gehalt mit 1,845 ermittelt. Im Mittelfeld bewegen sich ungedüngt mit 0,8, Biokompost mit 0,836 und Stallmistkompost mit 0,857 mg/kg Trockenmasse. Gegenteilig wie beim Weizenkorn, weist die Variante Klärschlammkompost den niedrigsten Mittelwert mit 0,333 mg/kg TM auf.

3.2.3. Kupfer

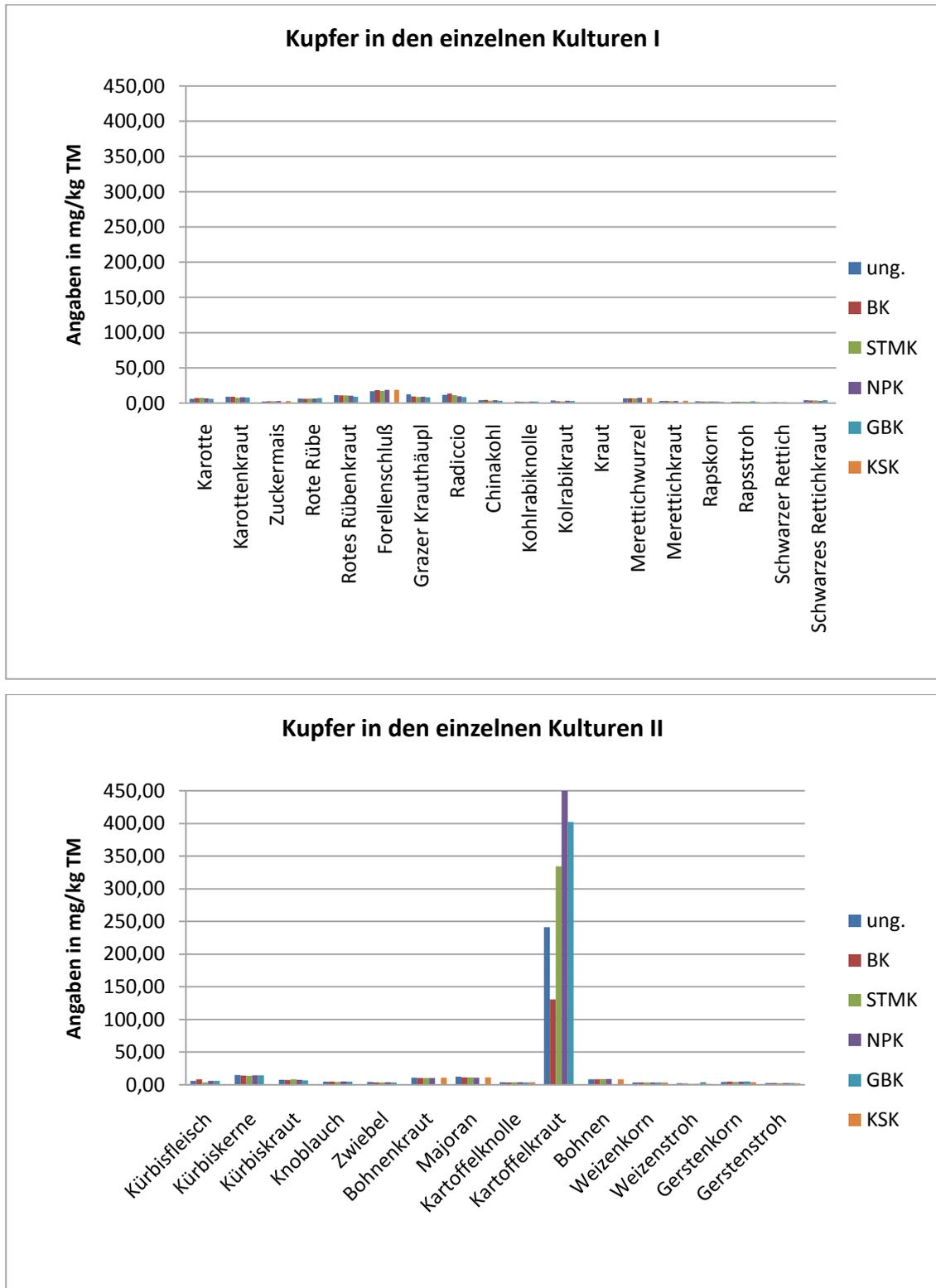


Abbildung 39: Analyzierte Kupfergehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (Median aus den Daten von 1994-2007)

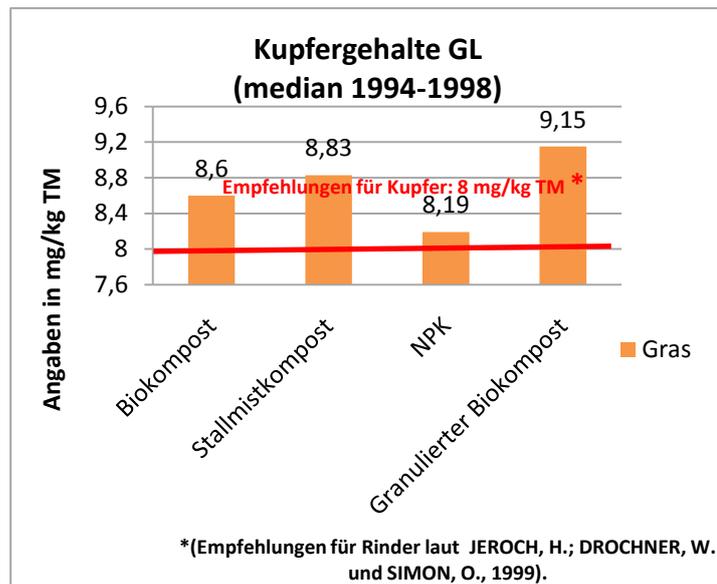
Da die Schwermetallmobilisierung im Boden bei pH-Wert 4,5 liegt, dürften die Nahrungs- und Futtermittel eher geringe Werte an Kupfer enthalten.

Das Grünfutter weist je nach

Düngervariante

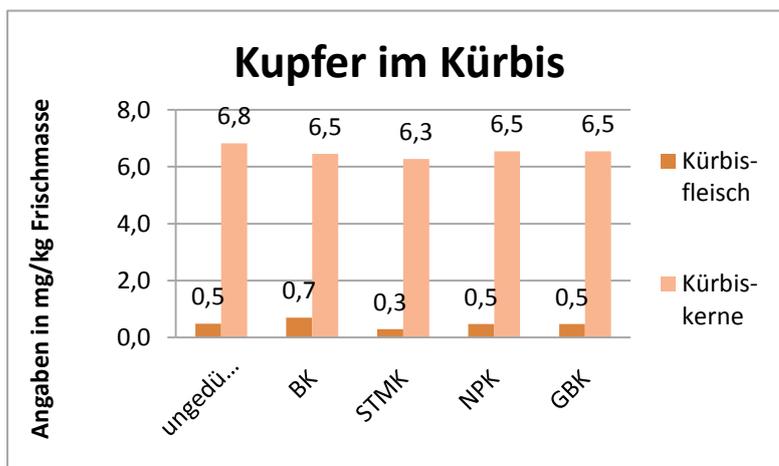
Kupfergehalte zwischen 8,2 und 9,1 auf und liegt damit in allen Varianten knapp über der Empfehlung von 8 mg/kg TM (vgl. JEROCH, DROCHNER, und SIMON, 1999). Der maximale Aufnahme darf laut EU-Verordnung EG Nr.

1334/2003 35 mg/täglich für Rinder nicht überschreiten. **Abbildung 40: Kupfergehalte im Grünfutter in den verschiedenen Düngervarianten (med. 1994 – 1998)**



Betrachtet man den hohen Wassergehalt von Gras mit angenommenen 82 %, würde die empfohlene Menge von 8 mg/kg Trockenmasse in der Variante Stallmistkompost erst bei einer Aufnahme von ca. 24 kg mit frischem Gras überschritten werden.

Für das Mikronährelement wird für die menschliche Ernährung von der DGE eine tägliche Aufnahme von 1-1,5 mg/Erwachsenen empfohlen. Betrachtet man im Fruchtfolgeversuch die Ergebnisse der essbaren Anteile von der Roten Rübe, würde man mit einem kg frischer Roter Rübe zwischen 0,67 mg bei der Variante Biokompost



**Abbildung 41: Kupferakkumulation in den einzelnen Pflanzenteilen bei unterschiedl. Düngung im Fruchtfolgeversuch (MW 1996-2007)**

bis 0,78 mg bei der Variante Granulierter Biokompost aufnehmen. Mit einem kg frischen Kürbis nimmt man zwischen 0,29 mg beim Stallmist- und 0,69 mg beim Biokompost auf. In den Kürbiskernen sind die Kupferwerte bei

weitem höher. 1 kg frische Kürbiskerne enthalten beim der Variante Stallmistkompost 6,2 mg und bei der Variante ungedüngt 6,8 mg.

Auffallend ist, dass, bis auf das Kartoffelkraut, alle Kulturen Werte bis maximal 20 mg/kg TM enthalten. Das Kartoffelkraut bewegt sich je nach Düngervariante zwischen 131 und 450 mg/kg TM. Zum Vergleich liegt der Kupfergehalt in der Knolle (Durchschnitt der Ergebnisse im Fruchtfolgeversuch) bei 1 mg/kg Frischmasse. Es lässt darauf schließen, dass ein mit Kupfer belastetes Feld bei Anpflanzung von Kartoffeln und Entsorgung des Krautes eine Sanierung zulassen würde. Praktisch ist dies kaum von Bedeutung, da die Kupferverfügbarkeit aus dem Boden für die Pflanzen (außer beim nicht verzehrbaren Kartoffelkraut) erst bei einem pH-Wert von niedrigen 4,5 beginnt. Vermutlich würde der Kupfergehalt in den verschiedenen Pflanzenteilen bei Unterschreitung dieser Mobilisierungsgrenze stark ansteigen.

Die Aufteilung von Kupfer ist in allen anderen Kulturen außer der Kartoffel zwischen der Frucht und im Stroh/Kraut relativ ausgeglichen. Bei der Karotte, der Roten Rübe, dem Kohlrabi und dem Schwarzen Rettich übersteigen die Kupferwerte im Stroh bzw. Kraut die Werte in der Frucht. Umgekehrt ist es beim Merrettich, beim Raps und beim Getreide.

Anhand des **Kupfergehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.

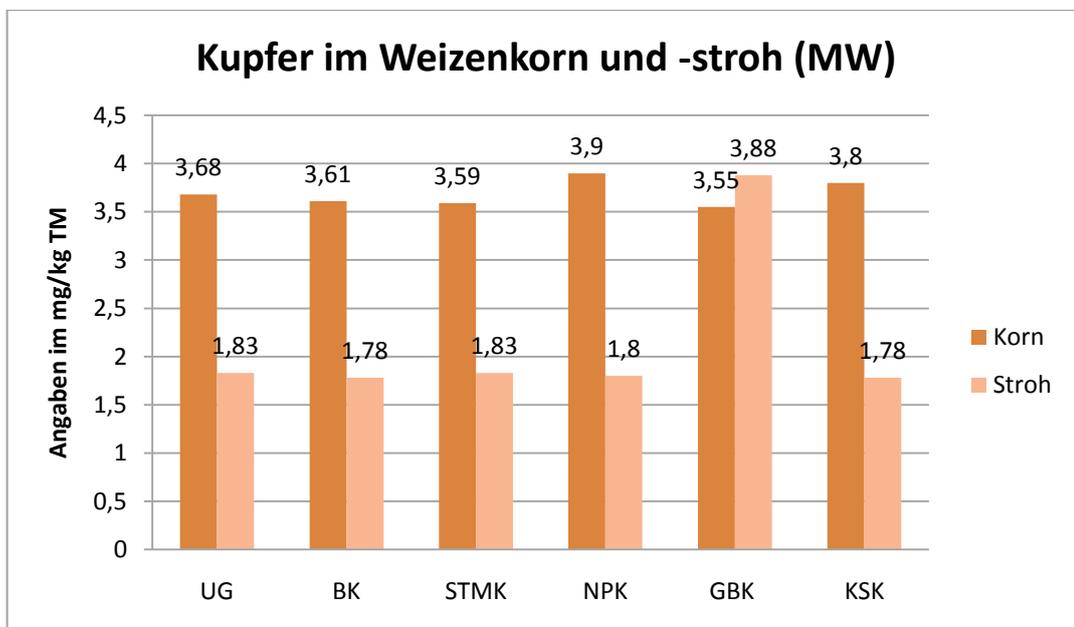


Abbildung 42: Kupfergehalte im Weizen (MW 1996-2007)

Bei den ermittelten Werten aus 2 bis 5 Messergebnissen lassen sich beim Weizenkorn nur geringe Unterschiede hinsichtlich Düngermittelvariante und Kupfergehalt feststellen. Der höchste Gehalt wurde bei der Variante mineralisch gedüngt mit 3,90 mg/kg Trockenmasse und der niedrigste Gehalt wurde bei der Variante Granulierter Biokompost mit 3,55 mg/kg Trockenmasse ermittelt.

Bei den mittleren Gehaltswerten von Kupfer im Stroh zeigt sich, bis auf einen Ausreißer, ein ähnliches Bild. Die Variante Granulierter Biokompost, von welchen nur 2 Messergebnisse vorliegen, stellt mit 3,88 mg/kg Trockenmasse einen relativ hohen und unglaublichen Wert dar. Alle anderen Düngemittelvarianten bewegen sich bezüglich Kupfergehalt im Stroh zwischen 1,78 bei den Varianten Bio- und Klärschlammkompost und 1,83 mg/kg Trockenmasse bei den Varianten ungedüngt und Stallmistkompost. Die Variante mineralisch gedüngt liegt mit einem Gehaltswert von 1,8 mg/kg TM im Mittelfeld.

**Tabelle 15: Kupferdaten Weizen bei den unterschiedlichen Düngervarianten**

<b>Kupfer</b>						
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>	
Korn UG	5	2,270	5,990	1,464	3,684	
Korn BK	5	2,280	4,840	0,948	3,612	
Korn STMK	5	2,490	5,020	0,975	3,594	
Korn NPK	5	2,520	5,660	1,171	3,902	
Korn GBK	2	3,000	4,090	0,771	3,545	
Korn KSK	3	2,500	5,210	1,358	3,803	
Stroh UG	5	0,700	2,390	0,745	1,830	
Stroh BK	5	0,600	2,450	0,761	1,776	
Stroh STMK	5	0,600	2,910	0,828	1,834	
Stroh NPK	5	0,900	2,730	0,739	1,798	
Stroh GBK	2	3,350	4,400	0,742	3,875	
Stroh KSK	3	1,500	2,120	0,315	1,777	
<b>Anmerkung:</b> N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert; SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert alle Angaben in mg/kg Trockenmasse						

Für das essentielle Spurenelement Kupfer gibt es sowohl Empfehlungen als auch tägliche Höchstgrenzen von der EU für die Aufnahme bei Rindern und Schweinen. Die Empfehlung von 8 mg/kg TM wird bei allen Düngemittelvarianten im Grünland leicht überschritten (PK 9,15, Stallmistkompost 8,8 mg, Biokompost 8,6 und 8,19 mg/kg TM). Die EU-Höchstgrenze von 35 mg/täglich würde erst bei der Rinderfütterung erst bei der Aufnahme von 24 kg frischen Gras überschritten werden. Für die menschliche Ernährung gibt es seitens der EU und seitens Österreich keine Gesetze bezüglich Kupfergehalt in Lebensmitteln. Die Empfehlung der DGE liegt bei 1 - 1,5 mg täglich.

Betrachtet man den Kupfergehalt im Weizenkorn in den unterschiedlichen Düngemittelvarianten, so liegen die Mittelwerte zwischen 3,55 beim Granulierten Biokompost und 3,90 mg/kg Trockenmasse bei der mineralisch gedüngten Variante. Auch die Gehaltswerte im Weizenstroh liegen, mit Ausnahme von der Variante Granulierter Biokompost (mit 3,08 mg/kg TM), relativ weit beisammen (zwischen 1,78 beim Biokompost und 1,92 mg/kg Trockenmasse beim Klärschlammkompost). Der Einfluss der Düngemittelvariante stellt beim Kupfer scheinbar einen geringen Einfluss auf die Gehalte in den Pflanzenteilen dar.

3.2.4. Zink

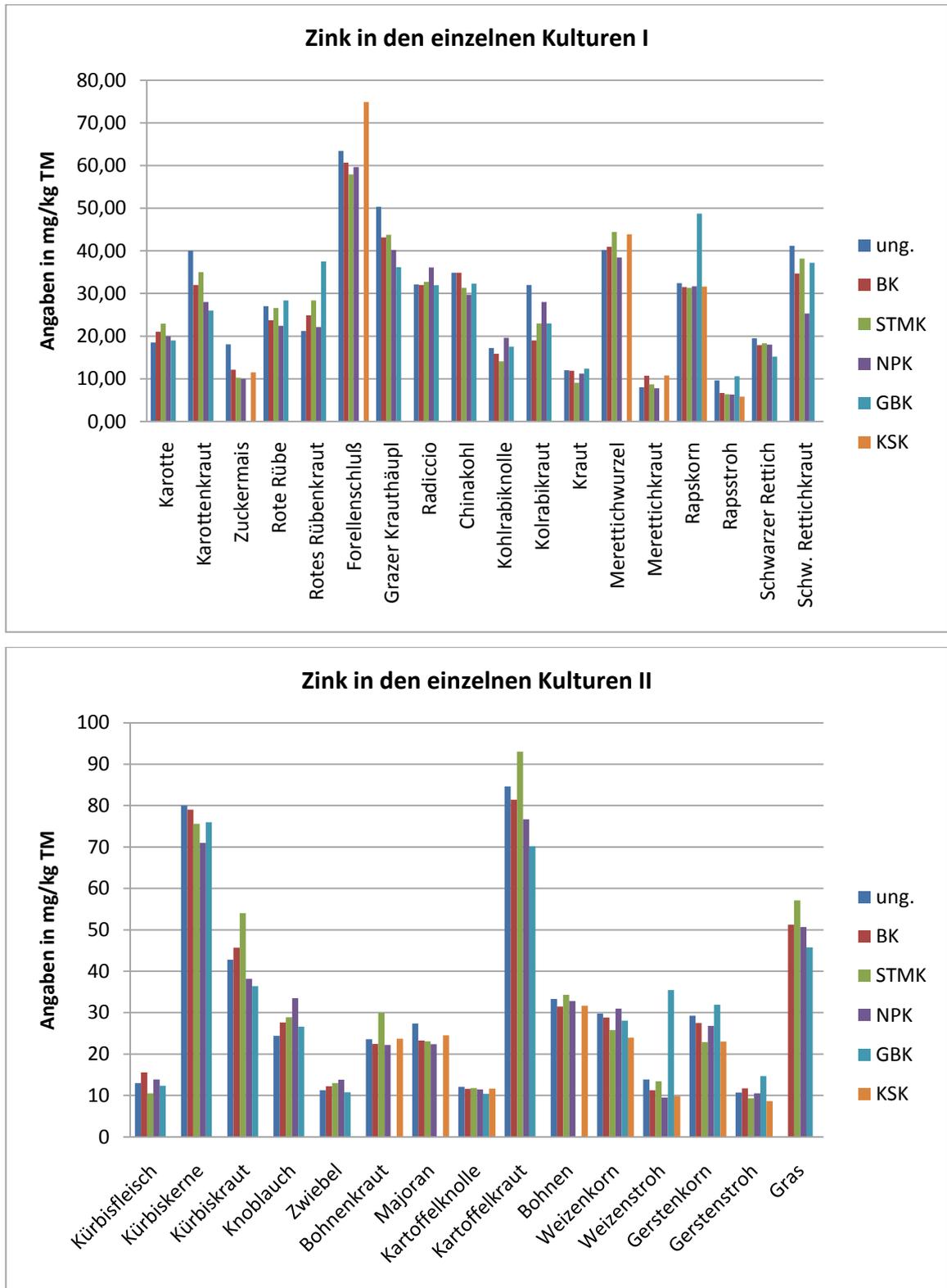


Abbildung 43: Analyzierte Zinkgehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (Median aus den Daten von 1994-2007)

Betrachtet man die Schwermetallmobilisierungsgrenze bei einem pH-Wert von 6 bei Zink, so müssten im Grünland in den Varianten Biokompost (pH 6,25) und Stallmistkompost (pH 5,95) deutlich höhere Zinkwerte zu belegen sein. In den Varianten NPK (pH 1998: 5,15) mit einem medianen Zinkgehalt von 50,67 mg/kg TM Gras und Granulierter Biokompost (pH 1998: 5,5) mit einem medianen Zinkgehalt von 45,73 mg/kg/TM finden sich tatsächlich niedrigere Zinkgehalte als in den Varianten Biokompost mit 51,24 und 57,1 mg/kg Trockenmasse beim Stallmistkompost. Auffallend ist jedoch, dass die Zinkgehalte beim Stallmistkompost höher sind als beim Biokompost obwohl die pH-Werte umgekehrt sind (am Höchsten beim Biokompost). Für die menschliche Ernährung stellen die Zinkgehalte in Lebensmitteln bzgl. toxischer Dosen kaum eine Bedeutung, da erst eine Überschreitung der zehnfachen empfohlenen täglichen Aufnahmewerte nachgewiesene gesundheitliche Probleme mit sich bringen. Wie bereits erwähnt, wird von der DGE eine tägliche Aufnahme von 7-10 mg empfohlen.

Betrachtet man eine mittelmäßig belastete Kultur wie das Weizenkorn, so würde man beim Verzehr von 1 kg Weizen mit einem durchschnittlichen Gehalt aus allen Varianten ca. 25 mg Zink aufnehmen.

Wegen des hohen Wassergehaltes beim Kürbis liegt die Zinkaufnahme beim Kürbisfleisch bei 1 mg/kg Frischmasse (Durchschnitt aller Düngevarianten).

Bezüglich der Aufteilung von Zink in der Frucht und im Stroh/Kraut zeigt sich folgendes:

- bei der Karotte, dem Kohlrabi, dem Schwarzen Rettich, dem Kürbisfleisch und der Kartoffelknolle liegt der Zinkgehalt in der Frucht unter dem in Stroh und Kraut
- beim Merrettich, den Getreiden und beim Raps verhält es sich umgekehrt.

Die Düngevariante Klärschlammkompost lässt sich im Hinblick auf erhöhte Zinkgehalte entlasten. Außer bei der Roten Rübe sind die Zinkgehalte dieser Düngemittelvariante immer erst an zweiter oder dritter Stelle.

In der Tierernährung empfiehlt man grundsätzlich einen Zinkgehalt im Futter von 20-50 mg/kg/TM (vgl. JEROCH, DROCHNER, und SIMON, 1999). Da Mais eine wichtige Kultur für die tierische Ernährung darstellen, sollte der Zinkgehalt davon genauer betrachtet werden. Die niedrigsten Zinkwerte wurden bei den Düngevarianten

Stallmistkompost und NPK mit ca. 10 mg/kg TM erzielt. Bei der Gerste liegen die Werte in der Trockenmasse bei 18 bis 32. Da sich die Werte der beiden Futterkulturen entweder unter den Empfehlungen bzw. im unteren Bereich der Empfehlung liegen, lässt sich keine Anreicherung des Futters mit Zink erkennen.

Anhand des **Zinkgehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.

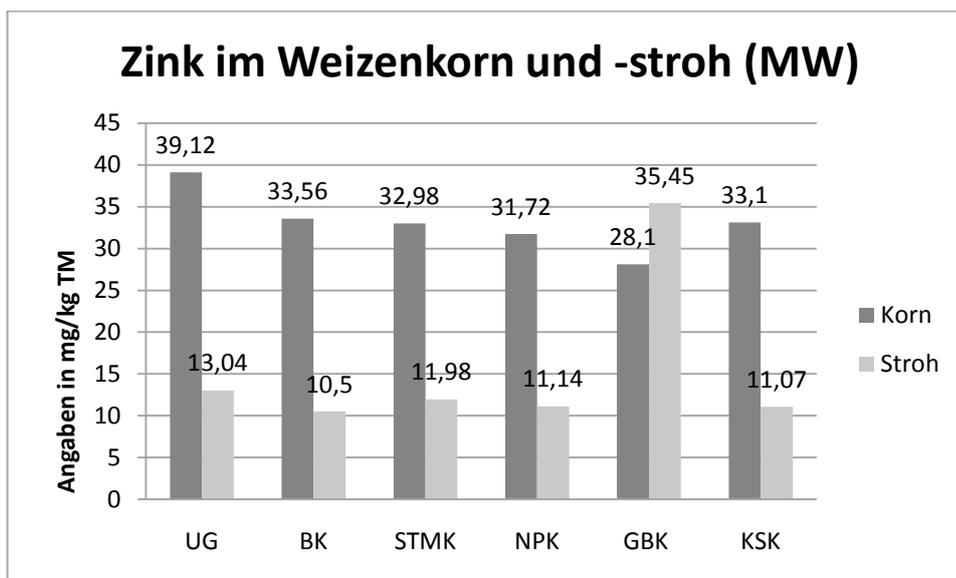


Abbildung 44: Zinkgehalte im Weizen (MW 1996-2007)

Beim Weizenkorn zeigen sich bezüglich dem Zinkgehalt in der Trockenmasse in den unterschiedlichen Düngevarianten keine großen Unterschiede.

Die höchste Zinkakkumulation im Weizenkorn konnte bei der ungedüngten Variante mit 39,12 mg/kg Trockenmasse und die niedrigste konnte bei der Variante Granulierter Biokompost mit 28,10 mg/kg Trockenmasse ermittelt werden.

Die mittleren Zinkgehalte im Stroh haben eine größere Schwankungsbreite. Den höchsten Wert erzielte der Granulierte Biokompost (wobei der Mittelwert aus nur 2 Messungen errechnet wurde) mit 35,45 mg/kg Trockenmasse. Da dieser Wert stark von den anderen Ergebnissen abweicht, ist die Aussagekraft in Frage zu stellen. Den zweithöchsten Wert erzielte die Variante ungedüngt mit 13,04 mg/kg Trockenmasse. Die Variante Stallmistkompost liegt mit 11,98 an dritter Stelle im Hinblick auf die Zinkakkumulation im Weizenstroh. Die restlichen Düngemittelvarianten ergeben Werte zwischen 10,5 mg/kg TM bei der Düngemittelvariante Biokompost und 11,14 mg/kg TM bei der Variante mineralisch gedüngt.

Tabelle 16: Zinkdaten Weizen in den unterschiedlichen Düngervarianten

<b>Zink</b>					
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>
Korn UG	5	20,900	90,000	28,913	39,120
Korn BK	5	21,500	62,300	16,697	33,560
Korn STMK	5	21,700	58,100	15,479	32,980
Korn NPK	5	21,200	49,900	11,183	31,720
Korn GBK	2	27,200	29,000	1,273	28,100
Korn KSK	3	21,500	53,800	17,970	33,100
Stroh UG.	5	5,600	18,900	5,366	13,040
Stroh BK	5	3,600	17,100	5,584	10,500
Stroh STMK	5	4,600	15,500	4,253	11,980
Stroh NPK	5	4,300	18,100	5,330	11,140
Stroh GBK		25,600	45,300	13,93	35,450
Stroh KSK		6,000	17,400	5,805	11,067
<b>Anmerkung:</b> N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert; SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert alle Angaben in mg/kg Trockenmasse					

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen pH-Wert-Mobilisierungsgrenze und Zinkgehalt im Grünfutter lässt sich nicht feststellen. Die Gehalte in den Futtermitteln Gerste und Mais liegen bei allen Düngermittelvarianten im mittleren bis unterem Bereich - eine Zinkanreicherung im Futter kann evt. empfohlen werden.

Im Weizenkorn findet sich der höchste Mittelwert bei der ungedüngten Variante mit 39,12 mg/kg Trockenmasse. An zweiter Stelle findet sich die Variante Biokompost mit 33,56 mg/kg, gefolgt von der Variante Klärschlammkompost 33,10 mg/kg Trockenmasse. Den niedrigsten Kupferwert erzielt die Variante Granulierter Biokompost 28,1 mg/kg Trockenmasse.

Im Weizenstroh bewegen sich die Gehalte bei zwischen 10,5 (Biokompost) und 13,6 mg/kg TM (Klärschlammkompost). Eine Ausnahme bildet die Düngermittelvariante des Granulierten Biokompostes 25,63 mg/kg TM.

3.2.5. Cadmium

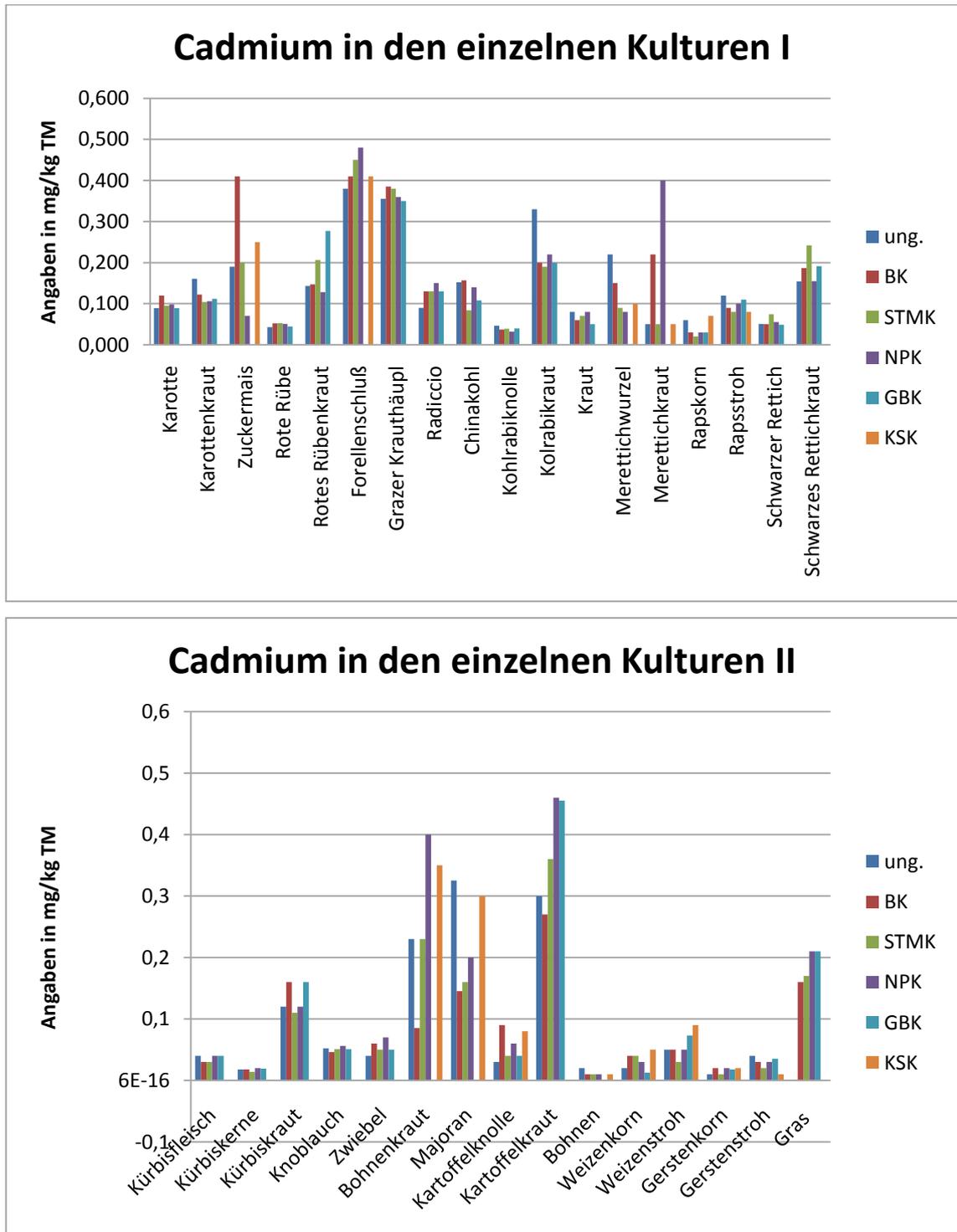
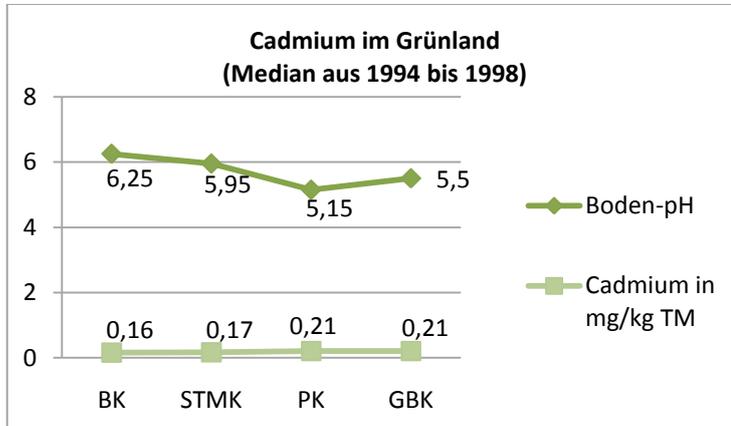


Abbildung 45: Analytierte Cadmiumgehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (Median aus den Daten von 1994-2007)

Bis heute gibt es keinen Hinweis auf eine essentielle Funktion von Cadmium, weshalb es als rein toxisches Element eingestuft wird. Cadmium ist eines der wenigen

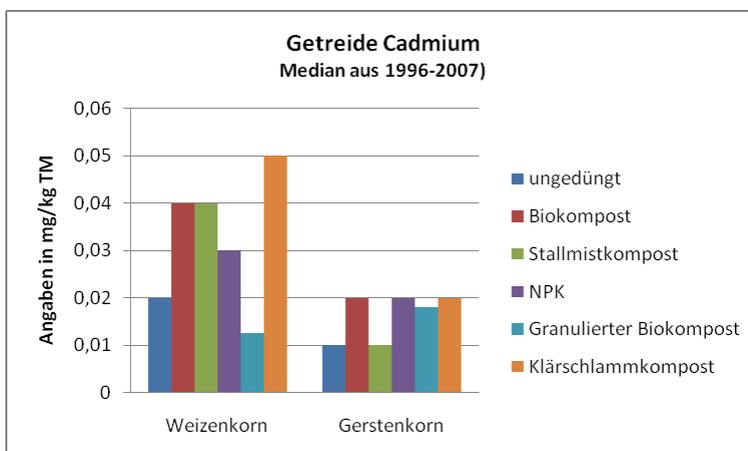
Spurenelemente, für welche von der EU Grenzwerte für den Gehalt in Lebens- und Futtermitteln vorgeschrieben sind. Die pH-Schwelle bei Cadmium liegt laut SCHILLING (2000) bei pH- Wert 6,5. Da im Grünland alle Boden-pH-Werte unter 6,5 liegen, sind hohe Cadmiumwerte im Grünfutter zu erwarten.



**Abbildung 46: Korrelation zwischen Boden-pH-Wert im Grünland und dem Cadmiumgehalt im Futter (med. 1994-1998)**

Mit den Ergebnissen aus dem Grünlandversuch im Wald am Schoberpass kann belegt werden, dass eine Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und den Cadmiumwerten in Grünfutter gegeben ist. Durch die Gabe von Bio- und Stallmistkompost steigt der pH-Wert im Boden, was sich sehr positiv auf die Cadmiumwerte im Futter auswirkt.

Cadmium ist eines der wenigen Schwermetalle, bei welchen die Kulturen



**Abbildung 47: Cadmiumgehalte im Weizen- und Gerstenkorn in den unterschiedlichen Düngervarianten (med. 1996-2007)**

Selbst ausgehend von 90% Trockenmasse beim frischen Getreide, liegt der höchste Gehalt an Cadmium bei der Kultur Weizen mit der Düngervariante Klärschlammkompost. Der Wert hierbei beträgt 0,045 mg/kg Frischmasse. Die

Forellenschluß und das Kartoffelkraut nicht extrem weit über den anderen Kulturwerten lagen.

Laut EU-Verordnung EG Nr. 1881/2006 sind für Getreide maximal 0,1 mg je kg Frischmasse erlaubt. Diese Grenzen wurden bei

allen Versuchsergebnissen bei weitem nicht erreicht.

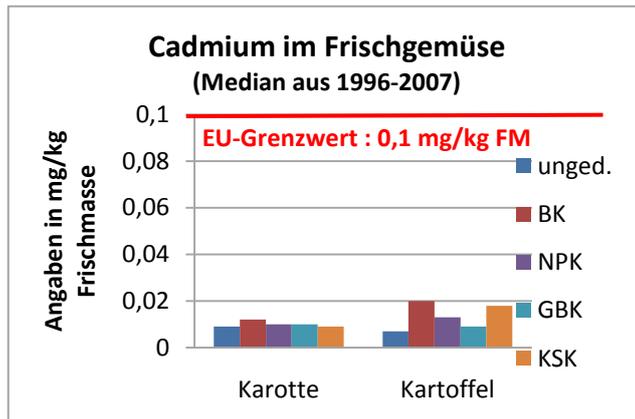


Abbildung 48: Cadmiumgeh. im Frischgemüse

Bedenken bzgl. Cadmium im Getreide können somit auch bei der Düngung mit Bio- oder Klärschlammkompost ausgeräumt werden.

Für geschälte Kartoffelknollen und Wurzelgemüse ist von der EU der Höchstwert von 0,1 mg/kg

Frischmasse vorgesehen.

Die Ergebnisse des Fruchtfolgeversuches in Bärnbach beziehen sich auf Kartoffeln mit Schale. Die niedrigsten Cadmiumwerte in der Frucht wurden bei der ungedüngten Variante mit 0,007 mg/kg Frischmasse, gefolgt von den Varianten Stallmist- und Granulierter Biokompost mit einem Wert von jeweils 0,009. Auf die Klärschlamm- und Biokompostvariante fallen mit 0,018 und 0,02 mg/kg Frischmasse die höchsten Cadmiumwerte. Betrachtet man die Ergebnisse im Vergleich zu der EU-Vorgabe, so können diese erfreulicherweise um das 5fache unterschritten werden.

Für die Karotte stellt sich ein ähnliches Bild wie bei der Kartoffelknolle dar. Der

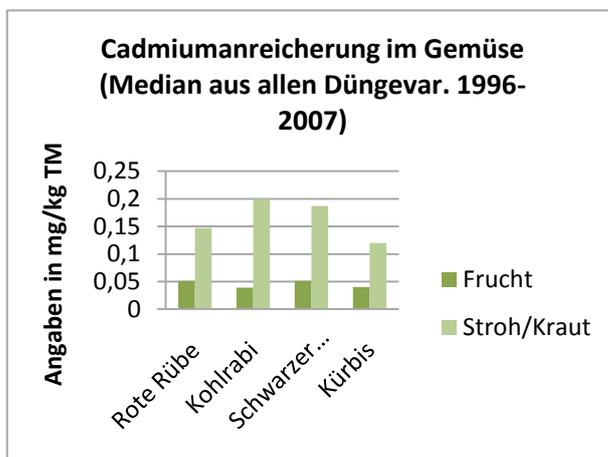


Abbildung 49: Cadmiumakkumulation in verschiedenen Pflanzenteilen im Gemüse

höchste Cadmiumwert wird ebenfalls bei der Variante Biokompost mit 0,012 mg/kg Frischmasse nachgewiesen. Der maximale Wert von 0,1 wird auch hierbei um ein vielfaches nicht erreicht. Die Vorgabe von maximal 0,2 mg/kg Cadmium bei Blattgemüse konnte

ebenso wie die Vorgabe von maximal 0,05 mg/kg Gemüse bei allen

Kulturen in allen Düngevarianten eingehalten werden. Somit stellt das toxische Element Cadmium bezüglich verschiedenster Düngemittelwahl (bei korrekter Anwendung) für die Humanernährung keine Gefährdung dar.

Die Aufteilung der Cadmiumanreicherung in Frucht und Stroh/Kraut ist wie bei den meisten Spurenelementen die gleiche. Große Akkumulationsdifferenzen in den

Pflanzenteilen finden sich vor allem bei der Roten Rübe, beim Kohlrabi, beim Schwarzen Rettich und beim Kürbis. Die Unterschiede bei den Getreiden und beim Raps sind deutlich geringer.

Für die Tierernährung werden die Cadmiumgehalte in Allein-, Ergänzungs- und Mineralfuttermittel in der Richtlinie 2005/87/EG geregelt. Für Alleinfuttermittel gilt eine Höchstgrenze von 0,5 bis 2 mg/kg ausgehend von einem Feuchtigkeitsgehalt von 12%. Diese Höchstwerte liegen über denen in der Humanernährung und werden im Fruchtfolgeversuch somit bei weitem unterschritten.

Anhand des **Cadmiumgehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.

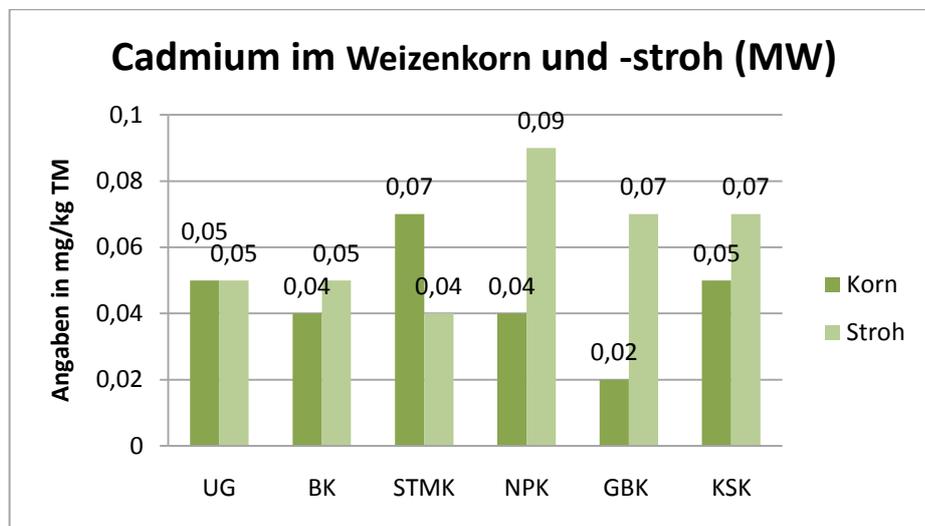


Abbildung 50: Cadmiumwerte im Weizen (MW 1996-2007)

Das Weizenkorn wies bei der Variante Stallmistkompost den höchsten Mittelwert an Cadmium (bei 5 Wiederholungen) mit 0,074 mg/kg TM auf. Gefolgt von der Variante Klärschlammkompost mit 0,05 mg/kg TM (3 Wiederholungen), der ungedüngten Variante mit 0,048 mg/kg TM und mit fast gleichen Ergebnissen rangieren der Biokompost mit 0,038 mg/kg TM und die rein mineralisch gedüngte Variante mit 0,037 mg/kg TM auf den Plätzen 4 und 5. Den geringsten Cadmiumgehalt im Korn wies der Granulierte Biokompost mit 0,023 mg/kg Trockenmasse auf.

Cadmium akkumuliert sich im Stroh bei unterschiedlichen Düngemittelvarianten in anderer Reihenfolge als im Korn. Der höchste Mittelwert von 0,089 mg/kg Stroh konnte bei der mineralischen Düngemittelvariante errechnet werden. Gefolgt wurde dieser Mittelwert von den Varianten Granulierter Biokompost und Klärschlammkompost mit jeweils 0,073 mg/kg TM. Die Düngemittelvariante Biokompost liegt mit 0,053 mg/kg

TM im Mittelfeld. Die geringste Cadmiumverunreinigung sind bei den Varianten ungedüngt mit 0,049 mg/kg TM und 0,041 mg/kg Trockenmasse zu finden.

**Tabelle 17: Cadmiumdaten Weizen bei den unterschiedlichen Düngervarianten**

<b>Cadmium</b>					
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>
Korn UG	5	0,018	0,130	0,048	0,048
Korn BK	5	0,020	0,060	0,017	0,038
Korn STMK	5	0,020	0,240	0,093	0,074
Korn NPK	5	0,020	0,050	0,014	0,037
Korn GBK	2	0,020	0,025	0,004	0,023
Korn KSK	3	0,030	0,070	0,020	0,050
Stroh UG.	5	0,020	0,080	0,023	0,049
Stroh BK	5	0,020	0,100	0,030	0,053
Stroh STMK	5	0,020	0,050	0,014	0,041
Stroh NPK	5	0,020	0,310	0,124	0,089
Stroh GBK	2	0,056	0,090	0,024	0,073
Stroh KSK	3	0,030	0,140	0,059	0,073

**Anmerkung:** N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert;  
SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert,  
alle Angaben in mg/kg Trockenmasse

Ein Zusammenhang zwischen Boden-pH-Wert und Cadmium im Grünfütter kann nicht festgestellt werden; der Boden-pH lag im Grünlandversuch auch am Versuchsende bei allen Düngermittelvarianten unter der Mobilisierungsgrenze von 6,5.

Der EU-Grenzwert für Getreide und Gemüse liegt bei 0,1 mg/kg Frischmasse. Dieser Wert wurde weder beim Getreide noch bei irgendeinem Gemüse im Fruchtfolgeversuch bei keiner Düngermittelvariante überschritten. Den höchsten Gehalt bei den Getreiden erzielte der Weizen mittels Klärschlammkompostdüngung. Er lag bei 0,045 mg/kg Frischmasse. Bei den Gemüsen Kartoffelknolle und Karottenrübe lagen die Werte in allen Düngermittelvarianten unter 0,2 mg/kg Frischmasse.

Bei vielen Kulturarten zeigte sich das gleiche Muster wie bei den vielen Schwermetallen/Spurenelementen. Die Akkumulation von Cadmium findet vor allem in den nicht zur Ernährung verwendeten Pflanzenteilen (Kraut, Stroh).

Im Weizenkorn und -stroh zeigen sich große Schwankungen bzgl. Gehaltswerte bei unterschiedlichen Düngungsmittelvarianten.

Die höchsten Anreicherungen mit Cadmium im Weizenkorn konnte bei der Variante Stallmistkompost mit 0,074 mg/kg TM, gefolgt von der Variante Klärschlammkompost mit 0,05 mg/kg TM ermittelt werden. Der niedrigste Cadmiumgehalt wird bei der Variante Granulierter Biokompost mit 0,023 mg/kg TM ermittelt.

Beim Weizenstroh findet die Akkumulation absteigend in folgender Reihenfolge statt: mineralisch gedüngt (0,089 mg/kg TM), Granulierter Biokompost und Klärschlammkompost (je 0,073 mg/kg TM), Biokompost (0,053 mg/kg TM), ungedüngt (0,049 mg/kg TM) und Stallmistkompost (0,041 mg/kg TM).

3.2.6. Blei

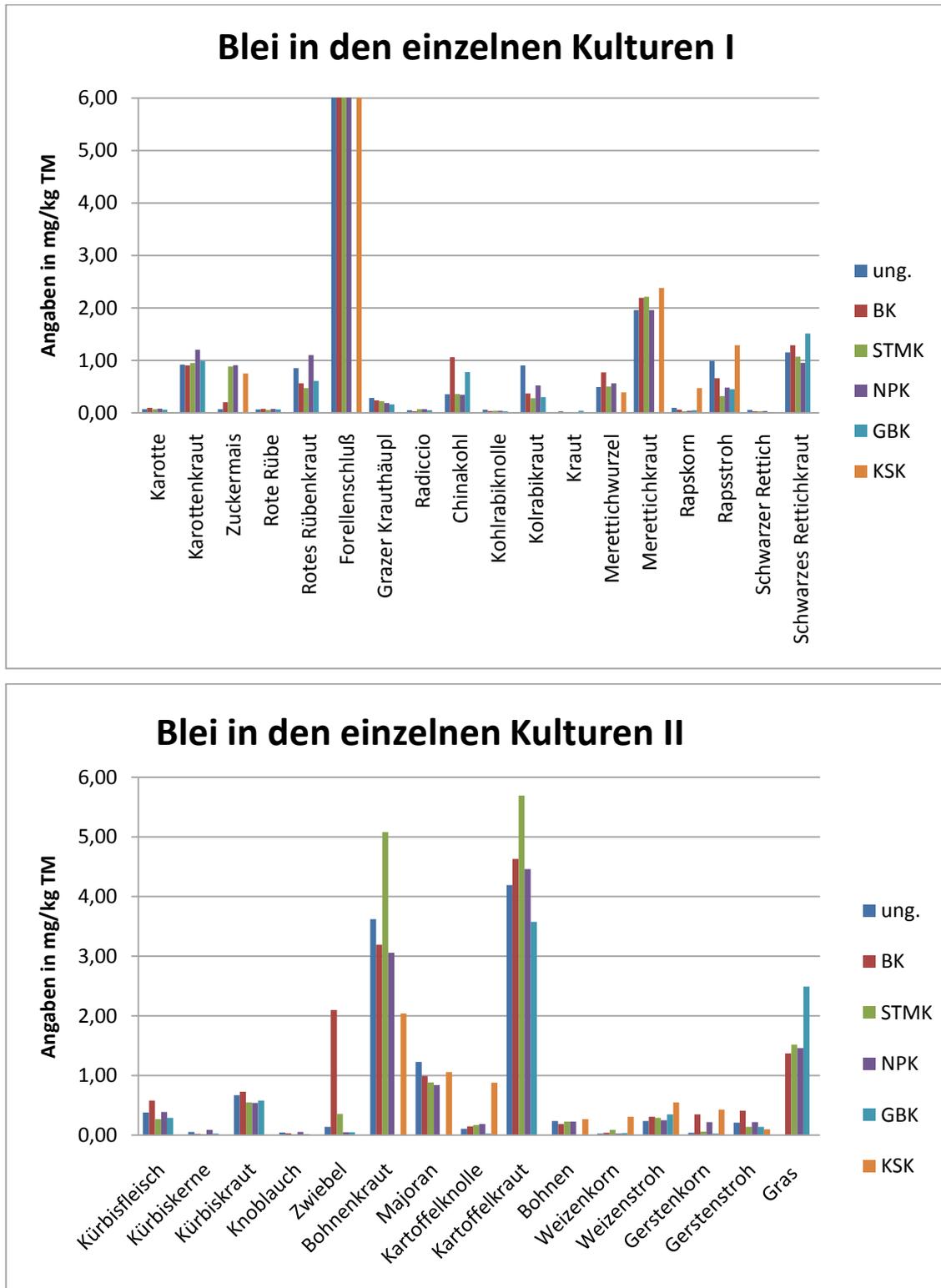


Abbildung 51: Analytierte Bleigehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (Median aus den Daten aus 1994-2007)

Blei hat keine bisher bekannte essentielle Funktion und gilt somit, wie Cadmium, als rein toxisches Element.

Laut ALLOWAY (1999) wird das Bleiaufnahmevermögen von Pflanzen durch eine Reihe von Bodenfaktoren beeinflusst. Der Boden-pH spielt dabei eine untergeordnete Rolle. SCHILLING (2000) gibt die pH-Schwelle der Schwermetallmobilisierung mit 4 an.

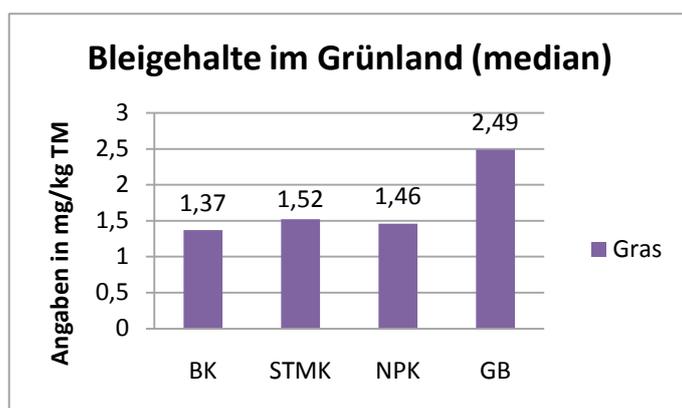


Abbildung 52: Bleigehalte im Grünfütter (med. 1994-1998)

Die medianen Bleiwerte im Grünfütter bewegen sich zwischen 1,37 beim Biokompost und 2,49 mg/kg Trockenmasse beim Granulierter Biokompost. Für die Wiederkäuerernährung gibt es keine speziellen Vorschriften für Bleigehalte im Futter. Die vorliegenden Ergebnisse für Bleigehalte im

Grünland lassen eine Empfehlung für die Düngung mit Biokomposten zu, da in dieser die Bleigehalte am niedrigsten waren. Am schlechtesten schnitt die Variante „Granulierter Biokompost“ ab, welche deutlich höhere Bleigehalte als die anderen drei Varianten aufzeigten.

In der EU-Verordnung EG Nr. 1881/2006 wird die Höchstgrenze für Blei in Lebensmitteln mit 0,2 bei Getreide, mit 0,1 für Gemüse und geschälte Kartoffelknollen und mit 0,3 mg/kg Frischmasse für Blattgemüse gesetzt.

Blei stellt vor allem bei der Düngung mit Klärschlammkompost ein Problem dar.

Betrachtet man die Kulturen Weizen, Gerste, Rote Rübe, Kohlrabi und Kartoffelknolle, werden die Grenzwerte beim Gerstenkorn in der Variante Bio- mit 60%, in der Variante Klärschlammkompost mit 95 % und beim Weizenkorn in der Variante Klärschlammkompost mit 40 % überschritten. Alle anderen Düngervarianten bleiben unter der vorgegebenen Höchstgrenze.

Die durchschnittlichen Bleiwerte in den Komposten (in mg/kg Trockenmasse) lagen beim Biokompost bei 43,69, beim Stallmistkompost bei 16,47 und beim Klärschlammkompost bei 32,73 mg/kg Trockenmasse. Die hohe Konzentration im den

Erntefrüchten beim Klärschlammkompost lässt sich also nicht mit den Gehalten in den Komposten erklären, da etwa gleichviel Trockenmasse an Biokompost sowie an Stallmistkompost auf das Feld aufgebracht wurde.

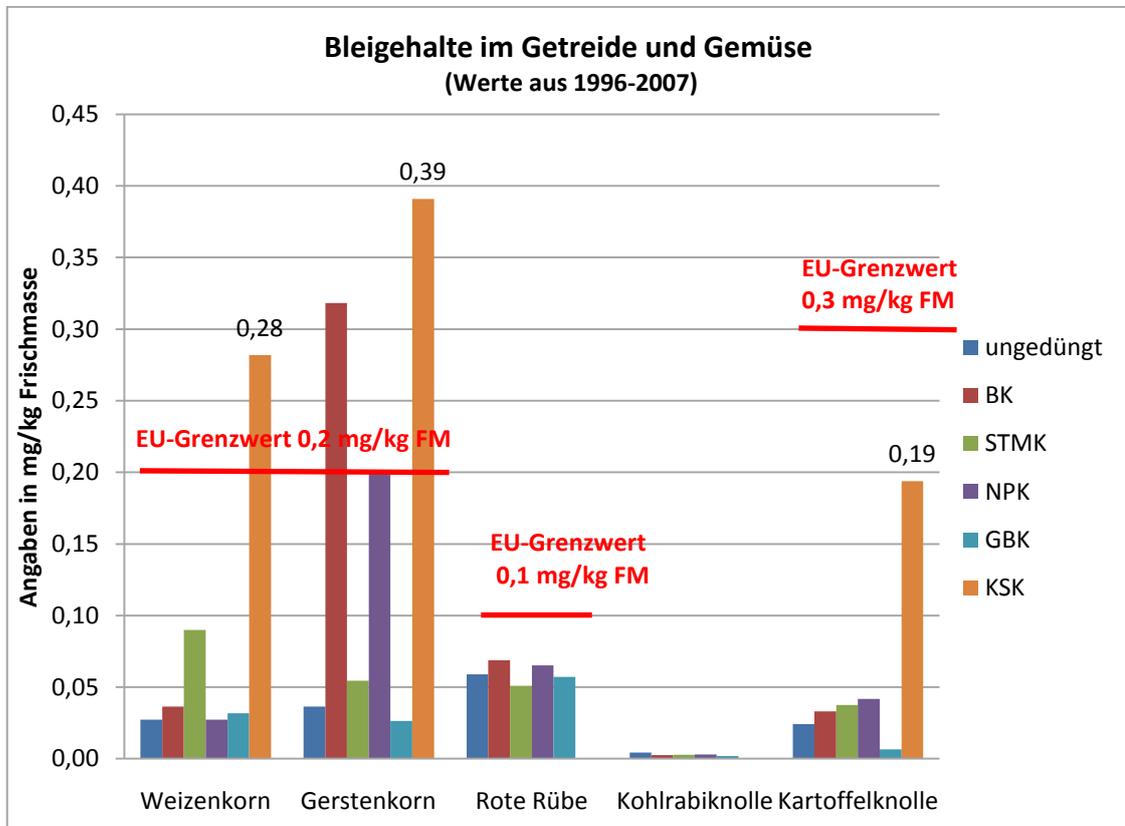


Abbildung 53: Bleigehalte in Getreide und Gemüse und die dazugehörigen Grenzwerte der EU (med. 1996-2007)

Blattsalatergebnisse im Hinblick auf die Klärschlammkompostdüngung liegen leider nicht vor, da seit 2002 nur mehr der Blattsalat Forellenschluß gepflanzt wurde. Dieser

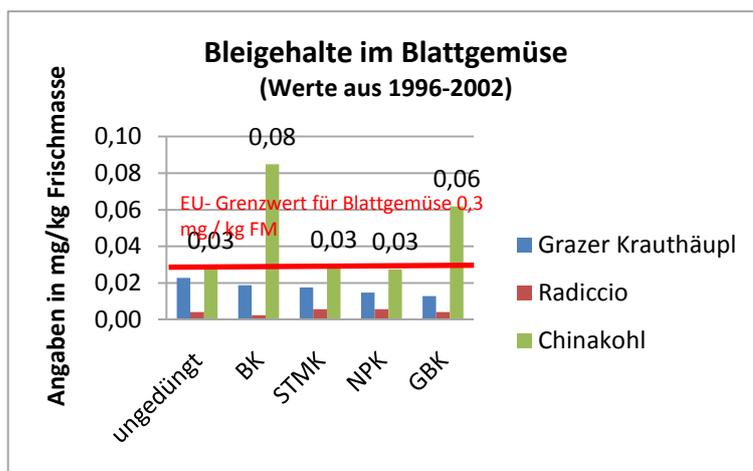


Abbildung 54: Bleigehalte im Blattgemüse und die dazugehörigen EU-Grenzwerte (med. 1996-2002)

wird jedoch nicht zur Diskussion herangezogen, da die Ergebnisse unglaublich hoch sind. Die Höchstgrenze der EU liegt für Blei im Blattgemüse bei 0,3 mg je kg Frischmasse. Für die Sorten im

Fruchtfolgeversuch wurde

ein Trockenmassegehalt von 8 % angenommen. Beim Radicchio und beim Grazer Krauthäupl wurden bei allen Düngervarianten die Grenzen für Blei eingehalten. Vor allem beim Radicchio sind die Bleigehalte sehr gering; am besten schnitt die Variante Biokompost ab. Beim Chinakohl wird der, von der EU gesetzte, Grenzwert um 266 % in der Variante Biokompost und um 100 % bei der Variante granulierter Biokompost überschritten.

Die

Akkumulation

von Blei in den

Pflanzenteilen

findet vor allem

in den

„Abfällen“ wie

Stroh und Kraut

statt.

Die

Höchstgehalte

für

unerwünschte

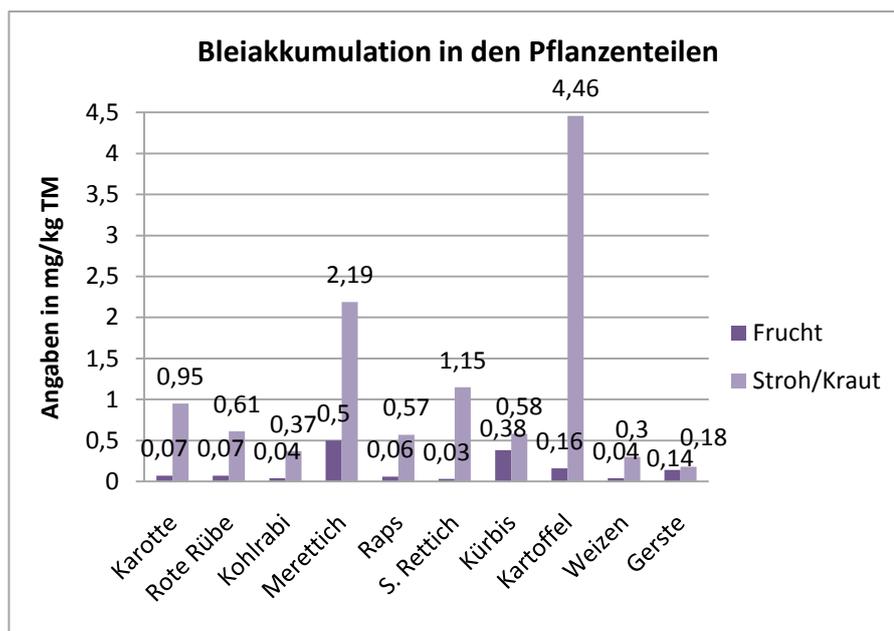
Stoffe in der

Tierernährung

werden in der Richtlinie RL 2005/87/EG für Blei mit 5 mg/kg Frischmasse (bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 12%) beim Alleinfuttermittel, mit 10 mg/kg Frischmasse beim Ergänzungs- und mit 15 mg/kg beim Mineralfuttermittel festgelegt. Getreide wurde bereits bei den Lebensmitteln diskutiert. Da die Grenzwerte in der Tierernährung über denen der Humanernährung liegen, können die Vorgaben auch beim Weizenkorn in der Variante Klärschlammkompost und beim Gerstenkorn in den Varianten Bio- und Klärschlammkompost eingehalten werden.

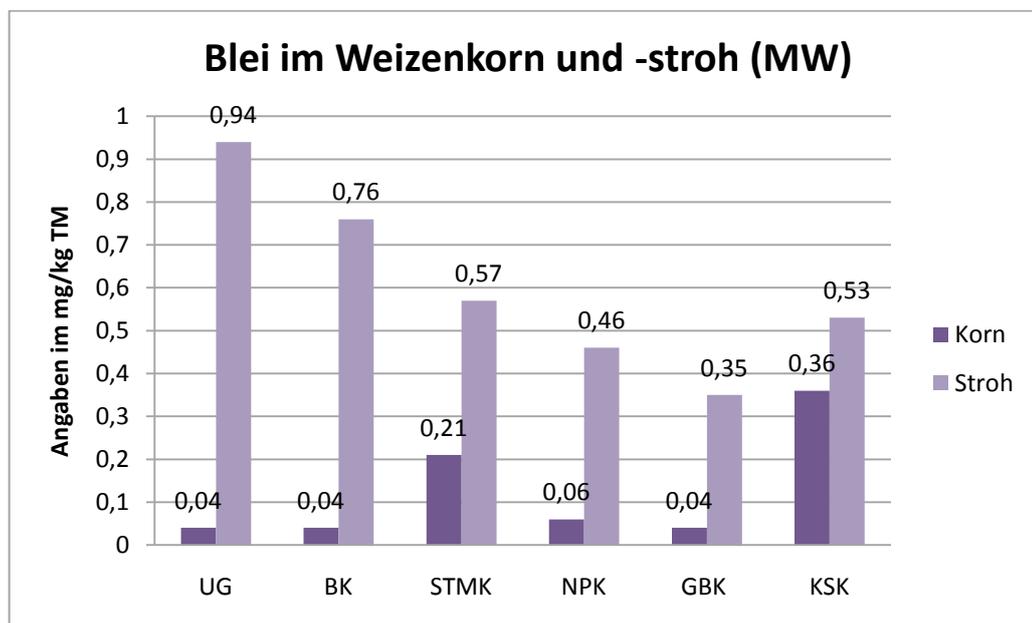
Für den Klärschlammkompost ist vom Bundesland Steiermark eine jährliche Fracht von 250 g/ha erlaubt. Im Fruchtfolgeversuch lag die mediane Schwermetellfracht aus vier Jahren bei

120 Gramm pro Hektar.



**Abbildung 55: Bleiakкумуляtion in den Pflanzenteilen verschiedener Gemüsearten (med. 1996-2007)**

Anhand des **Bleigehaltes in Korn und Stroh** des Lebens- und Futtermittels Weizen werden **Unterschiede bei den sechs Düngemittelvarianten** dargestellt.



**Abbildung 56: Bleigehalte im Weizen (MW 1996-2007)**

Sowohl beim Weizenkorn als auch beim Weizenstroh lassen sich große Unterschiede im Bleigehalt je nach Düngemittelvariante feststellen.

Beim Weizenkorn weist die Variante Klärschlammkompost mit einem Mittelwert von 0,36 mg/kg TM aus 3 Messungen die höchste Bleibelastung auf. Der EU-Grenzwert von 0,2 mg/kg Frischmasse wird selbst bei Einberechnung von den ca. 12% Feuchtigkeit eindeutig überschritten und bedarf genauerer Untersuchung. An zweiter Stelle findet sich die Variante Stallmistkompost mit einem gemittelten Bleigehalt von 0,214 mg/kg Trockenmasse. Alle übrigen Varianten zeigen eine deutlich niedrigere Bleikontamination im Weizenkorn. Die Werte liegen zwischen 0,056 mg/kg TM bei der mineralisch gedüngten Variante und 0,035 mg/kg TM beim Granulierten Biokompost.

Im Weizenstroh findet sich in der ungedüngten Variante mit 0,944 mg/kg Trockenmasse der höchste Bleigehalt. Gefolgt wird dieses Ergebnis von der Variante Biokompost mit 0,758 mg/kg TM und der Variante Klärschlammkompost mit 0,53 mg/kg TM. Wie beim Weizenkorn zeigt die Variante Granulierter Biokompost den geringsten Kontaminationswert auf. Er liegt im Stroh bei 0,35 mg/kg Trockenmasse.

Tabelle 18: Bleidaten Weizen bei den unterschiedlichen Düngervarianten

<b>Blei</b>					
<b>Düngervariante</b>	<b>N</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>SD</b>	<b>MW</b>
Korn UG	5	0,000	0,060	0,025	0,036
Korn BK	5	0,020	0,080	0,025	0,042
Korn STMK	5	0,020	0,860	0,364	0,214
Korn NPK	5	0,020	0,150	0,054	0,056
Korn GBK	2	0,020	0,050	0,021	0,035
Korn KSK	3	0,010	0,760	0,377	0,360
Stroh UG.	5	0,120	3,500	1,449	0,944
Stroh BK	5	0,060	2,640	1,068	0,758
Stroh STMK	5	0,080	2,000	0,805	0,570
Stroh NPK	5	0,040	1,400	0,545	0,456
Stroh GBK	2	0,19	0,51	0,226	0,350
Stroh KSK	3	0,120	0,920	0,400	0,530
<b>Anmerkung:</b>	N = Anzahl der Werte; Min. = kleinster Wert; Max. = größter Wert; SD = Standardabweichung; MW = Mittelwert, alle Angaben in mg/kg Trockenmasse				

Für das rein toxische Element gibt es im Hinblick auf Gehalte im Grünfutter keine Vorschriften. Es kann jedoch empfohlen werden, Wiesenflächen mit Biokompost zu düngen, da diese Variante geringfügig niedrigere Bleiwerte (mediane Berechnung) im Gras aufwies als welche, die mit den Düngervarianten mineralischen und Stallmistkompost bearbeitet wurden.

Im Lebensmittelbereich kommt es beim Schwermetall Blei zu ein paar wenigen Grenzwertüberschreitungen von EU-Vorgaben.

Bei den Getreiden Weizen und Gerste kommt es vor allem bei der Variante Klärschlammkompost zu stark erhöhten Werten im Korn. Auch die Variante Biokompost im Gerstenkorn überschreitet die vorgegebenen Grenzen weit. Auch beim Chinakohl werden bei den Düngermittelvarianten Biokompost und Granulierter Biokompost die Grenzwerte überschritten.

Die Überschreitungen bedürfen besonderer Aufmerksamkeit und weiterer Untersuchungen, da sie nicht mit erhöhten Werten in den Düngermitteln in Zusammenhang gebracht werden können.

Bei der exemplarisch betrachteten Kultur Weizen im Hinblick auf die Düngemittelvariante lassen sich große Unterschiede feststellen.

Die höchste Akkumulation im Korn findet beim Klärschlammkompost mit 0,36 mg/kg TM statt. Gefolgt von der Variante Stallmistkompost mit 0,21 mg/kg. Alle übrigen Variante zeigen geringe Gehalte zwischen 0,035 bei der Variante Granulierter Biokompost und 0,56 mg/kg TM bei der Variante mineralisch gedüngt auf.

Beim Weizenstroh sind die Bleigehalte bei der ungedüngten und bei der mit Biokompost gedüngten Variante mit Abstand die höchsten Ergebnisse ermittelt worden.

## 3.2.7. Arsen

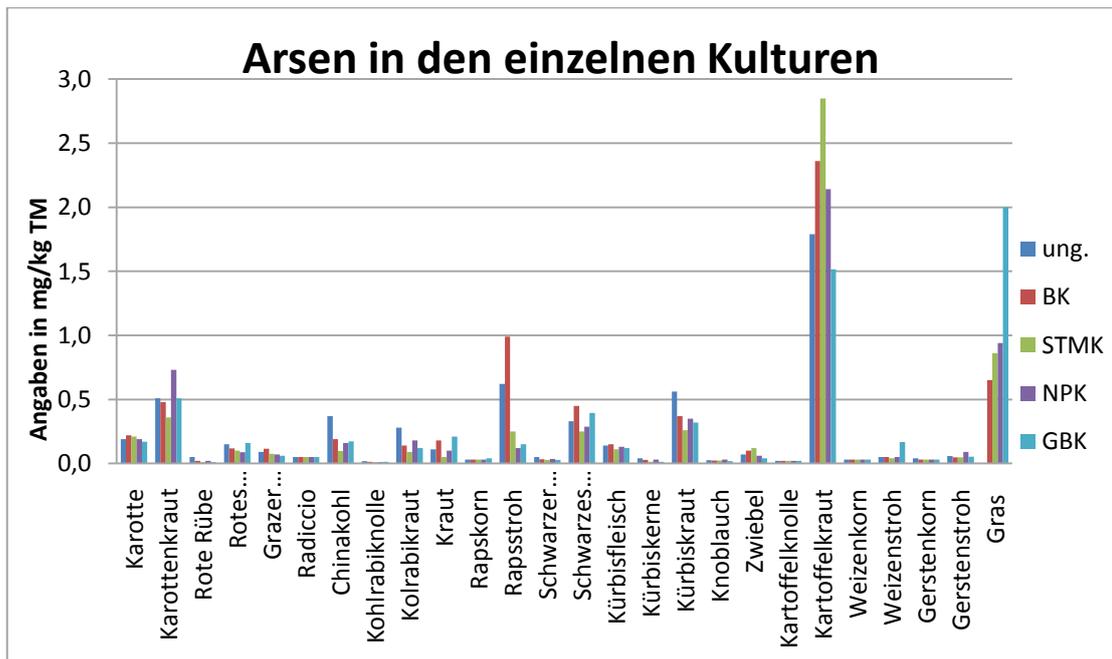


Abbildung 57: Analytierte Arsengehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (MW 1994-2002)

Einige Arsenverbindungen sind in geringen Dosen toxisch, einige organische Arsenverbindungen wurden/werden als Tierfutterzusatz zur Wachstumsförderung und für eine höhere Fortpflanzungsleistung von Hühnern, Truthühnern und Schweinen eingesetzt.

Für die Humanernährung wird ein ADI-Wert von 50 Mikrogramm/kg Körpergewicht vorgeschlagen. Das sind täglich 3,5 Milligramm bei einem 70 kg schweren Menschen.

Laut ALLOWAY (1999) ist die Arsenaufnahme terrestrischer Pflanzen eher gering, weshalb Pflanzen auch auf relativ arsenreichen Böden üblicherweise keine gefährlichen Werte

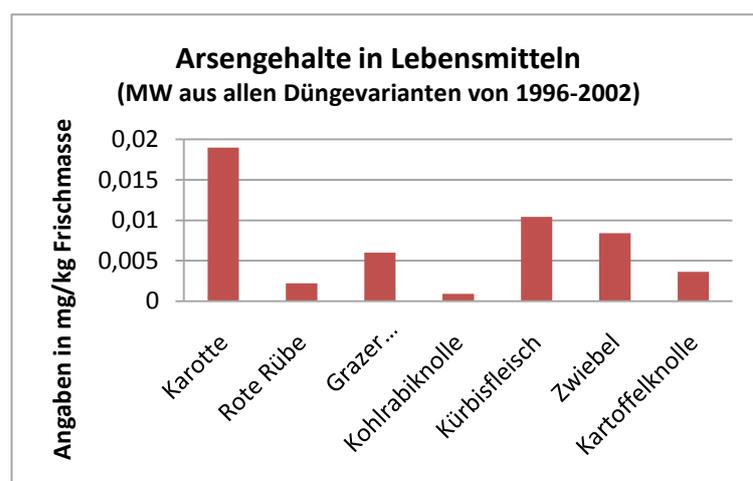


Abbildung 58: Arsengehalte in verschiedenen Gemüsearten (MW 1996-2002)

Grund dafür sein, dass es für Arsen in Lebensmitteln weder von der Europäischen Union noch von Österreich keine vorgeschriebenen Grenzwerte gibt. Laut RADERMACHER-REUTER und WENZEL (2003) sind die Arsenhauptaufnahmequellen Fische und Muscheln.

Betrachtet man die für die menschliche Ernährung genutzten Pflanzenteile von Karotte, Roter Rübe, Kürbisfleisch, Zwiebel und Kartoffel, so ergibt sich für den Fruchtfolgeversuch folgendes Ergebnis:

Es ist für einen Menschen kaum möglich, den ADI-Wert durch Konsumation von Gemüse aus dem Fruchtfolgeversuch zu erreichen bzw. zu überschreiten. Karotte ist eine Kultur mit vergleichsweise hohen Arsenwerten in der Wurzel; für 3,5 Milligramm müssten jedoch 194 kg frische Karotten gegessen werden.

Die Anreicherung von Arsen in den einzelnen Pflanzenteilen findet, außer beim Getreide, zum überwiegenden Teil in den „Abfällen“ statt. Die Werte im Kraut übersteigen die Werte in der Frucht meist um ein Vielfaches.

In der Tierernährung sind die Höchstwerte von der RL 2009/141/EU geregelt. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 12 % darf ein Alleinfuttermittel 2, ein Ergänzungsfuttermittel 4 und ein Mineralfuttermittel 12 mg/kg Frischmasse enthalten. Diese gesetzlichen Vorgaben können eingehalten werden.

Die empfohlenen Vorsorgewerte für die Humanernährung können für alle Kulturen in allen Düngemittelvarianten bei Arsen eingehalten werden. Es ist kaum bis nicht möglich, die empfohlenen Werte mittels im Lebensmittel aus dem Fruchtfolgeversuch zu erreichen. Ebenso kann EU-Richtlinie für die tierische Ernährung eingehalten werden.

Egal mit welchem Düngemittel gearbeitet wird, im Hinblick auf Arsen kann Entwarnung gegeben werden.

3.2.8. Selen

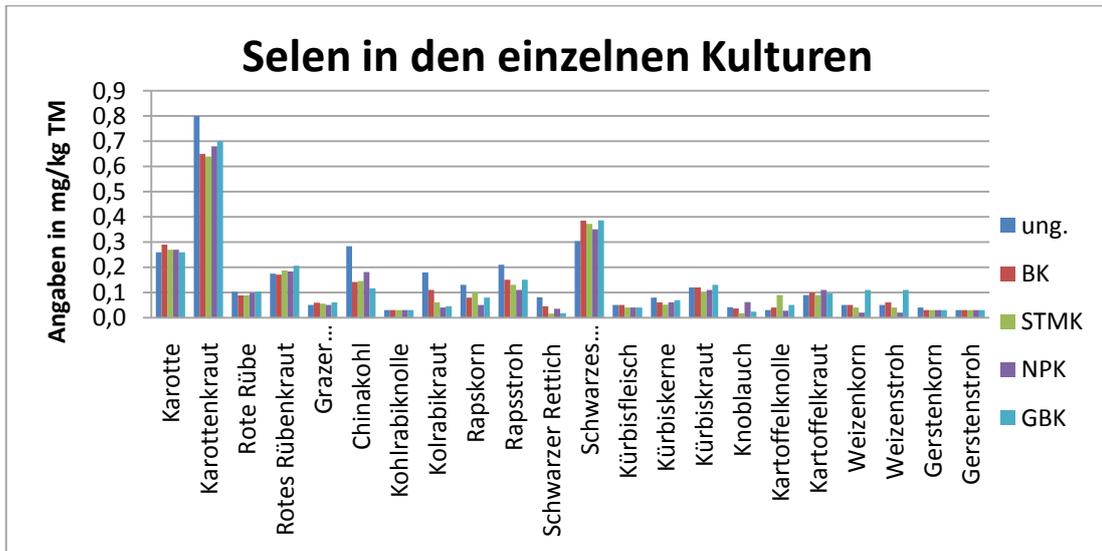
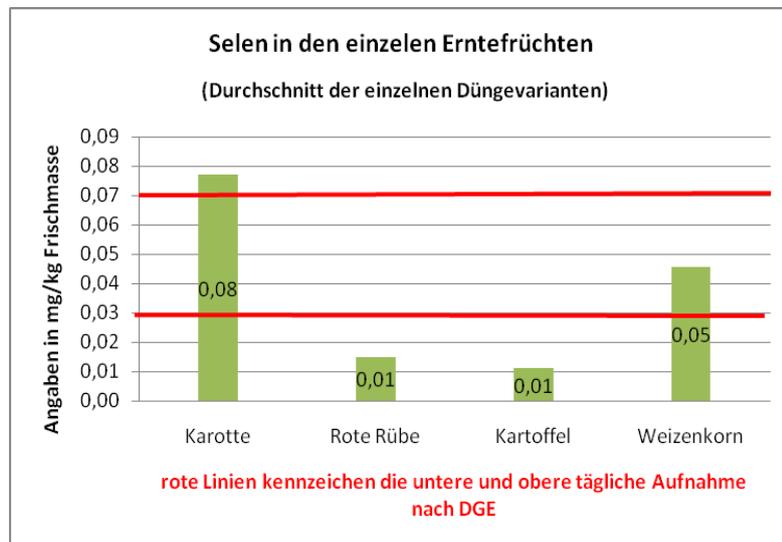


Abbildung 59: Analytierte Selengehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (MW 1994-2002)

Selen gehört zu den essentiellen Spurenelementen.

Der Selengehalt in den Pflanzen wird von einer Reihe, unter anderem stark vom Boden-pH-Wert, beeinflusst.

Die deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 30-70 Mikrogramm/Tag/Erwachsenen (DGL, 2010). Das entspricht 0,03-0,07 mg.



Der Durchschnitt aller Düngemittelvarianten bei der Karotte

Abbildung 60: Selengehalte verschiedener Gemüsearten (MW 1996-2002)

beinhaltet zB 0,08 mg/kg Frischmasse. Bei der Roten Rübe und bei der Kartoffelknolle liegt der Durchschnittswert für die Frischmasse bei 0,01 mg/kg Frischmasse. Der

Selengehalt des Weizenkorn liegt mit 0,05 mg/kg zwischen den vorher genannten Früchten.

Für Tiere kann Selen, je nach Menge, sowohl zu Mangelercheinungen als auch zu Vergiftungen führen. Laut JEROCH, DROCHNER, und ORTWIN, (1999) liegt der Bedarf für Kühe, Schafe und Ferkel bei 0,2-0,3 mg/kg Futter (Trockenmasse) und für Geflügel bei 0,3 mg/kg. Den Angaben zufolge müssten sowohl bei Ferkeln als auch bei Hühnern bei der alleinigen Fütterung mit Gerste und Weizen eine Selenergänzung gemacht werden.

Da die Selenwerte bei den Früchten Großteils unter 0,2 mg/kg TM liegen, sind Vergiftungserscheinungen (bei Wiederkäuern ab 4 bis 5 mg/kg TM und bei Scheinen ab 2 mg/kg Trockenmasse) durch Erntefrüchte des Fruchtfolgeversuches auszuschließen. Die Selentoxizität ist vor allem bei Weidetieren häufig. Da leider keine Selenwerte für den Grünlandversuch vorhanden sind, können diese nicht diskutiert werden.

In der Humanernährung dürften die Selengehalte der Erntefrüchte keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit darstellen.

Die Selengehalte von Futtergetreide liegen im unterem Bereich. Eine Empfehlung zur Selenanreicherung des Futters kann für Kühe, Schafe und Ferkel ausgesprochen werden.

3.2.9. Molybdän

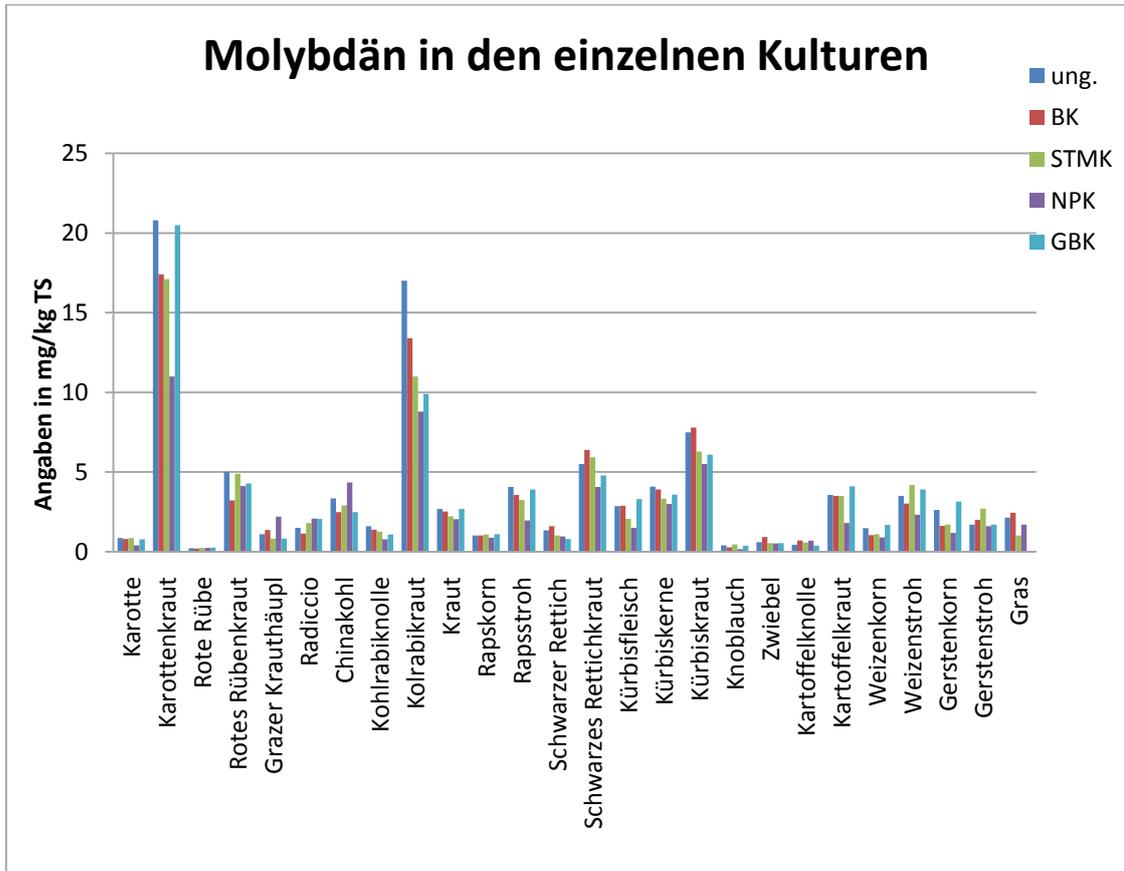


Abbildung 61: Analyisierte Molybdängehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (MW 1994-2002)

Molybdän verhält sich bezüglich pH-Wert-Fixierung umgekehrt wie die meisten anderen Spurenelemente. Mit steigendem pH-Wert geht Molybdän verstärkt in Lösung.

In Grünland kann der Nachweis für die größere Verfügbarkeit von Molybdän im Boden

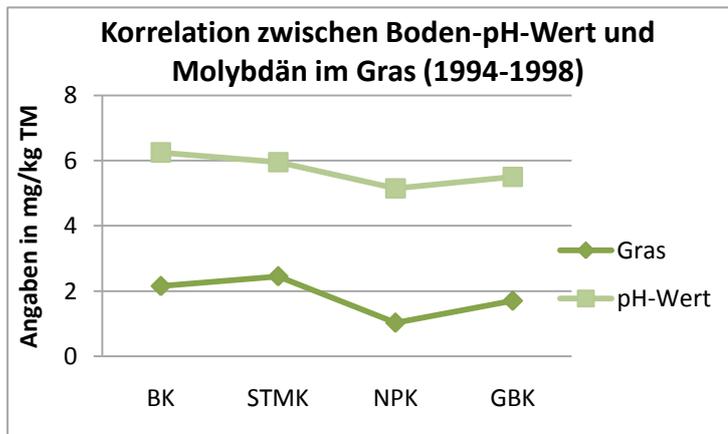


Abbildung 62: Korrelation zwischen Boden-pH-Wert und Molybdängehalte im Gras (MW 1994-2002)

mit steigendem pH-Wert erbracht werden. Da es sich bei Molybdän in der richtigen Dosis um ein essentielles Spurenelement handelt, ist die Bedenklichkeit bei höheren Gehalten von Molybdän im

Gras bei Düngung mit Bio-

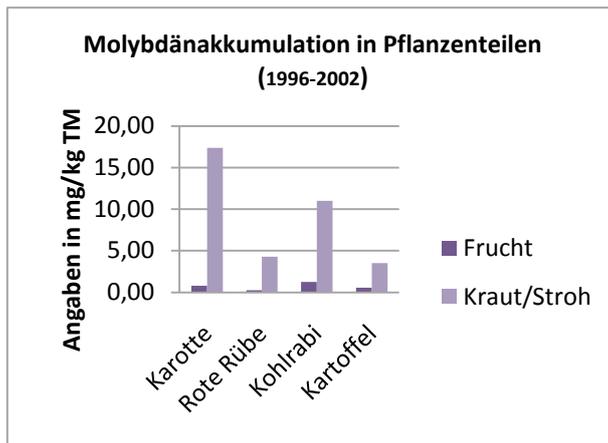


Abbildung 63: Molybdänakkumulation in verschiedenen Pflanzenteilen (MW 1996-2002)

und Stallmistkompost nicht als gefährlich zu betrachten.

Obwohl sich die Boden-pH-Werte im Fruchtfolgeversuch in Bärnbach im Bezug auf die Düngung kaum unterscheidet, sind die Molybdängehalte bei den Düngevarianten Bio- und Stallmistkompost meist höher als bei den anderen Varianten. Für die Klärschlammkompostvariante gibt

es leider keine Ergebnisse, da Molybdän aus Kostengründen nur in der ersten Versuchsperiode (bis 2002) analysiert wurde.

Vor allem bei Gemüsearten, bei welchen mengenmäßig viel von Menschen verzehrt werden, finden sich interessanterweise sehr geringe Molybdänwerte in den essbaren Anteilen der Pflanze. Diese Akkumulation in Stroh und Kraut ist eindeutig belegbar. Die Unterschiede sind vor allem bei der Karotte, bei der Roten Rübe, beim Schwarzen Rettich

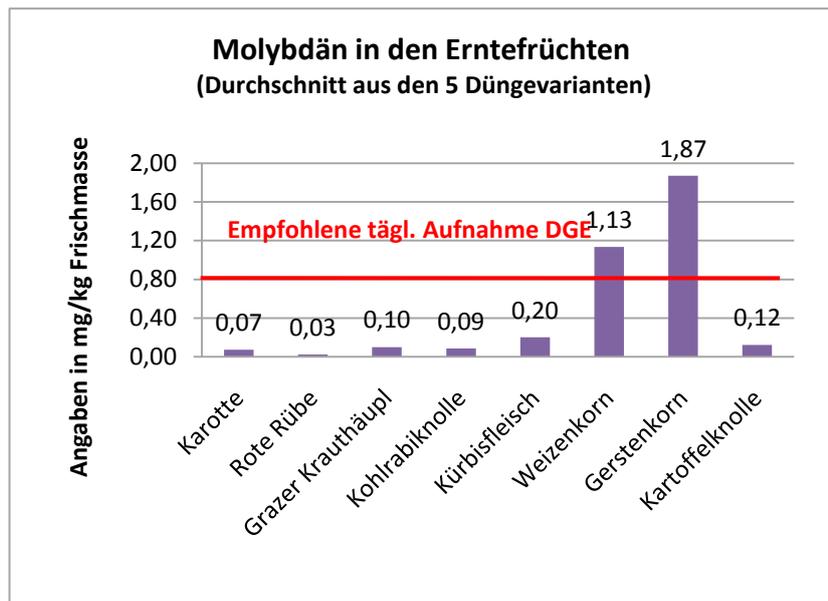


Abbildung 64: Molybdängehalt verschiedener Erntefrüchte (MW 1996-2002)

und bei der Kartoffel stark ausgeprägt.

Es gibt weder für Lebensmittel noch für Futtermittel Vorgaben über die erlaubten Gehalte an Molybdän. Die Deutsche Gesellschaft empfiehlt eine tägliche Aufnahme für einen Erwachsenen von 50-100 Mikrogramm/Tag, was einem Wert von 0,05 bis 0,1

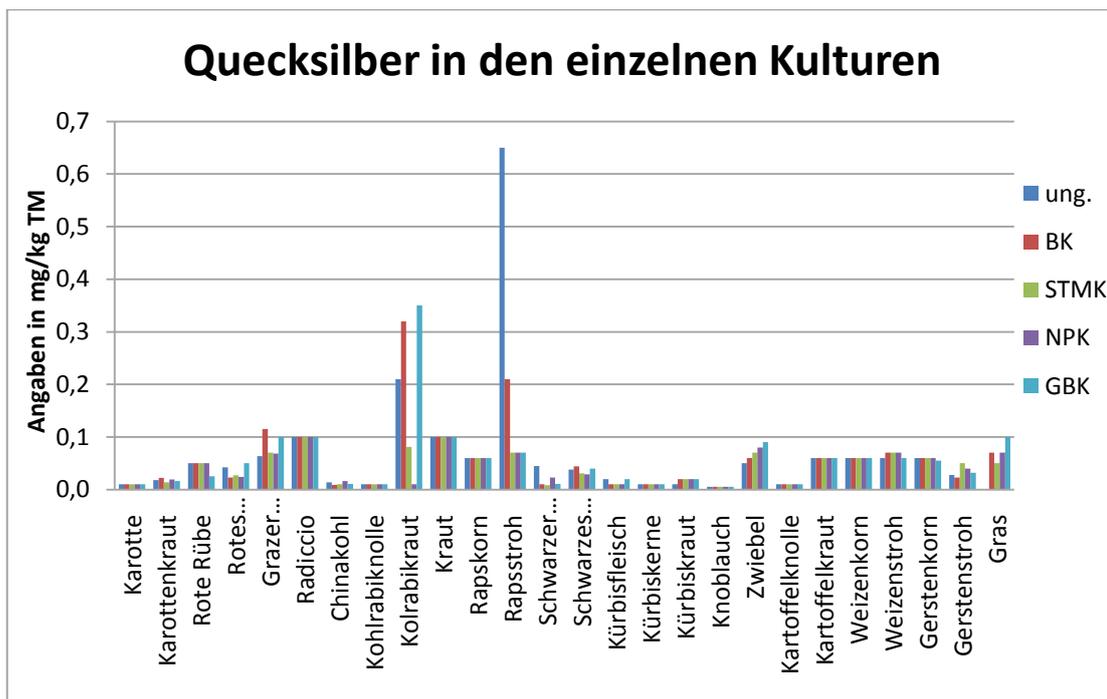
mg/Tag entspricht. Bei den Gemüsen Karotte, Roter Rübe, Kohlrabi und Grazer Krauthäupl müssten 1 kg Frischmasse täglich verzehrt werden, um eine Überschreitung der Grenzwerte zu erreichen. Für die Getreidekörner wären gerade mal 50 bis 100 g frische Masse notwendig, um die empfohlene Grenze der DGE zu überschreiten.

Laut RADERMACHER-REUTER und WENZEL (2003) ist die Toxizität von Molybdän gering. Klinisch manifeste Symptome sind erst bei einer täglichen Aufnahme von 10-15 mg Molybdän bei einem Erwachsenen zu erwarten. Die tägliche Aufnahme mit der Nahrung wird mit ca. 0,09 bis 0,18 mg Molybdän/Erwachsenen angegeben.

Den Angaben zufolge dürfte die Überschreitung der DGE-Empfehlungen von Molybdän bei Gersten- und Weizenkorn keine negativen Auswirkungen mit sich ziehen. Für die Variante Klärschlammkompost gibt es leider keine Untersuchungsergebnisse.

Die Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und dem Molybdängehalt im Grünland kann bewiesen werden. Die Molybdänkonzentrationen in den Erntefrüchten dürften keine negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen haben.

## 3.2.10. Quecksilber



**Abbildung 65: Analytierte Molybdängehalte vom Grünland und der Kulturen im Fruchtfolgeversuch (MW 1994-2002)**

Bislang ist für Quecksilber keine essentielle biologische Funktion bekannt. Es ist extrem toxisch für Menschen und Tiere. Die Verfügbarkeit von Bodenquecksilber für die Pflanzen ist gering und die Wurzeln wirken als Barriere gegen die Aufnahme.

Von der WHO wird ein Vorsorgewert von 50 Mikrogramm (was einem Wert von 0,05 mg entspricht) für einen erwachsenen Menschen täglich empfohlen.

Lebensmittelhöchstgehalte bei Quecksilber werden von der EU für Kulturen, welche in dem Versuch in Bärnbach verwendet wurden, nicht vorgeschrieben. Laut RADERMACHER-REUTER und WENZEL sind die Hauptquellen für Quecksilber der Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten. Die untersuchten Kulturen weisen, bis auf die Ausreißer Kohlrabikraut und Rapsstroh, Werte unter 10 mg/kg TM auf. Betrachtet man das Weizenkorn, welches bei allen Düngemittelvarianten gleiche Gehaltswerte, so beinhaltet es bei einem kg Frischmasse die 55 Mikrogramm Quecksilber und überschreitet den Vorsorgewert der EU nur wenig. Da die meisten Menschen mit der Nahrungsmittelenergie eines Kilogrammes Weizens mit Energie überversorgt werden, stellt der Weizen mit Sicherheit kein gesundheitliches Problem im Hinblick auf die Quecksilberbelastung dar. Alle anderen Kulturfrüchte weisen einen weit höheren

Wassergehalt und somit weniger Quecksilber je kg Frischmasse auf. Die Gefahr einer Toxifikation ist kaum gegeben. Um ein Beispiel zu nennen: die Karottenrübe im Fruchtfolgeversuch hatte in einem kg Trockenmasse einen Gehalt von 0,01 mg Quecksilber in der Trockenmasse. Dies entspricht 0,001 mg/kg Frischmasse oder in Mikrogramm ausgedrückt: 1 Mikrogramm/kg Frischmasse. Es müssten 50 kg Karotten verzehrt werden, um die empfohlene tägliche Aufnahmemenge von der WHO zu überschreiten.

Für die Tierernährung wurde der Höchstgrenzwert für Quecksilber mit 0,1 mg/kg Frischmasse (mit 12% Feuchtigkeit) in der Richtlinie RL 2010/6 EU festgesetzt.

Die Hauptfutterarten im Fruchtfolgeversuch sind Weizen, Gerste und das Rapskorn und im Grünlandversuch das Grünfutter. Rechnet man den EU-Grenzwert (Frischmasse mit 12 % Feuchtigkeit) auf die Trockenmasse um, so ergibt sich ein erlaubter Quecksilberwert von 0,114 mg/kg TM. Dieser wird bei keiner der

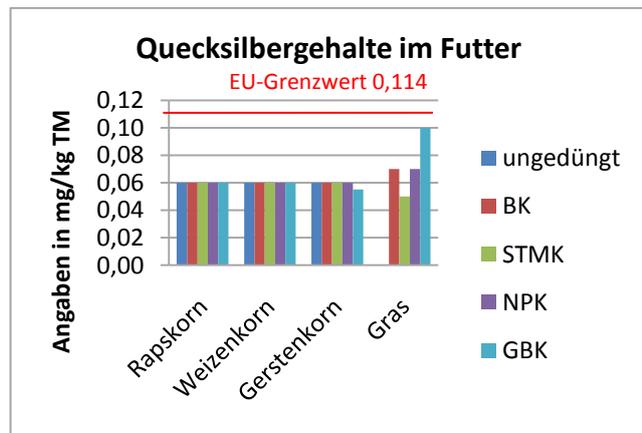


Abbildung 66: Quecksilbergehalte im Futter (MW 1994-2002)

Futterarten überschritten. Die Kulturen Raps, Weizen und Gerste weisen einen einheitlich gleichen Gehalt von Quecksilber in der Trockenmasse auf. Dies zeugt davon, dass weder die Pflanzenart noch die Düngungsvariante einen großen Einfluss auf die Quecksilberakkumulation in den Erntefrüchten hat.

Für die Akkumulation in den einzelnen Pflanzenteilen lassen sich nur wenige klare Ergebnisse erkennen. Laut Datenbestand nehmen das Kohlrabikraut und Kartoffelkraut wesentlich mehr Quecksilber auf, als die essbaren Anteile. Bei den übrigen Kulturen lässt sich diese Tendenz jedoch nicht eindeutig feststellen.

Die Grenzwerte bezüglich Quecksilbers stellen in der tierischen Ernährung in allen Düngervarianten kein Problem dar. Auch die empfohlenen Quecksilbergehalte in der Humanernährung können eingehalten werden. Die Düngervariante Klärschlammkompost wurde hinsichtlich Quecksilbers nicht untersucht.

## 4. Zusammenfassung

Kompostierung stellt für biologische "Abfälle" und Klärschlämme eine zentrale und sinnvolle Verwertungsmöglichkeit dar. Es drängt sich die Frage auf, inwieweit sich Schwermetalle und Spurenelemente durch landwirtschaftlich verwendeten Komposte auf die Systeme Boden und Pflanze auswirken.

Ziel dieser Arbeit war es, Unterschiede bei der Anreicherung von Schwermetallen und Spurenelementen im Boden und in Pflanzenteilen bei sechs unterschiedlichen Düngungsvarianten herauszuarbeiten und die Unbedenklichkeit für Konsumenten und Landwirte bei sachgerechter Kompostanwendung zu belegen.

Datengrundlage für diese Arbeit bildeten zwei steirische Feldversuche, welche am Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft des Landwirtschaftlichen Forschungszentrums Raumberg-Gumpenstein unter der Leitung von Dr. Karl Buchgraber angelegt und betreut wurden.

Der von 1994 bis 1998 laufende Grünlandversuch in Wald am Schoberpaß umfasste 36 Versuchspartzen. Der seit 1996 laufende, sechsschlägige Fruchtfolgeversuch (Ergebnisse in der Arbeit bis 2007) in Bärnbach wird in 6 Blöcken mit je 20 Versuchspartzen (5 Düngemittel mit 4 Wiederholungen) geführt. Die Versuchspartzen wurden über Jahre hindurch mit nur einem Düngemittel gedüngt. In regelmäßigen Abständen wurden/werden verschiedenste Parameter des Bodens und der Pflanzenteile erhoben.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Daten von 10 verschiedenen Elementen für die Darstellung von Bodenbilanzen und Akkumulation in Pflanzenteilen herangezogen.

Die positive Wirkung von Bio- und Stallmistkompost auf die Steigerung der Bodenkennwerte pH-Wert und Humus konnte in beiden Versuchen erbracht werden.

**Chrom** erzielt bei den drei Kompostdüngervarianten höhere Werte im Boden als die anderen Dünger bzw. die ungedüngte Variante; die vorgeschriebenen Grenzwerte für Frachten und Bodengehalte konnten aber eingehalten werden. In der Pflanze akkumuliert sich Chrom vor allem in den ungenießbaren Pflanzenteilen. Gesetzliche Vorgaben bezüglich Chromgehalts in Nahrungsmitteln gibt es weder von der EU noch von Österreich.

Für **Nickel** zeigten sich trotz stark unterschiedlicher Frachtenanlieferung bei den Düngermittelvarianten nach 4jähriger Versuchsdauer im Grünland und 6jähriger Versuchsdauer im Fruchtfolgeversuch kaum Unterschiede in den Königswasserauszugproben.

In der Pflanze akkumulierte sich Nickel vor allem in den für den Menschen ungenießbaren Pflanzenteilen. Der Beweis, dass sich Nickel mit sinkenden pH-Wert verstärkt in der Pflanze anreichert, konnte im Grünland erbracht werden.

Für **Kupfer** konnten die errechneten Bodenbilanzen, welche bei Bio- und Stallmistkompost höher lagen als bei den übrigen, weder im Grünland noch im Fruchtfolgeversuch durch Bodenproben belegt werden. Die gesetzlichen Grenzwerte konnten bei allen Düngermittelvarianten eingehalten werden. In Grünland wurden die Empfehlungen für Kupfer im Futter, welche bei 8 mg/kg TM liegt, bei allen Düngermittelvarianten leicht überschritten. Sie lagen zwischen 9,15 mg/kg TM bei der Variante granulierter Biokompost und 8,19 mg/kg TM bei der mineralisch gedüngten Variante. Der Einfluss der Düngermittelvariante stellte bei der Weizenpflanze im Fruchtfolgeversuch nur geringe Unterschiede dar. Die Kupferwerte im Weizenkorn waren höher als im Stroh.

Für **Zink** lagen die Bodenprobenwerte sowohl nach dem 6jährigen Fruchtfolgeversuch als auch nach dem 4jährigen Grünlandversuch bei allen Düngermittelvarianten im Normalbereich. Ein Zusammenhang zwischen Zinkakkumulation im Gras und pH-Wert ließ sich nach 4jähriger Versuchsdauer im Grünland nicht beweisen. In der Weizenpflanze des Fruchtfolgeversuches wurde Zink vor allem im Korn eingelagert.

Ebenso wie bei Zink, lagen die **Cadmiumbodenprobenwerte** nach 4 Jahren im Grünland und nach 6 Jahren im Fruchtfolgeversuch bei allen Düngervarianten im Normalbereich.

Die Grenzwerte für Cadmium in Futtermitteln wurden bei allen Düngermittelvarianten bestens eingehalten.

Die errechneten Bodenbilanzen für **Blei** ließen einen starken Anstieg der Bleiwerte für die mit Kompost gedüngten Flächen erwarten. Die Bleiwerte im Boden zeigten jedoch nach der 4jährigen Versuchsdauer im Grünland und nach der 6jährigen Versuchsdauer im Fruchtfolgeversuch nur geringfügige Unterschiede bei den verschiedenen Düngermittelvarianten auf.

Die Bleiwerte im Grünfutter lagen bei allen Düngervarianten (mit Ausnahme des Granulierten Biokompostes) eng beisammen.

Die Grenzwerte für Blei wurden im Weizenkorn bei der Düngermittelvariante Klärschlammkompost und im Gerstenkorn bei den Varianten Bio- und Klärschlammkompost überschritten und bedürfen weiterer Untersuchungen.

Im Hinblick auf die Elemente **Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber** kann laut den Analyseergebnissen der Erntefrüchte nach 4 Jahren im Grünland- und nach 12 Jahren im Fruchtfolgeversuch eine Düngerempfehlung für die verschiedenen Komposte ausgesprochen werden, da die gesetzlichen Richtlinien bestens eingehalten werden konnten.

## 5. Literaturverzeichnis

ALLOWAY, B. (1995): Schwermetalle in Böden. Berlin: Springer Verlag.

AMLINGER, F., PEYR, S. und GESZTI, J. (2006): Evaluierung der nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

ARGE KOMPOST UND BIOGAS: Verschiedene Beiträge. Auf: <http://www.kompost-biogas.info/> (05.06.2010).

BODENSCHUTZGESETZ OBERÖSTERREICH (2002): LGBl. Nr. 50

BUCHGRABER, K. (1999): Abschlussbericht „Streuversuche“ – Einsatz von Biokompost als Düngemittel in der Landwirtschaft. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz; Saubermacher; Graz, F. Url & Co, Raab.

BUCHGRABER, K. (2002): Abschlussbericht – Einsatz von Biokompost als Düngemittel in der Landwirtschaft. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz; Saubermacher; Graz, F. Url & Co, Raab.

BUCHGRABER, K., AMLINGER, F. und TULNIK, R.: Kompost in der Landwirtschaft einsetzen und produzieren. Sonderbeilage der Fortschrittliche Landwirt. s.a.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT DEUSCHLAND (2009): Liste der für Futtermittel zugelassenen Zusatzstoffe. Auf: <http://www.bvl.bund.de/> (15.06.2010).

BUNDESGESETZBLATT für die Republik Österreich (2001): Kompostverordnung BGBl. II Nr. 292/2001.

---

BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST (2009): Bioabfall. Köln-Gremberghoven. Auf: <http://www.kompost.de/> (10.04.2010)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT DEUTSCHLAND (2010): Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft. Auf: <http://www.bmu.de> (20.06.2010).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT DEUTSCHLAND (2006): BioAbfV – Bioabfallverordnung (Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Auf: <http://www.bmu.de> (05.06.2010)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT DEUTSCHLAND (2009): Verwertung von Bioabfällen. Auf: <http://www.bmu.de> (05.06.2010)

BUNDEDESUMWELTMINISTERIUM DEUTSCHLAND (2006): Verwertung von Bioabfällen, Bioabfallverwertung in den 25 EU-Staaten und Norwegen und Entwicklung der Kompostqualität. Auf: <http://www.bmu.de> (25.04.2010)

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG (2010): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr für Erwachsene. Auf: <http://www.dge.de> (15.05.2010)

EU-RICHTLINIE(1986): Richtlinie 86/278/EWG über die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft sowie die Anhänge I A, I B, I C und II A.

EU-RICHTLINIE (2010): Richtlinie 2010/6/EU der Kommission vom 9. Februar 2010 zur Änderung des Anhangs I der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Bezug auf Quecksilber, freies Gossypol, Nitrite und Mowrah, Bassia, Madhuca

---

EU-RICHTLINIE (2009): Richtlinie 2009/141/EG der Kommission vom 23. November 2009

zur Änderung von Anhang I der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte für Arsen, Theobromin, Datura sp.

EU-VERORDNUNG (2003): (EG) Nr. 1334/2003 der Kommission vom 25. Juli 2003 zur Änderung der Bedingungen für die Zulassung einer Reihe von zur Gruppe der Spurenelemente zählenden Futtermittelzusatzstoffen

EU-VERORDNUNG (2006): (EG) Nr. 1881/2006 Der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten für Lebensmittel.

FIEDLER, H. J. und RÖSLER, H. J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart

JEROCH, H.; DROCHNER, W. und SIMON O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

KEHRES, B. (1991): Zur Qualität von Kompost aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen. Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel, 1991.

KLAGHOFER, E. und MÜLLER, H. jun (2003): Anforderungen des Bodens für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Klärschlammseminar 2003, TU-Wien.

KLÄRSCHLAMM- UND MÜLLKOMPOSTVERORDNUNG BURGENLAND (1991)

KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG STEIERMARK (2007)

KLÄRSCHLAMM- UND KOMPOSTVERORDNUNG KÄRNTEN (2000)

KOMPOSTVERORDNUNG ÖSTERREICH BGBl. II Nr. 292/2001 (2001)

---

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (2010): „Boden-kann er unser Klima schützen?“ und „Humus – wichtig für Boden, gut für Klima“. Auf: [www.agrarnet.info](http://www.agrarnet.info) (26.06.2010)

ÖNORM S 2202 (1994): Anwendungsrichtlinien für Komposte

ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT (2010): Schwermetalle in Futtermitteln, auf: <http://www.ages.at/ages/ueber-uns/landwirtschaft/zentrum-fuer-analytik-mikrobiologie/chemische-analytik/schwermetalle-in-futtermittel/> (05.06.2010)

PEYR, S. (2000): Die Qualität österreichischer Komposte aus der getrennten Sammlung unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallproblematik. Wien: Diplomarbeit, Univ. für Bodenkultur.

PFUNDTNER, E. (1998): Anwendungsrichtlinien für Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Wien.

RADERMACHER-REUTER, G. und WENZEL, C. (2003): Mineralstoffe und Spurenelemente. Ralf Reglin Verlag, Köln.

SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart.

SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Eugen Ulmer Verlag, Berlin.

SCHOLZ, H. (1996): Mineralstoffe + Spurenelemente. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

SCHWARZ, S. und FREUDENSCHUß, A. (2004): Referenzwerte für Schwermetalle in Oberböden. Umweltbundesamt GmbH, Wien

---

UMWELTBUNDESAMT (2008): Der Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2008, Umweltbundesamt Klagenfurt. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (15.04.2010).

UMWELTBUNDESAMT (2000): Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at/> (14.04.2010).

UMWELTBUNDESAMT (2008): Bundesabfallwirtschaftsplan 2008, Umweltbundesamt GmbH, Abteilung Abfallwirtschaft, Klagenfurt. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (14.06.2010).

UMWELTBUNDESAMT (2010): Klärschlammeinsatz. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (14.06.2010).

UMWELTBUNDESAMT (2009): Oliva, J.; Bernhardt,A.; Reisinger, H.; Domenig, M. & Krammer, H.-J.: Klärschlamm– Materialien zur Abfallwirtschaft. Report, REP-0221. Umweltbundesamt, Klagenfurt, Wien. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (15.06.2010).

UMWELTBUNDESAMT (2000): Zehetner, G., Götz, B. und Amlinger, F.: Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung. Monographien Band 133, Umweltbundesamt Wien. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (15.06.2010).

UMWELTBUNDESAMT (1997): Scharf, S., Schneider, M. und Zehetner, G.: Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich. Umweltbundesamt, Wien. Auf: <http://www.umweltbundesamt.at> (16.06.2010).

UMWELTINFORMATION STEIERMARK (2010) – Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Auf: <http://www.umwelt.steiermark.at> (13.03.2010).

---

VERORDNUNG über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden - Bioabfallverordnung Deutschland - BioAbfV

vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955)

VERORDNUNG ÜBER DAS AKTIONSPROGRAMM (2008): Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen – Aktionsprogramm 2008. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Wien. Auf: <http://www.lebensministerium.at/> (04.06.2010).

WECOBIS (2009): Ökologisches Baustoffinformationssystem- Lexikon-Schwermetalle. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin. Auf: <http://www.wecobis.iai.fzk.de> (05.06.2010).

WELZEL, N. (s.a.): Kompost & Biogas Österreich. Auf: <http://www.oejc.at> (22.06.2010)

## 6. Anhang

Der größte und wichtigste Teil des Anhanges für die vorliegende Diplomarbeit wird von den Schwermetall- und Spurenelementbilanzen des Bodens bei unterschiedlicher Düngung im Fruchtfolgeversuch Bärnbach gebildet. Da die Tabellen aufgrund der Größe auch bei Verkleinerung auf Schriftgröße 8 nicht durchgängig auf einem A3-Format gedruckt werden können, wird der gesamte Anhang digital auf der beiliegenden CD sowohl als Excel-Datei als auch als PDF zur Verfügung gestellt.

Anbei ein Überblick über den Anhang:

Anhang 1: Bilanzergebnisse aller Varianten

Anhang 2: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 1

Anhang 3: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 2

Anhang 4: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 3

Anhang 5: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 4

Anhang 6: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 5

Anhang 7: Fruchtfolgeversuch Bilanz Block 6

Anhang 8: Grünlandversuch Bilanz

Anhang 9: Schwermetalle und Spurenelemente in Blattsalaten

Anhang 10: Schwermetalle und Spurenelemente Bohnenkraut 2007

Anhang 11: Schwermetalle und Spurenelemente in Buschbohnen 2004

Anhang 12: Schwermetalle und Spurenelemente in der Gerste (1996-2007)

Anhang 13: Schwermetalle und Spurenelemente im Gras 1994-1998

Anhang 14: Schwermetalle und Spurenelemente in der Karotte 1999

Anhang 15: Schwermetalle und Spurenelemente in der Kartoffel 1996-2007

Anhang 16: Schwermetalle und Spurenelemente im Knoblauch 2000

Anhang 17: Schwermetalle und Spurenelemente im Kohlrabi 2001

Anhang 18: Schwermetalle und Spurenelemente im Kraut 1997

Anhang 19: Schwermetalle und Spurenelemente im Kren 2005-2006

Anhang 20: Schwermetalle und Spurenelemente im Kürbis 1998 und 2001

Anhang 21: Schwermetalle und Spurenelemente im Majoran 2007

Anhang 22: Schwermetalle und Spurenelemente im Raps 1996-2007

Anhang 23: Schwermetalle und Spurenelemente in der Roten Rüben 1998

Anhang 24: Schwermetalle und Spurenelemente im Schwarzen Rettich 1998

Anhang 25: Schwermetalle und Spurenelemente im Silomais (2006 und 2007)

Anhang 26: Schwermetalle und Spurenelemente im Weizen (1996-2007)

Anhang 27: Schwermetalle und Spurenelemente im Zuckerblatt 2006

Anhang 28: Schwermetalle und Spurenelemente in der Zwiebel 1997

Anhang 29: Kompostanalysen

Anhang 30: Bodenproben Fruchtfolgeversuch

Anhang 31: Bodenproben Grünland

Anhang 32: Nährstoffzufuhren Fruchtfolgeversuch

Anhang 1: Bilanzergebnisse aller Varianten

**ungedüngt**

Düngermenge FM i.t. kg/ha  
 Org.Masse dt/ha  
 TM-Ertrag kg/ha  
 N gesamt kg/ha  
 K<sub>2</sub>O gesamt kg/ha  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gesamt kg/ha  
 Chrom g/ha  
 Nickel g/ha  
 Kupfer g/ha  
 Zink g/ha  
 Cadmium g/ha  
 Blei g/ha  
 Arsen g/ha  
 Selen g/ha  
 Molybdän g/ha  
 Quecksilber g/ha

Block 1			Block 2			Block 3			Block 4			Block 5			Block 6		
1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007		
Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	817	-817	0	1042	-1042	0	778	-778	0	667	-667	0	807	-807
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	102	-102	0	155	-155	0	86	-86	0	51	-51	0	99	-99
0	0	0	0	72	-72	0	220	-220	0	65	-65	0	41	-41	0	72	-72
0	1123	-1123	0	893	-893	0	904	-904	0	569	-569	0	1058	-1058	0	799	-799
0	3957	-3957	0	1674	-1674	0	2865	-2865	0	1919	-1919	0	1145	-1145	0	1885	-1885
0	12	-12	0	5	-5	0	10	-10	0	4	-4	0	7	-7	0	4	-4
0	104	-104	0	51	-51	0	97	-97	0	35	-35	0	27	-27	0	40	-40
0,00	4,82	-4,82	0,00	5,39	-5,39	0,00	19,94	-19,94	0,00	5,01	-5,01	0,00	2,94	-2,94	0,00	2,94	-2,94
0,00	x	x	0,00	2,15	-2,15	0,00	25,08	-25,08	0,00	3,20	-3,20	0,00	x	x	0,00	x	x
0,00	98,71	-98,71	0,00	86,90	-86,90	0,00	620,95	-620,95	0,00	81,77	-81,77	0,00	44,40	-44,40	0,00	68,13	-68,13
0,00	2,46	-2,46	0,00	2,98	-2,98	0,00	4,15	-4,15	0,00	3,23	-3,23	0,00	2,00	-2,00	0,00	2,89	-2,89

ungedüngt Fruchtfolgeversuch Bärnabach							
Median aus 1996-2007							
		Zuführen ges.	Zuführen jährl.	Entzüge ges.	Entzüge jährl.	Bilanz ges.	Bilanz jährl.
Düngermenge FM i.t.	0	0	0	0	0	0	0
Org.Masse kg/ha	0	0	0	0	0	0	0
TM-Ertrag dt/ha	0	0	0	802	67	802	67
N gesamt kg/ha	0	0	0	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	0	0	0	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	0	0	0	100	8	-100	-8
Chrom g/ha	0	0	0	72	6	-72	-6
Nickel g/ha	0	0	0	899	75	-899	-75
Kupfer g/ha	0	0	0	1902	158	-1902	-158
Zink g/ha	0	0	0	5,78	0,48	-5,78	-0,48
Cadmium g/ha	0	0	0	4	4	-4	-4
Blei g/ha	0	0	0	46	4	-46	-4
Arsen g/ha	0	0	0	4,9	0,8	-4,9	-0,8
Selen g/ha	0	0	0	3,2	0,5	-3,2	-0,5
Molybdän g/ha	0	0	0	84,3	14,1	-84,3	-14,1
Quecksilber g/ha	0	0	0	2,7	0,5	-2,7	-0,5

**Biokompost**

Düngermenge FM i.t. kg/ha  
 Org.Masse dt/ha  
 TM-Ertrag kg/ha  
 N gesamt kg/ha  
 K<sub>2</sub>O gesamt kg/ha  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gesamt kg/ha  
 Chrom g/ha  
 Nickel g/ha  
 Kupfer g/ha  
 Zink g/ha  
 Cadmium g/ha  
 Blei g/ha  
 Arsen g/ha  
 Selen g/ha  
 Molybdän g/ha  
 Quecksilber g/ha

Block 1			Block 2			Block 3			Block 4			Block 5			Block 6		
1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007		
Zuführen	Entzüge	Bilanz															
121	0	121	118	0	118	124	0	124	122	0	122	129	0	129	129	0	129
29366	0	29366	28638	0	28638	30094	1284	28810	29609	1019	28590	31307	969	30336	31307	969	30336
1763	0	1763	1814	0	1814	1814	0	1814	17759	0	17759	1902	0	1902	1902	0	1902
893	0	893	893	0	893	982	0	982	966	0	966	923	0	923	923	0	923
929	0	929	902	0	902	1047	0	1047	1022	0	1022	1022	0	1022	1022	0	1022
2303	174	2129	2270	122	2148	2332	217	2115	2297	104	2193	2504	104	2400	2504	104	2400
2810	151	2659	2777	95	2682	2600	271	2329	2689	59	2630	2972	77	2895	2972	77	2895
3850	812	3038	3781	734	3047	3578	989	2589	3718	647	3071	4160	763	3397	4160	763	3397
13576	2195	11380	13256	1899	11357	12691	3202	9489	13086	2277	10809	14684	2045	12639	14684	2045	12639
34	10	24	34	5	29	34	12	22	34	6	28	37	14	23	37	14	23
3474	112	3362	3444	28	3386	3242	133	3109	3099	49	3050	3403	60	3343	3403	60	3343
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10,40	3,40	6,99	12,29	3,00	9,00	10,11	3,54	6,00	13,57	2,12	11,45	7,42	2,30	5,12	7,42	2,30	5,12

Biokompost Fruchtfolgeversuch Bärnabach							
Median aus 1996-2007							
		Zuführen ges.	Zuführen jährl.	Entzüge ges.	Entzüge jährl.	Bilanz ges.	Bilanz jährl.
Düngermenge FM i.t.	122	122	122	0	0	122	122
Org.Masse kg/ha	29609	29609	2467	0	0	29609	2467
TM-Ertrag dt/ha	0	0	0	953	79	953	79
N gesamt kg/ha	1819	152	1667	0	0	1819	152
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	923	77	846	0	0	923	77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	976	81	895	124	10	2160	180
Chrom g/ha	2284	190	2094	96	8	2438	220
Nickel g/ha	2733	228	2505	96	8	3027	252
Kupfer g/ha	3845	318	3527	788	66	4315	364
Zink g/ha	13416	1118	12298	2120	177	11178	941
Cadmium g/ha	34,00	2,83	31,17	8,00	0,67	26,00	2,17
Blei g/ha	3424	285	3139	59	5	3365	280
Arsen g/ha	x	x	x	1,2	0,2	x	x
Selen g/ha	x	x	x	4,9	0,8	x	x
Molybdän g/ha	x	x	x	89,8	15,0	x	x
Quecksilber g/ha	11,3	0,1	11,2	3,0	0,5	8,3	1,4

Zuführen		Zuführen med.	
100	20	28974	5424
1224	252	619	109
918	164	3165	698
3722	671	12107	2047
19,54	3	3322	586
x	x	x	x
x	x	x	x
199,8	3	12,18	0,8

**Stallmistkompost**

Düngermenge FM i.t. kg/ha  
 Org.Masse dt/ha  
 TM-Ertrag kg/ha  
 N gesamt kg/ha  
 K<sub>2</sub>O gesamt kg/ha  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gesamt kg/ha  
 Chrom g/ha  
 Nickel g/ha  
 Kupfer g/ha  
 Zink g/ha  
 Cadmium g/ha  
 Blei g/ha  
 Arsen g/ha  
 Selen g/ha  
 Molybdän g/ha  
 Quecksilber g/ha

Block 1			Block 2			Block 3			Block 4			Block 5			Block 6		
1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007			1996-2007		
Zuführen	Entzüge	Bilanz															
175	0	175	180	0	180	165	0	165	165	0	165	185	0	185	185	0	185
32662	0	32662	31728	0	31728	30798	987	29811	30796	789	29987	34528	1029	33509	34528	1029	33509
1581	0	1581	1561	0	1561	1694	0	1694	1608	0	1608	1608	0	1608	1608	0	1608
1035	0	1035	1049	0	1049	1038	0	1038	1073	0	1073	833	0	833	833	0	833
1959	0	1959	1669	0	1669	2113	0	2113	1853	0	1853	1602	0	1602	1602	0	1602
836	173	663	778	103	675	826	197	629	868	75	793	1418	98	1320	1418	98	1320
1154	152	1002	1160	89	1071	1199	101	1098	1199	59	1140	1198	96	1102	1198	96	1102
2146	1399	747	2035	1560	475	2142	1199	943	2188	845	1343	2074	1419	625	2190	1419	625
8979	2193	6786	8644	2018	6626	9104	2967	6137	8495	1479	7016	9514	2149	7365	9514	2149	7365
21	12	9	20	6	14	20	10	10	21	5	16	21	12	9	21	12	9
1132	110	1022	1054	57	997	1126	102	1024	1163	49	1114	1115	54	1061	1115	54	1061
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4,68	2,82	1,86	4,53	2,77	1,76	4,06	3,00	1,00	4,21	3,06	1,15	4,21	3,00	1,20	5,85	2,62	3,23

Stallmistkompost Fruchtfolgeversuch Bärnabach							
Median aus 1996-2007							
		Zuführen ges.	Zuführen jährl.	Entzüge ges.	Entzüge jährl.	Bilanz ges.	Bilanz jährl.
Düngermenge FM i.t.	173	14	173	0	0	173	14
Org.Masse kg/ha	32195	2683	32195	0	0	32195	2683
TM-Ertrag dt/ha	0	0	0	1004	84	1004	84
N gesamt kg/ha	1595	133	1462	0	0	1595	133
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	1037	86	951	0	0	1037	86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	1853	154	1700	0	0	1853	154
Chrom g/ha	852	71	781	0	0	852	71
Nickel g/ha	1157	96	1061	0	0	1157	96
Kupfer g/ha	2144	199	1945	117	117	2062	190
Zink g/ha	9042	753	8289	2171	181	6871	573
Cadmium g/ha	20,50	1,71	18,79	8,00	0,67	12,50	1,04
Blei g/ha	1121	93	1028	57	5	1085	89
Arsen g/ha	x	x	x	7,5	1,2	x	x
Selen g/ha	x	x	x	4,4	0,7	x	x
Molybdän g/ha	x	x	x	102,9	17,1	x	x
Quecksilber g/ha	4,4	0,7	3,7	2,9	0,5	1,5	0,2

Zuführen		Zuführen med.	
130	30	27185	5118
1448	243	1092	156
1677	338	1874	331
1639	302	1958	390
11227	1976	19,38	3
560	117	x	x
631,4	101,2	10,12	0,8

**Block 1:**  
**Bilanz Granulierter Biokompost 1996-2001**

	1996 Sommerweizen u. -stroh			1997 Kraut u. Endivie			1998 Kürbis			1999 Kartoffel u. -kraut			2000 Sommergerste u. -stroh			2001 Kohlrabi u. Salat (Grazer K.)			1996-2001				
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz		
Düngermenge FM i.t																							
Org.Masse kg/ha																							
TM-Ertrag dt/ha	9,00	95,74		13,5	134,83		6	53,47		12	128,44		6	90,74		6	71,4				575		
N gesamt kg/ha	90		90	135		135	60		60	120		120	60		60	60		60			525	0	525
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	81		81	122		122	60		60	120		120	60		60	60		60			503	0	503
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	90		90	135		135	60		60	120		120	60		60	60		60			525	0	525
Chrom g/ha	25,83	18,42	7,41	25,52	56,80	-31,2804	21,54	2,74	18,80	19,32	9,63	9,69	28,80	4,59	24,21	17,40	1,46	15,94			138	94	45
Nickel g/ha	38,25	12,59	25,66	46,04	58,91	-12,8732	17,04	8,55	8,49	19,44	11,22	8,22	23,34	2,91	20,43	21,57	5,41	16,16			166	100	66
Kupfer g/ha	45,34	35,79	9,55	39,83	102,04	-62,2149	33,54	38,79	-5,25	41,88	665,54	-623,66	43,02	38,80	4,22	29,51	14,87	14,64			233	896	-663
Zink g/ha	150,60	262,17	-111,57	129,74	488,63	-358,892	132,72	136,54	-3,82	199,56	223,68	-24,12	132,24	221,31	-89,07	103,00	150,03	-47,04			848	1482	-635
Cadmium g/ha	0,32	0,51	-0,19	0,68	2,53	-1,85063	0,41	0,15	0,26	0,41	1,04	-0,63	0,18	0,23	-0,05	0,24	1,16	-0,92			2	6	-3
Blei g/ha	39,15	2,42	36,73	48,87	35,05	13,82115	32,88	2,11	30,77	17,16	5,69	11,47	42,12	0,70	41,42	26,21	0,89	25,32			206	47	160

1996-2001		
Zuführen	Entzüge	Bilanz
x	6,28	x
x	128,14	x
1,67	3,72	-2,04

Arsen g/ha	x	0,38	x	x	2,06	x	x	0,52	x	x	2,62	x	x	0,36	x	x	0,34	x					
Molybdän g/ha	x	23,41	x	x	26,70	x	x	18,00	x	x	15,29	x	x	22,82	x	x	21,92	x					
Quecksilber g/ha	0,16	0,57	0,16	0,38	1,35	-0,97	0,19	0,10	0,10	0,53	0,54	-0,01	0,24	0,41	-0,17	0,17	0,75	-0,59					

**Block 1:**  
**Bilanz Klärschlammkompost 2002-2007**

	2002 Sommerweizen u. -stroh			2003 Winterraps u. -stroh			2004 Kürbis			2005 Kartoffel u. -kraut			2006 Sommergerste u. -stroh			2007 Bohnenkraut u. Mayoran			2002-2007			
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	
Düngermenge FM i.t																						
Org.Masse kg/ha																						
TM-Ertrag dt/ha																						
N gesamt kg/ha																						
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha																						
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha																						
Chrom g/ha																						
Nickel g/ha																						
Kupfer g/ha																						
Zink g/ha																						
Cadmium g/ha																						
Blei g/ha																						

**Endivie 1997:** Schwermetallwerte von Forellenschluß 2004 (Block 3) übernommen , Arsen, Molybdän und Quecksilber von Grazer Krauhäupl (1996 und 2001) übernommen  
**Kürbis 1998:** Schwermetallwerte-Kerne von 2001  
**Kartoffel 1999:** Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetallwerte-Knolle Durchschnitt aus 1996, 1998, 2001 Schwermetallwerte-Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2007  
**Gerste 2000:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 1996 und 2001; Schwermetall-Stroh aus 2001  
**Weizen 2002:** Schwermetalldurchschnitt aus 2004, 2006, 2007  
**Raps 2003:** Strohgewicht geschätzt im Verhältnis wie Winterraps 2003 (Block 3), Schwermetalldurchschnitt aus 2004, 2006, 2007  
**Kürbis 2004:** Schwermetallwerte von 2001  
**Kartoffel 2005:** Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetallwerte Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2001

**Grau hinterlegte Felder** bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitt aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.  
**Zur Schwermetallwertberechnung** von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden , wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.  
 Zur Berechnung der **Organischen Masse** in kg/ha wurde der 6 jährige Durchschnitt der Komposte von der Trockenmasse und dem Aschegehalt herangezogen.

**Block 2:**  
**Bilanz Granulierter Biokompost 1996-2001**

	1996			1997			1998			1999			2000			2001			1996-2001					
	Zufuhren	Entzüge	Bilanz	Zufuhren	Entzüge	Bilanz																		
Düngermenge FM i.t																								
Org.Masse kg/ha																								
TM-Ertrag dt/ha	13,50	29,70		6,00	49,99		12,00	152,81		6,00	94,11		2,50	6,88		6,00	194,91				528			
N gesamt kg/ha	135		135	60		60	120		120	60		60	25		25	60		60				460	0	
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	122		122	54		54	120		120	60		60	25		25	60		60				441	0	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	135		135	60		60	120		120	60		60	25		25	60		60				460	0	
Chrom g/ha	38,75	9,63	29	17,22	0,78	16	34,44	11,56	23	17,22	4,78	12	7,18	0,28	7	17,22	21,78	-5				132	49	83
Nickel g/ha	48,53	5,77	43	21,57	7,83	14	43,14	11,96	31	21,57	3,03	19	8,98	0,36	9	21,57	15,34	6				165	44	121
Kupfer g/ha	66,41	10,97	55	25,08	40,50	-15	50,16	776,99	-727	25,08	39,98	-15	10,45	3,30	7	25,08	71,62	-47				202	943	-741
Zink g/ha	231,75	39,75	192	103,00	129,59	-27	205,99	267,49	-61	103,00	227,64	-125	42,92	18,30	25	103,00	700,19	-597				790	1383	-593
Cadmium g/ha	0,55	0,25	0	0,24	0,22	0	0,49	1,23	-1	0,24	0,24	0	0,10	0,04	0	0,24	0,78	-1				2	3	-1
Blei g/ha	58,98	1,75	57	26,21	0,35	26	52,43	6,85	46	26,21	0,74	25	10,92	0,01	11	26,21	2,29	24				201	12	189

**1996-2001**

	Zufuhren	Entzüge	Bilanz
Arsen g/ha	x	0,40	x
Selen g/ha	x	0,42	x
Molybdän g/ha	x	10,70	x
Quecksilber g/ha	0,38	0,20	0,18

**Block 2:**  
**Bilanz Klärschlammkompost 2002-2007**

	2002			2003			2004			2005			2006			2007			2002-2007				
	Zufuhren	Entzüge	Bilanz	Zufuhren	Entzüge	Bilanz																	
Düngermenge FM i.t																							
Org.Masse kg/ha																							
TM-Ertrag dt/ha																							
N gesamt kg/ha																							
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha																							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha																							
Chrom g/ha																							
Nickel g/ha																							
Kupfer g/ha																							
Zink g/ha																							
Cadmium g/ha																							
Blei g/ha																							

**Gerste 1999:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 1996, 2000, 2001; Schwermetallwerte-Stroh aus 2001  
**Raps 2002:** Keine Daten wegen Vogelfraß; Frucht- und Strohgewicht aus dem Durchschnitt von 2004, 2005, 2006, 2007; Schwermetalldurchschnitt aus 2004, 2006, 2007  
**Kürbis 2003:** Schwermetallwerte von 2001  
**Kartoffel 2004:** Krautgewicht geschätzt (im Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996); Schwermetalldurchschnitt-Kraut aus 1006 und 2001  
**Gerste 2005:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 2004, 2006, 2007; Schwermetalldurchschnitt-Stroh 2004, 2006, 2007

Grau hinterlegte Felder bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitten aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.

Zur **Schwermetallwertberechnung** von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden, wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.  
Zur Berechnung der **Organischen Masse** in kg/ha wurde der 6 jährige Durchschnitt der Komposte von der Trockenmasse und dem Aschegehalt herangezogen.

**Block 3:**  
**Bilanz Stallmistkompost 1996-2007**

	1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			1996-2007		
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz			
Düngermenge FM i.t	15			20			15			10			15			15			15			15			10			20			15			15			180		
Org.Masse kg/ha	2800			3732			2800			1866			2800			2800			2800			2800			1866			3732			2800			2800			33596		
TM-Ertrag dt/ha	59,41			68,00			121,85			320,91			108,32			93,7			35,97			61,68			129,29			33,80			105,85			52,41			1191		
N gesamt kg/ha	212		212,00	179		179,00	92		92,00	66		66,00	130		130,00	113		113,00	117		117,00	114		114,00	97		97,00	221		221,00	178		178,00	163		163,00	1682		0
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	121		121,00	96		96,00	96		96,00	62		62,00	58		58,00	52		52,00	78		78,00	48		48,00	64		64,00	127		127,00	152		152,00	95		95,00	1049		0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	201		201,00	226		226,00	226		226,00	111		111,00	76		76,00	84		84,00	107		107,00	77		77,00	185		185,00	370		370,00	137		137,00	24		24,00	1824		0
Chrom g/ha	133,35	1,43	131,92	54,30	11,33	42,97	42,81	46,97	-4,16	113,53	41,09	72,44	177,02	10,35	166,67	34,14	5,29	28,85	31,31	0,86	30,45	47,15	10,28	36,87	32,25	49,67	-17,42	62,90	4,66	58,23	48,66	10,43	38,23	48,66	4,44	44,22	826	197	629
Nickel g/ha	138,15	15,99	122,16	79,64	9,90	69,74	71,73	36,21	35,53	104,96	56,14	48,82	106,60	5,75	100,85	73,78	4,11	69,67	67,66	9,62	58,04	101,90	8,98	92,92	69,70	27,02	42,68	135,93	3,61	132,33	105,16	2,80	102,36	105,16	0,56	104,61	1160	181	980
Kupfer g/ha	231,88	34,65	197,23	207,79	314,93	-107,14	137,56	85,46	52,10	211,97	245,57	-33,60	161,37	31,23	130,14	133,36	20,00	113,36	122,31	21,30	101,01	184,20	285,86	-101,66	125,99	55,33	70,66	245,72	18,15	227,57	190,09	76,83	113,27	190,09	10,02	180,07	2142	1199	943
Zink g/ha	1050,04	153,26	896,77	1119,30	150,46	968,85	576,13	365,71	210,41	616,71	1030,61	-413,89	802,94	265,91	537,03	552,63	155,69	396,94	506,83	94,81	412,02	763,30	136,50	626,80	522,10	206,40	315,70	1018,24	100,40	917,84	787,73	238,92	548,81	787,73	68,81	718,91	9104	2967	6136
Cadmium g/ha	2,29	0,16	2,13	2,90	0,90	1,99	1,09	1,56	-0,48	1,99	3,27	-1,28	0,98	0,63	0,35	1,25	0,71	0,54	1,14	0,10	1,05	1,72	0,82	0,90	1,18	0,65	0,53	2,29	0,33	1,96	1,78	0,62	1,16	1,78	0,30	1,48	20	10	10
Blei g/ha	89,38	0,35	89,03	75,30	7,65	67,65	18,61	27,50	-8,89	148,52	23,77	124,75	62,59	3,84	58,75	81,85	1,51	80,34	75,07	0,21	74,85	113,05	6,94	106,11	77,33	11,54	65,79	150,81	3,84	146,97	116,67	7,87	108,79	116,67	7,21	109,45	1126	102	1024

1996-2001		
Zuführen	Entzüge	Bilanz

Arsen g/ha	x	0,54	x	x	2,64	x	x	0,60	x	x	10,41	x	x	0,37	x	x	1,74	x	x	16,29	x
Selen g/ha	x	0,25	x	x	0,61	x	x	0,70	x	x	17,71	x	x	0,50	x	x	1,14	x	x	20,90	x
Molybdän g/ha	x	13,81	x	x	8,12	x	x	26,84	x	x	424,58	x	x	25,42	x	x	24,42	x	x	523,19	x
Quecksilber g/ha	1,91	0,06	1,85	0,64	0,29	0,35	0,40	0,56	-0,16	0,31	0,42	-0,11	0,49	0,69	-0,20	0,32	0,63	-0,31	4,06	2,65	1,41

**Kürbis 1996:** Schwermetall-Durchschnitt von 2001

**Kartoffel 1997:** Krautgewicht geschätzt (im Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996); Schwermetalle-Knolle Durchschnitt aus 1996, 1998, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007; Schwermetalle-Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2007

**Gerste 1998:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007 und Schwermetalldurchschnitt-Stroh aus 2001, 2004, 2006, 2007

**Weizen 2000:** Schwermetalldurchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

**Kürbis 2002:** Schwermetallwerte von 2001

**Kartoffel 2003:** Krautgewicht geschätzt (im Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996); Schwermetalle-Knolle Durchschnitt aus 1996, 1998, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007; Schwermetalle-Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2007

**Kren 2006:** Strohgewicht geschätzt (im Verhältnis Wurzel/Laub wie 2005); Schwermetallwerte-Laub von 2005

Grau hinterlegte Felder bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitten aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.

**Zur Schwermetallwertberechnung** von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden, wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.

Zur Berechnung der **Organischen Masse** in kg/ha wurde der 10 jährige Durchschnitt der Komposte von der Trockenmasse und dem Aschegehalt herangezogen.

**Block 4:**  
**Bilanz Biokompost 1996-2007**

	1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			1996-2007		
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz			
Düngermenge FM i.t	10			15			10			10			10			10			10			7			10			10			10			10			122		
Org.Masse kg/ha	2427			3640			2427			2427			2427			2427			2427			1699			2427			2427			2427			2427			29609		
TM-Ertrag dt/ha		121,18			95,69			165,77			128,19			36,68			33,16		79,03			49,96			14,49			149,57			102,95			41,91			1019		
N gesamt kg/ha	187		187,00	174		174,00	167		167,00	75		75,00	134		134,00	172		172,00	245		245,00	134		134,00	117		117,00	144		144,00	159		159,00	116		116,00	1824		
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	62		62,00	81		81,00	62		62,00	59		59,00	96		96,00	91		91,00	55		55,00	28		28,00	56		56,00	56		56,00	56		56,00	180		180,00	882		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	91		91,00	117		117,00	91		91,00	62		62,00	203		203,00	110		110,00	93		93,00	65		65,00	53		53,00	53		53,00	53		53,00	56		56,00	1047		
Chrom g/ha	200,99	40,06	160,93	201,85	10,40	191,45	227,60	3,89	223,71	97,64	14,95	82,69	309,60	7,76	301,84	174,71	1,47	173,24	174,69	14,88	159,81	136,16	5,38	130,78	179,64	0,94	178,70	194,51	17,68	176,83	155,70	7,14	148,56	185,21	1,83	183,38	2238	126	2112
Nickel g/ha	297,63	36,84	260,79	364,19	5,76	358,43	180,06	4,61	175,45	98,25	6,88	91,37	250,91	4,81	246,10	215,02	4,74	210,28	214,98	12,34	202,65	167,56	2,98	164,58	221,09	2,52	218,57	239,39	8,38	231,02	191,61	0,51	191,10	227,92	5,97	221,96	2669	96	2572
Kupfer	352,81	125,49	227,32	315,06	37,96	277,10	354,41	112,41	241,99	211,66	36,75	174,91	462,47	10,37	452,10	294,19	31,31	262,88	294,16	151,48	142,68	229,26	19,68	209,58	302,50	12,46	290,04	327,56	Option=cor	#WERT!	262,17	16,04	246,13	311,85	51,53	260,32	3718	#WERT!	#WERT!
Zink g/ha	1171,81	310,52	861,29	1026,35	210,42	815,93	1402,41	396,11	1006,30	1008,61	310,20	698,41	1421,58	57,70	1363,88	1026,54	105,39	921,15	1026,54	154,28	872,26	800,12	108,75	691,37	1055,71	45,64	1010,07	1143,10	346,42	796,68	914,96	94,00	820,96	1088,34	137,85	950,49	13086	2277	10809
Cadmium g/ha	2,52	0,54	1,98	0,53	0,35	0,18	4,31	1,12	3,19	2,06	0,56	1,50	1,94	0,26	1,68	2,43	0,09	2,34	2,43	0,95	1,48	1,89	0,18	1,71	2,50	0,01	2,48	2,71	0,67	2,04	2,17	0,53	1,63	0,19	0,11	0,08	26	5	20
Blei g/ha	304,63	11,37	293,26	386,62	3,44	383,18	347,43	2,58	344,85	86,73	4,26	82,47	452,79	4,60	448,19	261,25	0,87	260,38	261,25	7,03	254,22	203,63	1,80	201,82	268,68	0,28	268,40	290,92	5,45	285,46	232,85	5,98	226,87	2,09	1,08	1,01	3099	49	3050

		1996-2001		
		Zuführen	Entzüge	Bilanz
Arsen	g/ha	x	3,63	x
Selen	g/ha	x	0,57	x
Molybdän	g/ha	x	15,95	x
Quecksilber	g/ha	1,26	0,51	0,75

0,03  
0,33

**Gerste 1997:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007; Schwermetalldurchschnitt-Stroh aus 2001, 2004, 2006, 2007

**Weizen 1999:** Schwermetalldurchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

**Raps 2000:** Schwermetalldurchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

**Kartoffel 2002:** Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetallwerte-Knolle Durchschnitt aus 1996, 1998, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007, Schwermetallwerte-Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2001

**Gerste 2003:** Schwermetalldurchschnitt-Korn aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007; Schwermetalldurchschnitt-Stroh aus 2001, 2004, 2006, 2007

**Weizen 2005:** Schwermetalldurchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

**Kürbis 2007:** Schwermetallwerte von 2001

Grau hinterlegte Felder bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitt aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.

**Zur Schwermetallwertberechnung** von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden , wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.

Zur Berechnung der **Organischen Masse** in kg/ha wurde der 10 jährige Durchschnitt der Komposte von der Trockenmasse und dem Aschegehalt herangezogen.

**Block 5:**  
**Bilanz ungedüngt 1996-2007**

	1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			1996-2007		
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz			
Düngermenge FM i.t	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
Org.Masse kg/ha	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
TM-Ertrag dt/ha		31,20			33,64			54,16			19,92			20,24			117,08			76,64			22,97			122,65			34,10			34,70			99,75			-667	
N gesamt kg/ha	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0		
Chrom g/ha	0	3,30	-3,30	0	0,87	-0,87	0	5,58	-5,58	0	3,57	-3,57	0	0,47	-0,47	0,00	1,20	-1,20	0	15,64	-15,64	0	1,02	-1,02	0	13,34	-13,34	0	5,49	-5,49	0	0,78	-0,78	0,00	13,82	-13,82	0	52	-52
Nickel g/ha	0	1,43	-1,43	0	2,25	-2,25	0	3,53	-3,53	0	2,01	-2,01	0	2,78	-2,78	0,00	3,74	-3,74	0	6,76	-6,76	0	2,06	-2,06	0	7,08	-7,08	0	3,00	-3,00	0	4,90	-4,90	0,00	8,17	-8,17	0	41	-41
Kupfer g/ha	0	13,78	-13,78	0	14,47	-14,47	0	13,15	-13,15	0	5,52	-5,52	0	15,40	-15,40	0,00	613,31	-613,31	0	27,80	-27,80	0	28,37	-28,37	0	24,03	-24,03	0	9,24	-9,24	0	28,86	-28,86	0,00	288,19	-288,19	0	1058	-1058
Zink g/ha	0	83,14	-83,14	0	38,01	-38,01	0	116,24	-116,24	0	34,91	-34,91	0	53,46	-53,46	0,00	186,17	-186,17	0	151,84	-151,84	0	115,54	-115,54	0	154,95	-154,95	0	68,23	-68,23	0	109,49	-109,49	0,00	187,79	-187,79	0	1145	-1145
Cadmium g/ha	0	0,09	-0,09	0	0,13	-0,13	0	0,27	-0,27	0	0,21	-0,21	0	0,04	-0,04	0,00	0,76	-0,76	0	0,27	-0,27	0	0,82	-0,82	0	0,25	-0,25	0	0,32	-0,32	0	0,07	-0,07	0,00	0,76	-0,76	0	4	-4
Blei g/ha	0	1,17	-1,17	0	0,47	-0,47	0	3,52	-3,52	0	1,82	-1,82	0	0,27	-0,27	0,00	3,59	-3,59	0	3,82	-3,82	0	0,65	-0,65	0	0,83	-0,83	0	2,84	-2,84	0	0,44	-0,44	0,00	8,10	-8,10	0	27	-27

	1996-2001		
	Zuführen	Entzüge	Bilanz
Arsen g/ha	0	0,15	-0,15
Molybdän g/ha	0	7,12	-7,12
Quecksilber g/ha	0	0,15	-0,15

Gerste 1996: Schwermetallwerte-Stroh Durchschnitt aus 2001, 2004, 2006, 2007

Weizen 1998: Schwermetallwerte Durchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

Raps 1999: Schwermetalle Durchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

Kürbis 2000: Schwermetallwerte von 2001

Kartoffel 2001: Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996)

Gerste 2002: Schwermetallwerte-Korn Durchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007; Schwermetallwerte-Stroh Durchschnitt aus 2001, 2004, 2006, 2007

Salat 2003: Strohgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Marktware/Stroh wie 2004); Schwermetallwerte von Forellenschluß 2004 (Block 3) übernommen

Raps 2005: Schwermetallwerte-Durchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007

Kürbis 2006: Schwermetallwerte aus 2001

Kartoffel 2007: Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetallwerte Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2001

Grau hinterlegte Felder bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitten aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.

Zur Schwermetallwertberechnung von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden , wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.

**Block 6:**  
**Bilanz NPK 1996-2007**

	1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			1996-2007			
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz				
Düngermenge FM i.t	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			
Org.Masse kg/ha	0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			0			
TM-Ertrag dt/ha		82,16			135,75			67,64			36,55			158,96			81,45			160,79			100,41			59,11			41,07			102,85			73,98			1101		
N gesamt kg/ha	117			120			75			54			120			60			60			60			90			54			80			60			950			
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha	90			120			75			40			60			60			60			60			90			40			63			60			818			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha	90			120			75			120			200			60			60			60			90			120			200			60			1255			
Chrom g/ha	0	2,53	-2,53	0	10,44	-10,44	0	4,38	-4,38	0	1,01	-1,01	0	21,04	-21,04	0	5,47	-5,47	0	23,48	-23,48	0	7,31	-7,31	0	0,86	-0,86	0	2,09	-2,09	0	16,76	-16,76	0	6,96	-6,96	0	102	-102	
Nickel g/ha	0	5,53	-5,53	0	6,50	-6,50	0	2,25	-2,25	0	5,85	-5,85	0	17,11	-17,11	0	3,26	-3,26	0	15,28	-15,28	0	4,60	-4,60	0	0,20	-0,20	0	6,57	-6,57	0	11,88	-11,88	0	1,40	-1,40	0	80	-80	
Kupfer	0	77,33	-77,33	0	39,90	-39,90	0	13,81	-13,81	0	28,64	-28,64	0	949,15	-949,15	0	34,08	-34,08	0	49,04	-49,04	0	31,23	-31,23	0	12,02	-12,02	0	31,77	-31,77	0	608,81	-608,81	0	23,47	-23,47	0	1899	-1899	
Zink g/ha	0	312,04	-312,04	0	302,78	-302,78	0	128,92	-128,92	0	98,67	-98,67	0	308,31	-308,31	0	186,01	-186,01	0	160,79	-160,79	0	240,83	-240,83	0	72,53	-72,53	0	108,12	-108,12	0	225,21	-225,21	0	139,42	-139,42	0	2284	-2284	
Cadmium g/ha	0	2,02	-2,02	0	0,85	-0,85	0	0,53	-0,53	0	0,10	-0,10	0	1,89	-1,89	0	0,18	-0,18	0	1,13	-1,13	0	0,59	-0,59	0	0,45	-0,45	0	0,12	-0,12	0	2,48	-2,48	0	0,37	-0,37	0	11	-11	
Blei g/ha	0	1,01	-1,01	0	3,30	-3,30	0	3,28	-3,28	0	0,36	-0,36	0	17,19	-17,19	0	1,03	-1,03	0	14,63	-14,63	0	2,11	-2,11	0	0,39	-0,39	0	0,40	-0,40	0	9,05	-9,05	0	3,28	-3,28	0	56	-56	

		1996-2001		
		Zuführen	Entzüge	Bilanz
Arsen g/ha	0	0,49	-0,49	0
Molybdän g/ha	0	17,59	-17,59	0
Quecksilber g/ha	0	0,70	-0,70	0

**Salat 1996:** Schwermetallwerte übernommen von Forellenschluß 2004 (Block 3)  
**Weizen 1997:** Schwermetalldurchschnitt von 1996, 2001, 2004, 2006, 2007  
**Raps 1998:** Schwermetalldurchschnitt aus 1996, 2001, 2004, 2006, 2007  
**Kürbis 1999:** Schwermetallwerte von 2001  
**Kartoffel 2000:** Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetallwerte-Knolle Durchschnitt aus 1996, 1998, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007, Schwermetallwerte-Kraut Durchschnitt aus 1996 und 2001  
**Zuckermais 2002:** TM-Ertrag von Silomaisdurchschnitt 1996-2007 übernommen; Schwermetalldurchschnitte von Silomais 2006 und 2007  
**Weizen 2003:** Schwermetalldurchschnitt von 1996, 2001, 2004, 2006, 2007  
**Kürbis 2005:** Schwermetallwerte von 2001  
**Kartoffel 2006:** Krautgewicht geschätzt (im gleichen Verhältnis Knolle/Kraut TM wie 1996), Schwermetalldurchschnitt-Kraut aus 1996 und 2001

Grau hinterlegte Felder bedeuten, dass entweder das Gewicht, die Schwermetallgehalte oder beides von Durchschnitten aus anderen Jahren derselben Kultur zur Bilanzierung herangezogen wurden.

Zur **Schwermetallwertberechnung** von Arsen, Selen, Molybdän und Quecksilber wurden , wenn vorhanden, Durchschnittswerte herangezogen.

**Grünland**  
**Bilanz Granulierter Biokompost 1996-1998**

	1994			1995			1996			1997			1998			1994-1998		
	Zuführen	Entzüge	Bilanz	Zuführen	Entzüge	Bilanz												
Düngermenge FM i.t																		
Org.Masse kg/ha																		
TM-Ertrag dt/ha								78,33			70,06			68,81			217	
N gesamt kg/ha							120	175,1	-55,1	120	156,6	-36,6	80	153,8	-73,8		486	
K <sub>2</sub> O gesamt kg/ha							108	72,4	35,6	108	64,8	43,2	80	63,6	16,4		201	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gesamt kg/ha							120	266,1	-146,1	120	238,0	-118,0	80	233,8	-153,8		738	
Chrom g/ha								42,59			38,09			37,41			118	
Nickel g/ha								36,1			32,3			31,7			100	
Kupfer g/ha								71,70			64,10			62,90			199	
Zink g/ha								358,20			320,40			314,60			993	
Cadmium g/ha								1,7			1,5			1,5			5	
Blei g/ha								19,5			17,4			17,1			54	

															1994-1998				
															Zuführen	Entzüge	Bilanz		
Arsen	g/ha								15,68				14,02				13,77		43
Molybdän	g/ha								13,3				11,9				11,7		37
Quecksilber	g/ha								0,8				0,7				0,7		2

## Anhang 9: Schwermetalle und Spurenelemente in Blattsalaten

Angaben in mg/kg TM

### Chinakohl 1998

	u.	Biok.	St.	NPK	GBK
<b>Elem.</b>					
Cr	1,06	0,77	0,74	0,93	0,79
Ni	1,38	0,90	0,73	0,74	0,52
Cu	4,24	4,72	3,46	4,17	3,46
Zn	34,90	34,90	31,30	29,70	32,30
Cd	0,15	0,16	0,08	0,14	0,11
Pb	0,35	1,06	0,36	0,34	0,77
As	0,37	0,19	0,10	0,16	0,17
Se	0,28	0,14	0,15	0,18	0,12
Mo	3,35	2,49	2,91	4,35	2,48
Hg	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

### Forellenschluß 2004

	u.	Biok.	St.	NPK	KSK
<b>Elem.</b>					
Cr	9,85	10,5	12,2	9,65	10,8
Ni	10,7	9,62	10,7	10,9	11
Cu	16,9	18,4	17,5	18,7	18,9
Zn	63,4	60,7	57,9	59,6	74,9
Cd	0,38	0,41	0,45	0,48	0,41
Pb	11,2	10,4	8,73	24,1	6,75

### Grazer Krauthäupl 1996 und 2001

Elem.	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			GBK		
	1996	2001	Ø	1996	2001	Ø	1996	2001	Ø	1996	2001	Ø	1996	2001	Ø GBK
Cr	0,28	0,61	<b>0,45</b>	0,28	1,50	<b>0,89</b>	0,29	0,44	<b>0,37</b>	0,26	0,61	<b>0,44</b>	0,22	0,33	<b>0,28</b>
Ni	0,97	0,82	<b>0,90</b>	0,69	1,20	<b>0,95</b>	0,19	0,69	<b>0,44</b>	0,22	0,73	<b>0,48</b>	0,15	0,59	<b>0,37</b>
Cu	18,20	6,50	<b>12,35</b>	11,70	6,80	<b>9,25</b>	11,40	6,10	<b>8,75</b>	12,40	5,60	<b>9,00</b>	11,50	5,10	<b>8,30</b>
Zn	69,00	31,60	<b>50,30</b>	46,90	39,40	<b>43,15</b>	50,20	37,30	<b>43,75</b>	49,20	31,20	<b>40,20</b>	43,00	29,30	<b>36,15</b>
Cd	0,24	0,47	<b>0,36</b>	0,33	0,44	<b>0,39</b>	0,24	0,52	<b>0,38</b>	0,24	0,48	<b>0,36</b>	0,20	0,49	<b>0,35</b>
Pb	0,26	0,31	<b>0,29</b>	0,14	0,33	<b>0,24</b>	0,16	0,28	<b>0,22</b>	0,11	0,26	<b>0,19</b>	0,10	0,21	<b>0,16</b>
As	<0,05	0,13	<b>0,09</b>	0,13	0,10	<b>0,12</b>	<0,05	0,10	<b>0,08</b>	<0,05	0,09	<b>0,07</b>	<0,05	0,07	<b>0,06</b>
Se		0,05	<b>0,05</b>		0,06	<b>0,06</b>		0,06	<b>0,06</b>		0,05	<b>0,05</b>		0,06	<b>0,06</b>
Mo	0,69	1,50	<b>1,10</b>	0,74	2,10	<b>1,37</b>	0,67	1,00	<b>0,83</b>	0,59	3,80	<b>2,20</b>	0,56	1,10	<b>0,83</b>
Hg	<0,10	0,03	<b>0,06</b>	<0,10	0,13	<b>0,12</b>	<0,10	0,04	<b>0,07</b>	<0,10	0,04	<b>0,07</b>	<0,10	0,09	<b>0,10</b>

### Radiccio 1996

	u.	Biok.	St.	NPK	GBK
<b>Elem.</b>					
Cr	0,22	0,21	0,22	0,20	0,22
Ni	0,31	0,90	0,88	0,84	0,63
Cu	11,50	13,50	11,30	9,76	8,70
Zn	32,10	32,00	32,70	36,10	31,90
Cd	0,09	0,13	0,13	0,15	0,13
Pb	0,05	0,03	0,07	0,07	0,05
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mo	1,51	1,15	1,81	2,09	2,07
Hg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 10: Schwermetalle und Spurenelemente Bohnenkraut 2007

Angaben in mg/kg TM

### Kraut 1. und 2. Aufwuchs

Elemente	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	KSK
Cr	3,37	3,19	3,21	3,95	3,58
Ni	1,76	1,97	1,75	2,48	2,64
Cu	11,11	10,72	10,69	10,69	10,73
Zn	23,6	22,45	29,95	22,2	23,7
Cd	0,23	0,085	0,23	0,4	0,35
Pb	3,62	3,19	5,08	3,06	2,04

## Anhang 11: Schwermetalle und Spurenelemente in Buschbohnen 2004

Angaben in mg/kg TM

Elemente	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	KSK
Cr	0,72	0,65	0,97	0,57	0,8
Ni	1,97	1,74	1,77	1,86	1,76
Cu	8,5	8,6	8,9	8,8	8,4
Zn	33,3	31,5	34,3	32,8	31,7
Cd	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Pb	0,24	0,19	0,23	0,23	0,27

## Anhang 12: Schwermetalle und Spurenelemente in der Gerste (1996-2007)

Angaben in mg/kg TM

### Korn

Elemente	ungedüngt								Biokompost								Stallmistkompost								NPK								GBK			KSK				
	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø		1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø		1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø		1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø		1996	2001	Ø	2004	2006	2007	med	Ø
Cr	0,26	0,83	5,80	0,44	1,08	<b>0,83</b>	<b>1,68</b>	0,24	0,85	4,00	0,66	0,81	<b>0,81</b>	<b>1,31</b>	0,19	0,74	5,70	<0,05	0,99	<b>0,87</b>	<b>1,53</b>	0,22	0,59	4,35	0,22	1,02	<b>0,59</b>	<b>1,28</b>	0,20	0,68	<b>0,44</b>	8,18	0,27	0,65	<b>0,65</b>	<b>3,03</b>				
Ni	0,06	0,59	1,76	0,28	0,51	<b>0,51</b>	<b>0,64</b>	<0,05	0,48	1,90	0,68	0,56	<b>0,62</b>	<b>0,73</b>	<0,05	0,46	2,34	0,16	0,45	<b>0,46</b>	<b>0,69</b>	0,07	0,36	1,64	0,14	0,12	<b>0,14</b>	<b>0,47</b>	<0,05	0,50	<b>0,28</b>	4,04	0,23	<0,05	<b>2,14</b>	<b>1,44</b>				
Cu	5,39	5,00	4,60	4,13	3,09	<b>4,60</b>	<b>4,44</b>	5,82	5,60	4,90	3,87	2,95	<b>4,90</b>	<b>4,63</b>	5,62	4,80	4,60	3,65	2,86	<b>4,60</b>	<b>4,31</b>	6,71	5,10	5,00	4,37	3,48	<b>5,00</b>	<b>4,93</b>	5,60	5,10	<b>5,35</b>	5,00	3,97	2,83	<b>3,97</b>	<b>3,93</b>				
Zn	36,20	32,80	22,70	29,30	22,10	<b>29,30</b>	<b>28,62</b>	36,90	29,30	22,00	27,50	21,60	<b>27,50</b>	<b>27,46</b>	36,70	29,70	19,60	22,90	21,00	<b>22,90</b>	<b>25,98</b>	38,20	29,30	20,20	26,80	24,60	<b>26,80</b>	<b>27,82</b>	34,00	29,90	<b>31,95</b>	23,00	26,60	21,60	<b>23,00</b>	<b>23,73</b>				
Cd	<0,02	0,02	0,01	<0,05	<0,05	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<0,02	0,01	0,02	<0,05	<0,05	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<0,02	0,01	0,01	<0,05	<0,05	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<0,02	0,02	0,01	0,07	<0,05	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<0,02	0,02	<b>0,02</b>	0,02	<0,05	<0,05	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>				
Pb	0,04	0,04	0,22	<0,05	<0,05	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	0,04	0,04	0,40	0,35	0,74	<b>0,35</b>	<b>0,31</b>	0,04	0,03	0,07	<0,05	1,25	<b>0,06</b>	<b>0,29</b>	0,13	0,03	0,31	0,22	0,83	<b>0,22</b>	<b>0,30</b>	0,03	0,03	<b>0,03</b>	0,14	0,43	1,52	<b>0,43</b>	<b>0,70</b>				
As	<0,05	0,03					<b>0,04</b>	<0,05	0,02					<b>0,03</b>	<0,05	0,02					<b>0,03</b>	<0,05	0,01					<b>0,03</b>	<0,05	<0,01	<b>0,03</b>									
Se		0,04					<b>0,04</b>		<0,03					<b>0,03</b>		<0,03					<b>0,03</b>		<0,03					<b>0,03</b>		0,03	<b>0,03</b>									
Mo	3,14	2,10					<b>2,62</b>	1,74	1,50					<b>1,62</b>	1,51	1,90					<b>1,71</b>	1,49	0,87					<b>1,18</b>	5,09	1,21	<b>3,15</b>									
Hg	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01	<b>0,06</b>									

### Stroh

Elemente	ungedüngt								Biokompost								Stallmistkompost								NPK								GBK			KSK				
		2001	2004	2006	2007	med	Ø			2001	2004	2006	2007	med	Ø			2001	2004	2006	2007	med	Ø			2001	2004	2006	2007	med	Ø			2001	Ø	2004	2006	2007	med	Ø
Cr		0,60	0,81	0,76	7,58	<b>0,79</b>	<b>2,44</b>		0,50	0,66	0,50	0,86	<b>0,58</b>	<b>0,63</b>		0,58	0,78	0,51	0,98	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>		0,75	0,65	0,79	0,86	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>		0,59	<b>0,59</b>	0,80	0,62	0,74	<b>0,74</b>	<b>0,72</b>				
Ni		0,36	0,38	0,66	3,19	<b>0,52</b>	<b>1,15</b>		0,30	0,27	0,57	0,21	<b>0,29</b>	<b>0,34</b>		0,35	0,31	0,78	0,13	<b>0,33</b>	<b>0,39</b>		0,44	0,26	0,59	0,26	<b>0,35</b>	<b>0,39</b>		0,38	<b>0,38</b>	0,29	0,28	0,27	<b>0,28</b>	<b>0,28</b>				
Cu		3,00	2,40	2,78	2,75	<b>2,77</b>	<b>2,73</b>		2,80	2,40	2,60	2,65	<b>2,63</b>	<b>2,61</b>		3,20	1,60	2,61	2,57	<b>2,59</b>	<b>2,50</b>		3,30	2,90	2,58	2,86	<b>2,88</b>	<b>2,91</b>		2,90	<b>2,90</b>	1,70	2,45	2,40	<b>2,40</b>	<b>2,18</b>				
Zn		13,50	5,00	7,90	13,90	<b>10,70</b>	<b>10,08</b>		15,40	4,30	9,70	13,80	<b>11,75</b>	<b>10,80</b>		15,40	5,30	7,30	11,40	<b>9,35</b>	<b>9,85</b>		16,60	4,50	8,10	13,00	<b>10,55</b>	<b>10,55</b>		14,70	<b>14,70</b>	5,50	8,60	14,20	<b>8,60</b>	<b>9,43</b>				
Cd		0,04	0,01	0,07	<0,05	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>		0,03	0,01	0,09	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>		0,03	0,01	<0,05	<0,05	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>		0,03	0,02	0,26	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,09</b>		0,04	<b>0,04</b>	0,01	<0,05	<0,05	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>				
Pb		0,12	0,13	0,28	3,30	<b>0,21</b>	<b>0,96</b>		0,09	0,15	0,66	0,94	<b>0,41</b>	<b>0,46</b>		0,12	0,14	0,63	<0,05	<b>0,14</b>	<b>0,24</b>		0,22	0,17	0,62	<0,05	<b>0,22</b>	<b>0,27</b>		0,14	<b>0,14</b>	0,13	0,07	<0,05	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>				
As		0,06					<b>0,06</b>		0,05					<b>0,05</b>		0,05					<b>0,05</b>		0,09					<b>0,09</b>		0,05	<b>0,05</b>									
Se		<0,03					<b>0,03</b>		0,03					<b>0,03</b>		0,03					<b>0,03</b>		0,03					<b>0,03</b>		0,03	<b>0,03</b>									
Mo		1,70					<b>1,70</b>		2,00					<b>2,00</b>		2,70					<b>2,70</b>		1,60					<b>1,60</b>		1,70	<b>1,70</b>									
Hg		0,03					<b>0,03</b>		0,02					<b>0,02</b>		0,05					<b>0,05</b>		0,04					<b>0,04</b>		0,03	<b>0,03</b>									

Zur Berechnung der Durchschnittswerte wurde das "<" Zeichen außer Acht gelassen und die Zahl dahinter normal verwendet.

### Anhang 13: Schwermetalle und Spurenelemente im Gras 1994-1998

Angaben in mg/kg TM

Elemente	Biokompost								Stallmistkompost								PK								GBK				
	1994	1995	1996	1997	1998	med	Ø		1994	1995	1996	1997	1998	med	Ø		1994	1995	1996	1997	1998	med	Ø		1996	1997	1998	med	Ø
Cr	2,46	2,05	5,04	3,14	3,14	<b>3,14</b>	<b>3,17</b>		2,76	2,18	4,92	3,4	3,4	<b>3,40</b>	<b>3,33</b>		3,18	1,68	5,41	3,6	3,6	<b>3,60</b>	<b>3,49</b>		5,44	5,44	5,44	<b>5,44</b>	<b>5,44</b>
Ni	2,59	2,38	3,74	2,89	2,89	<b>2,89</b>	<b>2,90</b>		2,87	2,27	3,97	3,1	3,1	<b>3,10</b>	<b>3,06</b>		3,16	2,63	4,83	3,65	3,65	<b>3,65</b>	<b>3,58</b>		4,6	4,6	4,6	<b>4,60</b>	<b>4,6</b>
Cu	8,41	7,81	9,63	8,6	8,61	<b>8,60</b>	<b>8,61</b>		8,22	7,91	10,08	8,83	8,83	<b>8,83</b>	<b>8,77</b>		8,12	7,66	8,65	8,19	8,19	<b>8,19</b>	<b>8,16</b>		9,15	9,15	9,14	<b>9,15</b>	<b>9,147</b>
Zn	43,87	67,71	42,39	51,25	51,24	<b>51,24</b>	<b>51,29</b>		48,63	78,48	45,66	57,11	57,1	<b>57,10</b>	<b>57,40</b>		41,48	67,71	44,96	50,68	50,67	<b>50,67</b>	<b>51,10</b>		45,73	45,73	45,72	<b>45,73</b>	<b>45,73</b>
Cd	0,11	0,21	0,15	0,16	0,16	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>		0,12	0,2	0,18	0,17	0,17	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>		0,13	0,25	0,25	0,21	0,21	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>		0,21	0,21	0,21	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>
Pb	0,77	1,25	2,15	1,37	1,37	<b>1,37</b>	<b>1,38</b>		0,75	1,24	2,35	1,52	1,52	<b>1,52</b>	<b>1,48</b>		0,55	0,95	2,57	1,46	1,46	<b>1,46</b>	<b>1,40</b>		2,49	2,49	2,49	<b>2,49</b>	<b>2,49</b>
As	0,31	0,3	1,41	0,65	0,65	<b>0,65</b>	<b>0,66</b>		0,26	0,43	1,69	0,86	0,86	<b>0,86</b>	<b>0,82</b>		0,28	0,33	1,93	0,94	0,94	<b>0,94</b>	<b>0,88</b>		2	2	2	<b>2,00</b>	<b>2</b>
Mo	1,77	2,23	2,5	2,15	2,15	<b>2,15</b>	<b>2,16</b>		2,01	2,75	2,53	2,45	2,45	<b>2,45</b>	<b>2,44</b>		1,17	1,05	0,9	1,03	1,03	<b>1,03</b>	<b>1,04</b>		1,7	1,7	1,7	<b>1,70</b>	<b>1,7</b>
Hg	0,05	0,05	0,1	0,07	0,07	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>		0,05	0,05	0,01	0,07	0,07	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>		0,05	0,05	0,1	0,07	0,07	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>		0,1	0,1	0,1	<b>0,10</b>	<b>0,1</b>

## Anhang 14: Schwermetalle und Spurenelemente in der Karotte 1999

Angaben in mg/kg TM

### Karotte

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	GBK
<b>Elemente</b>					
Cr	0,25	0,41	0,26	0,26	0,26
Ni	0,29	0,41	0,31	0,40	0,27
Cu	6,10	7,30	7,50	6,70	6,10
Zn	18,50	21,00	22,90	20,00	19,00
Cd	0,09	0,12	0,10	0,10	0,09
Pb	0,07	0,10	0,07	0,08	0,06
As	0,19	0,22	0,21	0,19	0,17
Se	0,26	0,29	0,27	0,27	0,26
Mo	0,86	0,81	0,87	0,41	0,78
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01

### Kraut

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	GBK
<b>Elemente</b>					
Cr	2,00	1,70	1,60	2,10	2,00
Ni	2,10	1,10	2,20	1,60	1,68
Cu	9,00	9,10	7,70	8,30	8,00
Zn	40,00	32,00	35,00	28,00	26,00
Cd	0,16	0,12	0,10	0,11	0,11
Pb	0,92	0,90	0,95	1,20	0,99
As	0,51	0,48	0,36	0,73	0,51
Se	0,80	0,65	0,64	0,68	0,70
Mo	20,80	17,40	17,10	11,00	20,50
Hg	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02

Anhang 15: Schwermetalle und Spurenelemente in der Kartoffel 1996-2007

Angaben in mg/kg TM

Knolle

Elemente	ungedüngt									Biokompost									Stallmistkompost									NPK									GBK					KSK							
	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	med	ØGBK	2004	2005	2006	2007	med	Ø	KSK	
Cr	0,14	0,16	0,06	0,67	0,42	0,52	0,46	0,42	0,35	0,18	0,14	0,06	0,67	0,42	0,28	0,37	0,28	0,30	0,15	0,11	0,11	0,57	0,34	0,36	0,47	0,34	0,30	0,30	0,09	0,07	0,54	0,31	0,67	0,27	0,30	0,32	0,13	0,12	0,08	0,12	0,11	0,68	0,59	0,38	0,45	0,52	0,53		
Ni	0,28	0,21	0,24	0,51	0,93	0,32	0,12	0,28	0,37	0,86	0,14	0,15	0,64	0,95	<0,05	0,09	0,40	0,41	0,63	0,20	0,18	0,37	0,95	<0,05	<0,05	0,37	0,35	0,15	0,27	0,17	0,29	0,42	0,33	<0,05	0,35	0,24	0,55	0,21	0,16	0,21	0,31	0,37	0,74	0,07	<0,05	0,37	0,31		
Cu	6,78	3,33	4,40	4,70	4,07	3,79	3,66	4,07	4,39	8,10	3,55	4,20	4,90	3,80	3,81	3,46	3,81	4,55	7,06	3,50	4,40	4,60	3,96	3,77	3,78	3,96	4,44	5,92	3,43	3,80	4,40	3,57	3,53	4,03	3,96	4,10	6,74	3,39	3,50	3,50	4,54	4,60	3,96	3,50	4,36	4,16	4,11		
Zn	10,30	7,99	13,00	12,10	12,20	14,60	11,00	12,10	11,60	12,10	8,97	10,30	11,60	11,70	15,10	10,20	11,60	11,42	11,80	9,74	13,10	11,10	12,20	13,70	11,00	11,80	11,81	10,60	8,85	11,00	11,30	11,50	14,10	11,30	11,50	11,24	11,00	10,40	9,50	10,40	10,30	10,80	10,40	13,60	11,90	11,35	11,68		
Cd	<0,02	0,03	0,03	0,03	<0,05	0,16	<0,05	0,03	0,05	<0,02	0,03	0,03	0,02	0,14	0,26	0,18	0,09	0,10	<0,02	0,04	0,03	0,02	0,32	0,21	<0,05	0,04	0,10	<0,02	0,04	0,06	0,05	<0,05	0,21	<0,05	0,06	0,07	<0,02	0,03	0,05	0,04	0,17	0,01	<0,05	<0,05	0,19	0,10	0,08		
Pb	<0,02	0,03	0,06	0,19	0,09	0,12	2,39	0,11	0,41	<0,02	0,03	0,07	0,23	<0,05	<0,05	2,36	0,15	0,40	<0,02	0,03	0,04	0,17	<0,05	0,37	2,57	0,17	0,46	0,02	0,02	0,04	0,21	0,23	0,37	3,33	0,19	0,60	<0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,27	0,13	<0,05	3,07	0,27	0,88		
As	<0,05	0,01	0,02					0,02	0,03	<0,05	0,02	0,02					0,02	0,03	<0,05	0,02	0,02					0,02	0,03	<0,05	0,02	0,02						0,02	0,03	<0,05	0,02	0,01	0,02	0,03							
Se		0,02	0,03						0,03		0,05	0,03					0,04	0,04		0,15	0,03						0,09	0,09		0,05	<0,03						0,03		0,05	<0,03	0,05	0,04							
Mo	1,39	0,41	0,44					0,44	0,75	1,83	0,70	0,56					0,70	1,03	1,54	0,46	0,58					0,58	0,86	1,03	0,28	0,26						0,70	0,52	1,68	0,33	0,38	0,38	0,80							
Hg	<0,10	0,01	<0,01					0,01	0,04	<0,10	0,01	<0,01					0,01	0,04	<0,10	0,01	<0,01					0,01	0,04	<0,10	0,01	<0,01						0,01	0,04	<0,10	0,01	<0,01	0,01	0,04							

Kraut

Elemente	ungedüngt									Biokompost									Stallmistkompost									NPK									GBK					KSK							
	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	2004	2005	2006	2007	med	Ø	1996	1998	2001	med	ØGBK	2004	2005	2006	2007		Ø	KSK	
Cr	17,90		0,44					9,17	27,20			0,74					13,97	21,30		0,79						11,05	16,40		0,34					8,37	10,50		0,47		5,49										
Ni	12,40		0,99					6,70	19,70			1,00					10,35	17,00		1,10							9,05	12,80		1,10					6,95	9,12		0,97		5,05									
Cu	26,20		456,00					241,10	27,60			234,00					130,80	27,70		641,00						334,40	23,10		877,00					450,10	20,40		784,00		402,20										
Zn	129,00		40,30					84,65	129,00			33,80					81,40	148,00		38,00						93,00	113,00		40,30					76,65	108,00		32,30		70,15										
Cd	0,22		0,38					0,30	0,23			0,30					0,27	0,25		0,46						0,36	0,22		0,69					0,46	0,26		0,65		0,46										
Pb	5,97		2,40					4,19	7,96			1,30					4,63	8,48		2,90						5,69	5,21		3,70					4,46	3,85		3,30		3,58										
As	3,43		0,14					1,79	4,62			0,10					2,36	5,58		0,11						2,85	4,12		0,15					2,14	2,81		0,22		1,52										
Se			0,09					0,09				0,10					0,10			0,09						0,09			0,11					0,11		0,10		0,10		0,10									
Mo	5,24		1,90					3,57	5,33			1,70					3,52	4,90		2,10						3,50	2,87		0,75					1,81	7,49		0,72		4,11										
Hg	<0,10		<0,010					<0,06	<0,10			<0,010					<0,06	<0,10		<0,010						<0,06	<0,10		<0,010					<0,06	<0,10		<0,010		<0,06										

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 16: Schwermetalle und Spurenelemente im Knoblauch 2000

Angaben in mg/kg TM

### Knolle

Elemente	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
Cr	0,07	1,80	0,15	1,30	0,40
Ni	0,37	1,20	0,35	1,54	0,52
Cu	5,05	5,00	4,43	5,18	4,79
Zn	24,40	27,60	28,90	33,50	26,60
Cd	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Pb	0,05	0,03	0,02	0,05	0,02
As	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Se	0,04	0,04	0,02	0,06	0,02
Mo	0,40	0,29	0,46	0,17	0,39
Hg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

## Anhang 17: Schwermetalle und Spurenelemente im Kohlrabi 2001

Angaben in mg/kg TM

### Knolle

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	0,26	0,13	0,07	0,09	0,05
Ni	0,28	0,25	0,24	0,29	0,28
Cu	2,32	2,04	2,00	2,24	2,35
Zn	17,20	15,90	14,10	19,60	17,50
Cd	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04
Pb	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
As	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Se	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Mo	1,61	1,38	1,26	0,79	1,09
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

### Blätter

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	1,8	0,68	0,52	0,88	0,49
Ni	2,6	1,9	1,7	2,6	2,1
Cu	3,9	2,7	2,43	3,56	3,05
Zn	32	19	23	28	23
Cd	0,33	0,2	0,19	0,22	0,2
Pb	0,9	0,37	0,28	0,52	0,3
As	0,28	0,14	0,091	0,18	0,12
Se	0,18	0,11	0,06	0,04	0,045
Mo	17	13,4	11	8,8	9,9
Hg	0,21	0,32	0,081	<0,01	0,35

## Anhang 18: Schwermetalle und Spurenelemente im Kraut 1997

Angaben in mg/kg TM

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	0,11	0,10	0,10	0,12	0,15
Ni	0,34	0,40	0,36	0,34	0,28
Cu	0,61	0,77	0,38	0,81	0,58
Zn	12,00	11,90	9,06	11,20	12,40
Cd	0,08	0,06	0,07	0,08	0,05
Pb	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	0,04
As	0,11	0,18	<0,05	0,10	0,21
Mo	2,68	2,52	2,23	2,05	2,69
Hg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 19: Schwermetalle und Spurenelemente im Kren 2005-2006

Angaben in mg/kg TM

### Wurzel

Elemente	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			KSK		
	2005	2006	Ø	2005	2006	Ø	2005	2006	Ø	2005	2006	Ø	2005	2006	Ø KSK
Cr	1,99	0,77	<b>1,38</b>	2,01	0,56	<b>1,29</b>	1,65	0,66	<b>1,16</b>	1,73	0,73	<b>1,23</b>	2,67	1,31	<b>1,99</b>
Ni	1,91	0,41	<b>1,16</b>	1,81	1,14	<b>1,48</b>	1,6	0,66	<b>1,13</b>	1,7	0,73	<b>1,22</b>	2,67	0,86	<b>1,77</b>
Cu	7,55	6,35	<b>6,95</b>	7,17	6,66	<b>6,92</b>	7,12	6,69	<b>6,91</b>	6,86	8,51	<b>7,69</b>	7,71	6,58	<b>7,15</b>
Zn	38,4	42	<b>40,20</b>	37	44,9	<b>40,95</b>	43,9	45	<b>44,45</b>	35,2	41,7	<b>38,45</b>	35,7	52	<b>43,85</b>
Cd	0,18	0,25	<b>0,22</b>	0,19	0,1	<b>0,15</b>	0,13	<0,05	<b>0,09</b>	<0,05	0,1	<b>0,08</b>	0,1	0,09	<b>0,10</b>
Pb	0,49	0,49	<b>0,49</b>	0,75	0,78	<b>0,77</b>	0,41	0,58	<b>0,50</b>	0,31	0,81	<b>0,56</b>	0,33	0,45	<b>0,39</b>

### Blätter

Elemente	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			KSK		
	2005			2005			2005			2005			2005		
Cr	1,28			0,82			0,98			0,94			1,64		
Ni	0,7			0,12			0,28			0,85			1,2		
Cu	2,95			3,09			2,78			2,92			3,59		
Zn	8			10,7			8,7			7,8			10,8		
Cd	<0,05			0,22			<0,05			0,4			<0,05		
Pb	1,96			2,19			2,21			1,96			2,38		

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 20: Schwermetalle und Spurenelemente im Kürbis 1998 und 2001

Angaben in mg/kg TM

### Kürbisfleisch

Element	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			GBK		
	1998	2001	Ø	1998	2001	Ø	1998	2001	Ø	1998	2001	Ø	1998	2001	Ø
Cr	0,84	0,25	<b>0,55</b>	0,83	0,55	<b>0,69</b>	0,76	0,29	<b>0,52</b>	0,86	0,30	<b>0,58</b>	0,63	0,18	<b>0,40</b>
Ni	1,49	1,30	<b>1,40</b>	1,63	1,50	<b>1,57</b>	1,13	3,10	<b>2,12</b>	2,42	1,60	<b>2,01</b>	1,64	1,60	<b>1,62</b>
Cu	5,79	6,20	<b>6,00</b>	5,67	11,70	<b>8,69</b>	3,51	3,80	<b>3,66</b>	5,50	6,30	<b>5,90</b>	5,38	6,40	<b>5,89</b>
Zn	9,73	16,20	<b>12,97</b>	12,60	18,50	<b>15,55</b>	7,94	13,10	<b>10,52</b>	11,00	16,70	<b>13,85</b>	12,30	12,40	<b>12,35</b>
Cd	0,05	0,02	<b>0,04</b>	0,03	0,03	<b>0,03</b>	0,03	0,03	<b>0,03</b>	0,05	0,03	<b>0,04</b>	0,03	0,05	<b>0,04</b>
Pb	0,62	0,15	<b>0,38</b>	0,83	0,33	<b>0,58</b>	0,47	0,07	<b>0,27</b>	0,68	0,10	<b>0,39</b>	0,49	0,08	<b>0,29</b>
As	0,21	0,07	<b>0,14</b>	0,18	0,12	<b>0,15</b>	0,12	0,09	<b>0,11</b>	0,18	0,08	<b>0,13</b>	0,15	0,10	<b>0,12</b>
Se	0,044	0,058	<b>0,05</b>	0,039	0,06	<b>0,05</b>	0,04	0,045	<b>0,04</b>	0,036	0,053	<b>0,04</b>	0,035	0,053	<b>0,04</b>
Mo	1,910	3,8	<b>2,86</b>	1,35	4,4	<b>2,88</b>	1,44	2,7	<b>2,07</b>	0,493	2,5	<b>1,50</b>	0,924	5,7	<b>3,31</b>
Hg	0,02	<0,01	<b>0,02</b>	0,01	<0,01	<b>0,01</b>	0,01	<0,01	<b>0,01</b>	0,01	<0,01	<b>0,01</b>	0,02	<0,01	<b>0,02</b>

### Kraut

Element	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			GBK		
		2001			2001			2001			2001			2001	
Cr		1,80			1,50			1,20			1,10			1,10	
Ni		2,20			2,40			2,30			2,30			2,20	
Cu		7,80			7,30			8,60			7,60			6,70	
Zn		42,80			45,70			54,00			38,20			36,40	
Cd		0,12			0,16			0,11			0,12			0,16	
Pb		0,67			0,73			0,55			0,54			0,58	
As		0,56			0,37			0,26			0,35			0,32	
Se		0,12			0,12			0,1			0,11			0,13	
Mo		7,5			7,8			6,3			5,5			6,1	
Hg		<0,01			<0,02			<0,02			<0,02			<0,02	

### Kerne

Element	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			GBK		
		2001			2001			2001			2001			2001	
Cr		0,14			0,07			0,05			0,18			0,06	
Ni		1,76			1,18			1,09			1,60			1,44	
Cu		15,00			14,20			13,80			14,40			14,40	
Zn		80,00			79,00			75,60			71,00			76,00	
Cd		0,02			0,02			0,01			0,02			0,02	
Pb		0,06			0,02			0,02			0,09			0,03	
As		0,04			0,03			0,01			0,03			0,01	
Se		0,08			0,06			0,05			0,06			0,07	
Mo		4,08			3,90			3,32			3,01			3,58	
Hg		<0,01			<0,01			<0,01			<0,01			<0,01	

## Anhang 21: Schwermetalle und Spurenelemente im Majoran 2007

Angaben in mg/kg TM

### Kraut 1. und 2. Aufwuchs

Elemente	ungedüngt			Biokompost			Stallmistk.			NPK			KSK		
	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø
Cr	3,71	2,50	<b>3,11</b>	3,75	2,36	<b>3,06</b>	3,31	2,35	<b>2,83</b>	3,41	2,34	<b>2,88</b>	3,28	2,93	<b>3,11</b>
Ni	2,91	1,91	<b>2,41</b>	3,02	1,76	<b>2,39</b>	2,28	2,23	<b>2,26</b>	2,46	1,66	<b>2,06</b>	2,33	2,20	<b>2,27</b>
Cu	13,96	10,74	<b>12,35</b>	12,25	10,38	<b>11,32</b>	13,04	9,95	<b>11,50</b>	11,88	9,66	<b>10,77</b>	12,74	9,63	<b>11,19</b>
Zn	30,00	24,70	<b>27,35</b>	24,00	22,50	<b>23,25</b>	25,40	20,80	<b>23,10</b>	22,70	22,10	<b>22,40</b>	26,90	22,20	<b>24,55</b>
Cd	0,39	0,26	<b>0,33</b>	0,09	0,20	<b>0,15</b>	0,27	<0,05	<b>0,16</b>	0,33	0,07	<b>0,20</b>	0,39	0,21	<b>0,30</b>
Pb	1,40	1,06	<b>1,23</b>	0,84	1,14	<b>0,99</b>	1,05	0,72	<b>0,89</b>	0,92	0,76	<b>0,84</b>	1,19	0,92	<b>1,06</b>

## Anhang 22: Schwermetalle und Spurenelemente im Sommer. bzw. Winterraps 1996-2007

Angaben in mg/kg TM

### Korn

Elemente	ungedüngt							Biokompost							Stallmistkompost							NPK							GBK			KSK				
	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	ØGBK	2004	2006	2007	med	Ø KSK
Cr	0,64	0,08	0,01	2,64	0,61	<b>0,61</b>	<b>0,80</b>	0,16	0,04	0,06	1,04	0,64	<b>0,16</b>	<b>0,39</b>	0,37	0,05	0,03	1,34	0,68	<b>0,37</b>	<b>0,49</b>	0,32	0,04	0,04	1,74	0,57	<b>0,32</b>	<b>0,54</b>	0,55	0,05	<b>0,30</b>	0,02	0,62	0,72	<b>0,62</b>	<b>0,45</b>
Ni	0,20	0,18	0,00	1,12	<0,05	<b>0,19</b>	<b>0,31</b>	0,27	0,15	0,00	<0,05	0,06	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	0,22	0,17	0,00	0,70	0,22	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>	0,20	0,19	0,02	0,40	<0,05	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	0,19	0,24	<b>0,22</b>	0,00	<0,05	<0,05	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>
Cu	2,59	2,80	1,80	2,06	2,93	<b>2,59</b>	<b>2,44</b>	2,40	2,60	1,80	2,09	2,67	<b>2,40</b>	<b>2,31</b>	2,21	2,70	2,00	1,98	2,69	<b>2,21</b>	<b>2,32</b>	2,28	2,60	2,10	2,05	2,66	<b>2,28</b>	<b>2,34</b>	2,38	2,00	<b>2,19</b>	2,00	1,94	2,76	<b>2,00</b>	<b>2,23</b>
Zn	28,90	36,70	24,30	32,40	32,70	<b>32,40</b>	<b>31,00</b>	30,10	34,40	23,50	33,30	31,50	<b>31,50</b>	<b>30,56</b>	25,80	35,20	24,90	32,30	31,30	<b>31,30</b>	<b>29,90</b>	26,80	35,40	25,40	34,80	31,70	<b>31,70</b>	<b>30,82</b>	24,20	36,60	<b>48,70</b>	24,60	32,90	31,60	<b>31,60</b>	<b>29,70</b>
Cd	<0,02	0,02	0,03	0,14	0,09	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<0,02	0,02	0,03	0,06	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<0,02	0,02	0,02	<0,05	<0,05	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<0,02	0,02	0,03	0,16	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<0,02	0,02	<b>0,03</b>	0,02	<0,05	0,12	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>
Pb	0,09	0,03	0,02	0,46	1,73	<b>0,09</b>	<b>0,47</b>	0,06	0,01	0,00	0,15	1,77	<b>0,06</b>	<b>0,40</b>	0,03	0,02	0,01	0,17	3,73	<b>0,03</b>	<b>0,79</b>	0,04	0,01	0,02	0,58	0,29	<b>0,04</b>	<b>0,19</b>	0,08	0,01	<b>0,05</b>	0,01	0,47	3,62	<b>0,47</b>	<b>1,37</b>
As	<0,05	<0,01					<b>0,03</b>	<0,05	<0,01					<b>0,03</b>	<0,05	<0,01				<b>0,03</b>	<0,05	<0,01					<b>0,03</b>	<0,05	<0,01	<b>0,04</b>						
Se		0,13					<b>0,13</b>		0,08					<b>0,08</b>		0,10					<b>0,10</b>		0,05					<b>0,05</b>		0,08	<b>0,08</b>					
Mo	1,06	0,97					<b>1,02</b>	1,13	0,93					<b>1,03</b>	1,22	0,94					<b>1,08</b>	0,98	0,80					<b>0,89</b>	1,34	0,85	<b>1,10</b>					
Hg	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01					<b>0,06</b>	<0,10	<0,01	<b>0,06</b>					

### Stroh

Elemente	ungedüngt							Biokompost							Stallmistkompost							NPK							GBK			KSK				
	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	ØGBK	2004	2006	2007	med	Ø KSK
Cr	8,03	0,83	0,50	0,66	0,89	<b>0,83</b>	<b>2,18</b>	9,21	2,30	0,21	0,63	0,81	<b>0,81</b>	<b>2,63</b>	4,36	0,78	0,25	0,99	0,93	<b>0,93</b>	<b>1,46</b>	2,68	0,72	0,20	0,67	0,85	<b>0,72</b>	<b>1,02</b>	3,56	0,69	<b>2,13</b>	0,27	0,66	0,60	<b>0,60</b>	<b>0,51</b>
Ni	5,42	0,64	0,13	<0,05	0,18	<b>0,41</b>	<b>1,28</b>	6,66	1,30	0,04	<0,05	0,28	<b>0,79</b>	<b>1,67</b>	2,69	0,55	0,04	0,17	<0,05	<b>0,36</b>	<b>0,70</b>	1,65	0,53	0,04	0,06	0,18	<b>0,18</b>	<b>0,49</b>	2,15	0,56	<b>1,36</b>	0,04	<0,05	0,75	<b>0,40</b>	<b>0,28</b>
Cu	6,96	2,00	2,80	1,32	1,43	<b>2,00</b>	<b>2,90</b>	7,32	2,70	1,90	1,46	1,54	<b>1,90</b>	<b>2,98</b>	5,98	1,90	2,10	1,66	1,53	<b>1,90</b>	<b>2,63</b>	3,70	1,70	2,00	1,55	1,43	<b>1,70</b>	<b>2,08</b>	3,85	1,70	<b>2,78</b>	2,10	1,39	1,41	<b>1,41</b>	<b>1,63</b>
Zn	30,40	10,90	9,60	5,90	4,40	<b>9,60</b>	<b>12,24</b>	27,90	13,20	6,70	4,70	4,00	<b>6,70</b>	<b>11,30</b>	18,40	8,90	6,40	6,30	4,20	<b>6,40</b>	<b>8,84</b>	12,40	8,10	5,50	6,30	3,00	<b>6,30</b>	<b>7,06</b>	12,10	9,60	<b>10,85</b>	5,80	6,10	2,30	<b>5,80</b>	<b>4,73</b>
Cd	0,15	0,12	0,12	0,09	0,14	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	0,07	0,11	0,05	<0,05	0,14	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	0,08	0,10	0,08	<0,05	0,06	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	0,07	0,09	0,10	0,13	0,11	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	0,09	0,13	<b>0,11</b>	0,08	0,12	0,07	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
Pb	1,64	0,23	0,16	0,99	2,42	<b>0,99</b>	<b>1,09</b>	2,57	0,54	0,07	0,66	3,71	<b>0,66</b>	<b>1,51</b>	1,43	0,22	0,32	1,35	0,22	<b>0,32</b>	<b>0,71</b>	0,48	0,21	0,09	0,74	3,20	<b>0,48</b>	<b>0,94</b>	0,65	0,24	<b>0,45</b>	0,11	1,29	2,40	<b>1,29</b>	<b>1,27</b>
As	1,07	0,16					<b>0,62</b>	1,57	0,41					<b>0,99</b>	0,34	0,16				<b>0,25</b>	0,09	0,14					<b>0,12</b>	0,14	0,15	<b>0,15</b>						
Se		0,21					<b>0,21</b>		0,15					<b>0,15</b>		0,13					<b>0,13</b>		0,11					<b>0,11</b>		0,15	<b>0,15</b>					
Mo	3,63	4,50					<b>4,07</b>	4,13	3,00					<b>3,57</b>	3,88	2,60					<b>3,24</b>	1,63	2,30					<b>1,97</b>	3,90	3,90	<b>3,90</b>					
Hg	<0,10	0,03					<b>0,65</b>	<0,1	0,32					<b>0,21</b>	<0,10	0,03					<b>0,07</b>	<0,1	0,03					<b>0,07</b>	<0,1	0,04	<b>0,07</b>					

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 23: Schwermetalle und Spurenelemente in der Roten Rüben 1998

Angaben in mg/kg TM

### Rübe

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	0,18	0,16	0,08	0,18	0,16
Ni	0,10	0,06	0,02	0,12	0,07
Cu	6,60	6,00	6,60	6,40	7,00
Zn	27,00	23,70	26,60	22,40	28,40
Cd	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
Pb	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06
As	0,05	0,02	<0,01	0,02	<0,01
Se	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10
Mo	0,22	0,20	0,24	0,25	0,26
Hg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,025

### Blätter

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	0,70	0,62	0,62	0,81	0,77
Ni	2,42	1,41	0,86	0,84	0,82
Cu	11,20	10,80	11,00	10,60	9,11
Zn	21,20	24,90	28,40	22,10	37,50
Cd	0,14	0,15	0,21	0,13	0,28
Pb	0,85	0,56	0,47	1,10	0,61
As	0,15	0,12	0,10	0,09	0,16
Se	0,18	0,17	0,19	0,18	0,21
Mo	5,01	3,23	4,89	4,12	4,28
Hg	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05

## Anhang 24: Schwermetalle und Spurenelemente im Schwarzen Rettich 1998

Angaben in mg/kg TM

### Knolle

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07
Ni	0,26	0,21	0,12	0,14	0,10
Cu	1,27	1,54	1,27	1,10	0,95
Zn	19,50	17,90	18,30	18,00	15,20
Cd	0,05	0,05	0,07	0,06	0,05
Pb	0,06	0,03	0,03	0,04	0,02
As	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03
Se	0,08	0,05	0,02	0,04	0,02
Mo	1,35	1,61	1,02	0,96	0,80
Hg	0,05	0,01	0,01	0,02	0,01

### Blätter

	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
<b>Elemente</b>					
Cr	1,15	1,31	1,62	0,97	1,22
Ni	0,90	0,91	1,33	0,91	1,69
Cu	4,09	3,94	3,99	3,14	4,15
Zn	41,20	34,70	38,20	25,30	37,20
Cd	0,15	0,19	0,24	0,16	0,19
Pb	1,15	1,29	1,07	0,95	1,51
As	0,33	0,45	0,25	0,29	0,39
Se	0,30	0,39	0,37	0,35	0,39
Mo	5,51	6,40	5,93	4,06	4,79
Hg	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04

## Anhang 25: Schwermetalle und Spurenelemente im Silomais (2006 und 2007) - Daten für Bilanz Zuckermais 2002

Angaben in mg/kg TM

### Ganzpflanze gemahlen

Elemente	ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			NPK			KSK		
	2006	2007	Ø	2006	2007	Ø	2006	2007	Ø	2006	2007	Ø	2006	2007	Ø KSK
Cr	1,41	0,76	<b>1,09</b>	1,38	0,61	<b>1,00</b>	1,6	0,72	<b>1,16</b>	1,84	1,07	<b>1,46</b>	1,45	0,83	<b>1,14</b>
Ni	0,74	1,01	<b>0,88</b>	0,22	0,77	<b>0,50</b>	0,82	0,52	<b>0,67</b>	0,64	1,25	<b>0,95</b>	0,78	1,03	<b>0,91</b>
Cu	2,87	2,11	<b>2,49</b>	2,67	2,58	<b>2,63</b>	3,22	2,37	<b>2,80</b>	3,26	2,83	<b>3,05</b>	3,1	2,78	<b>2,94</b>
Zn	20,1	16,1	<b>18,10</b>	13	11,3	<b>12,15</b>	11,5	9	<b>10,25</b>	9,5	10,5	<b>10,00</b>	12,6	10,5	<b>11,55</b>
Cd	0,08	0,29	<b>0,19</b>	0,34	0,48	<b>0,41</b>	<0,05	0,35	<b>0,20</b>	<0,05	0,08	<b>0,07</b>	<0,05	0,45	<b>0,25</b>
Pb	0,09	<0,05	<b>0,07</b>	0,34	0,05	<b>0,20</b>	1,71	<0,05	<b>0,88</b>	1,58	0,23	<b>0,91</b>	1,39	0,1	<b>0,75</b>

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 26: Schwermetalle und Spurenelemente im Weizen (1996-2007)

Angaben in mg/kg TM

### Korn

Elemente	ungedüngt							Biokompost							Stallmistkompost							NPK							GBK			KSK				
	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	ØGBK	2004	2006	2007	med	Ø KSK
Cr	0,12	0,17	1,45	0,52	0,39	<b>0,39</b>	<b>0,53</b>	0,12	0,08	4,30	0,28	0,32	<b>0,28</b>	<b>1,02</b>	0,08	0,07	1,76	0,22	0,70	<b>0,22</b>	<b>0,57</b>	0,59	0,05	1,38	0,06	0,62	<b>0,59</b>	<b>0,54</b>	0,16	0,11	<b>0,14</b>	1,62	0,14	0,41	<b>0,41</b>	<b>0,72</b>
Ni	<0,05	0,16	0,77	0,59	0,12	<b>0,38</b>	<b>0,34</b>	<0,05	0,10	0,83	0,64	<0,05	<b>0,64</b>	<b>0,33</b>	0,19	0,17	0,65	0,35	0,19	<b>0,19</b>	<b>0,31</b>	0,37	0,14	0,73	0,53	<0,05	<b>0,45</b>	<b>0,36</b>	0,34	0,31	<b>0,33</b>	0,88	0,49	<0,05	<b>0,69</b>	<b>0,47</b>
Cu	3,96	2,60	3,60	5,99	2,27	<b>3,60</b>	<b>3,68</b>	3,94	3,20	3,80	4,84	2,28	<b>3,80</b>	<b>3,61</b>	3,76	2,90	3,80	5,02	2,49	<b>3,76</b>	<b>3,59</b>	4,23	3,30	3,80	5,66	2,52	<b>3,80</b>	<b>3,90</b>	4,09	3,00	<b>3,55</b>	3,70	5,21	2,50	<b>3,70</b>	<b>3,80</b>
Zn	33,10	29,80	21,80	90,00	20,90	<b>29,80</b>	<b>39,12</b>	32,60	28,80	22,60	62,30	21,50	<b>28,80</b>	<b>33,56</b>	37,60	25,80	21,70	58,10	21,70	<b>25,80</b>	<b>32,98</b>	31,00	32,40	21,20	49,90	24,10	<b>31,00</b>	<b>31,72</b>	29,00	27,20	<b>28,10</b>	21,50	53,80	24,00	<b>24,00</b>	<b>33,10</b>
Cd	0,02	0,02	0,02	0,13	0,05	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	0,02	0,02	0,04	0,06	0,05	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	0,02	0,02	0,04	0,24	0,05	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<0,02	0,03	0,04	<0,05	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<0,02	0,03	<b>0,01</b>	0,03	0,07	<0,05	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
Pb	<0,02	0,06	0,00	<0,05	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<0,02	0,04	0,02	0,08	<0,05	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<0,02	0,04	0,02	0,13	0,86	<b>0,09</b>	<b>0,21</b>	<0,02	0,03	0,03	0,15	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<0,02	0,05	<b>0,04</b>	0,01	0,31	0,76	<b>0,31</b>	<b>0,36</b>
As	<0,05	<0,01				<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<0,05	<0,01				<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<0,05	<0,01				<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<0,05	<0,01				<b>0,03</b>	<0,05	<0,01	<b>0,03</b>						
Se		0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>		0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>		0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>		0,04				<b>0,04</b>	<0,05	<0,01	<b>0,03</b>						
Mo	2,04	0,93				<b>1,49</b>	<b>1,49</b>	1,11	1,00				<b>1,05</b>	<b>1,11</b>	1,21	1,00				<b>1,11</b>	<b>1,11</b>	1,07	0,72		0,00		<b>0,90</b>	2,61	0,77	<b>1,69</b>						
Hg	<0,10	<0,01				<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<0,10	<0,01				<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<0,10	<0,01				<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<0,10	<0,01				<b>0,06</b>	<0,10	<0,01	<b>0,06</b>						

### Stroh

Elemente	ungedüngt							Biokompost							Stallmistkompost							NPK							GBK			KSK				
	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	2004	2006	2007	med	Ø	1996	2001	1999	2004	2006	2007	med	Ø KSK
Cr	2,85	0,89	0,81	0,92	0,89	<b>0,89</b>	<b>1,27</b>	2,82	1,10	0,94	1,30	0,73	<b>1,10</b>	<b>1,38</b>	3,71	0,83	0,78	1,35	1,00	<b>1,00</b>	<b>1,53</b>	2,81	0,72	0,57	0,65	0,46	<b>0,65</b>	<b>1,04</b>	3,87	2,20	<b>3,04</b>	1,27	1,28	1,52	<b>1,28</b>	<b>1,36</b>
Ni	1,54	0,52	0,40	0,86	0,68	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>	1,63	0,65	0,58	0,86	0,46	<b>0,65</b>	<b>0,84</b>	1,97	0,05	0,46	1,41	0,40	<b>0,46</b>	<b>0,86</b>	1,67	0,04	0,34	0,72	0,33	<b>0,34</b>	<b>0,62</b>	2,39	1,30	<b>1,85</b>	0,67	0,28	0,05	<b>0,28</b>	<b>0,33</b>
Cu	2,33	2,30	0,70	2,39	1,43	<b>2,30</b>	<b>1,83</b>	2,20	2,20	0,60	2,45	1,43	<b>2,20</b>	<b>1,78</b>	2,08	1,80	0,60	2,91	1,78	<b>1,80</b>	<b>1,83</b>	2,33	1,70	0,90	2,73	1,33	<b>1,70</b>	<b>1,80</b>	3,35	4,40	<b>3,88</b>	1,50	2,12	1,71	<b>1,71</b>	<b>1,78</b>
Zn	18,90	13,90	5,60	16,90	9,90	<b>13,90</b>	<b>13,04</b>	17,10	14,30	3,60	11,30	6,20	<b>11,30</b>	<b>10,50</b>	13,70	15,50	4,60	13,40	12,70	<b>13,40</b>	<b>11,98</b>	14,60	9,50	4,30	18,10	9,20	<b>9,50</b>	<b>11,14</b>	25,60	45,30	<b>35,45</b>	6,00	17,40	9,80	<b>9,80</b>	<b>11,07</b>
Cd	0,08	0,03	0,02	0,06	<0,05	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	0,06	0,03	0,02	0,10	<0,05	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	0,05	0,03	0,02	<0,05	<0,05	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<0,02	0,05	0,02	0,31	<0,05	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>	0,09	0,06	<b>0,07</b>	0,03	0,14	<0,05	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>
Pb	0,24	0,15	0,12	0,71	3,50	<b>0,24</b>	<b>0,94</b>	0,31	0,21	0,06	0,57	2,64	<b>0,31</b>	<b>0,76</b>	0,31	0,17	0,08	0,29	2,00	<b>0,29</b>	<b>0,57</b>	0,25	0,17	0,04	0,42	1,40	<b>0,25</b>	<b>0,46</b>	0,51	0,19	<b>0,35</b>	0,12	0,55	0,92	<b>0,55</b>	<b>0,53</b>
As	<0,05	0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<0,05	0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<0,05	0,04				<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<0,05	0,04				<b>0,05</b>	0,26	0,07	<b>0,17</b>						
Se		0,05				<b>0,05</b>	<b>0,05</b>		0,06				<b>0,06</b>	<b>0,06</b>		0,04				<b>0,04</b>	<b>0,04</b>		0,02				<b>0,02</b>		0,11	<b>0,11</b>						
Mo	6,07	0,96				<b>3,50</b>	<b>3,50</b>	5,05	1,00				<b>3,03</b>	<b>3,03</b>	7,52	0,86				<b>4,19</b>	<b>4,19</b>	3,97	0,69				<b>2,33</b>	7,07	0,85	<b>3,90</b>						
Hg	<0,10	0,03				<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<0,10	0,04				<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<0,10	0,04				<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<0,10	0,03				<b>0,07</b>	<0,10	0,02	<b>0,06</b>						

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt

## Anhang 27: Schwermetalle und Spurenelemente im Zuckerblatt 2006 1. und 2. Auwuchs

Angaben in mg/kg TM

	ungedüngt			Biompost			Stallmistkompost			NPK			KSK		
Elemente	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø	1.	2.	Ø KSK
Cr	0,94	1,95	<b>1,45</b>	0,60	1,89	<b>1,25</b>	0,57	2,12	<b>1,35</b>	0,64	1,71	<b>1,18</b>	0,69	1,78	<b>1,24</b>
Ni	1,03	1,06	<b>1,05</b>	0,89	0,94	<b>0,92</b>	0,86	1,44	<b>1,15</b>	1,50	1,26	<b>1,38</b>	0,89	1,39	<b>1,14</b>
Cu	4,73	5,61	<b>5,17</b>	4,86	5,80	<b>5,33</b>	4,32	6,05	<b>5,19</b>	3,53	5,28	<b>4,41</b>	4,07	5,71	<b>4,89</b>
Zn	21,10	28,10	<b>24,60</b>	20,90	26,30	<b>23,60</b>	20,90	30,40	<b>25,65</b>	24,40	30,70	<b>27,55</b>	20,20	28,60	<b>24,40</b>
Cd	0,31	0,25	<b>0,28</b>	0,16	0,22	<b>0,19</b>	0,37	0,37	<b>0,37</b>	<0,05	0,27	<b>0,16</b>	<0,05	0,16	<b>0,11</b>
Pb	1,06	0,77	<b>0,92</b>	0,66	0,66	<b>0,66</b>	0,97	1,16	<b>1,07</b>	1,16	0,66	<b>0,91</b>	0,74	1,19	<b>0,97</b>

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 28: Schwermetalle und Spurenelemente in der Zwiebel 1997

Angaben in mg/kg TM

Elemente	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
Cr	0,26	0,74	0,14	0,14	0,12
Ni	0,67	0,36	0,44	0,35	0,34
Cu	4,30	3,80	3,80	4,20	3,80
Zn	11,30	12,20	13,00	13,80	10,80
Cd	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05
Pb	0,14	2,10	0,36	0,05	0,05
As	0,07	0,10	0,12	0,06	0,04
Mo	0,61	0,92	0,54	0,53	0,54
Hg	<0,05	<0,06	<0,07	<0,08	<0,09

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 28: Schwermetalle und Spurenelemente in der Zwiebel 1997

Angaben in mg/kg TM

Elemente	ungedüngt	Biokompost	Stallmistkompost	NPK	Granulierter Biokompost
Cr	0,26	0,74	0,14	0,14	0,12
Ni	0,67	0,36	0,44	0,35	0,34
Cu	4,30	3,80	3,80	4,20	3,80
Zn	11,30	12,20	13,00	13,80	10,80
Cd	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05
Pb	0,14	2,10	0,36	0,05	0,05
As	0,07	0,10	0,12	0,06	0,04
Mo	0,61	0,92	0,54	0,53	0,54
Hg	<0,05	<0,06	<0,07	<0,08	<0,09

Für die Berechnung des Durchschnittes einer Variante wurden die "<"-Zeichen nicht berücksichtigt.

## Anhang 29: Kompostanalysen

Untersuchungsergebnisse von **Biokompost** nach ÖNORM S 2200 aus den bisher in den Versuchen angewandten Chargen in den Jahren von 1996 bis 2007 sowie die Darstellung der Durchschnitts-, Höchst- und Tiefstwerte

		1996	1996	1996	1996	1996	1997	1998	1999	1999	1999	2000	2001	2002	2004	2006	2007	10 jähr.	Höchst-	Tiefst-
		Frühj.	Frühj.	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Herbst	Frühj.	Frühj.	Ø	werte	werte
Trockenm.	%	71,5	72,4	67,4	68,8	70,025	71,2	64,3	58,9	62,4	60,65	64,5	59,8	92,9	61,5	53,3	63,4	66,59	92,9	53,3
pH-Wert		7,5	8,1	7,6	7,7	7,725	7,7	7,5	7,8	6,9	7,35	6,6	8,3	9,3	8,2	6,7	7	7,64	9,3	6,6
Aschegeh.	%	61	62,5	65,7	64,5	63,425	71,3	58,2	71,9	63,3	67,6	67,1	54,1	30,9	68,2	80,1	71,1	63,56	80,1	30,9
Gesamt N	kg/t TM	16,4	18,3	18,2	16,9	17,45	14,5	17,6	12,8	14,7	13,75	14,9	23,7	20,6	19	14,1	13,5	16,80	23,7	12,8
Gesamt P	kg/t TM	10,1	8,6	10,5	7,9	9,275	8,7	9,7	10	15,4	12,7	10,5	10,2	6,9	9,1	11,7	23,6	10,92	12,7	6,9
Gesamt K	kg/t TM	13,8	12,5	14,2	11,3	12,95	10,1	14,2	10,5	32,5	21,5	12,1	13,3	9,9	8,6	4,9	4,1	12,29	21,5	4,1
Chrom	mg/kg TM	33,4	27,2	24,9	29,3	28,7	18,9	35,9		16,1	16,1	48,0						29,21	48	16,1
Nickel	mg/kg TM	38,8	41,1	34,1	56	42,5	34,1	28,4		16,2	16,2	38,9						35,95	56	16,2
Kupfer	mg/kg TM	61,4	50,5	40,8	48,8	50,375	29,5	55,9		34,9	34,9	71,7						49,19	71,7	29,5
Zink	mg/kg TM	201,5	175,8	143,1	148,9	167,325	96,1	221,2		166,3	166,3	220,4						171,66	220,4	96,1
Cadmium	mg/kg TM	0,33	0,2	0,7	0,2	0,3575	0,5	0,68		0,34	0,34	0,3						0,41	0,68	0,2
Blei	mg/kg TM	52,8	42,9	35,6	42,7	43,5	36,2	54,8		14,3	14,3	70,2						43,69	70,2	14,3
Quecksilber	mg/kg TM	0,25	0,2		0,1	0,183333		0,32		0,44	0,44	0,4						0,28	0,44	0,1

Untersuchungsergebnisse von **Stallmistkompost** nach ÖNORM S 2200 aus den bisher in den Versuchen angewandten Chargen in den Jahren von 1996 bis 2007 sowie die Darstellung der Durchschnitts-, Höchst- und Tiefstwerte

		1996	1996	1996	1996	1997	1998	1999	1999	1999	2000	2001	2002	2004	2006	2006	2006	2007	10 jähr.	Höchst-	Tiefst-
		Frühj.	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Herbst	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Ø	werte	werte
Trockenmasse	%	48,5	65,8	38,1	50,80	36,20	30,30	25,00	43,60	34,30	32,60	24,10	22,10	34,20	38,30	30,50	34,40	34,30	33,33	65,80	22,10
pH-Wert		8,1	7,5	8	7,87	8,00	8,00	8,20	8,60	8,40	8,50	8,20	8,50	8,50	7,20	8,70	7,95	8,30	8,22	8,50	7,20
Aschegehalt	%	56,5	62,5	56,4	58,47	58,60	53,80	49,50	54,60	52,05	50,70	22,80	24,90	36,50	43,60	34,70	39,15	43,00	44,00	62,50	22,80
Gesamt N	kg/t TM	25	21,7	16,4	21,03	24,40	20,20	26,40	15,70	21,05	14,40	16,20	26,30	28,30	26,30	26,40	26,35	25,30	22,35	26,40	14,40
Gesamt P	kg/t TM	12,5	13,8	11,2	12,50	14,60	21,00	24,80	8,80	16,80	15,00	14,40	14,40	18,60	26,40	20,70	23,55	26,90	17,78	26,90	8,80
Gesamt K	kg/t TM	23,5	25,6	15,8	21,63	22,80	49,60	44,50	11,60	28,05	32,80	23,20	23,10	54,10	23,90	52,50	38,20	48,00	34,15	54,10	11,60
Chrom	mg/kg TM	22,7	11,4	18,4	17,50	7,50			33,10	33,10	36,20								23,58	36,20	7,50
Nickel	mg/kg TM	20,7	14,3	19,4	18,13	11,00	15,80		30,60	30,60	21,80								19,47	30,60	11,00
Kupfer	mg/kg TM	32,6	24,6	34,1	30,43	28,70	30,30		61,80	61,80	33,00								36,85	61,80	30,30
Zink	mg/kg TM	130,2	108,7	174,5	137,8	154,6	126,9		179,8	179,8	164,2								152,7	179,8	130,2
Cadmium	mg/kg TM	0,2	0,5	0,2	0,30	0,40	0,24		0,58	0,58	0,20								0,34	0,58	0,20
Blei	mg/kg TM	14,2	12,2	8,8	11,73	10,40	4,10		43,30	43,30	12,80								16,47	43,30	4,10

Untersuchungsergebnisse von **Klärschlammkompost**, aus den bisher in den Versuchen angewandten Chargen in den Jahren von 2002 bis 2007, sowie die Darstellung der Durchschnitts-, Höchst- und Tiefstwerte

		2002	2003	2003	2003	2004	2005	2006	2007		Höchst-	Tiefst-
		Herbst	Frühj.	Herbst	Ø	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Frühj.	Ø	werte	werte
Trockenmasse	%	61,5	34,6	68,3	51,45	39,2	45,1	30,1	67,1	49,4	68,3	30,1
pH-Wert		8,9	7,3	8,9	8,1	9,1	6,7	6,8	7,4	7,9	9,1	6,7
Aschegehalt	%	57	57,9	54,4	56,15	48,3	60,3	38,2	71,7	55,4	71,7	38,2
Gesamt N	kg/t TM	19,4	16,2	22,1	19,15	20,6	16,4	55,6	14,9	23,6	55,6	16,2
Gesamt P	kg/t TM	19,4	35,3	39,9	37,6	36,8	33,4	77	24,9	38,1	77	19,4
Gesamt K	kg/t TM	4	6	4,7	5,35	6,7	5,3	4,3	6,5	5,4	6,7	4
Chrom	mg/kg TM				34		26,3	20,1	36	29,1		
Nickel	mg/kg TM				33		35,8	19,5	53,9	35,55		
Kupfer	mg/kg TM				83		54,4	73,4	106	79,2		
Zink	mg/kg TM				460		252	253	404	342,25		
Cadmium	mg/kg TM				0,5		0,5	0,5	0,5	0,5		
Blei	mg/kg TM				34		36	25,9	35	32,725		

## Anhang 30: Bodenproben Fruchtfolgeversuch

### Bodenwerte in den einzelnen Bodentiefen Fruchtfolgeversuch Bärnbach

Bodentiefe (0-20 cm)

		2002 ungedüngt	2002 Biokompost	2002 Stallmistkompost	2002 NPK	2002 Granulierter Biokompost
<b>Dauereigenschaften</b>						
pH-Wert		7,05	7,05	7,1	6,9	6,95
Karbonatgehalt	%	2,05	2,15	2	1,8	1,8
Humus	%	3,6	3,9	3,8	3,75	3,7
Tongehalt	%	23	23	24	21	22
ges.Stickstoffgehalt	%	0,23	0,25	0,24	0,235	0,235
nachlieferb.Stickstoff	mg/kg/7d	81	92,5	99,5	95,5	98
<b>Pflanzenverfügbare Nährstoffe</b>						
Phosphor	mg/1000 g	85,5	107,5	109,5	102,5	109,5
Kalium	"	88,5	97,5	124	120	111,5
Mg in CaCl <sub>2</sub>	"	120	124,5	122,5	130	131,5
Eisen	"	452	498	465,5	453	445,5
Mangan	"	489,5	503,5	496,5	496,5	497,5
Kupfer	"	12	12,5	12	12	12
Zink	"	10	10,5	10	9,5	9,5
Bor	"	1,15	1,35	1,3	1,15	1,15
Selen	"	0,35	0,325	0,34	0,33	0,305
<b>Wasserlösliche Anteile</b>						
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	116,5	124	111,5	109	113
Phosphor	mg/1000 g	11,5	12,6	14,35	15,55	16,5
<b>säureextrahierbare Anteile (Königswasserextrakt)</b>						
Kupfer	mg/1000 g	49,5	49,5	50,5	50	49,5
Zink	"	107	109	111,5	110	108,5
Blei	"	31,5	32	30,5	31	32
Nickel	"	41,5	42	41	42	42
Cobalt	"	17	17	17	17	17
Cadmium	"	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Arsen	"	14,5	14,5	14	14,5	14,5
Molybdän	"	1	1	1	1	1
Quecksilber	"	0,2	0,3	0,3	0,25	0,2

## Anhang 31: Bodenproben Grünland

	Ausgangswert			ungedüngt			Biokompost			Stallmistkompost			PK-Düngung			Granulierter Biokompost		
	1994		med 1994	1998		med 1998	1998		med 1998	1998		med 1998	1998		med 1998	1998		med 1998
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20
<b>Bodentiefe</b>																		
pH-Wert	5,6	5,5	<b>5,55</b>	5,4	5,3	<b>5,35</b>	6,3	6,2	<b>6,25</b>	6	5,9	<b>5,95</b>	5,1	5,2	<b>5,15</b>	5,5	5,5	<b>5,5</b>
Humus %	5,9	2,8	<b>4,35</b>	4,9	3,6	<b>4,25</b>	7,2	5,6	<b>6,4</b>	6,8	5,1	<b>5,95</b>	6,2	4,3	<b>5,25</b>	5,9	4,5	<b>5,2</b>
Stickstoff ges. %				0,31	0,24	<b>0,275</b>	0,44	0,35	<b>0,395</b>	0,41	0,31	<b>0,36</b>	0,38	0,27	<b>0,325</b>	0,36	0,29	<b>0,325</b>
P2O5 mg/100g FB	31	9	<b>20</b>	14	8	<b>11</b>	29	18	<b>23,5</b>	24	20	<b>22</b>	25	17	<b>21</b>	24	19	<b>21,5</b>
K2O "	10	8	<b>9</b>	4	<3	<b>4</b>	5	4	<b>4,5</b>	6	4	<b>5</b>	9	5	<b>7</b>	5	4	<b>4,5</b>
Mg in CaCl2 "	17	14	<b>15,5</b>	14	11	<b>12,5</b>	20	18	<b>19</b>	22	19	<b>20,5</b>	16	14	<b>15</b>	16	15	<b>15,5</b>
Ton %				18	20	<b>19</b>	16	14	<b>15</b>	14	16	<b>15</b>	14	14	<b>14</b>	14	14	<b>14</b>
Calcium mval/100g FB				8,4	6,8	<b>7,6</b>	15,9	13,2	<b>14,55</b>	12,4	10,5	<b>11,45</b>	14	14	<b>14</b>	9,5	8,7	<b>9,1</b>
Magnesium "				1,5	1,1	<b>1,3</b>	2,3	2,1	<b>2,2</b>	2,4	2,1	<b>2,25</b>	8,7	7,9	<b>8,3</b>	1,6	1,5	<b>1,55</b>
Kalium "				<0,05	<0,05	<b>0,05</b>	0,1	<0,1	<b>0,1</b>	<0,1	0,15	<b>0,15</b>	1,7	1,4	<b>1,55</b>	0,05	<0,05	<b>0,05</b>
Natrium "	0,08	0,05	<b>0,065</b>	<0,05	<0,05	<b>0,05</b>	<0,1	<0,1	<b>0,1</b>	<0,1	<0,05	<b>0,3</b>	<0,05	0,11	<b>0,11</b>	<0,05	<0,05	<b>0,05</b>
													<0,02	<0,02	<b>0,02</b>			
<b>Spuren:</b>																		
Eisen mg/1000gFB	1100	440	<b>770</b>	713	454	<b>583,5</b>	1060	723	<b>891,5</b>	875	655	<b>765</b>	793	555	<b>674</b>	708	496	<b>602</b>
Mangan "	420	240	<b>330</b>	283	207	<b>245</b>	346	272	<b>309</b>	328	265	<b>296,5</b>	318	259	<b>288,5</b>	307	243	<b>275</b>
Kupfer "	9	6	<b>7,5</b>	9	8	<b>8,5</b>	9	9	<b>9</b>	9	8	<b>8,5</b>	8	7	<b>7,5</b>	8	8	<b>8</b>
Zink "	12	4	<b>8</b>	6	4	<b>5</b>	12	9	<b>10,5</b>	12	7	<b>9,5</b>	8	5	<b>6,5</b>	9	7	<b>8</b>
Bor "	0,2	0,1	<b>0,15</b>	0,5	0,4	<b>0,45</b>	1	0,7	<b>0,85</b>	0,6	0,5	<b>0,55</b>	0,4	0,3	<b>0,35</b>	0,4	0,3	<b>0,35</b>
<b>in Königsw.</b>																		
Cr mg/1000gFB	27	27	<b>27</b>	32	31	<b>31,5</b>	34	30	<b>32</b>	33	31	<b>32</b>	32	29	<b>30,5</b>	32	29	<b>30,5</b>
Ni "	26	28	<b>27</b>	25	26	<b>25,5</b>	25	25	<b>25</b>	24	25	<b>24,5</b>	24	24	<b>24</b>	24	24	<b>24</b>
Cu "	27	28	<b>27,5</b>	35	37	<b>36</b>	34	34	<b>34</b>	36	36	<b>36</b>	34	34	<b>34</b>	32	33	<b>32,5</b>
Zn "	97	89	<b>93</b>	97	95	<b>96</b>	106	95	<b>100,5</b>	105	96	<b>100,5</b>	98	90	<b>94</b>	98	90	<b>94</b>
Cd "	0,2	0,1	<b>0,15</b>	0,2	0,1	<b>0,15</b>	0,4	0,2	<b>0,3</b>	0,3	0,2	<b>0,25</b>	0,3	0,3	<b>0,3</b>	0,3	0,3	<b>0,3</b>
Pb "	30	30	<b>30</b>	26	24	<b>25</b>	29	26	<b>27,5</b>	28	26	<b>27</b>	26	24	<b>25</b>	25	24	<b>24,5</b>
As "	23	29	<b>26</b>	24	23	<b>23,5</b>	23	25	<b>24</b>	23	26	<b>24,5</b>	23	24	<b>23,5</b>	22	22	<b>22</b>
Se "				0,5	0,3	<b>0,4</b>	0,4	0,4	<b>0,4</b>	0,3	0,3	<b>0,3</b>	0,3	0,3	<b>0,3</b>	0,3	0,5	<b>0,4</b>
Mo "	0,8	0,9	<b>0,85</b>	1	1	<b>1</b>	1	1	<b>1</b>	1	1	<b>1</b>	1	1	<b>1</b>	1	1	<b>1</b>

## Nährstoffzufuhren Block VI

Jahr	Block	Kulturart	Prf. Nr.	Düngerart		Menge/ha		N kg/ha	K2O kg/ha	P2O5 kg/ha	
				WD	Handelsdünger	WD	Handelsdünger				
1996	VI	Salate	2	Bio.Komp.	NAC 27%	15 t	200 kg	253	93	136	
			3	Stm.Komp.	NAC 27%	20 t	200 kg	297	121	228	
			4		NAC+Vollk.gelb			100+600	117	90	90
			5		Gran.Biok.+Vollk.gelb			900+100	117	81	90
1997		Wi.Weizen	2	Bio.Komp.		15 t		174	81	117	
			3	Stm.Komp.		20 t		125	85	120	
			4		Vollkorn gelb			800 kg	120	120	120
			5		Gran.Biokomp.			1200 kg	120	108	120
1998		Wi.Raps	2	Bio.Komp.		15 t		170	93	137	
			3	Stm.Komp.		20 t		123	127	301	
			4		Vollkorn gelb			500 kg	75	75	75
			5		Gran.Biokomp.			750 kg	75	75	75
1999		Kürbis	2	Bio.Komp.	Vollkorn gelb	10 t	200 kg	105	89	92	
			3	Stm.Komp.	Vollkorn gelb	15 t	200 kg	129	123	197	
			4		NAC+DC44			200+400	54	40	120
			5		Gran.Biokomp.			600 kg	60	60	60
2000		Kartoffel	2	Bio.Komp.	NAC 27%	10 t	200 kg	150	68	78	
			3	Stm.Komp.	NAC 27%	15 t	200 kg	125	73	161	
			4		NAC+Superph.+Kalis.			444+316+500	120	60	200
			5		Gran.Biokomp.			1200 kg	120	120	120
2001		So.Gerste	2	Bio.Komp.		7 t		99	43	56	
			3	Stm.Komp.		10 t		39	35	56	
			4		Vollkorn gelb			400 kg	60	60	60
			5		Gran.Biokomp.			600 kg	60	60	60
2002		Zuckermais	2	Bio.Komp.		10 t		191	55	93	
			3	Stm.Komp.		15 t		87	48	77	
			4		Vollkorn gelb			400 kg	60	60	60
			5		k.Düngg.						

Jahr	Block	Kulturart	Prf. Nr.	Düngerart		Menge/ha		N kg/ha	K2O kg/ha	P2O5 kg/ha	
				WD	Handelsdünger	WD	Handelsdünger				
2003	VI	Wi.Weizen	2	Bio.Komp.	NAC 27%	10 t	100 kg	218	55	93	
			3	Stm.Komp.	NAC 27%	15 t	100 kg	114	48	77	
			4		Vollkorn gelb			400 kg	60	60	60
			5		Klärschl.Komp.	NAC 27%	10 t	100 kg	147	120	25
2004		Wi.Raps	2	Bio.Komp.	NAC 27%	10 t	156 kg	233	55	93	
			3	Stm.Komp.	NAC 27%	15 t	156 kg	129	48	77	
			4		Vollkorn gelb			600 kg	90	90	90
			5		Klärschl.Komp.	NAC 27%	10 t	156 kg	193	266	32
2005		Kürbis	2	Bio.Komp.	Vollkorn gelb	10 t	200 kg	147	86	83	
			3	Stm.Komp.	Vollkorn gelb	15 t	200 kg	175	125	308	
			4		NAC+DC44			200+400	54	40	120
			5		Klärschl.Komp.	Vollkorn gelb	10 t	200 kg	104	181	54
2006		Kartoffel	2	Bio.Komp.	NAC 27%	10 t	100 kg	102	143	26	
			3	Stm.Komp.	NAC 27%	15 t	100 kg	178	152	137	
			4		NAC+Superph.+Kalis.			296+333+500	80	63	200
			5		Klärschl.Komp.	NAC 27%	10 t	100 kg	194	232	13
2007		So.Gerste	2	Bio.Komp.		7 t		60	105	18	
			3	Stm.Komp.		10 t		87	92	165	
			4		Linzer Star			400 kg	60	60	60
			5		Klärschl.Komp.			7 t	70	117	31