

## **Danksagung**

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr. F. Asch für die freundliche Hilfe und Unterstützung beim Erstellen dieser Arbeit.

Bei Herrn Dr. M. Trimborn möchte ich mich dafür bedanken, dass er mir stets beratend zur Seite stand.

Zuletzt möchte ich mich bei Frau B. Ueberbach für ihre engagierte Hilfe bei der Durchführung der erforderlichen Messungen bedanken.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Funktionen der Mikronährstoffe</b> .....	<b>3</b>
	2.1. Kupfer .....	3
	2.2. Mangan .....	4
	2.3. Zink .....	4
	2.4. Magnesium .....	5
	2.5. Natrium .....	5
<b>3</b>	<b>Bodenhilfsstoffe</b> .....	<b>7</b>
	3.1. Geohumus .....	7
	3.2. Humentos .....	7
	3.3. HumiComplete .....	8
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>9</b>
	4.1 Versuchaufbau .....	9
	4.1.1 Freilandversuch .....	9
	4.1.2 Gewächshausversuch .....	12
	4.2 Bodenproben .....	12
	4.2.1 Probennahme und Aufbereitung .....	12
	4.3 Extraktion .....	13
	4.3.1 Herstellung der CAT-Lösung .....	13
	4.3.2 Erzeugung der Extrakte .....	13
	4.4 Analyse .....	14
	4.5 Auswertung .....	14
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>15</b>
	5.1 Freilandversuch .....	15
	5.1.1 Mangan .....	16
	5.1.2 Kupfer .....	18
	5.1.3 Zink .....	19
	5.1.4 Magnesium .....	20
	5.1.5 Natrium .....	22
	5.1.6 Vergleich mit normalen Ackerflächen .....	23
	5.2 Gewächshausversuch .....	24
	5.3 Vergleich 2007/2009 .....	25

## Verzeichnisse

---

5.4 Methodenvergleich CAT/CaCl <sub>2</sub> .....	28
5.5 Schlussfolgerungen .....	29
<b>6 Ausblick .....</b>	<b>31</b>
<b>7 Zusammenfassung .....</b>	<b>32</b>
<b>8 Quellen .....</b>	<b>34</b>
<b>9 Anhang .....</b>	<b>36</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AAS	Atomabsorbtionsspektrometer
Abb	Abbildung
BAtroS	Bodenmelioration und Anbauverfahren trockenheitsgefährdeter Standorte
BG	Bodengruppe
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
Ca	Calcium
CaCl <sub>2</sub>	Calciumchlorid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Cu	Kupfer
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
FM	Frischmasse
G	Geohumus
G/HC	Mischung Geohumus/ HumiComplete
H	Humentos
H <sub>2</sub> O	Wasser
HC	HumiComplete
ha	Hektar
IES	Indol-3-essigsäure
KAK	Kationenaustauschkapazität
K <sup>+</sup>	Kalium
K	Kontrolle
kg	Kilogramm
m	Meter
min	Minute
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
mg	Milligramm
mL	Milliliter
mm	Millimeter
Mn	Mangan

## Verzeichnisse

---

N	Stickstoff
Na	Natrium
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
R	Rand
RNA	Ribonukleinsäure
t	Tonne
U	Umdrehungen
usw	und so weiter
Zn	Zink

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Aufwandmenge der Bodenhilfsstoffe im Feldversuch
- Tabelle 2: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte des Hauptversuchs 2007
- Tabelle 3: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte der Knaulgrasparzellen des Hauptversuchs
- Tabelle 4: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte der Nebenversuchsfläche
- Tabelle 5: Richtwerte zur Bewertung des Mn-Gehaltes
- Tabelle 6: Richtwerte zur Bewertung des Cu-Gehaltes
- Tabelle 7: Richtwerte zur Bewertung des Zn-Gehaltes
- Tabelle 8: Optimale Mg-Versorgung von Ackerböden
- Tabelle 9: Einteilung der Natriumversorgungsstufen für Ackerland
- Tabelle 10: Nährstoffgehalte eines schluffigen (Meckenheim) und eine sandigen (Uedorf) Ackerbodens
- Tabelle 11: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte des Gewächshausversuchs
- Tabelle 12: Messwerte des im Gewächshaus verwendeten Ausgangssubstrats
- 
- Abb. 1: Parzellenplan des Hauptversuchs
- Abb. 2: Parzellenplan des Nebenversuchs
- Abb. 3: pH-Werte der Hauptversuchsfläche im Jahr 2007
- Abb. 4: Strukturelement des Polyacrylats
- Abb. 5: Übersichtskarte der Mg-Gehalte
- Abb. 6: Vergleich der Nährstoffgehalte zwischen dem Jahr 2007 und 2009
- Abb. 7: Mittelwerte der Nährstoffgehalte auf der Hauptversuchsfläche in den Jahren 2007 und 2009
- Abb. 8: Vergleich der Ergebnisse aus der CAT- und der CaCl<sub>2</sub>-Analyse

## 1 Einleitung

Durch den Braunkohletagebau Welzow-Süd entstehen in Brandenburg großflächige Gebiete degradierter Landschaften. Dabei wird das Erdreich bis in eine Tiefe von etwa 100 m abgetragen und an anderer Stelle wieder aufgeschüttet.

Als Auflage wird wieder der abgetragene Oberboden verwendet, welcher aus einem sandigen Substrat besteht wie er in der Niederlausitz häufig vorkommt. Diese zumeist sandigen Flächen zeichnen sich als äußerst nährstoffarm aus und besitzen aufgrund des hohen Sandgehalts eine nur niedrige Wasserhaltekapazität. Als zusätzlich problematisch erweist sich das vorherrschende, subkontinental geprägte Klima mit nur geringen Jahresniederschlagsmengen und ausgeprägten Trockenperioden im Sommer. Im Zuge der Klimaerwärmung wird mit einer weiteren Verschärfung der bereits ungünstigen Bedingungen gerechnet. Vor allem durch die geringe Wasserverfügbarkeit erweisen sich solche Gebiete für den Anbau vieler Agrarkulturen als ungeeignet. Daher wird in Betracht gezogen, einen Teil dieser Ruderalflächen für den Anbau von Kulturen aus der Gruppe der nachwachsenden Rohstoffe zu verwenden, die zur stofflichen und energetischen Nutzung hergezogen werden können.

Vor diesem Hintergrund wurde das Verbundprojekt BAtroS (Bodenmelioration und Anbauverfahren für trockenheitsgefährdete Standorte) ins Leben gerufen, um ein nachhaltiges Verfahren zu entwickeln, die Wasserhaltekapazität auf trockenheitsgefährdeten Sandstandorten zu verbessern. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden drei Bodenhilfsstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften auf ihre meliorativen Fähigkeiten getestet. Hierbei soll der Absorber Geohumus® Niederschlagswasser zwischenspeichern und so der Versickerung entziehen. Ein Huminsäurepräparat namens Humentos® soll die Bodenstruktur verbessern und auf diese Weise das Wasserhaltevermögen des Bodens steigern. HumiComplete® ist ein Humusprodukt, dessen organische Substanz dem Boden eine günstigere Struktur verleihen soll. Durch den Einsatz der Hilfsstoffe kam es teilweise zu Ertragssteigerungen, die allerdings nicht auf eine verbesserte Wasserversorgung zurückgeführt werden konnten, da im ersten Versuchsjahr durch überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen kein Wassermangel eintrat. Demzufolge wurde vermutet, dass die Boden-

## Einleitung

---

hilfsstoffe möglicherweise einen Einfluss auf die Mikronährstoffverfügbarkeit ausüben.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, mit Hilfe der CAT-Analyse eine mögliche Beeinflussung der Bodenhilfsstoffe auf die Mikronährstoffverfügbarkeit zu untersuchen.

## 2 Funktionen der Mikronährstoffe

Mikronährstoffe werden von Pflanzen nur in sehr geringen Mengen benötigt. Ein Mangel eines Nährstoffs führt häufig zu einer weniger effizienten Nutzung anderer Nährstoffe (Trott et al 2007). Daher kann bereits eine latente Unterversorgung eines Mikronährstoffs zu empfindlichen Ertragseinbußen führen. Um dies zu verdeutlichen, sind in den folgenden Abschnitten einige Funktionen und Eigenschaften der gemessenen Nährstoffe beschrieben.

### 2.1 Kupfer

Aufgrund seiner Fähigkeit zum Valenzwechsel ( $\text{Cu}^+ \leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$ ) ist Kupfer Bestandteil vieler Enzyme, die an Oxidationsvorgängen beteiligt sind. Daher befinden sich etwa 70% des Gesamt-Cu der Pflanze in den stoffwechselaktiven jungen Blättern (Zorn/Marks 2008).

Cu-haltige Phenolasen und Aminooxidasen sind an der Ligninbiosynthese beteiligt und somit für die Stabilisierung der Zellwände von großer Bedeutung. Ein Mangel führt zu einer verringerten Standfestigkeit und hemmt die Bildung von Leitgefäßen (Trott et al 2007). Des Weiteren wirkt Kupfer auch direkt an der Photosynthese mit, wobei das kupferhaltige Protein Plastocyanin den Elektronentransport zwischen den beiden Photosystemen vermittelt (Marschner 1995). Auch in der mitochondrialen Atmungskette wird Cu, als Bestandteil der Cytochrom C-Oxidase für den Elektronentransport der Sauerstoffreduktion benötigt (Campbell/ Reece 2003).

Der Humusgehalt im Boden ist von großer Bedeutung für die Cu-Verfügbarkeit, da Kupfer über eine hohe Bindungsaffinität zur organischen Bodensubstanz verfügt. Hohe Humusgehalte oder die Zufuhr von organischer Substanz in den Boden schränken daher die Cu-Verfügbarkeit ein (Trott et al 2007).

### 2.2 Mangan

Mangan kann zwischen verschiedenen Redoxzuständen ( $\text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{3+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$ ) wechseln. Es ist als einziger Nährstoff in der Lage ein ausreichend hohes Oxidationspotential aufzubauen, um bei der Photosynthese Wasser zu oxidieren und in Sauerstoff zu überführen (Trott et al 2007). Ein Mangel wirkt sich daher negativ auf die Trockensubstanzbildung aus und führt zu geringeren Zucker-, Stärke-, Zellulose- und Ölgehalten (Zorn/ Marks 2008).

Als Bestandteil vieler Enzyme wird Mangan vor allem bei der Steuerung von Oxidation- und Reduktionsvorgängen benötigt, wie beispielsweise in der Mn-Superoxiddismutase welche an der Entgiftung radikaler Sauerstoffspezies beteiligt ist (Marschner 1995).

Die Mn-Verfügbarkeit ist stark von den vorherrschenden Bodenbedingungen abhängig. Wasserlösliches reduziertes  $\text{Mn}^{2+}$  ist pflanzenverfügbar und steht im Gleichgewicht mit der oxidierten unlöslichen Form  $\text{Mn}^{4+}$  (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Unter oxidativen Bedingungen, die durch Trockenheit, gute Bodendurchlüftung und hohe pH-Werte (6,5 bis 7,5) entstehen, liegt überwiegend die  $\text{Mn}^{4+}$ -Form vor. Bei guter Wasserverfügbarkeit wird  $\text{Mn}^{4+}$  zu  $\text{Mn}^{2+}$  reduziert und ist wieder pflanzenverfügbar. Dies geschieht auch bei geringer Durchlüftung bei Staunässe oder durch Bodenverdichtungen (Zorn/ Marks 2008).

### 2.3 Zink

Zink kommt in der Bodenlösung und der Pflanze als zweiwertiges Kation vor. Es ist Bestandteil vieler Enzyme wie z. B. der Cu/Zn-Superoxiddismutase, die an der Entgiftung von Hyperoxiden mitwirkt (Trott et al 2007) oder der Kohlen-säureanhydrase, welche bei der Photosynthese die  $\text{CO}_2$ -Assimilation ermöglicht (Zorn/ Marks 2008). Durch Zink werden tertiäre Proteinstrukturen stabilisiert (Trott et al 2007) und die Bindung von Regulationsproteinen an RNA und DNA wird durch so genannte Zinkfinger vermittelt (Schubert 2006). Eine durch Zn-Mangel verursachte Hemmung der IES-Synthese führt zu den typischen Zn-Mangelsymptomen wie Blattdeformationen, Kleinblättrigkeit und Rosettenwuchs (Trott et al 2007).

Zn-Mangel gefährdet sind vor allem sandige Standorte mit hohem pH-Wert und Kalkböden, da ein hoher pH-Wert die Bindung an die Bodenaggregate verstärkt.

Aufgrund seiner geringen Beweglichkeit im Boden kann es auch durch ein noch schwach ausgebildetes Wurzelsystem während der Jugendentwicklung zu Zinkmangel kommen (Zorn/ Marks 2008).

### 2.4 Magnesium

Magnesium ist das Zentralatom des Chlorophylls und somit an der Photosynthese beteiligt. Ungefähr 25% des Gesamtmagnesiums einer Pflanze sind im Chlorophyll enthalten (Marschner 1995). Allerdings ist es nicht die verminderte Photosynthese die bei einsetzendem Mangel wachstumsbegrenzend wirkt, sondern eine starke Einschränkung der Proteinsynthese, da  $Mg^{2+}$  für die Zusammenlagerung der beiden Ribosomen-Untereinheiten erforderlich ist. Des Weiteren wird die Aktivierung vieler Enzyme (ATPasen, Kinasen, Phosphatasen, Carboxylasen) durch Mg gesteuert (Schubert 2006).

Die  $Mg^{2+}$ -Verfügbarkeit ist im Wesentlichen von dessen Konzentration in der Bodenlösung und damit auch von dessen Anteil an den Austauschplätzen abhängig (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Vor allem schluff- und tonreiche Böden haben daher hohe Gehalte an austauschbarem  $Mg^{2+}$ . Auf gedüngten Flächen können hohe Gehalte an  $NH_4^+$ ,  $K^+$  und  $Ca^{2+}$  in der Bodenlösung einen  $Mg^{2+}$ -Mangel auslösen, indem sie an der Außenseite der Mg-Transporter anhaften und so dessen Einstrom unterbinden. Im Gegensatz zu den meisten anderen Nährelementen steigt der Anteil an austauschbarem  $Mg^{2+}$  meist mit zunehmender Profiltiefe an.

### 2.5 Natrium

Natrium ist für die meisten Pflanzenarten kein essentieller Nährstoff, nur Halophyten und einige  $C_4$ -Arten sind auf dessen Anwesenheit angewiesen. Für viele Pflanzen fungiert Natrium jedoch als ein nützliches Element, das, vor allem bei Zuckerrüben, wachstumsfördernd wirkt. Dabei kann Natrium unspezifische osmotische Aufgaben von Kalium übernehmen und so die Pflanze bei der Regulierung des Wasserhaushalts unterstützen (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Die Na-Verfügbarkeit ist insbesondere auf Weideflächen von großer Bedeutung, da Natrium im Stoffwechsel des Tieres zahlreiche Funktionen erfüllt und zudem die Schmackhaftigkeit der Weidegräser verbessert (Anonym 2001). Natrium ist nur

## 2 Funktionen der Mikronährstoffe

---

schwach an die Bodenteilchen gebunden, weshalb es im humiden Klimabereich sehr schnell ausgewaschen wird. Als Folge beträgt die  $\text{Na}^+$ -Sättigung hier in der Regel nicht mehr als 3%. Liegen höhere Anteile im Boden vor, wie beispielsweise an Straßenrändern oder auf bewässerten Flächen, leidet die Strukturstabilität, sodass tonreiche Böden leichter zur Verschlammung neigen (Scheffer/ Schachtschabel 2002).

### **3 Bodenhilfsstoffe**

#### **3.1 Geohumus**

Geohumus ist ein Hybridmaterial aus einem Polyacrylat, das mit Silikat und Lavagesteinsmehlen kombiniert wurde. Das Granulat ist in der Lage, das 30-fache seines Eigengewichts an Wasser aufzunehmen. Im Boden ist dieses Potential wegen der begrenzten Möglichkeit zur Volumenausdehnung deutlich geringer. Das aufgenommene Wasser ist fast vollständig wieder pflanzenverfügbar. Die daraus resultierende erhöhte Wasserverfügbarkeit könnte sich positiv auf die Nährstoffverfügbarkeit auswirken. Zudem könnten die enthaltenen Lavagesteinsmehlbestandteile für eine verbesserte Nährstoffversorgung der Pflanze sorgen. Geohumus hat laut Hersteller keine negativen Effekte auf die Pflanzen und ist umweltverträglich. Je nach Bodenbedingungen ist Geohumus etwa 3-5 Jahre aktiv, bevor es auf biologischem Weg abgebaut wird.

#### **3.2 Humentos**

Humentos ist ein aus Braunkohle hergestelltes Huminsäurepräparat, das in flüssiger Form ausgebracht wird. Die funktionellen Gruppen der Huminsäuren könnten in ähnlicher Weise wie natürlich entstandener Humus, die Bodenpartikel untereinander vernetzen und so die ungünstige Bodenstruktur der Rekultivierungsfläche verbessern. Aus einer günstigeren Bodenstruktur ergibt sich eine höhere Wasserverfügbarkeit, welche sich wiederum positiv auf die Nährstoffverfügbarkeit auswirkt. Des Weiteren sind die funktionellen Gruppen in der Lage der Auswaschung von Nährstoffen entgegenzuwirken, da sie zusätzliche Austauschplätze bereitstellen. Laut Hersteller soll Humentos zudem das Wachstum fördern und die Pflanze unempfindlicher gegen biotische und abiotische Stressfaktoren machen.

### 3.3 HumiComplete

Das Humuspräparat HumiComplete ist aus verschiedenen Bestandteilen zusammengesetzt. Ein wesentlicher Teil besteht aus den vergorenen Resten einer Biogasanlage für nachwachsende Rohstoffe. Die enthaltene organische Substanz ist teilweise leicht, zum Teil aber auch schwer umsetzbar. Sie soll das mikrobielle Bodenleben aktivieren und langfristig fördern. Durch den Abbau der organischen Substanz werden über einen langen Zeitraum Pflanzennährstoffe freigesetzt. Zudem könnten dabei entstehende organische Komplexbildner die Mikronährstoffverfügbarkeit verbessern. Bei der Umsetzung der organischen Substanz gebildeter Humus wäre in der Lage, die geringe Kationenaustauschkapazität des sandigen Substrats zu steigern und so das Nährstoffangebot des Bodens nachhaltig verbessern. Einen weiteren Bestandteil von HumiComplete besteht aus Xylit, holzartigen Bestandteilen der Braunkohle. Xylit soll die Bodendurchlüftung verbessern und die Besiedlung von Mikroorganismen fördern. Ferner wurde das Humuspräparat mit Huminsäuren vermengt, deren Eigenschaften bereits beschrieben wurden (siehe Abschnitt 3.2 Humentos).

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Versuchsaufbau

#### 4.1.1 Freilandversuch

Die Versuchsfläche im Braunkohletagebau Welzow-Süd wurde etwa zwei Jahre vor Versuchsbeginn aufgeschüttet. Die Bodenart stellt ein sandiges Substrat mit teilweise relativ hohen Tonanteilen dar. Bei der Anlage des Versuchs wurden die Bodenhilfsstoffe in den in Tabelle 1 angegebenen Mengen auf den jeweiligen Parzellen ausgebracht.

Tabelle 1: Aufwandmenge der Bodenhilfsstoffe im Feldversuch

<b>Bodenhilfsstoff</b>	<b>Aufwandmenge [t FM ha<sup>-1</sup>]</b>
HumiComplete	10
Geohumus	5
Mix*	7,5+2,5
Humentos	0,2

\*75 % HumiComplete und 25 % Geohumus

Die Bodenhilfsstoffe wurden auf der Hauptversuchsfläche mit einer Scheibenegge und einer Tiefspatenfräse eingearbeitet. Auf den Kontrollparzellen wurden keine Hilfsstoffe eingebracht. Auf der Nebenversuchsfläche wurde zusätzlich noch eine neu entwickelte Fräse zur Einarbeitung der Hilfsstoffe erprobt. Auf den Randparzellen (1; 7; 19 usw. und 18; 30; 42 usw.) erfolgte weder ein Hilfsstoffeinsatz noch eine Bodenbearbeitung. In Abbildung 1 ist das Design des Hauptversuchs, in Abbildung 2 das der Nebenversuchsfläche dargestellt.

Da die pH-Werte einen großen Einfluss auf die Mikronährstoffverfügbarkeit ausüben, ist in Abbildung 3 noch ein Parzellenplan mit den 2007 gemessenen pH-Werte des Hauptversuchs abgebildet.

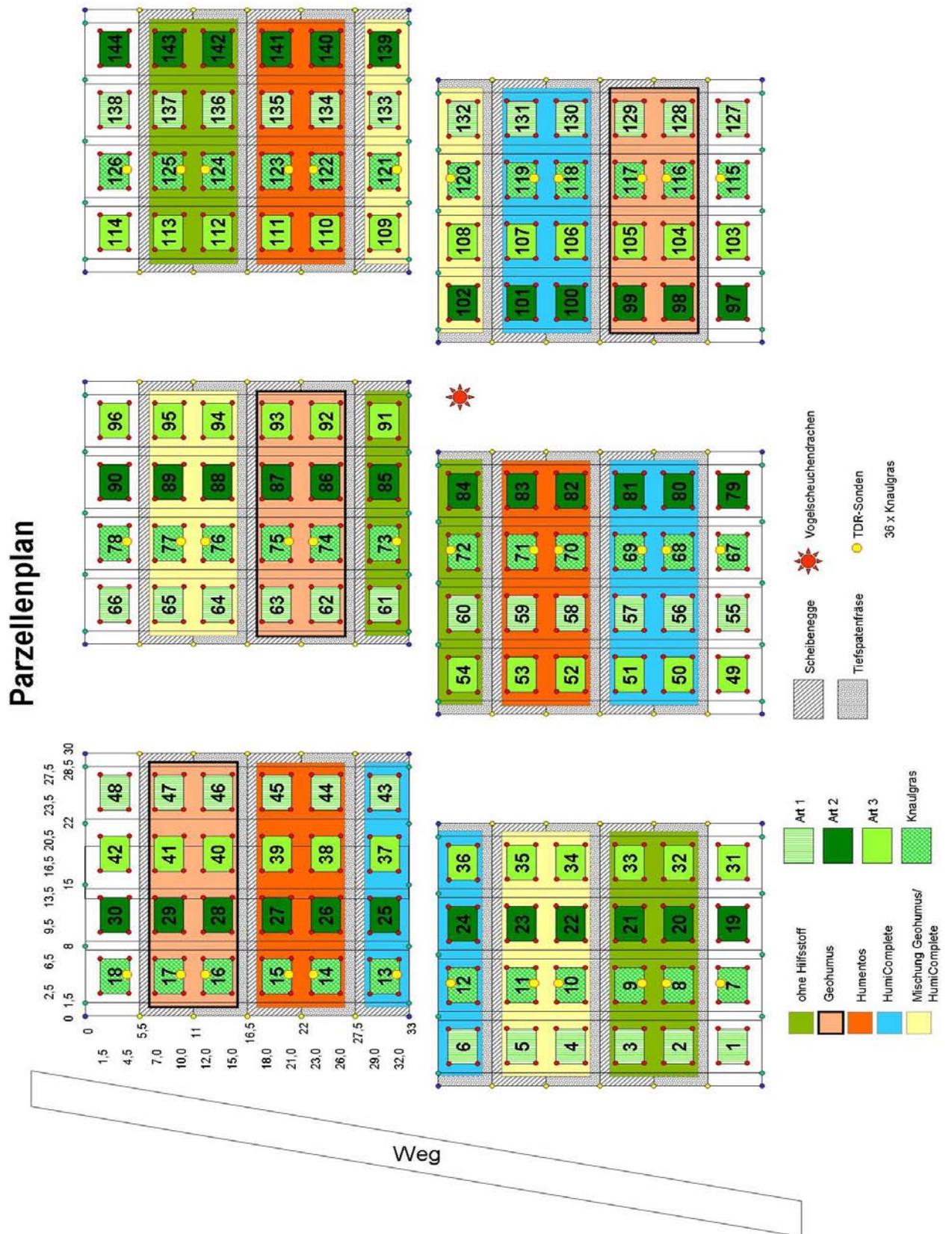


Abb. 1: Parzellenplan des Hauptversuchs

## 4 Material und Methoden

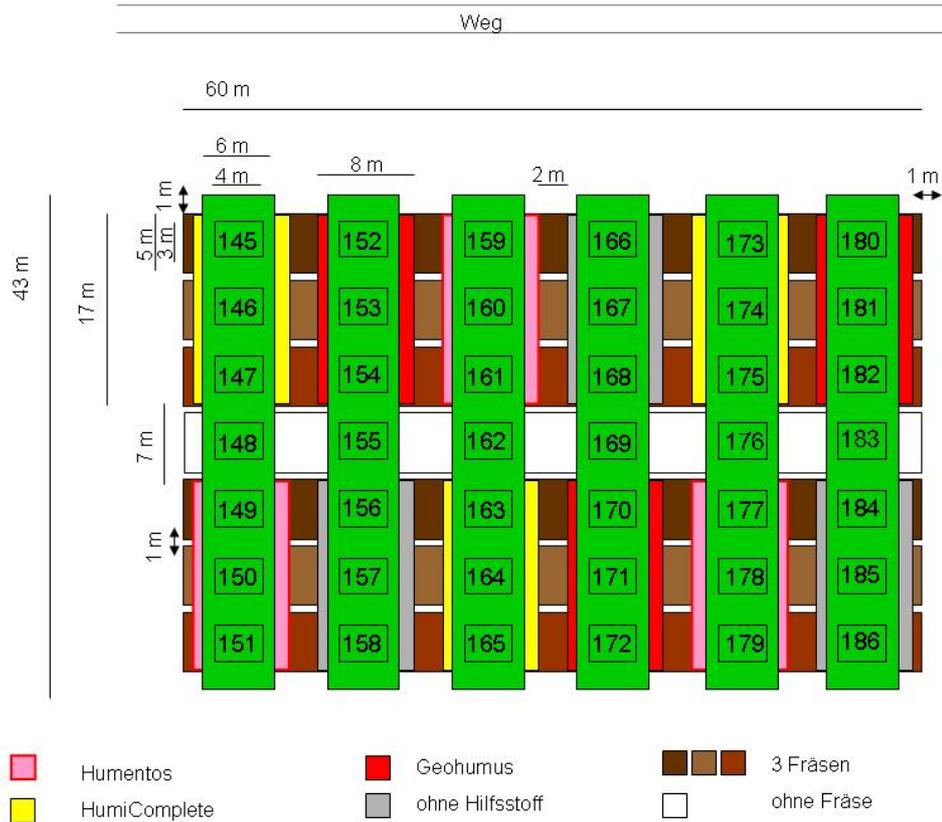


Abb. 2: Parzellenplan des Nebenversuchs

3,50	3,25	3,33	3,27	7,08	4,76	7,55	7,57	3,53	4,75	7,41	7,62
7,63	7,58	7,20	6,80	7,18	7,44	7,56	7,63	7,49	7,11	7,46	7,67
7,51	7,48	7,66	7,64	7,58	7,56	7,55	7,60	7,50	7,28	7,56	7,68
7,70	7,60	7,65	7,65	7,58	7,67	7,57	7,62	7,61	7,64	7,66	7,73
7,75	7,67	7,65	7,56	7,58	7,72	7,63	7,61	7,78	7,31	7,61	7,67
7,71	7,55	7,67	7,60	7,72	7,67	7,54	7,55	7,78	7,59	7,62	7,65
7,59	7,57	7,74	7,64	7,71	7,68	7,73	7,86	7,90	7,76	7,68	7,55
7,71	7,49	7,62	7,65	7,66	7,68	7,73	7,90	7,91	7,79	7,70	7,57
7,68	7,67	7,62	7,69	7,68	7,71	7,77	7,91	7,89	7,81	7,63	7,60
7,58	7,63	7,64	7,74	7,66	7,64	7,74	7,87	7,88	7,65	7,67	7,55
7,56	7,64	7,46	7,70	7,62	7,49	7,73	7,69	7,84	7,77	7,61	7,58
7,42	7,60	7,42	7,62	7,56	7,66	7,65	7,54	7,88	7,79	7,53	7,30

Abb. 3: pH-Werte der Hauptversuchsfläche im Jahr 2007

### 4.1.2 Gewächshausversuch

Im Gewächshausversuch wurden die Hilfsstoffe Geohumus, HumiComplete und eine unbehandelte Kontrolle getestet. Als Substrat wurde aus dem Braukohletagebau entnommenes Material verwendet. Der Versuch wurde mit neun Töpfen pro Variante angelegt. In jedem Topf wuchsen drei Pflanzen der jeweiligen Kulturart. Der Versuch wurde im Juni 2007 angelegt.

## 4.2 Bodenproben

Der folgende Abschnitt beschreibt die Entnahme und Aufbereitung der Bodenproben von der Versuchsfläche und des Gewächshausversuchs in Bonn. Im Jahre 2007 wurden alle Parzellen des Hauptversuchs beprobt, 2009 nur die mit Knautgras bewachsenen Flächen. Zusätzlich wurden 2009 noch Proben der kompletten Nebenversuchsfläche genommen.

### 4.2.1 Probennahme und Aufbereitung

Die Bodenproben der Versuchsfläche wurden mit Hilfe eines Bohrstocks bis in 30 cm Tiefe entnommen. Dabei wurden je Parzelle diagonal drei Proben gezogen, in einen Kunststoffeimer gegeben und dort durch Schütteln und Rühren miteinander vermischt. Von dem homogenisierten Substrat wurden dann etwa 300 g in eine Plastiktüte gefüllt, diese beschriftet und verschlossen. Zwei Tagen später wurden die Beutel geöffnet und für vier Tage luftgetrocknet. Die Substratproben, die danach noch eine Restfeuchte aufwiesen, wurden für zwei weitere Tage im Trockenschrank bei 40 °C nachgetrocknet.

Die Bodenproben des Feldversuchs aus dem Jahr 2007 wurden in gleicher Weise gezogen und standen für die hier anstehenden Analysen getrocknet und bei Zimmertemperatur in Honiggläsern aufbewahrt zur Verfügung.

Bodenproben aus dem Gewächshausversuch waren aus einer vorhergehenden Diplomarbeit (Ferlinz 2008) vorhanden. Bei der Entnahme dieser Gewächshausproben wurde nach der Ernte der gesamte Topfinhalt zuerst durchmischt und anschließend etwa 500 g Substrat entnommen. Nach der Trocknung wurden die Proben durch einen Sieb mit 2 mm Maschenweite von Steinchen und kleinen

Braunkohlestücken getrennt und anschließend zur weiteren Aufbewahrung in verschließbare Honiggläser gefüllt.

### 4.3 Extraktion

In diesem Abschnitt wird die Extraktion der Proben mit Hilfe der CAT-Methode geschildert.

#### 4.3.1 Herstellung der CAT-Lösung

Zur Herstellung der Extraktionslösung wurden zuerst 14,7 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Merk, zur Analyse) und 7,88 g DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure) (Merk, zur Analyse) eingewogen. Die Substanzen wurden in einem Becherglas mit 800 mL etwa 80 °C warmen Wassers übergossen und unter Rühren und weiterem Erwärmen gelöst. Nach dem Abkühlen der Lösung wurde sie in einem Messkolben auf 1000 mL aufgefüllt. Die so hergestellte Stammlösung wurde im Verhältnis 1:10 verdünnt, um die Extraktionslösung zu erhalten.

#### 4.3.2 Erzeugung der Extrakte

Es wurden von jeder Bodenprobe zweimal je 5 g in eine 250 mL PE-Vierkantflasche eingewogen, um eine Doppelbestimmung zu ermöglichen. Nach der Einwaage mehrerer Proben erfolgte die Zugabe von je 50 mL Extraktionslösung mit Hilfe eines Dispensers. Die Flaschen wurden verschraubt und in einer Kunststoffkiste eine Stunde lang auf einem Horizontalschüttler bei etwa 100  $\text{U min}^{-1}$  geschüttelt. Mit einem Faltenfilter (Macherey-Nagel 280  $\frac{1}{4}$ , 15 cm  $\varnothing$ ) konnten anschließend die Bodenpartikel vom Extrakt abgetrennt werden. Die ersten 10 mL des Filtrats wurden dabei verworfen und das verbleibende Extrakt dann in 100 mL PE-Fläschchen abgefüllt. Bis zur Analyse lagerten die Bodenextrakte dann in einer Kühlkammer bei 4 °C.

### 4.4 Analyse

Die Bestimmung der Mg-, Mn-, Cu- und Zn-Gehalte erfolgte mittels eines Atomabsorbtionsspektrometer (AAS, Perkin Elmer 1100B) Für die Messung von Natrium wurde ein Flammenphotometer (Eppendorf ELEX 6361) verwendet. Bei beiden Verfahren musste zuerst eine Eichreihe erstellt werden. Mit einer Mikropipette wurden hierfür unterschiedliche Mengen einer Eichlösung mit bekannter Konzentration in je einen 250 mL-Messkolben gegeben und anschließend mit CAT-Lösung bis zum Eichstrich aufgefüllt. Die Eichpunkte wurden so gewählt, dass sie den erwarteten Messbereich abdeckten.

Da sich die Mg-Konzentrationen der Extrakte außerhalb des linearen Messbereichs befanden, mussten vor der Bestimmung zunächst alle Proben im Verhältnis 1:20 verdünnt werden. Dabei wurden mit einer Mikropipette 2,5 mL Bodenextrakt in einen 50 mL-Messkolben pipettiert und mit demineralisiertem Wasser aufgefüllt.

### 4.5 Auswertung

Aus den gemessenen Extinktionswerten der Eichreihe wurde mit Microsoft Excel eine Eichgerade erstellt, mit deren Hilfe die Konzentrationen der Bodenextrakte errechnet werden konnten. Die so gewonnenen Daten wurden für jede Kulturart durch eine einfaktorier Varianzanalyse (ANOVA) mit Microsoft Excel auf signifikante Unterschiede in den Nährstoffgehalten durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe getestet. Da durch die Einarbeitungstechnik keine signifikanten Unterschiede in der Nährstoffversorgung entstanden, wurde diese in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Freilandversuch

Die Bodenproben der Freilandversuchsflächen wurden mittels CAT-Methode auf ihre Mn-, Cu-, Zn-, Mg-, und Na-Verfügbarkeit untersucht. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte der Hauptversuchsfläche aus dem Jahr 2007 dargestellt. Von den eingesetzten Bodenhilfsstoffen (Geohumus (G), Geohumus/ HumiComplete-Mischung (G/HC), Humentos (H), HumiComplete (HC)) und den Kontrollparzellen (K), ohne Hilfsstoff waren je Kulturart sechs Wiederholungen angelegt. Die Ergebnisse wurden für jede Kultur durch eine einfaktorielles Varianzanalyse auf signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den eingesetzten Bodenhilfsstoffen geprüft.

Tabelle 2: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte ( $\text{mg kg}^{-1}$  Substrat) des Hauptversuchs aus je sechs Wiederholungen pro eingesetztem Bodenhilfsstoff (Proben aus 2007).

\* Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$

<b>Buchweizen</b>	<b>G</b>	<b>G/HC</b>	<b>HC</b>	<b>H</b>	<b>K</b>
<b>Mn</b>	8,77	9,75	9,17	9,02	9,77
<b>Cu</b>	0,59	0,65	0,46	0,48	0,58
<b>Zn *</b>	0,50	0,76	0,37	0,49	0,81
<b>Mg</b>	55,26	58,76	42,26	42,08	53,13
<b>Na</b>	7,96	9,38	8,91	5,60	5,16
<b>Sonnenblume</b>					
<b>Mn</b>	9,01	10,01	12,49	8,86	8,47
<b>Cu</b>	0,61	0,66	0,63	0,55	0,65
<b>Zn</b>	0,69	0,55	0,61	0,54	0,60
<b>Mg</b>	45,38	49,64	47,90	43,88	45,04
<b>Na</b>	5,24	5,47	8,08	6,66	5,89
<b>Sommergerste</b>					
<b>Mn</b>	9,49	11,68	10,11	10,75	11,44
<b>Cu</b>	0,61	0,52	0,52	0,56	0,62
<b>Zn</b>	0,63	0,50	0,36	0,44	0,92
<b>Mg</b>	60,32	56,08	46,44	48,84	55,03
<b>Na</b>	7,44	7,57	8,21	6,74	5,40
<b>Knautgras</b>					
<b>Mn</b>	9,73	10,76	10,15	12,26	10,57
<b>Cu</b>	0,51	0,78	0,54	0,59	0,57
<b>Zn</b>	0,49	0,70	0,56	0,50	1,06
<b>Mg</b>	47,64	56,00	46,07	46,61	60,30
<b>Na</b>	5,80	6,35	6,18	6,84	5,48

Im Jahr 2009 wurden vom Hauptversuch nur die mit Knautgras bewachsenen Parzellen beprobt. Die zugehörigen Mittelwerte befinden sich in Tabelle 3.

Tabelle 3: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte (mg kg<sup>-1</sup> Substrat) aus je sechs Wiederholungen pro eingesetztem Bodenhilfsstoff (Proben aus 2009)

<b>Knautgras</b>	<b>G</b>	<b>G/HC</b>	<b>HC</b>	<b>H</b>	<b>K</b>
<b>Mn</b>	8,80	13,65	9,35	11,23	8,94
<b>Cu</b>	1,59	1,49	1,11	1,36	1,00
<b>Zn</b>	0,98	1,03	0,93	0,90	1,12
<b>Mg</b>	50,16	55,08	45,00	42,45	43,96
<b>Na</b>	1,97	3,10	1,64	1,68	1,50

Die ausschließlich mit Knautgras bewachsene Nebenversuchsfläche wurde 2009 ebenfalls beprobt. Anders als im Hauptversuch gab es hier keine G/HC-Variante. Die verbleibenden Bodenhilfsstoffe wurden auf je neun Parzellen getestet. Die zugehörigen Mittelwerte der Nährstoffgehalte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Mittelwerte der untersuchten Nährstoffgehalte (mg kg<sup>-1</sup> Substrat) aus je neun Wiederholungen pro eingesetztem Bodenhilfsstoff. (Proben der Nebenversuchsfläche aus 2009)

\* Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$

<b>Knautgras</b>	<b>G</b>	<b>HC</b>	<b>H</b>	<b>K</b>
<b>Mn</b>	7,68	7,75	7,64	7,70
<b>Cu</b>	1,57	1,38	1,33	1,23
<b>Zn</b>	0,63	0,60	0,58	0,60
<b>Mg *</b>	32,82	32,71	28,67	29,99
<b>Na</b>	3,30	2,34	2,40	2,20

### 5.1.1 Mangan

Die Manganwerte zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Hilfsstoffvarianten. In den mit HumiComplete behandelten Parzellen wäre eigentlich durch die eingebrachte organische Substanz mit einer verstärkten Tätigkeit anaerob lebender, manganreduzierender Bakterien zu rechnen (Scheffer/Schachtschabel 2002), welche einen positiven Einfluss auf die Mn-Verfügbarkeit ausüben könnten. Durch die überdurchschnittlich hohen Sommerniederschläge stand dafür auch genügend Wasser zur Verfügung. Wohlmöglich kam dieser Effekt auch

durch das weite C/N Verhältnis von HumiComplete (Trimborn 2007) nicht zum Tragen.

Die Huminsäuren des Bodenhilfsstoffs Humentos sollen laut Hersteller für eine verbesserte Bodenstruktur mit höherer Wasserspeicherkapazität sorgen, dennoch stellte sich auch in dieser Variante keine verbesserte Mn-Verfügbarkeit ein.

Geohumus könnte durch seine Fähigkeit Wasser zu speichern ein schnelles Austrocknen des Bodens verhindern und so längere Zeit die Reduktion von  $Mn^{4+}$  zum pflanzenverfügbarem  $Mn^{2+}$  erleichtern. Ungeachtet dieser Eigenschaften führte eine Behandlung mit Geohumus nicht zu einer signifikanten Veränderung der Bodenmangankonzentrationen im Versuchszeitraum.

Vergleicht man die Mangangehalte mit den Richtwerten aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass alle gemessenen Mangankonzentrationen des Freilandversuchs weit unter 25 mg/kg Boden liegen und daher der niedrigsten Gehaltsklasse A zugeordnet werden. Als zusätzlich problematisch für die Manganverfügbarkeit sind die hohen pH-Werte (Abb. 3) auf der Versuchsfläche zu betrachten, die im Mittel bei etwa 7,6 liegen. Bei so hohen pH-Werten ist die Mn-Konzentration in der Bodenlösung äußerst gering (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Allerdings ergaben die Messungen der oberen Randparzellen (18, 30, 42 usw.) (Tabelle 13) in denen saure Bedingungen vorlagen, noch deutlich geringere Mn-Konzentrationen als die restliche Versuchsfläche. Möglicherweise kam es hier bereits zu einer Auswaschung des anfänglich vorhandenen Mangans. Daraus lässt sich schließen, dass das Substrat im Allgemeinen sehr wenig Mangan enthält und dass dessen Verfügbarkeit durch die hohen pH-Werte noch zusätzlich stark eingeschränkt ist. Daher kann es beim Anbau von Mn-intensiven Kulturen wie der Sommergerste zu Ertragseinbußen kommen (Zorn/ Marks 2008). Um dies zu vermeiden empfiehlt sich auf solchen Flächen eine Mn-Düngung mittels Blattapplikation, da eine Bodendüngung unter den gegebenen pH-Werten kaum eine Wirkung erzielen würde.

**Tabelle 5:** Richtwerte zur Bewertung des Mn-Gehaltes nach der CAT-Methode in Abhängigkeit von der Bodengruppe und pH-Wert; Angaben in mg kg<sup>-1</sup> Boden

Gehalts- klasse	S und I'S BG 1 und 2				IS (SL) BG 3				sL/uL und t'L/T BG4 und 5 ohne pH- Begrenzung
	pH-Wert				pH-Wert				
	≤ 5,0	5,1 - 5,5	5,6 - 6,0	≥ 6,1	≤ 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	≥ 6,6	
<b>A</b>	< 3	< 6	< 10	< 25	< 8	< 15	< 20	< 30	< 30
<b>C</b>	3 - 6	6 - 10	10 - 20	25 - 50	8 - 15	15 - 25	20 - 30	30 - 50	30 - 60
<b>E</b>	> 6	> 10	> 20	> 50	> 15	> 25	> 30	> 50	> 60

### 5.1.2 Kupfer

In keiner der getesteten Kulturart ließen sich signifikante Unterschiede in den Cu-Gehalten durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe nachweisen. Da Cu sehr fest an Mn- und Fe-Oxide, sowie an die organische Bodensubstanz gebunden wird (Trott et al 2007), wäre es denkbar, dass HumiComplete und Humentos die Cu-Verfügbarkeit zusätzlich weiter herabsetzen. Andererseits könnten bei deren mikrobieller Zersetzung entstehende organische Komplexbildner adsorbiertes Cu mobilisieren und so dessen Verfügbarkeit verbessern (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Möglicherweise heben sich hier beide Aspekte auch gegenseitig auf. Die ultrafeingeschliffenen Lavagesteinsmehlbestandteile im Geohumus könnten zusätzliches Kupfer an die Bodenlösung abgeben und so die Ernährung der Pflanze unterstützen. Ob auf diese Weise die Cu-Verfügbarkeit verbessert werden kann, müsste allerdings durch eine Pflanzenanalyse bestätigt werden, da das freigesetzte Cu, wenn es nicht direkt von der Pflanze entzogen wird, möglicherweise schnell wieder im Boden festgelegt wird. Auffällig ist, dass die Cu-Werte der oberen Randparzellen (18, 30, 42 usw.) (Tabelle 13) eine deutlich höhere Cu-Verfügbarkeit aufweisen. Dies ließe sich durch den niedrigen pH-Wert erklären, da Kupfer unter sauren Bedingungen leichter desorbiert. Allerdings sei zu beachten, dass die Cu-Konzentration der Bodenlösung auch stark von der Konzentration an löslichen organischen und anorganischen Komplexbildnern abhängig ist (Scheffer/ Schachtschabel 2002).

Mit einem Mittelwert von 0,58 mg kg<sup>-1</sup> Boden auf der Hauptversuchsfläche (2007) kann die Cu-Verfügbarkeit entsprechend Tabelle 6 der niedrigsten Gehaltsklasse A zugeordnet werden. Um Cu-Mangel zu vermeiden wäre auf solchen Flächen eine

Bodendüngung mit Cu-haltigem Dünger empfehlenswert, dessen Wirkung im Vergleich zur Blattdüngung über mehrere Vegetationsperioden anhält. Möglich wäre auch eine Cu-Zufuhr über organischen Dünger, wobei man hier die hohen Cu-Gehalte in Schweinegülle gut ausnutzen könnte.

Die 2009 aus den Knautgrasparzellen genommenen Proben des Hauptversuchs belegen, dass die Cu-Gehalte in der Zwischenzeit deutlich angestiegen sind und sich nun in der Gehaltsklasse C befinden, in welche sich auch die Kupferwerte der Nebenversuchsfläche zuordnen lassen. Mit Kupfermangel ist somit nicht mehr zu rechnen. Der Anstieg der Kupfergehalte ist vermutlich auf eine Cu-Zufuhr durch die wiederholte Volldüngerapplikation zurückzuführen. Möglicherweise kann auch ein geringfügiges Absinken des pH-Wertes zu einer erhöhten Cu-Verfügbarkeit geführt haben.

**Tabelle 6:** Richtwerte zur Bewertung des Cu-Gehaltes nach der CAT-Methode (CaCl<sub>2</sub>/DTPAMethode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe und pH-Wert; Angaben in mg kg<sup>-1</sup> Boden

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS (SL) BG 3	sL/uL und t'L/T BG4 und 5	
			pH < 7,0	pH ≤ 7,0
<b>A</b>	< 1,0	< 1,2	< 2,0	< 1,2
<b>C</b>	1,0 - 2,0	1,2 - 2,5	2,0 - 4,0	1,2 - 2,5
<b>E</b>	> 2,0	> 2,5	> 4,0	> 2,5

### 5.1.3 Zink

Eine Varianzanalyse der Zinkwerte ergab nur auf den mit Buchweizen bepflanzt Flächen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen, die jedoch durch einen Tukey-Test nicht bestätigt werden konnten. Ein Einfluss auf die Bodenzinkgehalte scheint daher auch hier von keinem der Bodenhilfsstoffe auszugehen.

In der Regel hat Zink eine hohe Affinität zur organischen Substanz im Boden, was dazu führen müsste, dass Humentos und HumiComplete die Zn-Verfügbarkeit weiter herabsetzen. Da aber unter den gegebenen pH-Werten die Bindung von Zn an Mn und Fe-Oxide sehr stark ist könnte der organisch gebundene Anteil die Zn-Versorgung der Pflanze dennoch verbessern. Der größte Zinkanteil in der Boden-

lösung liegt als metallorganischer Komplex vor (Scheffer/ Schachtschabel 2002), daher könnten bei der Zersetzung der organischen Hilfsstoffe gebildete Komplexbildner die Zn-Gehalte der Bodenlösung erhöhen. Vermutlich wird dieser Effekt aber von der geringen Zn-Verfügbarkeit unter den hohen pH-Werten überdeckt.

Geohumus könnte, wie im Abschnitt Kupfer beschrieben, die Zn-Verfügbarkeit durch die Verwitterung der Lavagesteinsmehlbestandteile verbessern. Höhere Bodenwassergehalte, die Geohumus bewirken könnte, würden die Diffusionswege des gering beweglichen Zinks im Boden verkürzen und so dessen Aufnahme durch die Pflanze erleichtern. Vermutlich können aber auch hier die Eigenschaften von Geohumus unter den gegebenen pH-Werten die Zn-Gehalte der Bodenlösung nicht anheben.

Wie auch Mn und Cu können die Zinkgehalte nach Tabelle 7 mit einem Mittelwert von  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$  Boden der Klasse A zugeordnet werden. Die Tatsache, dass die sauren Randparzellen sehr viel höhere Zn-Gehalte aufweisen lässt vermuten, dass das Substrat an sich genügend Zink enthält und dessen geringe Verfügbarkeit somit den hohen pH-Werten zugeschrieben werden kann.

Als Düngungsmaßnahme wäre hier eine Blattapplikation der Bodendüngung vorzuziehen, um eine Festlegung im Boden durch die hohen pH-Werte zu vermeiden.

**Tabelle 7:** Richtwerte zur Bewertung des Zn-Gehaltes nach der CAT-Methode ( $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$  Methode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe; Angaben in  $\text{mg kg}^{-1}$  Boden

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS (SL), sL/uL und T'L/TBG 3 bis 5
<b>A</b>	< 1,0	< 1,5
<b>C</b>	1,0 bis 2,5	1,5 bis 3,0
<b>E</b>	> 2,5	> 3,0

### 5.1.4 Magnesium

Auf der Hauptversuchsfläche des Freilandversuchs konnten keine signifikanten Unterschiede in den Magnesiumgehalten durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe nachgewiesen werden. Bei der Auswertung der Nebenversuchsfläche ergaben sich jedoch unterschiedliche Mg-Gehalte, die Signifikanz aufwiesen. Dabei waren die höheren Gehalte der Geohumus- und HumiCompleteparzellen signifikant verschieden zu denen der Humentosvariante.

Organische Substanz ist in sandigen Böden mit etwa 75 % an der Kationenaustauschkapazität beteiligt (Scheffer/ Schachtschabel 2002), daher könnte aus HumiComplete gebildeter Humus einer Mg-Auswaschung entgegenwirken. Warum sich diese Wirkung auf den anderen HumiCompleteparzellen nicht zeigte, bleibt allerdings ungeklärt. Da die Unterschiede nicht allzu groß sind, konnte möglicherweise die höhere Anzahl an Wiederholungen auf der Nebenversuchsfläche die Unterschiede erst erkennbar machen.

Dass die organische Substanz aus Humentos der Auswaschung nicht entgegenwirken konnte, ist möglicherweise auf dessen Zusammensetzung zurückzuführen, da Humentos im Wesentlichen aus Huminsäuren besteht die einen geringeren Anteil an Carboxylgruppen als natürlicher Humus besitzen (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Denkbar wäre auch das Humentos aufgrund der geringen Aufwandmenge (Tabelle 1) einer Mg-Auswaschung kaum entgegenwirken könnte.

Leider sind keine Informationen zur genauen Zusammensetzung von Geohumus verfügbar. Bekannt ist jedoch, dass Polyacrylate (Abb. 4) ein Bestandteil von Geohumus darstellen. Bei deren Polymerisation wird Acrylsäure (R=H) als Ausgangsmaterial verwendet. Die enthaltenen Carboxylgruppen können als Austauscher fungieren und so die Mg-Auswaschung in dem sandigen Substrat verringern.

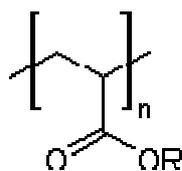


Abb. 4: Strukturelement des Polyacrylats

Die Mg-Gehalte der Hauptversuchsfläche lassen sich mit einem Mittelwert von etwa 50 mg/kg Boden nach Tabelle 8 der Gehaltsklasse E zuordnen. Allerdings bezieht sich diese auf die CaCl<sub>2</sub>-Methode. Bei der CAT-Methode ist durch den zugesetzten Komplexbildner DTPA mit einer höheren Mg-Extraktion zu rechnen, weshalb die Messwerte nach unten korrigiert und eher der Gehaltsklasse C oder D zugeordnet werden sollten. Die deutlich überdurchschnittlichen Mg-Gehalte im Block II und III (siehe Abb. 5) könnten auf einen höheren Tonanteil im Substrat zurückzuführen sein.

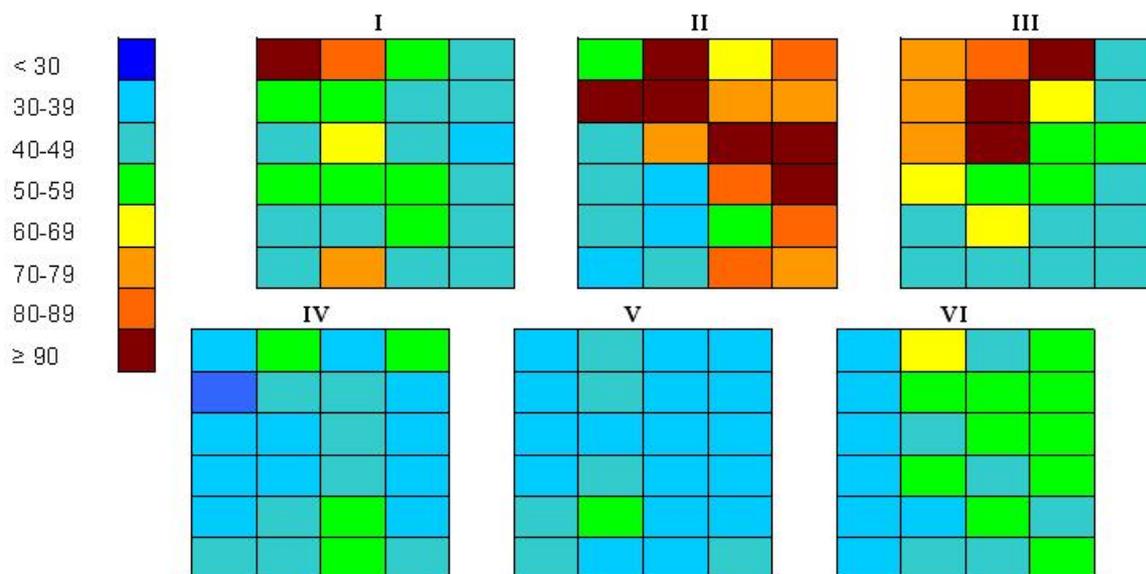


Abb. 5: Übersichtskarte der Mg-Gehalte in  $\text{mg kg}^{-1}$  Boden

Der Mg-Gehalt der Nebenversuchsfläche lag mit einem Mittelwert von  $31 \text{ mg/kg}$  Boden deutlich unter dem des Hauptversuchs. Da sich das Knäulgras nach der Aussaat im Herbst 2007 nur spärlich entwickelte, wurde im Jahr 2008 auf eine Mg-Düngung der Nebenversuchsfläche verzichtet. Insgesamt wurde dort in den drei Versuchsjahren  $60 \text{ kg MgO}$  weniger als im Hauptversuch gedüngt. Diese  $60 \text{ kg}$  entsprechen etwa einem Mg-Gehalt von  $13 \text{ mg kg}^{-1}$  Boden in den oberen  $30 \text{ cm}$  des Bodenprofils und können die Abweichungen erklären.

**Tabelle 8:** Optimale Mg-Versorgung von Ackerböden (Klasse C) in Abhängigkeit von der Bodenart nach der  $\text{CaCl}_2$ -Methode

Bodenart	Mg ( $\text{CaCl}_2$ ) $\text{mg kg}^{-1}$ Boden
Sandige Böden (S, SI, Us)	30...40
Lehmige Böden (UI, Ls, Lu)	40...60
Tonige Böden (Tu3, Lt)	60...90

### 5.1.5 Natrium

Bei Auswertung der Natriumgehalte ergaben sich in keiner der eingesetzten Bodenhilfsstoffvarianten signifikante Unterschiede. Betrachtet man die Mess-

ergebnisse im Detail (siehe Tabelle x im Anhang) wird deutlich, dass die Na-Gehalte sehr starken Schwankungen unterliegen. Dies lässt vermuten, dass auch hier die Bodenhilfsstoffe keinen oder nur geringen Einfluss auf die Na-Gehalte ausüben. Der durchschnittliche Na-Gehalt von 6,7mg/kg Boden auf der Hauptversuchsfläche befand sich im Jahr 2007 nach Tabelle 9 in der Gehaltsklasse B. Die Messwerte der 2009 gezogenen Proben verzeichnen einen deutlichen Rückgang der Na-Gehalte, die sich nun der Klasse A zuordnen lassen. Da allerdings keine natriumbedürftigen Kulturen angebaut wurden und das Erntegut als nachwachsende Rohstoffe und nicht als Tierfutter verwendet werden soll, dürfte eine Na-Düngung nicht erforderlich sein.

Tabelle 9: Einteilung der Natriumversorgungsstufen für Ackerland

Gehaltsklasse	mg Na kg <sup>-1</sup> Boden
<b>A</b>	≤ 5
<b>B</b>	6 - 15
<b>C</b>	16 - 30
<b>D</b>	31 - 50
<b>E</b>	≥ 51

### 5.1.6 Vergleich mit normalen Ackerflächen

Um die gemessenen Werte besser mit normalen Ackerböden vergleichen zu können, wurden zusätzlich ein schluffiger Boden aus Meckenheim und ein sandiger Boden aus Uedorf mit der CAT-Methode auf die angegebenen Nährelemente (Tabelle 10) untersucht. Als überraschend hoch erwiesen sich hierbei die Cu- und Zn-Werte der Uedorfer Krume, die vermutlich durch eine häufigere Anwendung Cu- und Zn-haltiger Spritzmittel zustande kamen.

Tabelle 10: Nährstoffgehalte eines schluffigen (Meckenheim) und eine sandigen (Uedorf) Ackerbodens in mg kg<sup>-1</sup>

	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
<b>Meckenheimer Krume</b>	15,56	1,96	3,54	86,67	10,39
<b>Meckenheimer Untergrund</b>	23,18	1,24	0,95	105,85	11,76
<b>Uedorfer Krume</b>	19,40	13,95	35,85	46,43	9,76
<b>Uedorfer Untergrund</b>	39,80	1,61	4,02	30,99	5,95

## 5.2 Gewächshausversuch

Im 2007 durchgeführten Gewächshausversuch wurden lediglich die Hilfsstoffe Geohumus und HumiComplete getestet. Die Mittelwerte aus den Ergebnissen der CAT-Analyse befinden sich in Tabelle 11.

Tabelle 11: Mittelwerte aus 9 Wiederholungen der untersuchten Nährstoffgehalte ( $\text{mg kg}^{-1}$  Substrat) aus dem 2007 durchgeführten Gewächshausversuch.  
\* Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$

<b>Sonnenblume</b>	<b>G</b>	<b>HC</b>	<b>K</b>
<b>Mn *</b>	14,12	15,44	14,42
<b>Cu</b>	1,43	1,45	1,50
<b>Zn *</b>	0,93	1,08	0,88
<b>Mg *</b>	53,11	60,85	54,53
<b>Na</b>	42,64	39,24	44,18
<b>Mais</b>			
<b>Mn</b>	12,51	12,83	12,79
<b>Cu</b>	1,43	1,36	1,36
<b>Zn</b>	0,84	0,92	0,88
<b>Mg</b>	55,55	57,74	54,02
<b>Na</b>	41,11	36,40	36,04

Bei der Anlage des Versuchs wurde das Substrat zunächst mit den Nährstoffen N, P; K und Mg in Form von Reinstchemikalien aufgedüngt. Nach einiger Zeit zeigten die Pflanzen Mangelsymptome, die jedoch keinem Nährstoff direkt zugeordnet werden konnten. Es wurde vermutet, dass es sich dabei um einen multiplen Mikronährstoffmangel handelte. Nach der Zugabe eines Mikronährstoffdüngers verschwanden die Symptome allmählich. Nach der Zugabe von 1 g pro Gefäß (10 kg) eines Mikronährstoffdüngers („Ferty 10“, Planta Düngemittel GmbH, Regenstauf) verschwanden die Symptome allmählich.

Die statistische Auswertung ergab, dass sich die höheren Mn-, Zn-, und Mg-Gehalte von HumiComplete gegenüber Geohumus und der unbehandelten Kontrolle signifikant unterscheiden. Allerdings war dies nur in den Substratproben der Sonnenblumen der Fall, in der Maisvariante waren die Unterschiede nicht signifikant.

Trotz der Mikronährstoffdüngung lagen die Manganwerte noch immer deutlich unter  $25\text{mg/kg}$  Substrat was vermuten lässt, dass die Pflanzen noch immer einem latenten

Mn-Mangel ausgesetzt waren. Die höheren Mn-Gehalte der HumiCompletevariante könnten durch eine höhere mikrobielle Tätigkeit beim Abbau der organischen Substanz erklärt werden, da eine höhere mikrobielle Aktivität auch die Mn-Reduktion steigern könnte. Dabei entstehende organische Komplexbildner könnten dann zusätzlich die Mn- sowie die Mg- und Zn-Verfügbarkeit positiv beeinflussen (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Dass sich diese Effekte im Feldversuch nicht zeigten, könnte auf eine schnellere mikrobielle Umsetzung der organischen Substanz zurückzuführen sein, welche durch die höheren Temperaturen im Gewächshaus beschleunigt würde. Allerdings bliebe dann ungeklärt warum sich bei Mais keine Unterschiede zu den anderen Varianten ergaben.

Zwar kommt Kupfer in der Bodenlösung auch als metallisch-organischer Komplex vor, dennoch waren bei Kupfer keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Hierfür kann wieder der hohe pH-Wert verantwortlich gemacht werden, da Kupfer unter diesen Bedingungen zum größten Teil als Carbonato-Komplex in der Bodenlösung vorliegt (Scheffer/ Schachtschabel 2002). Gut zu erkennen ist bei Cu der Erfolg der Mikronährstoffdüngung, der bei Mn und Zn deutlich geringer ausgeprägt ist (siehe Tabelle 11 und 12).

Die auffällig hohen Na-Werte im Vergleich zum Feldversuch kamen durch die P-Düngung zustande, da hierfür das Salz  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$  verwendet wurde.

Um die Auswirkungen der Düngung besser einschätzen zu können wurde auch eine Probe des ungedüngten Ausgangssubstrats, welches für den Gewächshausversuch verwendet wurde, analysiert. Die gemessenen Werte finden sich in Tabelle 12.

Tabelle 12: Messwerte des im Gewächshaus verwendeten Ausgangssubstrats in  $\text{mg kg}^{-1}$ .

	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
<b>Cottbus Krume</b>	13,07	0,92	0,72	42,50	4,23

### 5.3 Vergleich 2007/2009

Aus den Knaulgrasparzellen der Hauptversuchsfläche lagen Proben aus dem Jahr 2007 und 2009 vor. Die zugehörigen Messwerte sind in den Diagrammen in Abb. 6 graphisch dargestellt. Die erhobenen Daten erlauben längerfristige Effekte der Bodenhilfsstoffe auf die Nährstoffverfügbarkeit zu untersuchen.

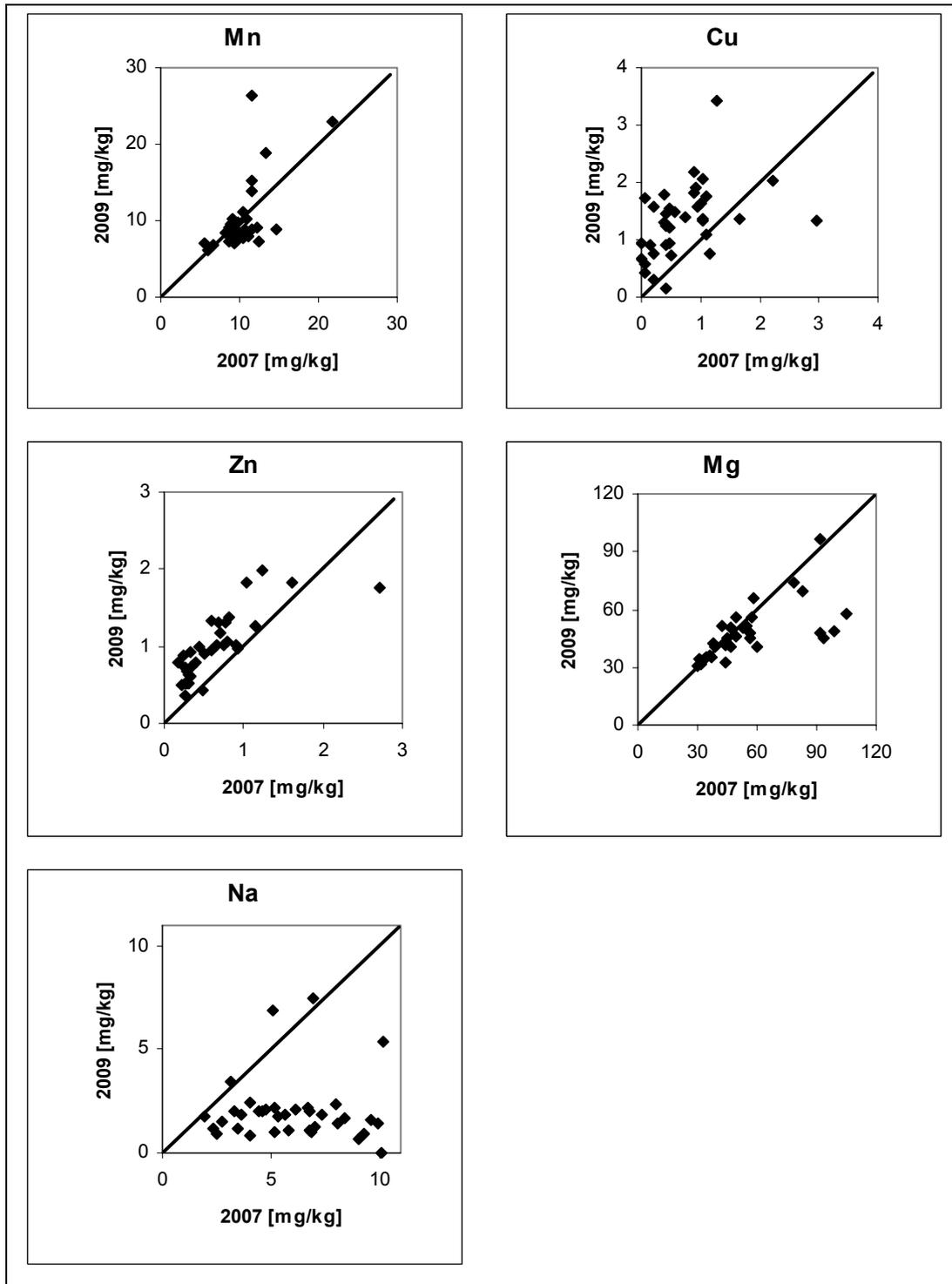


Abb. 6: Vergleich der Nährstoffgehalte zwischen dem Jahr 2007 und 2009 in den Knaulgrasparzellen des Hauptversuchs

Eine 50/50-Linie in jedem Diagramm macht deutlich, dass die gemessenen Nährstoffkonzentrationen im Laufe der Zeit teilweise starken Schwankungen unterlagen. Wobei die Gehalte von Cu und Zn tendenziell zugenommen haben. Na-Gehalte gingen deutlich zurück. Um diese Entwicklungen zu verdeutlichen sind in

Abb.7 die durchschnittlichen Nährstoffgehalte der jeweiligen Jahre in einem Säulediagramm dargestellt.

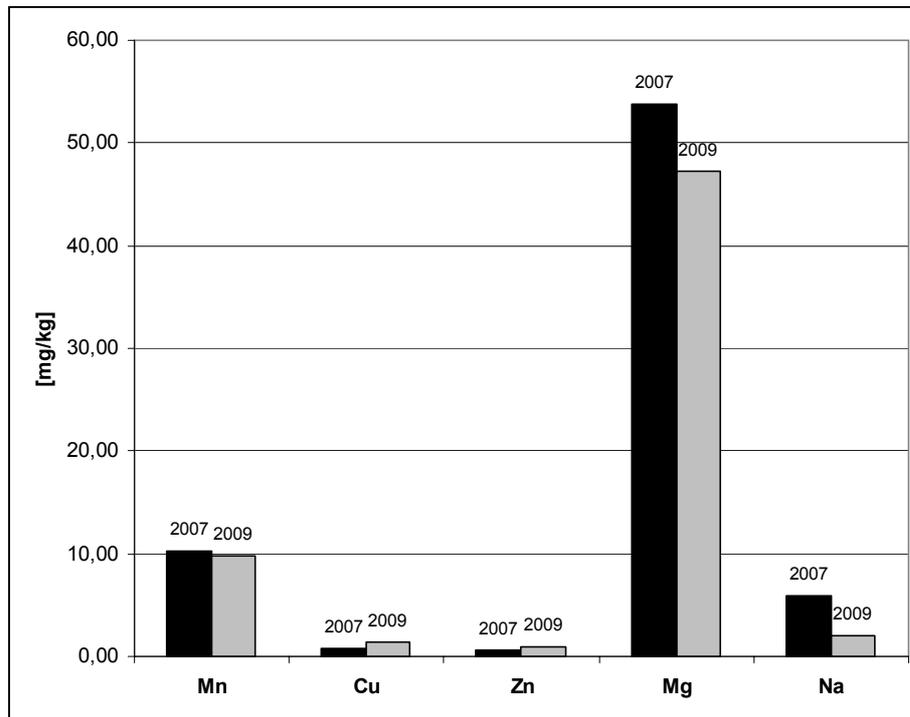


Abb. 7: Mittelwerte der Nährstoffgehalte auf der Hauptversuchsfläche in den Jahren 2007 und 2009.

Der durchschnittliche Mangangehalt hat sich in den zwei Jahren nicht nennenswert verändert. Eine verbesserte Manganverfügbarkeit hat sich über die Zeit in keiner der Hilfsstoffvarianten eingestellt.

Vergleicht man die mittleren Cu-Gehalte der Versuchsfläche, so ist festzustellen, dass sich dessen Verfügbarkeit fast verdoppelt hat. Eine Varianzanalyse zeigte eine signifikante Verbesserung durch Geohumus. Auch die Zinkgehalte des Bodens sind im Durchschnitt um etwa ein Drittel angestiegen und auch hier ergab die Varianzanalyse signifikant höhere Zinkgehalte in der Geohumusvariante. Welche Eigenschaft von Geohumus die bessere Cu- und Zn-Verfügbarkeit bewirkt bleibt allerdings ungeklärt. Das in Geohumus enthaltene Lavagesteinsmehl wird beim Herstellungsprozess in einem nanotechnologischen Verfahren ultrafein vermahlen. Daher wäre es denkbar, dass das Material einer schnellen Verwitterung unterliegt und so die Cu- und Zn-Verfügbarkeit in den beiden Jahren allmählich anheben konnte. Die Abweichungen könnten auch durch den unterschiedlichen Zeitpunkt der Probennahme zustande gekommen sein. Im Jahr 2007 wurden diese direkt nach der Ernte gezogen, 2009 erfolgte die Beprobung erst im April.

Unter den eingesetzten Hilfsstoffen gab es keine signifikanten Unterschiede der Mg-Gehalte zwischen den Jahren. Der mittlere Mg-Gehalt ging um etwa 6,5 mg/kg Substrat zurück. Die Differenz entspricht etwa 30 kg ha<sup>-1</sup>. Etwa die Hälfte davon dürften in den zwei Jahren der Auswaschung zugeschrieben werden (Scheffer/Schachtschabel 2002), ungefähr 3,5 kg Mg ha<sup>-1</sup> wurden im Jahr 2008 weniger gedüngt, der Rest könnte dem Boden durch einen gestiegenen Mg-Bedarf der Dauerkultur im zweiten Jahr entzogen worden sein.

Auf die Na-Verfügbarkeit zeigen die Bodenhilfsstoffe keine langzeitliche Wirkung. Jedoch ist festzustellen dass der durchschnittliche Na-Gehalt um etwa zwei Drittel zurückging. Die gute Wasserlöslichkeit von Na und die geringe KAK des sandigen Substrats scheinen eine schnelle Na-Auswaschung zu begünstigen.

### 5.4 Methodenvergleich CAT/CaCl<sub>2</sub>

Die 2007 genommenen Proben des Feld- und Gewächshausversuchs wurden mit der CaCl<sub>2</sub>-Methode auf ihre Nährstoffgehalte untersucht. Da dabei unter anderem auch Magnesium gemessen wurde bietet sich an dieser Stelle ein Vergleich der beiden Methoden an. In Abb. 8 sind die Mg-Gehalte der CaCl<sub>2</sub>-Extrakte gegenüber den mittels CAT-Methode ermittelten Messwerten in einem Diagramm aufgetragen. Das Bestimmtheitsmaß des Freilandversuchs von 0,91 belegt deutlich, dass die beiden Methoden durchaus vergleichbar sind. Die im CAT-Verfahren erhaltenen Werte sind im Mittel um den Faktor 1,5 höher als die der CaCl<sub>2</sub>-Methode.

Die Proben des Gewächshausversuchs weisen eine weit geringere Regression von nur 0,26 auf. Da das Substrat für den Versuch nur aus einem kleinen Bereich neben der Versuchsfläche entnommen wurde, sind die darin enthaltenen Nährstoffgehalte weit homogener verteilt als die auf der gesamten Versuchsfläche. Daraus ergibt sich ein weit engerer Wertebereich der Mg-Gehalte des im Gewächshaus verwendeten Substrats. Die Folgen davon sind eine verhältnismäßig größere Streuung um die Regressionsgerade, weshalb sich diese Daten für einen Methodenvergleich als ungeeignet erwiesen. Aus ungeklärten Gründen waren die CAT-Ergebnisse hier im Mittel etwa doppelt so hoch wie die Mg-Gehalte der CaCl<sub>2</sub>-Extrakte.

Die im Allgemeinen höheren Ergebnisse der CAT-Analyse dürften auf das Vorhandensein des Komplexbildners DTPA zurückzuführen sein. Die Affinität von Mg

zum Komplexbildner führt durch Bildung eines MgDTPA-Komplexes zu einem erleichterten Übergang von den Austauschplätzen in die lösliche Phase.

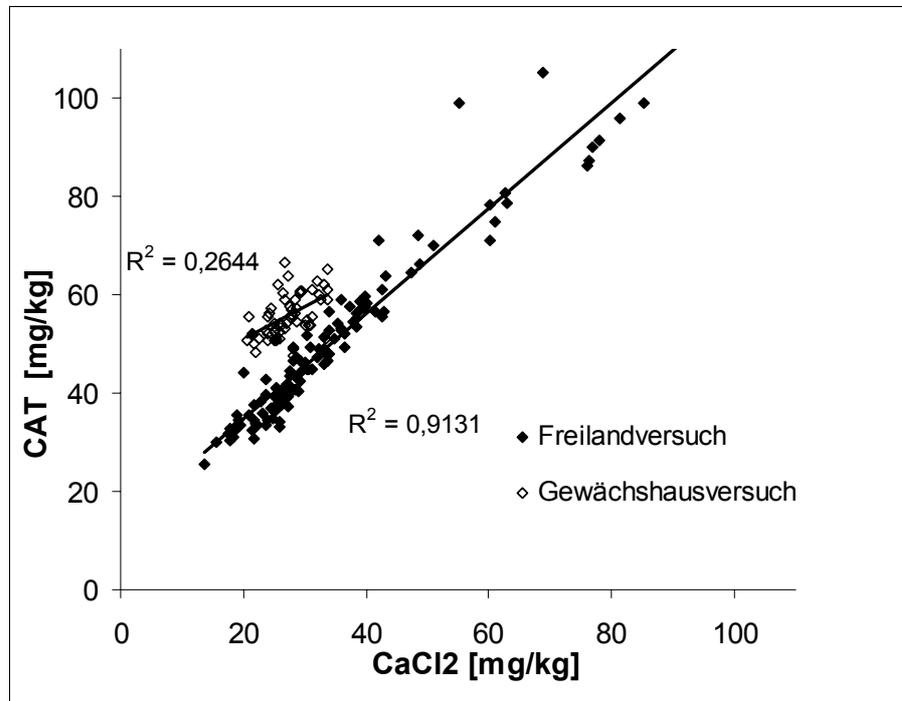


Abb. 8: Vergleich der Ergebnisse aus der CAT- und der CaCl<sub>2</sub>-Analyse

### 5.5 Schlussfolgerungen

Im Freilandversuch ließ sich durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe kein Einfluss auf die Mikronährstoffgehalte im Boden nachweisen. Vermutlich sind hierfür die hohen pH-Werte verantwortlich unter denen die Mikronährstoffverfügbarkeit zu sehr eingeschränkt ist. Um letztendlich zu klären, ob die Bodenhilfsstoffe dennoch in der Lage sind die Mikronährstoffaufnahme der Pflanze zu beeinflussen, wäre eine großflächige Pflanzenanalyse erforderlich.

Auf der Nebenversuchsfläche konnten durch die Hilfsstoffe Geohumus und HumiComplete die Mg-Gehalte leicht angehoben werden. Möglicherweise konnte hier durch die Hilfsstoffe die KAK des sandigen Substrats leicht verbessert werden.

Ob sich die erhöhten Mn-, Mg- und Zn-Gehalte der Sonnenblumenvariante des Gewächshausversuchs auf die Wirkung von HumiComplete zurückführen lassen, konnte nicht geklärt werden, da sich dieser Effekt in der Maisvariante nicht wiederholte.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

---

Um bessere Aussagen über die Wirkung der Bodenhilfsstoffe auf die Mikronährstoffverfügbarkeit machen zu können, sollten die Ergebnisse der Bodenanalyse durch Messungen der entsprechenden Pflanzenährstoffgehalte ergänzt werden. Zudem könnte in Betracht gezogen werden die Hilfsstoffe auf Flächen mit niedrigeren pH-Werten zu testen, unter denen die Mobilität der Mikronährstoffe im Boden weniger eingeschränkt ist.

## 6 Ausblick

Ein Einsatz von Geohumus zur Bodenmelioration kann für die Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen als kritisch angesehen werden. Da Geohumus zum Einen sein volles Wasserspeicherpotential aufgrund des Bodenwiderstandes nicht voll ausschöpfen kann. Zum Anderen stehen die derzeit hohen Kosten des Superabsorbers in keinem Verhältnis zu dessen Nutzen. Zudem müsste Geohumus wegen seiner Haltbarkeit von 3- 5 Jahren immer wieder neu eingebracht werden. Gelänge es diese Probleme in Zukunft durch die Weiterentwicklung dieses Produkts zu lösen, könnte daraus dennoch ein viel versprechender Bodenhilfsstoff entstehen. Als weit kostengünstiger und nachhaltiger kann der Ansatz der Humusanreicherung gesehen werden. So könnte auf natürlichem Wege Struktur, Wasserhaltevermögen und Nährstoffverfügbarkeit des Bodens verbessert werden. Allerdings müsste dafür nicht zwangsläufig auf Hilfsstoffe wie HumiComplete oder Humentos zurückgegriffen werden. Stattdessen könnte die Humusakkumulation auch über eine regelmäßige organische Düngung erfolgen. Da es gerade in den neuen Bundesländern zahlreiche große Schweinemastbetriebe gibt, könnte beispielsweise deren Gülle großflächig zur Düngung und Melioration auf den Abraumflächen ausgebracht werden.

### 7 Zusammenfassung

Das BAtoS-Projekt ist ein Verbundvorhaben das sich zum Ziel gesetzt hat ein nachhaltiges Verfahren zur Bodenmelioration auf trockenheitsgefährdeten Sandböden zu entwickeln. Durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe, die vor allem das Wasserhaltevermögen verbessern sollten, kam es teilweise zu Ertragssteigerungen, die aufgrund überdurchschnittlich hoher Niederschläge aber nicht einer verbesserten Wasserverfügbarkeit zugeschrieben werden konnten. Als mögliche Ursache kam eine verbesserte Mikronährstoffverfügbarkeit durch die eingesetzten Hilfsstoffe in Frage.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollte daher der Einfluss der Bodenhilfsstoffe Geohumus, Humentos und HumiComplete auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe Mn, Cu, Zn, Mg und Na untersucht werden. Die Bodenproben wurden mittels CAT-Methode extrahiert. Die Konzentrationen der Nährstoffe Mn, Cu, Zn, und Mg wurden durch ein Atomabsorptionsspektrometer bestimmt. Die Natriumgehalte wurden flammenphotometrisch gemessen.

Der synthetisch hergestellte Bodenhilfsstoff Geohumus ist ein mit Lavagesteinsmehl versetzter Superabsorber. Bei Humentos handelt es sich um ein aus Braunkohle hergestelltes Huminsäurepräparat. Die wesentlichen Bestandteile von HumiComplete stellen Gärrückstände, Xylit und Huminsäuren dar.

Auf der Hauptversuchsfläche des Freilandversuchs ließen sich für keinen Bodenhilfsstoff signifikante Unterschiede in den untersuchten Bodennährstoffgehalten nachweisen. Die Auswertung des Nebenversuchs ergab jedoch signifikant höhere Mg-Gehalte der Geohumus- und HumiCompletevariante. Vermutlich konnte durch die eingesetzten Bodenhilfsstoffe die KAK des sandigen Substrats gesteigert werden, welche dann der Mg-Auswaschung entgegenwirkte.

Im Gewächshausversuch ergaben sich signifikante Unterschiede in der HumiCompletevariante. Hierbei waren die Mn-, Zn- und Mg-Gehalte leicht erhöht gegenüber Geohumus und der unbehandelten Kontrolle. Allerdings war dies nur in den Substratproben der Sonnenblumen der Fall. Warum sich bei Mais keine Unterschiede hervorhoben konnte nicht geklärt werden.

Ein Vergleich der Nährstoffgehalte der Jahre 2007 und 2009 ergab für Geohumus signifikant höhere Bodengehalte an Cu und Zn die möglicherweise bei der Verwitterung der enthaltenen Lavagesteinsmehlbestandteile freigesetzt wurden. Da

jedoch der mittlere Cu- und Zn-Gehalt auf der gesamten Fläche anstieg ist dies nicht zwangsläufig der Wirkung von Geohumus zuzuschreiben.

Für die 2007 entnommenen Bodenproben der Versuchsfläche und des Gewächshausversuchs lagen bereits die Mg-Gehalte aus einer  $\text{CaCl}_2$ -Analyse vor. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der CAT-Analyse ergab ein Bestimmtheitsmaß von 0,91 für den Freilandversuch. Die Mg-Gehalte der CAT-Analyse lagen durch die Wirkung des DTPA durchschnittlich um den Faktor 1,5 über denen der  $\text{CaCl}_2$ -Methode. Aufgrund des geringen Wertebereichs der Gewächshausproben erwiesen sich diese als ungeeignet für einen Methodenvergleich.

Letztendlich ließen sich keine signifikanten Unterschiede in der Mikronährstoffverfügbarkeit durch die Anwendung der Bodenhilfsstoffe nachweisen. Möglicherweise überdeckt die starke Festlegung der Mikronährstoffe unter den vorherrschenden hohen pH-Werten den Einfluss, der von den Hilfsstoffen ausgehen könnte.

## 8 Quellen

Alexander, A., Gondolf, N., Orlovius, K., Paeffgen, S., Trott, H., Wissemeier, A. H. (2007): Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau Bedeutung – Mangelsymptome – Düngung. Bundesarbeitskreis Düngung 2007.

Anonym (2000): Rationelle Mikronährstoffbestimmung durch Anwendung der CAT-Methode, Merkblatt, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena 2000.

Anonym (2001): Informationen zur Düngung. Landesarbeitskreis Düngung Nordrhein-Westfalen. 3. Auflage Januar 2001

Anonym (2005): Merkblatt zur Mangandüngung in der Pflanzenproduktion. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. November 2005.

Anonym (2005): Merkblatt zur Kupferdüngung in der Pflanzenproduktion. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. November 2005.

Anonym (2005): Merkblatt zur Zinkdüngung in der Pflanzenproduktion. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. November 2005.

Anonym (2008): Ratgeber 2008 Natrium. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. 2008.

Campbell, N. A. und Reece, J. B. (2003): Biologie. 6. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg 2003

Ferlinz, M, (2008): Einfluss von Bodenhilfsstoffen auf den Wasserhaushalt und die Nährstoffaufnahme von verschiedenen Nutzpflanzen im Gefäßversuch. Diplomarbeit, INRES – Pflanzenernährung, Universität Bonn 2008.

Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press 1995

## 8 Quellen

---

Scheffer, F. (2002): Scheffer/ Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg 2002

Schubert, S. (2006): Pflanzenernährung Grundwissen Bachelor. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart 2006

Trimborn, M. (2007): BAtroS Zwischenbericht I 2007

Zorn, W. und Marks, G. (2008): Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Mai 2008.

<http://www.geohumus.com>

<http://www.foerderland.de>

<http://www.hoogen.de>

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/glossar/p/po/polyacrylat.glos.html>

Tabelle 13: Nährstoffgehalte aller analysierten Proben in  $\text{mg kg}^{-1}$ 

Feldversuch 2007								
Parzelle	Probe	Kultur	BHS	Mn	Mg	Na	Cu	Zn
1	Feld '07	Sonneblume	R	8,57	39,64	9,50	0,48	0,28
2	Feld '07	Sonneblume	K	8,11	34,47	5,01	0,44	0,31
3	Feld '07	Sonneblume	K	8,27	34,34	5,89	0,48	0,33
4	Feld '07	Sonneblume	G/HC	7,95	31,14	5,77	0,39	0,21
5	Feld '07	Sonneblume	G/HC	9,14	25,40	4,09	0,34	0,18
6	Feld '07	Sonneblume	HC	9,44	38,57	4,89	0,02	0,38
7	Feld '07	Knautgras	R	10,01	43,77	5,06	0,20	0,43
8	Feld '07	Knautgras	K	10,80	46,41	4,48	0,20	0,94
9	Feld '07	Knautgras	K	14,63	31,57	2,72	-0,03	0,29
10	Feld '07	Knautgras	G/HC	11,52	29,99	2,52	-0,07	0,22
11	Feld '07	Knautgras	G/HC	13,39	44,35	6,90	0,07	0,48
12	Feld '07	Knautgras	HC	9,46	57,42	3,35	0,47	1,15
13	Feld '07	Knautgras	HC	11,45	43,17	9,63	0,06	0,26
14	Feld '07	Knautgras	H	21,67	42,74	4,60	0,06	0,18
15	Feld '07	Knautgras	H	11,54	56,40	8,39	0,38	0,36
16	Feld '07	Knautgras	G	10,53	49,28	7,01	0,15	0,33
17	Feld '07	Knautgras	G	11,08	52,62	8,09	0,20	0,33
18	Feld '07	Knautgras	R	5,54	92,16	10,07	2,95	15,54
19	Feld '07	Buchweizen	R	10,60	54,54	5,50	0,39	1,21
20	Feld '07	Buchweizen	K	10,72	58,11	4,65	0,38	1,11
21	Feld '07	Buchweizen	K	11,39	44,81	1,90	0,20	0,54
22	Feld '07	Buchweizen	G/HC	9,75	48,93	5,81	0,20	0,72
23	Feld '07	Buchweizen	G/HC	10,34	43,57	1,44	0,11	0,40
24	Feld '07	Buchweizen	HC	12,55	39,49	6,24	0,02	0,18
25	Feld '07	Buchweizen	HC	12,18	69,86	12,26	0,52	0,70
26	Feld '07	Buchweizen	H	11,06	40,97	6,95	0,06	0,21
27	Feld '07	Buchweizen	H	9,95	52,72	4,80	0,25	0,51
28	Feld '07	Buchweizen	G	10,32	66,17	8,82	0,29	0,41
29	Feld '07	Buchweizen	G	8,66	52,08	7,87	0,25	0,32
30	Feld '07	Buchweizen	R	4,62	89,27	10,78	2,55	16,10
31	Feld '07	Sommergerste	R	10,76	39,71	4,27	0,11	0,32
32	Feld '07	Sommergerste	K	15,05	35,65	2,66	0,02	0,14
33	Feld '07	Sommergerste	K	12,81	35,44	4,05	0,06	0,14
34	Feld '07	Sommergerste	G/HC	12,17	33,55	4,02	-0,03	0,13
35	Feld '07	Sommergerste	G/HC	19,82	32,97	3,14	-0,03	0,21
36	Feld '07	Sommergerste	HC	10,51	52,91	9,47	0,34	0,33
37	Feld '07	Sommergerste	HC	11,23	43,34	4,68	0,06	0,20
38	Feld '07	Sommergerste	H	13,17	56,79	8,75	0,25	0,36
39	Feld '07	Sommergerste	H	11,90	57,48	10,49	0,33	0,30
40	Feld '07	Sommergerste	G	10,20	41,53	2,86	0,11	0,28
41	Feld '07	Sommergerste	G	7,57	40,55	5,84	0,06	0,55
42	Feld '07	Sommergerste	R	2,48	57,02	2,83	2,23	5,48
43	Feld '07	Sonnenblume	HC	12,67	40,94	5,00	0,11	0,14
44	Feld '07	Sonnenblume	H	9,22	48,27	4,24	0,24	0,30
45	Feld '07	Sonnenblume	H	7,87	42,56	8,36	0,11	0,52
46	Feld '07	Sonnenblume	G	7,17	32,52	6,75	-0,03	0,10
47	Feld '07	Sonnenblume	G	4,24	42,39	2,32	0,06	0,90
48	Feld '07	Sonnenblume	R	1,57	42,52	0,85	1,39	2,55
49	Feld '07	Sommergerste	R	11,42	44,79	6,60	0,15	0,26

## 9 Anhang

50	Feld '07	Sommergerste	HC	11,18	40,57	4,85	0,65	0,27
51	Feld '07	Sommergerste	HC	10,99	38,34	6,66	0,56	0,29
52	Feld '07	Sommergerste	H	11,06	32,88	7,36	0,52	0,22
53	Feld '07	Sommergerste	H	10,77	34,60	2,51	0,43	0,21
54	Feld '07	Sommergerste	K	10,18	37,58	6,10	0,39	0,22
55	Feld '07	Sonnenblume	R	9,88	38,96	17,43	0,42	0,28
56	Feld '07	Sonnenblume	HC	10,21	51,38	11,58	0,52	0,44
57	Feld '07	Sonnenblume	HC	9,88	41,00	11,69	0,51	0,28
58	Feld '07	Sonnenblume	H	9,89	32,46	7,73	0,38	0,15
59	Feld '07	Sonnenblume	H	9,34	41,80	5,96	0,43	0,26
60	Feld '07	Sonnenblume	K	8,98	44,82	4,28	0,52	0,31
61	Feld '07	Sonnenblume	K	7,67	39,08	7,92	0,43	0,18
62	Feld '07	Sonnenblume	G	9,00	47,20	5,54	0,52	0,38
63	Feld '07	Sonnenblume	G	8,52	49,23	7,69	0,56	0,40
64	Feld '07	Sonnenblume	G/HC	8,35	44,80	13,20	0,51	0,29
65	Feld '07	Sonnenblume	G/HC	8,80	101,59	0,25	0,43	0,79
66	Feld '07	Sonnenblume	R	8,90	59,12	4,12	1,01	3,53
67	Feld '07	Knautgras	R	9,30	37,37	6,80	0,42	0,31
68	Feld '07	Knautgras	HC	9,65	35,98	5,17	0,43	0,26
69	Feld '07	Knautgras	HC	12,31	31,55	4,07	0,38	0,25
70	Feld '07	Knautgras	H	10,39	30,47	9,27	0,42	0,26
71	Feld '07	Knautgras	H	9,32	34,15	9,95	0,52	0,29
72	Feld '07	Knautgras	K	8,58	33,42	9,08	0,48	0,31
73	Feld '07	Knautgras	K	9,52	46,48	7,40	0,56	0,51
74	Feld '07	Knautgras	G	8,91	38,96	5,83	0,47	0,40
75	Feld '07	Knautgras	G	8,77	37,52	3,15	0,43	0,60
76	Feld '07	Knautgras	G/HC	9,80	78,52	10,21	0,75	0,75
77	Feld '07	Knautgras	G/HC	11,49	91,39	6,94	1,28	1,24
78	Feld '07	Knautgras	R	6,73	93,26	1,91	2,21	8,92
79	Feld '07	Buchweizen	R	7,82	40,23	11,54	0,43	0,31
80	Feld '07	Buchweizen	HC	8,04	37,21	6,61	0,43	0,28
81	Feld '07	Buchweizen	HC	8,01	37,82	9,12	0,43	0,31
82	Feld '07	Buchweizen	H	8,02	34,94	6,17	0,43	0,25
83	Feld '07	Buchweizen	H	7,78	33,40	5,50	0,33	0,23
84	Feld '07	Buchweizen	K	8,16	38,55	5,15	0,42	0,30
85	Feld '07	Buchweizen	K	10,37	80,77	10,74	0,75	0,86
86	Feld '07	Buchweizen	G	8,04	56,39	7,55	0,69	0,56
87	Feld '07	Buchweizen	G	10,43	86,27	10,02	0,89	0,84
88	Feld '07	Buchweizen	G/HC	10,78	98,83	15,79	0,90	0,94
89	Feld '07	Buchweizen	G/HC	10,67	74,69	12,71	0,93	0,84
90	Feld '07	Buchweizen	R	8,00	62,37	4,08	0,75	1,82
91	Feld '07	Sommergerste	K	11,35	78,44	12,65	0,79	0,96
92	Feld '07	Sommergerste	G	10,31	87,39	10,69	0,79	0,84
93	Feld '07	Sommergerste	G	10,38	96,00	11,18	0,89	0,87
94	Feld '07	Sommergerste	G/HC	10,71	89,98	13,08	0,89	0,81
95	Feld '07	Sommergerste	G/HC	9,42	70,95	9,01	0,70	0,72
96	Feld '07	Sommergerste	R	8,65	81,76	6,50	0,84	2,18
97	Feld '07	Buchweizen	R	7,21	30,80	4,87	0,43	0,27
98	Feld '07	Buchweizen	G	7,59	36,77	5,17	0,75	0,48
99	Feld '07	Buchweizen	G	7,59	33,90	8,32	0,67	0,41
100	Feld '07	Buchweizen	HC	7,18	33,06	6,32	0,67	0,38
101	Feld '07	Buchweizen	HC	7,07	36,10	12,89	0,68	0,39
102	Feld '07	Buchweizen	G/HC	7,06	37,39	16,80	0,68	0,38

## 9 Anhang

103	Feld '07	Sommergerste	R	7,72	40,77	8,16	0,76	0,49
104	Feld '07	Sommergerste	G	7,81	39,21	4,84	0,77	0,52
105	Feld '07	Sommergerste	G	10,66	57,25	9,20	1,05	0,73
106	Feld '07	Sommergerste	HC	8,17	48,06	12,75	0,76	0,53
107	Feld '07	Sommergerste	HC	8,59	55,43	10,86	0,76	0,56
108	Feld '07	Sommergerste	G/HC	9,59	60,90	10,38	0,84	0,66
109	Feld '07	Sommergerste	G/HC	8,35	48,12	5,78	0,77	0,47
110	Feld '07	Sommergerste	H	8,13	46,64	2,52	0,80	0,49
111	Feld '07	Sommergerste	H	9,45	64,65	8,79	1,05	1,05
112	Feld '07	Sommergerste	K	9,79	71,04	2,94	1,34	2,14
113	Feld '07	Sommergerste	K	9,47	72,01	4,00	1,15	1,89
114	Feld '07	Sommergerste	R	4,41	73,42	2,07	1,31	4,02
115	Feld '07	Knaulgras	R	9,29	45,74	4,81	0,94	0,81
116	Feld '07	Knaulgras	G	9,60	58,47	4,03	0,93	0,67
117	Feld '07	Knaulgras	G	9,52	48,99	6,70	0,88	0,60
118	Feld '07	Knaulgras	HC	9,02	55,08	8,02	1,02	0,76
119	Feld '07	Knaulgras	HC	9,04	53,22	6,82	0,89	0,66
120	Feld '07	Knaulgras	G/HC	9,03	46,55	5,37	1,01	0,71
121	Feld '07	Knaulgras	G/HC	9,34	45,22	6,18	1,67	0,80
122	Feld '07	Knaulgras	H	12,38	59,74	3,62	1,08	0,90
123	Feld '07	Knaulgras	H	8,27	56,15	5,20	1,05	1,03
124	Feld '07	Knaulgras	K	10,75	98,80	5,70	1,16	2,71
125	Feld '07	Knaulgras	K	9,13	105,11	3,50	1,04	1,60
126	Feld '07	Knaulgras	R	5,94	83,24	2,31	1,10	11,40
127	Feld '07	Sonnenblume	R	15,54	52,19	1,29	1,25	1,33
128	Feld '07	Sonnenblume	G	11,57	49,34	4,40	1,26	1,06
129	Feld '07	Sonnenblume	G	13,55	51,62	4,77	1,28	1,31
130	Feld '07	Sonnenblume	HC	14,04	56,48	8,49	1,34	1,22
131	Feld '07	Sonnenblume	HC	18,71	59,04	6,84	1,26	1,19
132	Feld '07	Sonnenblume	G/HC	14,89	50,70	4,53	1,27	0,98
133	Feld '07	Sonnenblume	G/HC	10,92	44,20	4,97	1,00	0,85
134	Feld '07	Sonnenblume	H	8,27	47,09	2,97	1,10	1,06
135	Feld '07	Sonnenblume	H	8,53	51,08	10,71	1,06	0,93
136	Feld '07	Sonnenblume	K	8,74	53,59	6,22	1,00	1,28
137	Feld '07	Sonnenblume	K	9,06	63,91	5,99	1,01	1,20
138	Feld '07	Sonnenblume	R	8,40	90,10	2,47	0,79	0,94
139	Feld '07	Buchweizen	G/HC	9,90	49,13	3,74	1,10	1,24
140	Feld '07	Buchweizen	H	8,54	46,20	4,48	0,92	0,86
141	Feld '07	Buchweizen	H	8,79	44,22	5,71	0,88	0,87
142	Feld '07	Buchweizen	K	8,83	54,09	7,13	0,82	0,87
143	Feld '07	Buchweizen	K	9,13	42,44	1,41	0,92	1,16
144	Feld '07	Buchweizen	R	8,94	45,91	0,80	0,83	0,89

### Feldversuch 2009

7	Feld '09	Knaulgras	R	8,44	41,53	6,85	0,76	1,00
8	Feld '09	Knaulgras	K	10,17	40,62	1,98	0,30	0,97
9	Feld '09	Knaulgras	K	8,86	31,13	1,54	0,93	0,67
10	Feld '09	Knaulgras	G/HC	26,42	31,10	0,90	0,67	0,51
11	Feld '09	Knaulgras	G/HC	18,96	32,34	1,00	0,44	0,44
12	Feld '09	Knaulgras	HC	8,42	56,23	2,03	0,93	1,26
13	Feld '09	Knaulgras	HC	15,32	42,50	1,59	0,57	0,72
14	Feld '09	Knaulgras	H	22,90	51,59	2,03	1,73	0,78
15	Feld '09	Knaulgras	H	13,91	48,03	1,71	1,31	0,75

## 9 Anhang

16	Feld '09	Knaulgras	G	11,04	45,74	1,26	0,90	0,60
17	Feld '09	Knaulgras	G	8,02	50,82	1,41	1,59	0,92
18	Feld '09	Knaulgras	R	6,96	48,24	0,00	1,33	7,49
67	Feld '09	Knaulgras	R	7,37	35,34	1,10	0,89	0,52
68	Feld '09	Knaulgras	HC	8,45	36,25	1,04	0,16	0,37
69	Feld '09	Knaulgras	HC	9,12	33,25	0,85	1,80	0,89
70	Feld '09	Knaulgras	H	7,63	34,68	0,94	1,24	0,53
71	Feld '09	Knaulgras	H	7,25	35,20	1,41	0,71	0,51
72	Feld '09	Knaulgras	K	7,36	34,44	0,65	1,20	0,63
73	Feld '09	Knaulgras	K	8,10	50,76	1,87	1,50	0,89
74	Feld '09	Knaulgras	G	9,61	40,16	1,11	1,53	0,80
75	Feld '09	Knaulgras	G	9,14	42,14	3,44	1,45	0,95
76	Feld '09	Knaulgras	G/HC	9,81	74,41	5,42	1,41	1,00
77	Feld '09	Knaulgras	G/HC	8,82	96,44	7,45	3,42	1,98
78	Feld '09	Knaulgras	R	6,79	45,56	1,80	2,02	2,90
115	Feld '09	Knaulgras	R	7,05	41,56	2,07	1,59	1,38
116	Feld '09	Knaulgras	G	7,76	65,85	2,46	1,91	1,31
117	Feld '09	Knaulgras	G	7,22	56,23	2,15	2,17	1,32
118	Feld '09	Knaulgras	HC	7,17	51,14	2,32	1,36	1,31
119	Feld '09	Knaulgras	HC	7,63	50,64	2,03	1,83	1,01
120	Feld '09	Knaulgras	G/HC	8,31	50,76	1,75	1,62	1,18
121	Feld '09	Knaulgras	G/HC	9,59	45,45	2,07	1,37	1,07
122	Feld '09	Knaulgras	H	7,26	40,39	1,82	1,08	1,02
123	Feld '09	Knaulgras	H	8,45	44,83	2,16	2,07	1,84
124	Feld '09	Knaulgras	K	8,83	49,10	1,82	0,76	1,76
125	Feld '09	Knaulgras	K	10,29	57,70	1,14	1,33	1,82
126	Feld '09	Knaulgras	R	6,04	69,42	1,15	1,76	2,11

### Nebenversuch 2009

145	Feld '09	Knaulgras	HC	6,50	36,30	2,18	1,27	0,62
146	Feld '09	Knaulgras	HC	7,23	26,31	3,47	1,44	0,48
147	Feld '09	Knaulgras	HC	8,72	34,08	1,73	2,80	0,94
148	Feld '09	Knaulgras		8,37	27,89	1,56	1,72	0,52
149	Feld '09	Knaulgras	H	7,48	29,40	2,05	1,57	0,52
150	Feld '09	Knaulgras	H	8,16	29,09	2,40	1,66	0,58
151	Feld '09	Knaulgras	H	7,62	26,15	2,24	2,06	0,65
152	Feld '09	Knaulgras	G	6,76	31,68	2,78	2,05	0,64
153	Feld '09	Knaulgras	G	7,56	29,44	2,63	1,50	0,54
154	Feld '09	Knaulgras	G	7,43	32,58	2,17	2,49	0,93
155	Feld '09	Knaulgras		8,03	28,81	2,64	1,39	0,53
156	Feld '09	Knaulgras	K	7,94	31,76	2,24	1,25	0,56
157	Feld '09	Knaulgras	K	7,55	29,63	2,38	1,20	0,50
158	Feld '09	Knaulgras	K	8,26	28,44	2,34	1,61	0,67
159	Feld '09	Knaulgras	H	6,68	29,06	4,84	0,75	0,37
160	Feld '09	Knaulgras	H	8,60	30,28	2,64	1,65	0,62
161	Feld '09	Knaulgras	H	7,86	29,10	2,12	0,81	0,38
162	Feld '09	Knaulgras		7,32	28,56	1,90	0,89	0,48
163	Feld '09	Knaulgras	HC	7,46	34,20	2,69	1,47	0,70
164	Feld '09	Knaulgras	HC	7,57	31,89	2,27	0,94	0,62
165	Feld '09	Knaulgras	HC	7,48	27,01	2,07	0,74	0,50
166	Feld '09	Knaulgras	K	7,15	34,24	1,89	1,02	0,45
167	Feld '09	Knaulgras	K	7,66	31,79	1,94	1,29	0,53
168	Feld '09	Knaulgras	K	8,56	28,85	2,17	2,10	1,31

## 9 Anhang

169	Feld '09	Knaulgras		7,56	29,69	2,83	1,24	0,47
170	Feld '09	Knaulgras	G	7,52	32,72	7,05	1,53	0,60
171	Feld '09	Knaulgras	G	8,88	33,70	2,51	2,17	0,77
172	Feld '09	Knaulgras	G	8,09	29,35	6,08	1,07	0,49
173	Feld '09	Knaulgras	HC	8,37	37,33	1,92	0,95	0,47
174	Feld '09	Knaulgras	HC	8,35	35,27	2,46	1,66	0,56
175	Feld '09	Knaulgras	HC	8,09	32,04	2,24	1,11	0,52
176	Feld '09	Knaulgras		7,53	31,60	2,75	1,75	0,78
177	Feld '09	Knaulgras	H	7,45	29,40	2,35	0,98	0,41
178	Feld '09	Knaulgras	H	7,15	29,00	0,65	1,06	0,68
179	Feld '09	Knaulgras	H	7,78	26,57	2,30	1,39	0,99
180	Feld '09	Knaulgras	G	8,29	31,86	2,02	1,26	0,55
181	Feld '09	Knaulgras	G	7,14	37,63	2,42	0,88	0,62
182	Feld '09	Knaulgras	G	7,46	36,39	2,03	1,14	0,55
183	Feld '09	Knaulgras		7,17	29,15	2,30	1,48	0,61
184	Feld '09	Knaulgras	K	7,48	30,04	3,00	1,10	0,54
185	Feld '09	Knaulgras	K	7,28	28,11	1,79	0,57	0,38
186	Feld '09	Knaulgras	K	7,40	27,00	2,03	0,95	0,43

### Gewächshausversuch 2007

100	GW '07 SB	Sonnenblume	K	16,85	55,46	44,75	1,65	0,93
101	GW '07 SB	Sonnenblume	K	13,95	50,61	32,35	1,24	0,71
102	GW '07 SB	Sonnenblume	K	14,15	51,05	43,50	1,33	0,78
103	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	15,28	60,75	41,70	1,33	1,00
104	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	16,98	55,02	29,35	1,37	0,93
105	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	15,15	58,99	49,30	1,60	1,16
106	GW '07 SB	Sonnenblume	G	13,75	50,61	30,20	1,10	0,73
107	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,01	52,37	38,35	1,46	0,91
108	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,18	50,61	40,95	1,37	0,81
109	GW '07 SB	Sonnenblume	K	14,21	63,84	55,00	2,01	1,09
110	GW '07 SB	Sonnenblume	K	13,58	54,14	39,65	1,46	0,85
111	GW '07 SB	Sonnenblume	K	14,85	57,22	56,65	1,92	1,10
112	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	16,81	65,17	51,05	1,74	1,21
113	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	15,21	61,19	34,55	1,46	1,16
114	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	14,81	60,75	47,00	1,69	1,18
115	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,21	53,69	53,55	1,69	1,07
116	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,25	51,05	52,40	1,65	1,11
117	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,18	55,90	56,35	1,60	0,98
118	GW '07 SB	Sonnenblume	K	13,68	50,17	39,45	1,24	0,84
119	GW '07 SB	Sonnenblume	K	14,28	52,81	43,20	1,33	0,77
120	GW '07 SB	Sonnenblume	K	14,21	55,46	43,05	1,33	0,86
121	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	15,35	60,31	38,00	1,28	1,03
122	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	14,98	58,99	29,00	1,19	1,02
123	GW '07 SB	Sonnenblume	HC	14,41	66,49	33,20	1,42	1,07
124	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,18	57,22	35,30	1,37	0,88
125	GW '07 SB	Sonnenblume	G	14,41	51,93	26,50	1,10	0,85
126	GW '07 SB	Sonnenblume	G	13,95	54,58	50,15	1,55	1,02
226	GW '07 M	Mais	K	13,08	51,05	15,05	0,96	0,78
227	GW '07 M	Mais	K	13,28	54,14	55,20	1,55	0,93
228	GW '07 M	Mais	K	13,05	48,40	35,20	1,28	0,78
229	GW '07 M	Mais	HC	12,78	57,67	14,05	1,42	0,79
230	GW '07 M	Mais	HC	12,28	52,37	22,30	0,92	0,73
231	GW '07 M	Mais	HC	12,78	54,14	29,75	1,24	0,84

## 9 Anhang

232	GW '07 M	Mais	G	12,05	51,05	30,85	1,10	0,78
233	GW '07 M	Mais	G	12,05	55,46	39,50	1,37	0,91
234	GW '07 M	Mais	G	12,01	47,52	29,35	1,10	0,71
235	GW '07 M	Mais	K	13,05	53,69	48,50	1,46	0,89
236	GW '07 M	Mais	K	12,45	53,25	22,90	1,15	0,77
237	GW '07 M	Mais	K	12,51	53,25	60,70	1,69	0,91
238	GW '07 M	Mais	HC	12,41	62,08	58,70	1,65	1,13
239	GW '07 M	Mais	HC	12,48	53,69	45,90	1,46	0,99
240	GW '07 M	Mais	HC	12,88	61,19	71,10	1,87	1,17
241	GW '07 M	Mais	G	12,61	58,99	63,40	1,87	1,03
242	GW '07 M	Mais	G	12,91	53,69	69,45	2,19	1,07
243	GW '07 M	Mais	G	12,78	56,32	52,70	1,78	0,93
244	GW '07 M	Mais	K	12,48	55,88	23,95	1,24	0,75
245	GW '07 M	Mais	K	12,77	60,41	36,98	1,56	1,31
246	GW '07 M	Mais	K	12,48	56,14	25,91	1,31	0,80
247	GW '07 M	Mais	HC	13,43	62,69	37,45	1,37	1,00
248	GW '07 M	Mais	HC	13,85	58,84	29,33	1,22	0,87
249	GW '07 M	Mais	HC	12,54	57,02	19,01	1,10	0,75
250	GW '07 M	Mais	G	12,37	54,67	29,37	1,09	0,69
251	GW '07 M	Mais	G	12,94	59,98	29,96	1,24	0,74
252	GW '07 M	Mais	G	12,89	62,24	25,42	1,15	0,71

Cottbus Krume	13,07	42,50	4,23	0,92	0,72
Meckenheimer Krume	15,56	86,67	10,39	1,96	3,54
Meckenheimer Untergrund	23,18	105,85	11,76	1,24	0,95
Uedorfer Krume	19,40	46,43	9,76	13,95	35,85
Uedorfer Untergrund	39,80	30,99	5,95	1,61	4,02
HumiComplete feucht 1g	130,37	1950,43	1469,90	7,85	49,18
HumiComplete trocken 1g	219,62	3119,75	2910,50	11,80	80,24
HumiComplete gemahlen 1g	230,73	3499,14	2890,00	13,23	85,50
Geohumus 1g	95,61	2803,37	1836,24	5,25	5,27
HumiComplete gemahlen 2,5g	184,60	1904,94	2756,63	10,27	74,33
Geohumus 2,5g	109,43	784,34	1611,28	4,44	4,86
HumiComplete gemahlen 1g 100 ml	333,02	4292,57	2683,54	17,91	110,44
Geohumus 1g 100 ml	100,46	4003,69	1762,38	6,39	6,35

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

---

Datum

---

Unterschrift