

Verbundpartner:

BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH

Kommunikationsweg 11

99734 Nordhausen

Teilvorhaben 1



Krieg & Fischer Ingenieure GmbH

Bertha-von-Suttner-Str.9

37085 Göttingen

Teilvorhaben 2



Schlussbericht

zu dem Verbundprojekt

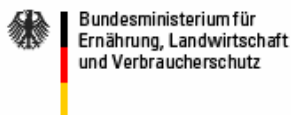
Monofermentation von Maissilagen aus Standorten unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit

FKZ:

22002908

22014308

Gefördert durch:



Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)



Projektträger:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 18276 Gülzow

Vorhabensbezeichnung: Monofermentation von Maissilagen aus Standorten unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit**Zuwendungsempfänger:** BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH,
Nordhausen
Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, Göttingen**Gefördert durch:** Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz (BMELV)**Projektträger:** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
(FNR)
Hofplatz 1, 18276 Gülzow**Förderkennzeichen:** 22002908
22014308**Laufzeit des Vorhabens:** 01.08.2008 – 31.01.2011**Verfasser des Berichts:** Prof. Dr. Gerd-Rainer Vollmer
Dipl. Geogr. Garnet Wachsmann
Dipl.-Ing. agr. Andreas Krieg

Nordhausen/ Göttingen den 31.03.2011

.....

Prof. Dr. Gerd-Rainer Vollmer
Projektkoordinator

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzdarstellung	5
<i>I.1 Aufgabenstellung</i>	5
<i>I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde</i>	6
<i>I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens</i>	6
<i>I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand</i>	7
<i>I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen</i>	10
II. Eingehende Darstellung	11
<i>II.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen</i>	11
II.1.1 Auswahl der vier Untersuchungsstandorte	11
II.1.2 Klimadaten aus dem Untersuchungszeitraum 2008/2009	12
II.1.3 Bodenkundliche und düngewirtschaftliche Untersuchungen	17
II.1.4 Methoden der Bodenanalysen	26
II.1.5 Ergebnisse und Diskussion der bodenkundlichen und düngewirtschaftlichen Untersuchungen	29
II.1.6 Gesamtgehalte von Spurenelementen im Boden	34
II.1.7 Spurenelementgesamtgehalte	39
II.1.8 Mobiler Spurenelementgehalt im Boden	45
II.1.9 Spurenelementgehalte in der Maissilage	54
II.1.10 Boden-Pflanze-Pfad	57
II.1.11 Einfluss der Düngung auf den Spurenelementgehalt in der Maissilage	62
II.1.12 Zusammenfassung der bodenkundlichen und düngewirtschaftlichen Untersuchungen	63
II.1.13 Material und Methoden der Fermentationsuntersuchungen	65
II.1.14 Ergebnisse und Diskussion der Fermentationsuntersuchungen	68
II.1.15 Forschungsbedarf	78
II.1.16 Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen	79
<i>II.2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</i>	80
<i>II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit</i>	81
<i>II.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit des Ergebnisses</i>	81
<i>II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens</i>	82
<i>II.6 Veröffentlichungen</i>	83

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	84
TABELLENVERZEICHNIS	86
QUELLENVERZEICHNIS	88
Anhang: Tabellen	94

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Mit der Novellierung des Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) 2004 und der Erhöhung des NaWaRo-Bonus 2009 ist der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen Planungsbestandteil von Biogasanlagen.

In nach 2004 errichteten Biogasanlagen wird ein hoher Anteil an Energiepflanzen von durchschnittlich über 60 % eingesetzt, 15 % der Anlagen werden bereits ganz ohne Wirtschaftsdünger betrieben (WEILAND, 2009).

Maissilage ist dabei mit großem Abstand das am häufigsten eingesetzte Substrat. Der Anteil an Energiemais stieg zwischen 2009 und 2010 um 40 Prozent, im vergangenen Jahr (2010) betrug die entsprechende Anbaufläche rund 530.000 ha (BMELV, 2011).

Zahlreiche, auf der Basis von Maissilage arbeitende Biogasanlagen zeigen sogenannte „Ermüdungserscheinungen“, so dass nach einem Zeitraum von einem dreiviertel Jahr oder auch später ein Rückgang der Biogasproduktion zu verzeichnen ist. Die Ursachen werden in einem Mangel an Mikronährstoffen (Spurenelemente) im Vergleich mit gülleverwertenden Anlagen gesehen.

Die Aufgabenstellung war, Grundlagen zur Versorgung der Fermenterbiologie mit einzelnen Mikronährstoffen zu erarbeiten.

Dazu wurden

- auf exemplarischen Standorten Bodenuntersuchungen durchgeführt und die Gesamtgehalte der Spurenelemente mit Hintergrundwerten abgeglichen, die pflanzenverfügbaren Spurenelemente im Boden bestimmt und den jeweiligen Gehaltsklassen zugeordnet. Unterlegt wurden die selbst ermittelten Daten (Bodenuntersuchungen) mit der vorausgegangenen Ermittlung des Düngestatus, der Fruchtfolgegestaltung (vor Mais), sowie des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (Komplexbildner).
- Pflanzenanalysen von den Silagen der jeweiligen Standorte folgten, es wurden die Ergebnisse der Spurenelementanalyse der Silagen mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchung in Beziehung gesetzt und der Transferfaktor Boden-Pflanze ermittelt.
- Im quasikontinuierlichen Gärversuch wurden anschließend die Maissilagen in Laborfermentern im Paralleltest unter gleicher Raumbelastung gefahren.

Gärverlauf und Methanausbeute wurden in Beziehung zur Bodenbeschaffenheit, Düngung und Makro- und Mikronährstoffversorgung der Böden und der Silage gesetzt.

Der Ansatz dazu zielt auf den Beginn der technologischen Kette, der Mikronährstoffversorgung der Pflanze aus dem Boden in Abhängigkeit der chemischen und biologischen Verfügbarkeit.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, haben sich während der Laufzeit im Projektantrag nicht wesentlich geändert.

Durchgeführt konnte das Vorhaben aber nur in enger Kooperation mit den 4 Biogasanlagenbetreibern, die ihre Flächen und die für die Untersuchungen notwendige Silagen zur Verfügung stellten.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Mit Vorhabenbeginn wurden die bodenkundlichen Untersuchungen der einzelnen Standorte im Gelände durchgeführt und mit Werten aus der Literatur abgeglichen, die Pflanzen (Mais) in ihren unterschiedlichen Entwicklungsstadien hinsichtlich ihrer Nährstoffversorgung beobachtet und alle Daten über den Düngestatus, Klima ect. erhoben. Dazu wurden die Bodenproben analysiert, zeitgleich die geernteten Maissilagen.

Die Untersuchungen mit Belastungssteigerung der Laborfermenter führten schon bei geringeren Raumbelastungen als geplant zu den konzipierten kritischen Belastungszuständen.

Gemäß Arbeitsplan waren Langzeituntersuchungen bei einer Raumbelastung von 3,5 g oTS/l x d vorgesehen. Diese angestrebte Raumbelastung musste auf 1,5 g oTS/l x d reduziert werden, obwohl die entsprechenden Praxisanlagen mit höherer Raumbelastung arbeiten.

Diese Diskrepanz ist auf die Spurenelementdosierung bzw. Güllezugabe in den Anlagen zurückzuführen.

Die Ausgaben für Verbrauchsmaterialien und Investitionen entsprechen den geplanten Werten.

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand

Die Reduktion von CO_2 mit H_2 durch methanogene Bakterien erfolgt mit Hilfe von Metalloenzymen, d.h. Proteine mit Spurenelementen als Zentralatom (Abbildung 1) (BROCK, 2001).

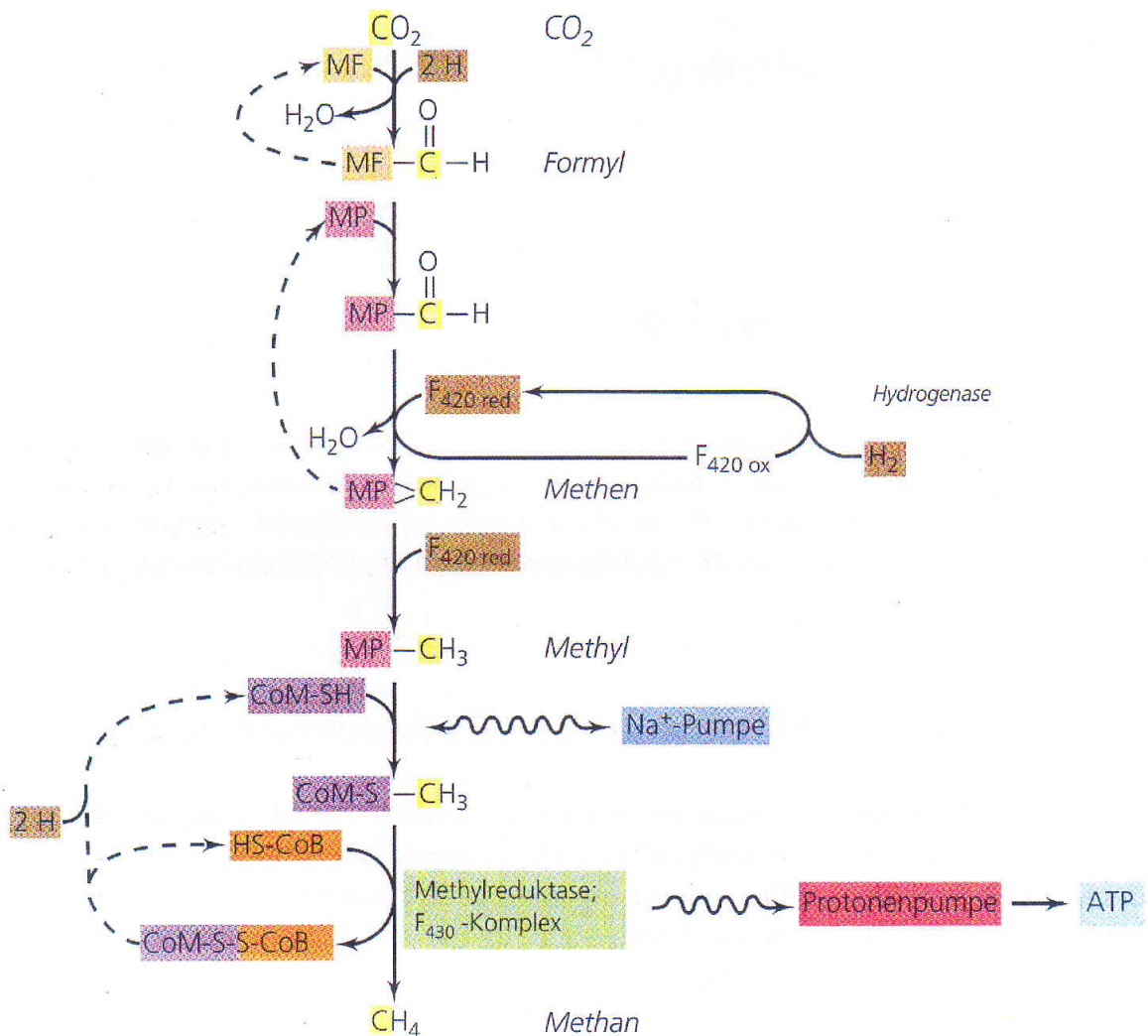


Abbildung 1: Methanogenese

Schon lange bekannt ist die Notwendigkeit von Nickel für die Methanbildung (SAHM, 1981) (F_{420} , Abbildung 1).

Dagegen sind die für die H_2 -Bildung notwendigen Redoxenzyme im Zusammenhang mit der Biogasbildung bisher wenig betrachtet. Auch diese Hydrogenasen enthalten häufig Nickel (MENGE u. BOURDILLON, 1985).

In einer Studie wurde die bakterielle Mikroflora in der Hydrolysestufe eines zweistufigen Systems zur Vergärung von Roggensilage untersucht (KLOCKE et al., 2009). Die nachgewiesenen Bakterien unterscheiden sich stark in ihrer DNA-Sequenz, was für die Anwesenheit gänzlich unbekannter Großgruppen spricht und damit auch Fragen zu entsprechender Metalloenzymssystemen offen sind.

Ein Mangel an Spurenelementen führt zwar nicht zu einem völligen Zusammenbruch, aber zu einer Hemmung der Biogasbildung (SCHMACK, 2005). Als Möglichkeit der Prozessoptimierung wird ausschließlich der Einsatz von Spurenelementen direkt in den Fermenter untersucht, nicht jedoch andere Wege betrachtet, als da wären Bodendirektdüngung – Blattdüngung.

Eine Datenbank über „Stoffkonzentrationen in Pflanzen“ wurde 2008 erstmals erstellt. Nicht jedoch die Transferleistungen der Pflanzen (Boden-Pflanze-Pfad) (Umweltbundesamt, 2008).

Ein Katalog von Pedotransferfunktionen lässt Aussagen über die Mobilität und Bioverfügbarkeit von Spurenelementen über einfach zu erhebende Bodeneigenschaften zu (UTERMANN et al., 2005). Bis heute werden dabei jedoch überwiegend die für die Pflanzenernährung wichtigen (essentiellen) Spurenelemente betrachtet, als da wären: „Bor, Kupfer, Mangan und Zink“. Weitestgehend außer Betracht gelassen werden bei der Einstufung der pflanzenverfügbaren Mikronährstoffen in Gehaltsklassen, die für den anaeroben Prozess bedeutenden Elemente wie: „Kobalt, Nickel, Selen und Molybdän“.

In einzelnen Bundesländern läuft bereits seit 2004 ein Mikronährstoff-Monitoring auf Ackerbaustandorten mit dem Ziel der Verbesserung der Grundlagen, Beratung und Praxis in der Blattdüngung (ZORN, 2005).

Die jüngste Diskussion zum Thema „Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses“ spiegelt noch immer den aktuellen Klärungsbedarf bezüglich der Frage wieder, ob ein Zusammenhang zwischen Nährstoff- bzw. Spurenelementeversorgung von Boden und Silagen besteht (SCHÜSSELER u. KLIEBER, 2011). Es fehlt insbesondere eine Bewertung der Menge.

Andererseits führt eine Überdosierung zur Belastung der Umwelt mit Schwermetallen.

Für die Direktdosierung der Spurenelemente in den Fermenter fehlten gegenwärtig konkrete Handlungsanleitungen für die Praxis, insbesondere eine Bewertung der Dosierhöhe. Wegen dieser offenen Fragen sind die Einsatzstoffmengen meist kommerziell determiniert und verursachen hohe Kosten.

Hölker hat das am Beispiel von Nickel, dessen Einsatz nach der Düngeverordnung limitiert ist, nachgewiesen (HÖLKER, 2010). In über 800 Biogasanlagen schwankten die Konzentrationen des Nickels von 1 mg/kg TS bis über 50 mg/kg TS.

Eine Vielzahl verschiedener Anbieter für sogenannte „Standard-Spurenelementmischungen“ befinden sich bereits auf dem Markt (HÖLKER, 2010).

Das vielfältige Angebot ist für den Anlagenbetreiber schwer überschaubar. So sind seitens einzelner Anbieter von Spurenelementmischungen Initiativen positiv zu sehen, mindestens einen Richtwert für die Konzentration eines Spurenelementes im Fermenter für eine effektive Biogaserzeugung bereitzustellen, die Erkenntnisse wegen des hohen Forschungs-aufwandes dann aber auch schutzrechtlich zu sichern (WO/2008/145362). In der Ausgestaltung des Patents betragen die optimalen Richtwerte für Nickel 16 mg/kg TS und/oder für Molybdän 4 mg/kg TS und/oder für Eisen 2.400 mg/kg TS. Die Untersuchungen haben ergeben, dass weitere Spurenelemente bedeutsam sind, es handelt sich um Mangan, Kupfer, Selen, Wolfram und Zink. Die Konzentration muss ermittelt und im Falle des Unterschreitens des Richtwertes die Spurenelemente dem Fermenter zugeführt werden (EP 1997 901 A3).

In diesem Kontext sind weitere Untersuchungen zur Problematik naheliegend.

Probeheim et al. untersuchten die Methanausbeuten aus Maissilage mit unterschiedlichen Konzentrationen an Nickel, Kobalt und Molybdän (PROBEHEIM et al., 2010).

Insgesamt 5 Partner unter Leitung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft befassten sich zwischen 2006 und 2010 mit einem umfangreichen Forschungsprojekt der Monovergärung von Mais- und Grassilage mit Validierung des Einsatzes von Spurenelementen zur Verbesserung der Prozessstabilität und des Methanertrages. Eine stabile und leistungsstarke Biogasproduktion aus Maissilage erfordert die Einstellung einer Mindestkonzentration von Spurenelementen im Fermenter. Im Langzeit-Durchflussbetrieb wurden insbesondere Kobalt und Nickel für die methanogenen Archeen limitierend und mussten über Zusatz auf einen Mindestgehalt von ca. 0,03 bzw. 0,06 mg/l eingestellt werden (sekundär Natrium 10 mg/l) (LEBHUN et al., 2010).

Untersuchungen zum Einsatz von Mineralstoffen in Biogasanlagen zeigen, dass die Spurenelementkonzentrationen in weiten Konzentrationsbereichen schwanken (LEMMER et al., 2010), so für Nickel zwischen 3,0 mg/kg TS und 16 mg/kg TS und Kobalt 0,4 mg/kg TS bis 5 mg/kg TS.

Günstige Spurenelementkonzentrationen aus verschiedenen Literaturquellen sind im neuen Leitfaden Biogas (FNR, 2010) veröffentlicht, ebenso werden Richtwerte dargestellt. Dazu werden die Konzentrationen aus o.g. Patent mit entsprechenden optimalen Richtwerten sowie die Ergebnisse der klassischen Untersuchungen von Sahn (SAHM, 1981) herangezogen.

In einen Review geben Demirel und Scherer einen Literaturüberblick zum Thema (DEMIREL u. SCHERER, 2011).

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Vorhabens erfolgte auf Tagungen, Kongressen, Workshops und Messen fachlicher Austausch mit anderen Stellen.

Zum KTBL/FNR-Biogas-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ vom 15. – 19.09.2009 in Weimar wurde das Projekt als Poster vorgestellt.

Zur Veranstaltung „Spurenelementversorgung von Biogasanlagen“ der Energieagentur Göttingen am 17.05.2011 werden die Ergebnisse in 3 Vorträgen der landwirtschaftlichen Praxis vermittelt.

Darüber hinaus fand eine Zusammenarbeit u.a. mit folgenden Stellen statt:

- Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen (IZNE)
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
- Netzwerk Bioenergie Thüringen (BIOBETH)

Über die Energieagentur Göttingen sowie die BIOenergieBERatung THüringen (BIOBETH) werden die Projektergebnisse der landwirtschaftlichen Praxis breit vermittelt.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

II.1.1 Auswahl der vier Untersuchungsstandorte

Um möglichst eine große Bandbreite an bodenkundlichen und klimatischen Aspekten zu integrieren wurden folgende vier Untersuchungsstandorte ausgewählt:



Abbildung 2: Untersuchungsstandorte

- **Schleswig Holstein** (Norddeutsche Geest und Hügellandschaft; substratarmer Sandböden: Podsole, saure, z.T. anmoorige Braunerden ohne Grundwassereinfluss). Klimatisch: Maritimes Klima des Nordwestdeutschen Tieflandes
- **Nordrhein-Westfalen** (Jülicher Börde; Lössböden: Parabraunerden, Pseudogleye), Klimatisch: Großraum des Nordwesteuropäischen Tieflandes mit abgeschwächtem Maritimklima
- **Brandenburg** (Sanderflächen und Urstromtal: Grundwasser beeinflusste Sandböden: Gleye, Podsole) Klimatisch: gemäßigt, kontinentales Klima, zählt zu den trockensten Regionen in Deutschland
- **Bayern** (Alpenvorland: kalkhaltige Böden: Braunerden, Rendzinen) Klimatisch: gemäßigt - kühle und humide Klima des Alpenvorlandes im Übergang zwischen dem maritimen zum kontinentalen Klima.

Im Rahmen des Vorhabens wurden während der Vegetationsperiode Bodenproben entnommen (2008: Frühjahr, Sommer, Herbst, 2009: Frühjahr). Im Frühjahr 2009 wurden Bodenprofile gegraben und beprobt. Am Ende der Vegetationsperiode wurden frische Proben der Maissilage für eine Langzeituntersuchung im Labor eingeholt.

II.1.2 Klimadaten aus dem Untersuchungszeitraum 2008/2009

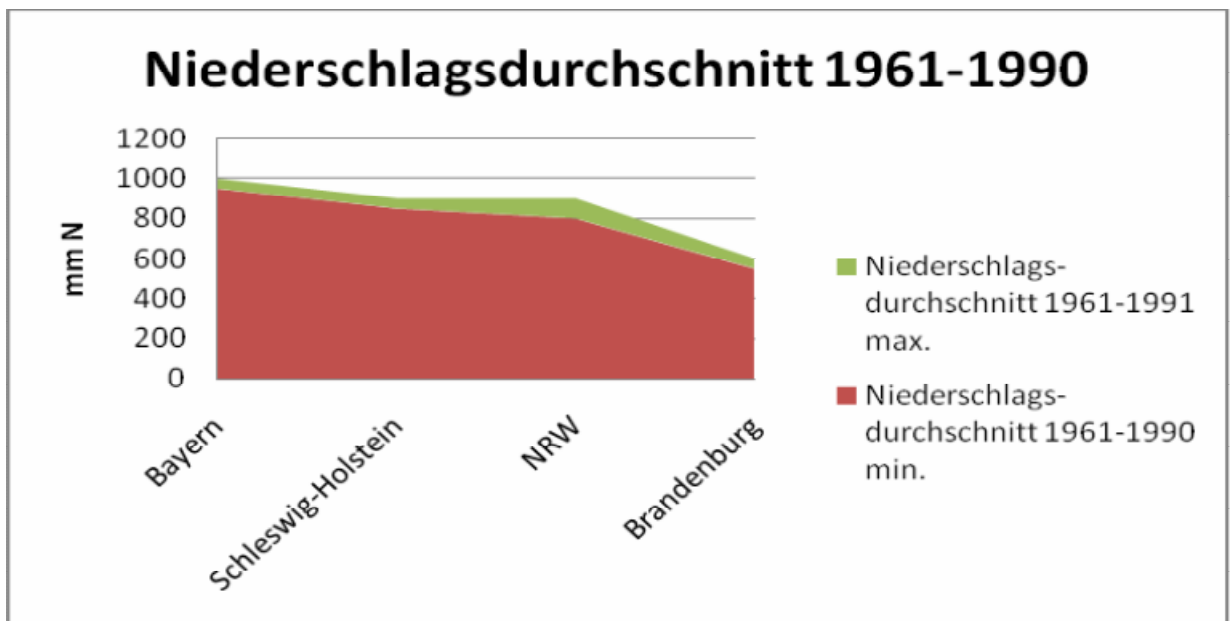


Abbildung 3: Niederschlagsmengen von 2008 im Vergleich mit dem Niederschlagsdurchschnitt (N)

Im **Mai 2008** fiel im größten Teil Deutschlands weniger als 30 mm Niederschlag (Nootbaar: 14,2 mm; Wiesenau: 13,2 mm). Nur in Süddeutschland und am Niederrhein wurden mehr als 60 mm Niederschlag gemessen (Ameln: 92,5 mm; Buchloe 61,3 mm). Dabei lag Buchloe trotzdem 30% unter seinem langjährigen Mittel.

Auch im **Juni 2008** lagen die Niederschläge überwiegend unter dem langjährigen Mittel. Nur in Ameln konnten wieder über 100 mm gemessen werden, während im Süden Buchloe mit 65,1 mm 50% unter dem langjährigen Durchschnitt lag. Der Mai und der Juni zählen zu den wichtigsten Monaten hinsichtlich eines guten Maisaufwuchses. Hinzu kommt, dass die Monate Mai und Juni mit dem Monatsmittel von 12 – 17°, bzw. 15,3 – 18,3° recht warm waren.

Bis auf den Osten mit dem Standort Wiesenau, hier fielen nur 28,8 mm Niederschlag, brachte der **Juli** den ersehnten Regen, zum Teil gab es deutlich mehr Niederschlag als in der Referenzperiode 1961-90. So lag der Niederschlag in Bayern /Buchloe mit 190,4 mm fast 50% über dem langjährigen Mittel, gefolgt von Ameln/NRW mit 123,2 mm, sowie Nootbaar/Schleswig-Holstein mit 80 mm.

Der **August** war im größten Teil Deutschland zu nass (auf 63% der Flächen), so auch auf allen 4 Untersuchungsstandorten. Es fielen überall über 90 mm, in Bayern sogar 171,4 mm.

Der **September** fiel wieder eher trocken aus, meist lagen die Niederschlagsersummen unter 50 mm. Das trifft auch auf alle 4 Untersuchungsstandorte zu. Besonders Bayern/Buchloe lag 50% unter dem Jahresdurchschnitt. In diesem Monate wurde überall der Mais geerntet.

Ø Klimatischer Verlauf im Jahr 2008 am Standort Nootbaar/ Schleswig-Holstein

Der im Jahr 2008 geringere Niederschlag auf den sandigen Geestböden schlägt doppelt zu Buche, da die Wasserrückhaltekapazität auf diesen Standorten auch deutlich geringer ist als an allen anderen Standorten. Trockenstress bis in den Juli hinein sorgte für einen schlechten Aufwuchs vom Mais. Noch bei der Ernte im September konnte man die Folgen erkennen, indem neben ausgereiften Maispflanzen auch noch kleinere, unreife Pflanzen wuchsen.

Das Jahr 2008 (Vegetationsperiode) Nootbaar Wetterstation: Sehestedt, (0 m), Institut für Phytopathologie, Kiel (ips-Modelle, Wetterdownload) http://www.ips-modelle.de/framer_getr.htm							
	Temperatur 08	Temperatur vieljähriges Mittel	Niederschlag Jahresmittel/08	Niederschlag vieljähriges Mittel	Regentage	Sonnenscheindauer	vieljähriges Mittel
Mai 08	12,8		14,2				
Jun 08	15,3		39,6		13		
Jul 08	17,5		80		16		
Aug 08	16,7		150,5		24		
Sep 08	13,1		44,6		15		
Okt 08	9,4		131,4		26		
Gesamt 2008	9,4 °	8°-8,2°	739,4 mm	850-900	94		

Tabelle 1: Klimadaten Nootbaar

Ø Klimatischer Verlauf im Jahr 2008 am Standort Wiesenau/ Brandenburg

In Brandenburg war das Frühjahr ebenfalls recht trocken, erst im August gab es mehr als ausreichend Niederschlag. Auch hier konnte Trockenstress bei den Maispflanzen festgestellt werden. Aufgrund der Bodenart, lehmiger und schluffiger Ton im Wechsel liegt die nutzbare Feldkapazität für Wasser mit 162 mm fast doppelt so hoch wie am Standort Nootbaar/Schleswig-Holstein. Jedoch waren die Niederschläge insbesondere im Frühjahr einfach zu niedrig für eine gute Biomassequalität.

Das Jahr 2008 (Vegetationsperiode) Wiesenau (WIESENAU: Wetterstation Oderbruch/ Güsterbiese-Loose (7 m ü. NN) (http://oderbruchwetter.de/extrema_2008.html,)							
	Temperatur 08	Temperatur vieljähriges Mittel	Niederschlag Jahresmittel	Niederschlag vieljähriges Mittel	Regentage	Sonnenscheindauer	vieljähriges Mittel
Mai 08	15,5		13,9		3	305	
Jun 08	18,3		43,5		9	290	
Jul 08	19,5		28,8		14	243	
Aug 08	18,2		96,6		16	155	
Sep 08	13,5		52		15	121	
Okt 08	9,2		67,6		22	61	
Gesamt 2008	10,16°	8,4-8,8°	597 mm	550 - 600	79	1618	

Tabelle 2: Klimadaten Wiesenau

Ø Klimatischer Verlauf im Jahr 2008 am Standort Ameln/ Nordrhein-Westfalen

Die Niederschläge in Ameln / Nordrhein-Westfalen lagen im Jahr 2008 mit 60 mm über dem Durchschnitt. Besonders im Frühjahr und Frühsommer gab es über dem Durchschnitt Niederschlag. Hinzu kommt ein Lössboden (schwachtoniger und mitteltoniger Schluff) mit der höchsten Wasserspeicherkapazität die es gibt. Der Standort erreicht mit 250 mm/m effektiver nutzbarer Feldkapazität die Stufe 5. Damit ist eine mehr als ausreichende Wasserversorgung für den Mais gewährleistet. Hier kommen eher Beeinträchtigungen durch Staunässe in Betracht.

Agrarklimatisch gehört die südliche Niederrheinische Bucht heute zum Großraum des Nordwesteuropäischen Tieflandes mit abgeschwächtem Maritimklima (GOTTSCHALK, 2003).

Das Jahr 2008 (Vegetationsperiode) Ameln Wetterstation: Mönchengladbach-Giesenberg (48m NN), private Wetterstation, http://www.herbrecht.de/Wetter ,							
	Temperatur 08	Temperatur vieljähriges Mittel	Niederschlag Jahresmittel	Niederschlag vieljähriges Mittel	Regen-tage	Sonnen-schein-dauer	viel-jähriges Mittel
Mai 08	17,1		92,5		10	239,5	
Jun 08	18,0		110,3		13	207,3	
Jul 08	19,0		123,2		18	175,1	
Aug 08	18,8		97,3		16	149,4	
Sep 08	13,6		42,9		9	131,4	
Okt 08	9,8		78,4		18	109,5	
Gesamt 2008	10,8°	9,4-9,8	965,7 mm	800-900	84	1012,2	

Tabelle 3: Klimadaten Ameln

Ø Klimatischer Verlauf im Jahr 2008 am Standort Buchloe/ Bayern

Auch in Bayern war der Mai und Juni verhältnismäßig trocken und warm. Erst im Juli fiel fast 40% mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel, so auch im August, während der September wieder trocken war. Das Jahr 2008 lag auch mit durchschnittlich 8,2° weit über das vieljährige Temperaturmittel (6,5 – 7,0 °).

Das Jahr 2008 (Vegetationsperiode)/ Buchloe Wetterstation: Geratshofen Nr. 73 , (640m), Landsberg am Lech, Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern, Wetterdatenabruf (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft), http://www.lfl.bayern.de/agm/daten.php?statnr=73							
	Temperatur 08	Temperatur vieljähriges Mittel	Niederschlag Jahresmittel/08	Niederschlag vieljähriges Mittel	Regen-tage	Sonnen-schein-dauer	viel-jähriges Mittel
Mai 08	14,4	11,4	61,3	106,4	14	212	177,2
Jun 08	16,5	14,7	65,1	127,6	19	173	184,5
Jul 08	16,6	16,7	190,4	114	17	216	213,3
Aug 08	16,4	16	171,7	119,8	20	214	205,6
Sep 08	11,1	12,8	49,4	85	16	124	167,7
Okt 08	8,5	8,1	58,7	57,1	18	119	116,1
Gesamt 2008	8,2 °	6,5-7,0°	991,1mm	950-1.000	104	1058	

Tabelle 4: Klimadaten Buchloe

Ø Zusammenfassung der klimatischen Auswertung

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge im Basiszeitraum 1961 – 1990 (Mittelwerte) unterscheiden sich für die vier ausgewählten Standorte deutlich. So ist der Standort Wiesenau in Brandenburg mit durchschnittlich 500 – 550 mm der trockenste Standort, während Buchloe in Bayern mit 950 – 1000 mm zu einem der feuchtesten Gebiete und auch kühlfsten in der Bundesrepublik Deutschland zählt.

Der Standort Nootbaar im Norden liegt mit 850 – 900 mm genauso wie Ameln mit 800 - 900 mm im mittleren Bereich. Sowohl für die Mobilisierung von Spurenelementen, als auch für den Aufwuchs und der Qualität der Biomasse Mais spielt die Bodenfeuchte, bzw. der Bodenwassergehalt eine große Rolle.

Trockenstress kennzeichnet die Bestände im Jahr 2008 zum Teil bis zur Ernte. Besonders betroffen war der Standort in Schleswig-Holstein (Nootbaar). Hier blieb der Mais auch fast 14 Tage länger auf dem Acker, als auf den anderen Standorten. Der erste richtige Niederschlag kam vieler Orts erst Mitte Juli und so für den Mais oftmals zu spät. Insgesamt lagen die Temperaturen im Jahr 2008 auch mit über 1 °C über dem langjährigen Mittel. Durch die relativ höheren Temperaturen und den niedrigen Niederschlag im Frühjahr kam es hohen Verdunstungsraten.

Während Ameln (Nordrhein-Westfalen) 2008 deutlich mehr und Nootbaar in Schleswig-Holstein deutlich weniger Niederschlag als das langjährige Mittel erhielt, lagen die Standorte in Bayern und Brandenburg in Bezug auf die Niederschläge im Durchschnitt.

Erst der Spätsommer/ Herbst brachte fast überall erwünschte Niederschlagsmengen. Nur in Ameln blieb es vergleichsweise trocken, was sich jedoch auf den Maisbewuchs nicht mehr sonderlich auswirken konnte. Die vorangegangenen Niederschläge wurden aufgrund der sehr hohen nutzbaren effektiven Feldkapazität des Lösses (250 mm/m) gespeichert, sodass die Wasserversorgung für den Bewuchs gewährleistet war.

II.1.3 Bodenkundliche und düngewirtschaftliche Untersuchungen

Im Frühjahr 2009 wurden an allen vier Untersuchungsstandorten **Profile** gegraben und Bodenproben entnommen. Es folgte eine bodenkundliche Standortaufnahme und Ansprache.

Ø Bodenkundliche Standortaufnahme Nootbaar/ Schleswig-Holstein

Horizont	Korngröße	pH-Wert
Ap Hn		
0 – 35 cm	mSx1	5,9
anmooriger, schwarzer mittlerer Sand mit sehr geringen Skelettanteil		
Bv		
35 – 55 cm	mSx2	5,7
brauner, humusfreier mittlerer Sand mit geringen Skelettanteil, locker		
Go Cv		
55 – 95 cm	mSx4	
Gering rostfleckiger gelbbrauner mittlerer bis grober Sand mit		
mittlerer bis grober Sand mit		




Abbildung 4: Bodenprofil Nootbaar – Anmoorige saure Braunerde auf Sander der Vorgeest (Nootbaar)

Der Standort Nootbaar im Landkreis Schleswig-Flensburg, Amt Arenshade, Gemeinde Schuby (Schleswig-Holstein) liegt naturräumlich in der Vorgeest (Schleswiger Vorgeest 697) in einer Höhe von 40 m ü. NN. Die Größe der Ackerfläche „Brewisch“ auf dem das Profil angelegt wurde beträgt 1,58 ha. Geologisch befindet sich der Standort auf weichsel-eiszeitlichen Sanderflächen. (GK, Blatt 1422, Jübeck) und ist somit dem Quartär zuzuordnen. Aus diesem Ausgangssubstrat entwickeln sich gewöhnlich Podsole, saure Braunerden und je nach geografischer Lage auch mit anmoorigem Charakter.

Der Aufschluss/ **das Profil** zeigt eine **anmoorige, mittlere, saure Braunerde** aus Geest-Sand. Aus dem Korngrößendiagramm geht ein durchgängig sandiger Boden mit insgesamt 95 cm hervor. Daraus ergibt sich eine effektive nutzbare Feldkapazität (nFKWe) von 90 mm und wird der Stufe 2 zugeordnet und weist damit nur geringe Wasserspeicherkapazitäten auf.

Bereits im Pflughorizont befindet sich ein geringer Skelettanteil, der mit zunehmender Tiefe zunimmt. Das Korngrößenspektrum ist einheitlich als Sand zu bezeichnen, wobei der Oberboden eher mittleren bis feinen Sand (mS) aufweist mit einem hohen humosen Anteil, im verbraunten B-Horizont wird der Sand etwas gröber (mittlerer Sand), im Cv-Horizont finden wir mittleren bis groben Sand mit einem hohen Skelettanteil. Mit einem durchschnittlichen pH-Wert unter 6,0 befinden wir uns in einem leicht sauren Milieu. Damit haben wir eigentlich beste Voraussetzungen für eine hohe Mobilität vorhandener Spurenelemente, mit Ausnahme von Molybdän und Selen.

Insgesamt befinden sich im Ausgangssubstrat von Sandböden aber eher weniger **Spurenelemente**, als vergleichsweise in Lehm/ Lössböden.

Häufiger Spurenelementemangel wurden nach Leisen und Heimberg festgestellt an:

- Selen und Kupfer, in Einzelfällen auch bei Zink und Mangan (LEISEN u. HEIMBERG, 2004).
- Für Cobalt liegen keine eindeutigen Aussagen vor.

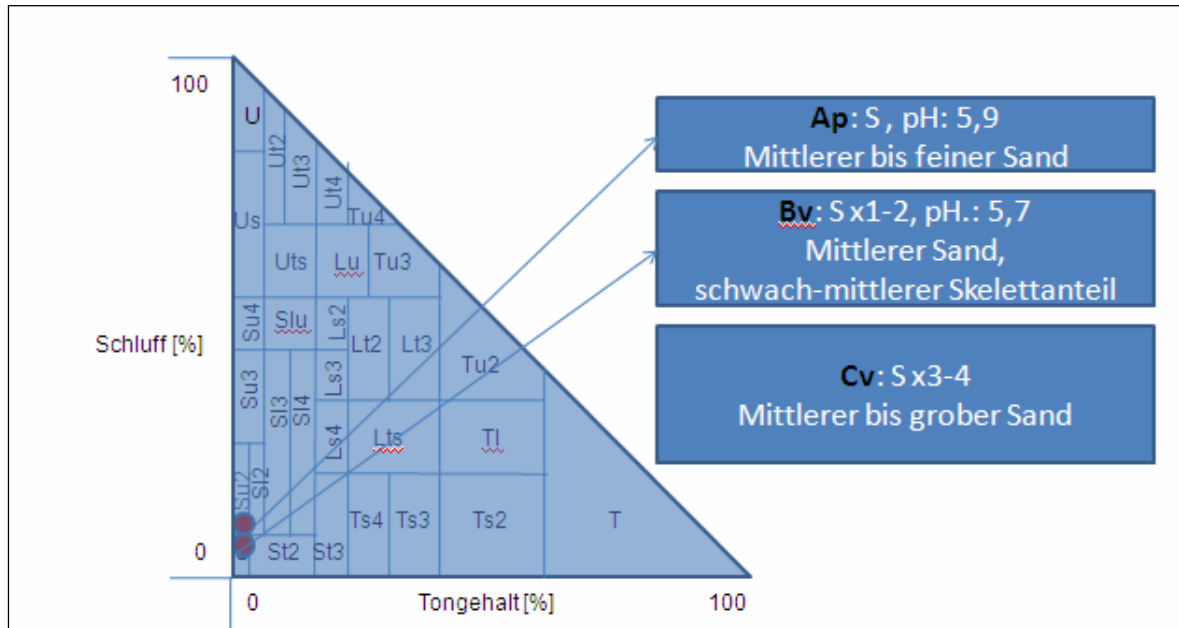


Abbildung 5: Korngrößenklassen-Diagramm Nootbaar

Ø Bodenkundliche Standortaufnahme von Ameln/ Nordrhein-Westfalen

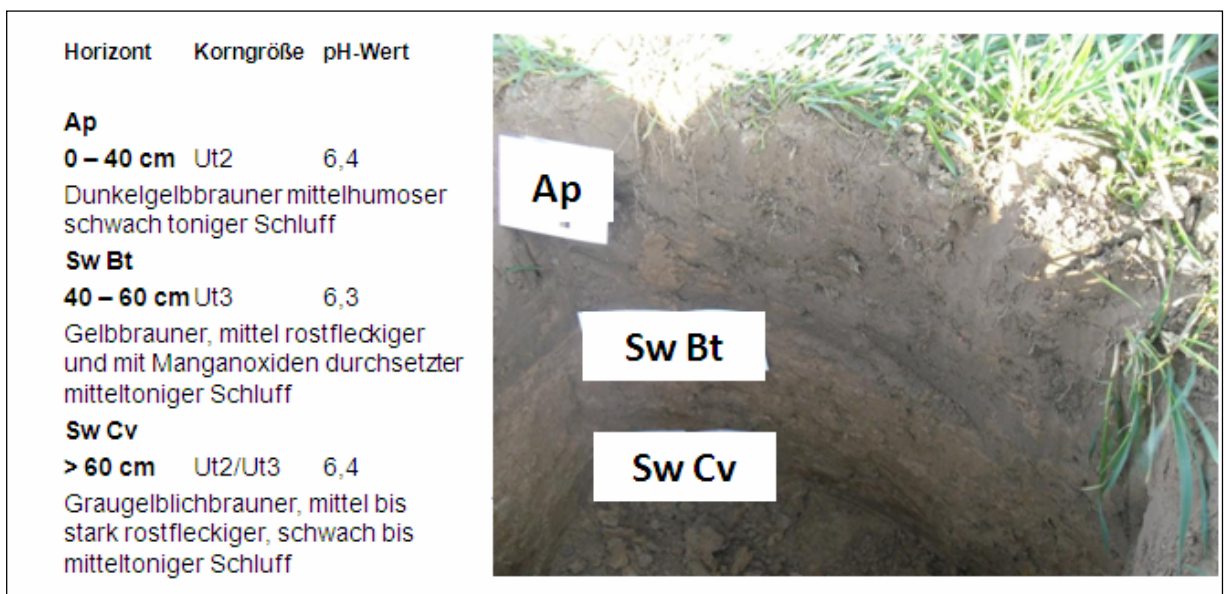


Abbildung 6: Bodenprofil Ameln
Schwach pseudovergleyte, erodierte Parabraunerde aus Löss (Ameln)

Der Standort Ameln im Kreis Heinsberg, Gemeinde Erkelenz (Nordrhein-Westfalen) am Nordrand der Eifel gelegen, wird naturräumlich der Erkelenzer Börde zugeordnet. Das Landschaftsbild ist von der flachwelligen bis fast ebenen Erkelenzer Börde geprägt, deren fruchtbarer Lößboden in der Höhe von etwa 100 bis 200 m ü. NN gebildet wurde. Die Lössschichten haben sich auf die Schotter-schichten der Haupt- und Mittelterrassen aufgelagert mit Mächtigkeiten von durchschnittlich über 2 m und werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Die Böden werden aus Parabraunerden mit teilweisem Auftreten von Pseudovergleyungen gebildet (Abbildung 8).

Zahlreiche paläolithische Funde in unmittelbarer Umgebung weisen auf eine frühe anthropogene Nutzung hin (KELS u. SCHIRMER, 2006). Die Parabraunerden erreichen hier Ackerzahlen (Bewertungszahlen für landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit) zwischen 70 und 90.

Das **Profil am Standort Ameln** zeigt eine **schwach pseudovergleyte, erodierte Parabraunerde** aus Löss mit einer effektiven, nutzbaren Feldkapazität (nFKWe) von über 250 mm im ersten Meter (entspricht Stufe 5). Im Pflughorizont finden wir einen schwach tonigen Schluff (Ut2), während sich jetzt nicht der für eine Parabraunerde typische Al-Horizont anschließt, sondern direkt ein schwach pseudovergleyten SwBt-Horizont mit einem minimal tonigeren (mitttonigen) Schluff (Ut3). Das weist auf erodierende Verhältnisse hin, obwohl das Profil auf einem recht eben gelegenen Ackerstandort liegt. Aufgrund der hohen Wasserspeicherkapazität, (Stufe 5 entspricht der höchsten Stufe der nFKWe) des schluffigen Ausgangsmaterials spielt Trockenstress für den Maisanbau so gut wie keine Rolle. Die relativ hohen pH-Werte von 6,4 können jedoch eine Einschränkung in der Mobilität der Spurenelemente vermuten lassen, selbst wenn ausreichend Spurenelemente im Ausgangsgestein vorhanden wären, mit Ausnahme von Molybdän und Selen.

Ø Bodenkundliche Standortaufnahme von Wiesenau/ Brandenburg

Horizont	Korngröße	pH-Wert
Ap		
0 – 40 cm	Lt2	5,7
Schwarzbrauner, mittelhumoser schwach toniger Lehm		
GoM		
40 – 60 cm	Ut4	5,5
Schwach humoser, brauner, mittel rostfleckiger (Holzkohle) schwachtoniger Schluff		
Gor		
60 cm	Lt2	5,5
stark rostfleckiger, schwach toniger Lehm		

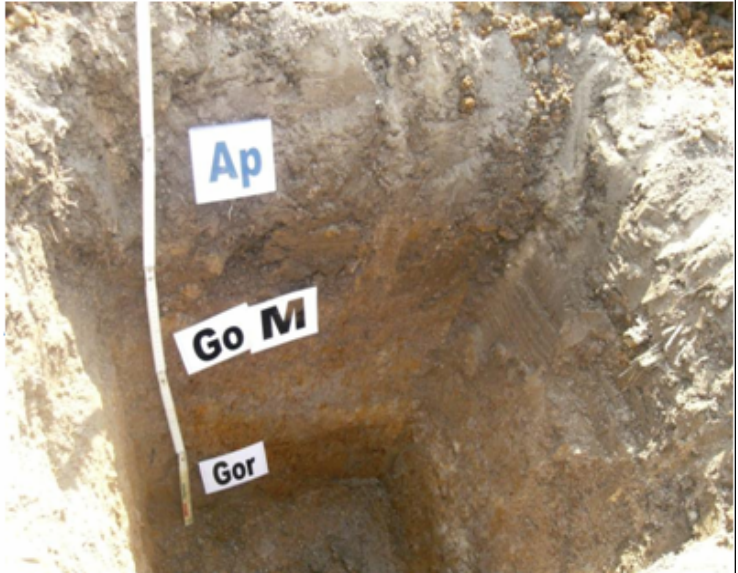


Abbildung 9: Bodenprofil Wiesenau
Tiefgründiger Auengley aus Auenlehm (Wiesenau)

Der **Standort Wiesenau** im Landkreis Oder-Spree gehört zur Gemeinde Briskow-Finkenherd (Brandenburg) liegt 39 m ü. NN und wird naturräumlich der Ziltendorfer Niederung zugeordnet. Boden-klimatisch zählt diese Gegend zu den trockenwarmen diluvial Böden des ostdeutschen Tieflandes. Das Profil befindet sich auf dem 40 ha großen Schlag „Uwer“ in der holozänen Oderniederung (Berliner Urstromtal). Eine ca. 10 m mächtige Schicht aus raschen horizontalen und vertikalen Wechsel zwischen sandigen, tonig-sandigen (Schlick) und organogenen (Moorerde, Torf, Mudde) Ablagerungen mit Schwankungen des Grundwasserspiegels im 1-m Bereich bilden das geologische Ausgangssubstrat (Erläuterung zur Geologischen Spezialkarte Blatt Brieskow-Ziltendorfer Niederung 3753-3754).

Am **Profil Wiesenau** sehen wir **einen tiefgründigen Auengley aus Auenlehm** mit einer effektiven nutzbaren Feldkapazität (nFKWe) von 162 mm (Stufe 4). Deutlich sichtbar sind die überwiegend oxydativen Vorgänge bis in den unteren Gley-Horizont (Gor). Starke Rostflecke ziehen sich fast durch das ganze Profil. Der Grundwasserabstand liegt hier deutlich unter dem Profilgrund, da keinerlei Anzeichen von reduzierenden Prozessen zu erkennen sind, obwohl der schwachtonige Lehm sehr kompakt gelagert ist. Insgesamt hebt sich dieses Profil durch seine relativ starke Verdichtung und sehr deutliche Wasserzeichnung deutlich von den anderen Profilen ab. Mangankonkretionen, Eisenkonkretionen, Reste von Holzkohle befinden sich direkt unter dem Pflughorizont.

Aufgrund des recht niederschlagarmen Standortes dürfte trotz relativ guter nFKWe oftmals keine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet sein.

Der Grundwasserabstand ist zu groß, um durch Kapillarkräfte die Maispflanzen während einer längeren Trockenperiode versorgen zu können. In unmittelbarer Nachbarschaft werden daher die Felder auch mit Grundwasser während der Wachstumsphase gewässert.

Der pH-Wert mit 5,7 im Oberboden und 5,5 im GoM-Horizont und im Gor-Horizont ist verhältnismäßig niedrig. Für Zink und Nickel bedeutet dies bereits, dass eine erhöhte Mobilität zu erwarten ist (Tabelle 12).

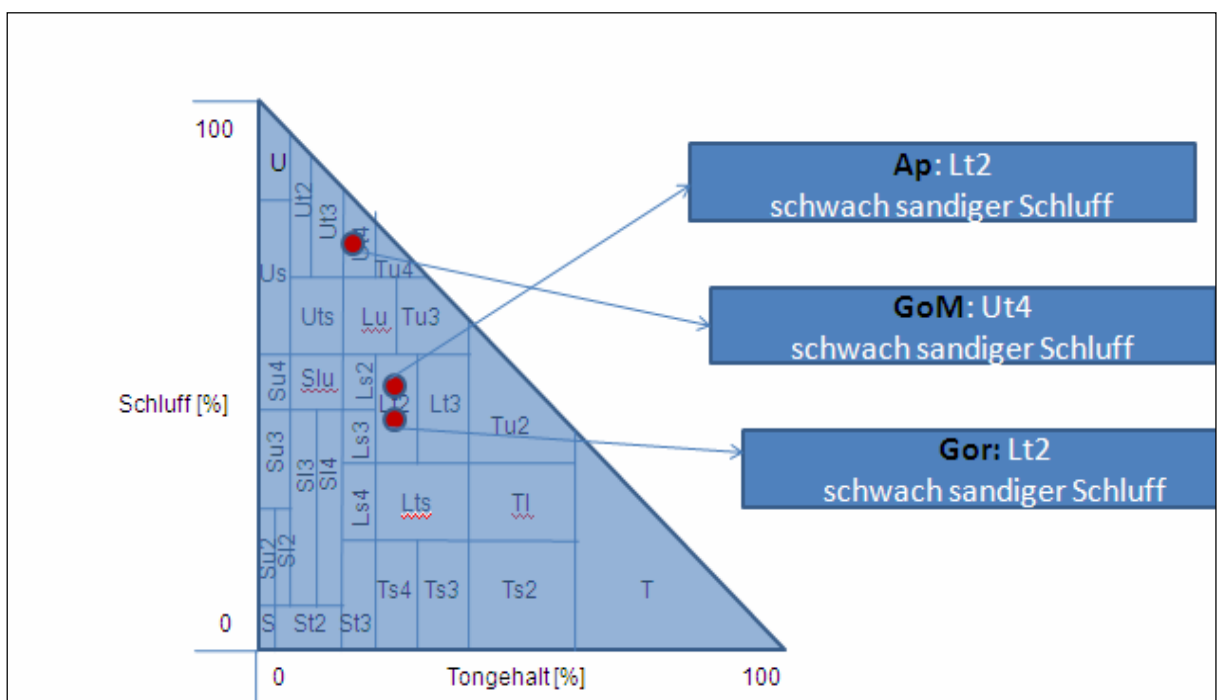


Abbildung 10: Korngrößendiagramm Wiesenau

Ø Bodenkundliche Standortaufnahme von Buchloe/ Bayern

Horizont	Korngröße	pH-Wert
Ap		
0 – 35 cm	Ut4	5,5
Schwarzbrauner, mittelhumoser stark toniger Schluff		
Bv		
35 – 70 cm	Lt2	5,8
Gelbbrauner, verdichteter schwachtoniger Lehm mit wenigen Mangan und Sesquioxidflecken		
Cv		
>70 cm	Lt2 x4-5	6,7
Kalkhaltige Schotter mit schwachtonigem Lehm		


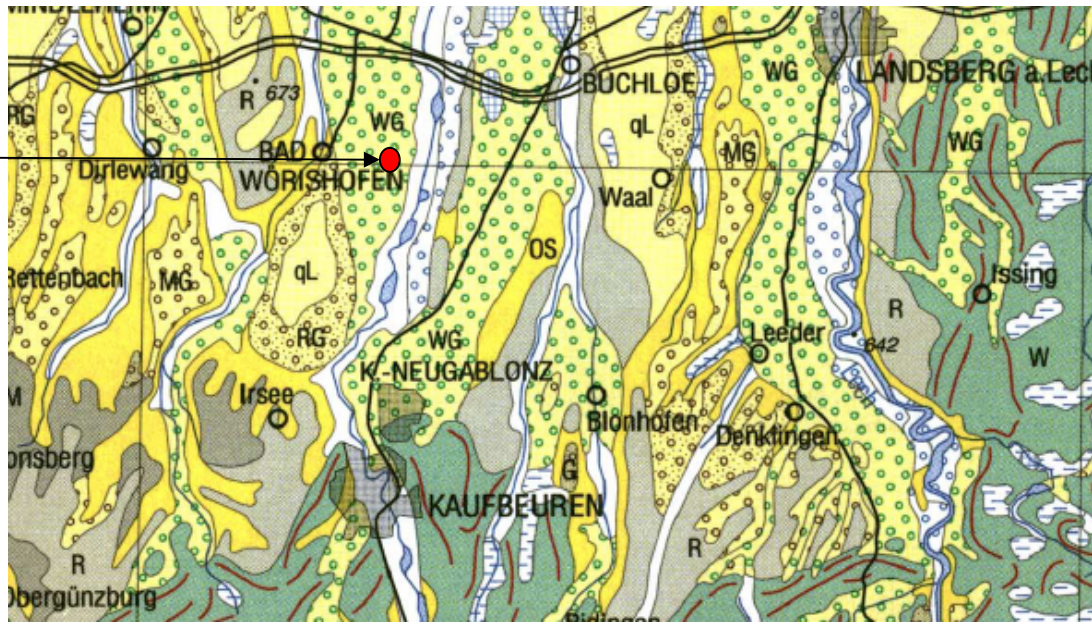


Abbildung 11: Bodenprofil Buchloe/Bayern
Entkalkte, mittlere Braunerde aus dichtem schwachtonigem Decklehm der würmzeitlichen Niederterrasse

Der **Standort Buchloe** liegt im Landkreis Ostallgäu, in der Gemeinde Germaringen (Bayern). Naturräumlich wird Buchloe der Iller-Lech-Platte mit seinen Moränen-Hügelland des Alpenvorlandes zugeordnet mit 640 m über NN liegt es zwischen den Flüssen Wertach und Lech. Das Geologische Ausgangssubstrat gliedert sich hier in pleistozänen Nieder- und Hochterrassenschotter der letzten Eiszeit (Würm) mit quartärem Decklehm, im unmittelbaren nördlichen Anschluss an die würmzeitlichen Endmoränen. „Der Decklehm ist kalkfrei, kryoturbat durchbewegt und kleinräumig verflossen“ (Erläuterung geolog. Karte Bayern). Das Profil selber liegt auf der Niederterrasse mit ca. 50- 70 cm Decklehmauflage.



qhG: Schotter, alt - mittelh olozän
 qhG: Schotter, alt - mittelh olozän
 qhG: Schotter, alt - mittelh olozän
 qhG: Schotter, alt - mittelh olozän
 qhG: Schotter, alt - mittelh olozän
 qhG: Schotter, alt - mittelh olozän

Abbildung 12: Auszug aus der Geologische Karte Bayern
 Quelle: Geologie Bayern, 1:500.000 vergrößert, Quelle: Bayrisches geologisches Landesamt

Das **Profil Buchloe** selber liegt auf dem Schlag „Holzmahd“, welcher erst seit einigen Jahren von Grünland in Acker umgebrochen wurde. Wir sehen hier eine entkalkte mittlere Braunerde aus dichtem schwachtonigem Decklehm auf der würmzeitlichen Niederterrasse mit einer nutzbaren effektiven Feldkapazität von 129 mm/m (Stufe 3).

Wenige Mangan- und Sesquioxidflecken sind im Bv-Horizont zu erkennen. Während der Pflughorizont pH-Werte von nur 5,5 aufweist befinden sich Untergrund pH-Werte von 6,7. Bereits ab 70 cm sind keine Decklehmschichten mehr vorhanden, sondern man erreicht bereits die kalkhaltigen Schotter der Niederterrasse. Insgesamt wurden für diesen Acker 50-55 Bodenpunkte erteilt.

Aufgrund der relativ hohen Niederschläge dürfte es selten zu Trockenstress kommen. Die dichte Lagerung des schwachtonigen Lehm (Lt2) und die leichte Zeichnung durch Sequioxide lassen eher hin und wieder Staunässe vermuten.

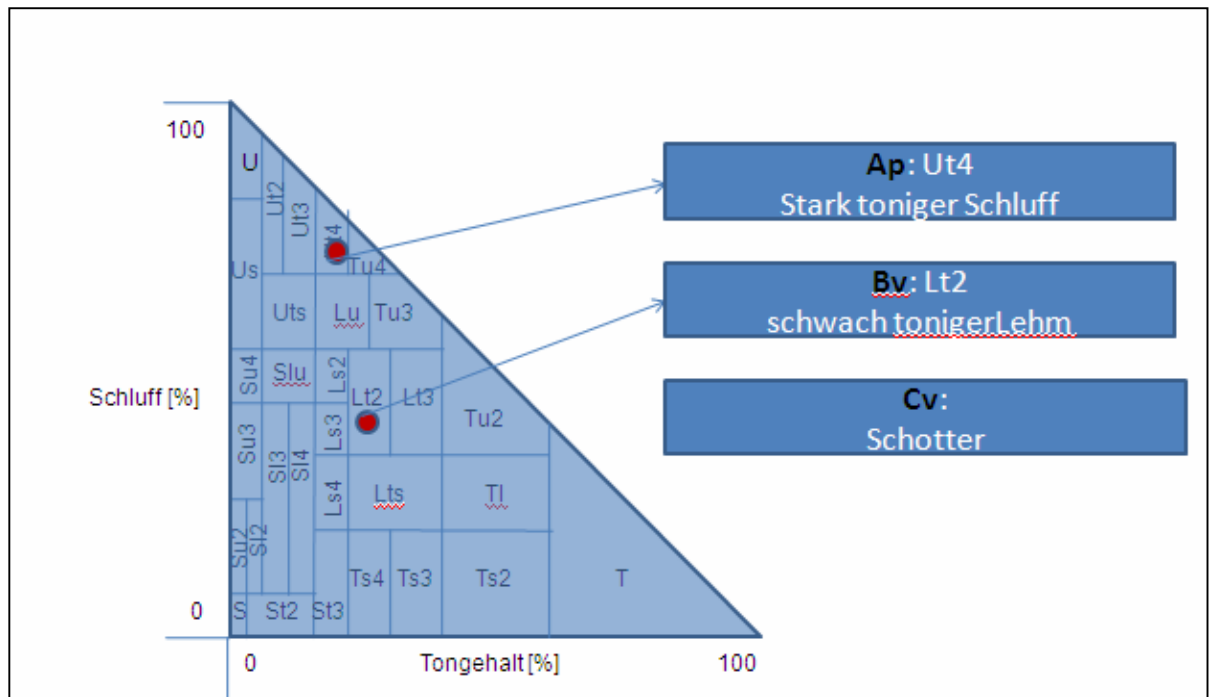


Abbildung 13: Korngrößendiagramm Buchloe

II.1.4 Methoden der Bodenanalysen

Ø Bodenprobenentnahme

Es wurden je Standort insgesamt 4 Bodenproben gezogen und untersucht. Der Zeitpunkt der Probeentnahme erfolgte teilweise bereits im Frühjahr 2008 vor der Maisbestellung und Düngung, im Sommer 2008 im Bestand, sowie im Herbst 2008 unmittelbar nach der Ernte, noch vor der Düngung. Anschließend wurde im darauf folgenden Jahr ein Profil gegraben und beprobt (Tabelle 31). Um eine gewisse einheitliche Bodenbeschaffenheit zu bewahren, betrug die maximale Teilfläche die zur Beprobung herangezogen wurde weniger als 3 ha. Es wurden jeweils Mischproben aus 15 Einstichen in Form eines „W“ über die Fläche verteilt mit dem Bohrstock (Pürkhauer) gezogen.

Dabei wurde das Vorgewende ausgeschlossen. Die Probeentnahmetiefe im Oberboden erfolgte im Ap-Horizont und lag bei 15-25 cm. Weitere Proben jeweils aus größeren Tiefen entsprechend der Horizontierung des Profils: „B-Horizont (40-60 cm) und C-Horizont (> 60-90)“, jedoch nicht tiefer als 90 cm folgten. Die Frühjahrsproben 2009 wurden unmittelbar aus dem gegrabenen Profil entnommen.

Ø Analysemethoden der Gesamtgehalte von Spurenelementen im Boden

Im Teilaufschluss mit Königswasser erfolgte die Analyse der Gesamtgehalte an Spurenelemente im Boden. Der Königswasserauszug wird im Umwelt- und Bodenschutzbereich sowie in der Abfall-Klärschlammverordnung aufgrund vorhandener Regelwerke zur Bestimmung von Elementgesamtgehalten in Böden verwendet (Bayr. Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008).

Als Teilaufschluss wird dieses Verfahren gegenüber dem Aufschlussverfahren mit Flusssäure bezeichnet, da die königswasserextrahierbaren Anteile in Abhängigkeit vom jeweiligen Element, aber auch von der Bodenart durchaus im Einzelfall weit unter 50% liegen können (HORNBURG, 2002). Desweiteren wurde dieses Aufschlussverfahren ausgewählt, da diese Methodenauswahl auch für die Analysen der Silage und des Gärsubstrates eingesetzt werden und damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet wurde, ein Teilaufschluss zudem als ausreichend eingeschätzt wurde.

Ø Analysemethode der mobilen Anteile der Spurenelemente

Die Analytik der Bodenproben vom Sommer 2008, Herbst 2008 und Frühjahr 2009 in Bezug auf den mobilen bioverfügbaren Anteil der Spurenelemente erfolgte mit der CAT-Methode. Bei der CAT-Methode handelt es sich um ein Extraktionsverfahren, das als Verbandsmethode des VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) für die Spurenelemente Bor (B), Mangan (Mn), Kupfer (Cu), seit dem 01.November 1999 zum Einsatz kommt (LWK Rheinland, 1999). Der Methodename leitet sich von dem verwendeten Extraktionsmittel ab, dass aus einer Lösung aus **CA**lciumchlorid und **DTPA** besteht.

Aufbauend auf dieser Methode werden die Böden bezüglich der essentiellen Spurenelemente für landwirtschaftliche Nutzpflanzen zudem in Gehaltsstufen gegliedert und erlauben so eine Beurteilung unserer gemessenen Analysedaten.

Die Elemente Molybdän (Mo), Cobalt (Co), Nickel (Ni) und Selen (Se) werden mit der Ammoniumnitratmethode (DIN 19730) untersucht, Eisen (Fe) nach der herkömmlichen EDTA-Methode, da hierfür die CAT-Methode keine anerkannte Anwendung erfahren hat.

Parameter	Boden	Maissilagen	Fermenterínhalt
Trockensubstanz	DIN EN 12880	DIN EN 12880	DIN EN 12880
Organische Substanz	DIN EN 12879	DIN EN 12879	DIN EN 12879
Karbonsäuren (Fettsäuren)	-	DIN 38414-S19	DIN 38414-S19
Stickstoff Kjedadahl	DIN EN 25663	DIN EN 25663	DIN EN 25663
Ammonium-Stickstoff	DIN 38406-E5	DIN 38406-E5	DIN 38406-E5
pH-Wert	DIN ISO 10390	DIN ISO 10390	DIN EN 12176-S5
Cr	DIN ISO 11047	DIN EN 1233-E10	DIN EN 1233-E10
Mo	DIN ISO 11885	DIN ISO 11885	DIN ISO 11885
Mn	DIN ISO 11047	DIN 38406-E33/1	DIN 38406-E33/1
Fe	DIN 38406 -E32	DIN 38406- E32	DIN 38406 -E32
Co	DIN ISO 11047	DIN ISO 11047	DIN ISO 11047
Ni	DIN ISO 11047	DIN 38406-E11	DIN 38406-E11
Cu	DIN ISO 11047	DIN 38406 -E7	DIN 38406 -E7
Zn	DIN ISO 11047	DIN 38406- E8	DIN 38406- E8
B	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
Se	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
P ₂ O ₅	DIN 38414- S12	DIN 38414 -S12	DIN 38414 -S12
K ₂ O	DIN 38406-E13	DIN 38406-E13	DIN 38406-E13
MgO	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980
CaO	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980
Na ⁺	DIN 38406-E14	DIN 38406-E14	DIN 38406-E14
Schwefel	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
TOC	DIN EN 13137	DIN EN 13137	DIN EN 13137
Königswasserextrakt	DIN ISO 11466	DIN EN 13346	DIN EN 13346

Tabelle 5: Analysenmethoden nach DIN

II.1.5 Ergebnisse und Diskussion der bodenkundlichen und düngewirtschaftlichen Untersuchungen

∅ Anthropogener Spurenelementeintrag durch organische und mineralische Düngemittel

Düngung				
	Schleswig-Holstein	Brandenburg	Nordrhein-Westfalen	Bayern
Gärrestausbringung	ja	ja	ja	nein
Menge/ Schlag	30 cbm/ha	10 cbm/ha	45 cbm/ha	nein
Wann	05.04.2008	24.10.2007	15.04.2008	nein
Organischer Dünger				
Art	Pferdemist		Champignonanzucherde (2007)	Rindergülle
Menge/Schlag [m ³ /ha]	10t/ha			25 cbm/ha~
Zeit der Einbringung	~ 15.03.07			Apr 07
Mineralischer Dünger				
Bezeichnung	NP-Dünger 20/20 Kali Harnstoff 46%N	Harnstoff 46%N DAP	Diamonphosphat KalimonSalpeter	DCP 1846 KAS Kali
Menge/ Schlag	250 kg/ha 200 kg/ha 160 kg/ha	200kg/ha 100kg/ha	200 kg/ha 100 kg/ha	300 kg/ha 200kg/ha 450 kg/ha
Zeitpunkt			bei der Aussaat	bei der Aussaat
Mikronährstoffdüngung				
Art (Boden/Blattdüngung)	6-12-6 NPK Yaru-Vita-Mais			
Menge/ Schlag	10 l/ha 1,5 l/ha			
Zeitpunkt	20.06.2007			
Besonderheiten in den Vorjahren		Oderdurchbruch: (Achtung Spurenelemente)		Grünlandumbruch
Art der Bodenbearbeitung	Pfluglos	gepflügt	Pflug, Kreiselecke, Walze	gepflügt
Einsatz von Silierhilfsmittel				
	nein	nein	nein	nein
Einsatz von PSM				
Produkte	Zintan Platin	Calaris Dualgold Certolgel	Zintan Goldpack	Gardagold Task
Menge	3/4 Pack/ha	1,5 l/ha 1,25 l/ha 0,4 l/ha		2,5 l/ha (28.05) 255g/ha

Tabelle 6: Organischer und mineralischer Düngeeintrag

Zur Beurteilung der durch Düngemittel anthropogen hinzugefügten Spurenelemente in den Boden erfolgte eine Literaturlauswertung, die mit den ermittelten Daten (Tabelle 6) abgeglichen wurde.

Ø Spurenelementgehalte von Kompost, Pferdemist und Gülle

Auf keinem der 4 Standorte wurde der organische Dünger Kompost verteilt, jedoch Pferdemist in Schleswig-Holstein und Rindergülle in Bayern.

Hinsichtlich des Eintrages von Cadmium, Chrom, Nickel und Blei ist der organische Dünger (Gülle, Kompost) grundsätzlich positiv zu beurteilen. Nur bei **Kupfer und Zink** kann es beim organischen Dünger zu Grenzwertüberschreitungen der Bioabfallverordnung kommen, insbesondere beim Einsatz von Schweinegülle. Dies ist auf Futterzusätze in der Schweinehaltung zurückzuführen. Erhöhte Kupfergehalte in der **Rindergülle** stammen zum einen aus dem Einsatz von Kupfervitriol als Klauendesinfektion, sowie Zink und Kupfergehalte durch Mineralfuttermittel insbesondere bei Milchviehbetrieben.

Insgesamt ist der Mineralstoffgehalt in **Pferdemist** als hoch anzusehen. Auch hier wird es einen engen Zusammenhang zwischen Mineralfutterzusätzen und den Spurenelementgehalten im Pferdedung geben. Genauere Aussagen, mangels Literatur, können in diesem Fall nicht getroffen werden.

Um trotzdem eine Kurzeinschätzung bezüglich **Kompost** und Spurenelementeintrag geben zu können, obwohl dieser an keinem Standort eingesetzt wurde, hier eine kurze Auswertung der Literaturrecherche:

Bereits 2001 hat das Umweltbundesamt mit dem UBA-TEXT 59-01 „Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden“ (UBA, 2001) eine Konzeption zur schadlosen Anwendung verschiedener Düngemittel vorgelegt. Es folgten durch das UBA und der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) eine Auswertung der Kompostqualitäten von 376 Anlagen im Zeitraum zwischen 1998 - 2002.

Untersucht wurden die Elemente: Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink. Als hauptsächlich gewährleistungseinschränkend wurden die Elemente **Kupfer und Zink** genannt, vergleichbar mit den Aussagen zur Gülle.

Ø Spurenelementgehalte in mineralischen Stickstoffdüngern

Auf allen 4 Standorten gab es eine mineralische Düngung (VGL. TABELLE 6). Am Standort in Schleswig-Holstein erfolgte zusätzlich eine Blattdüngung und damit ein direkter Eintrag von dem Spurenelement Zink.

Dem Forschungsbericht Nr.118 über „Schwermetallbilanzen verschiedener Betriebstypen“ entnommen, werden die Schwermetallgehalte in Stickstoffdüngern als gering beschrieben. Die höchsten Schwermetallkonzentrationen bei den N-Düngern wurden bei Kalkammonsalpeter und Kalkstickstoff festgestellt, Kalkstickstoff wies die höchsten Chromgehalte auf (KÜHNEN u. GOLDBACH, 2004).

P-Dünger wiesen höhere Cadmium- und Zinkgehalte auf. Die Kaliumdünger wiesen Schwermetallgehalte auf, die eher als niedrig anzusprechen sind. Auch bei den Mehrstoffdüngern ist insbesondere bei den Cadmium- und Chromgehalten ein Rückgang der Gehalte zu verzeichnen (geänderte Düngemittelherstellung).

Ø Spurenelementgehalte in Gärresten

Bis auf Bayern wurde auf allen Standorten Gärreste aus NawaRo-Biogasanlagen wieder ausgebracht. Am Standort in Brandenburg wurde die Biogasanlage mit Energiepflanzen und Rindergülle gefahren, in NRW und Schleswig-Holstein handelt es sich um Monofermentationsanlagen.

Der Spurenelementgehalt der Gärreste ist von der Zusammensetzung der Eingangssubstrate, deren Nährstoffgehalte und den Gärbedingungen abhängig. Schwermetalle/ Spurenelemente unterliegen keinem biologischen Abbau, sie konzentrieren sich, in Abhängigkeit von der Verweilzeit, daher in der verbleibenden Trockenmasse des Gärrückstandes auf. Für die Gärrückstanddüngung aus Maissilage ergab sich bei einer Untersuchung im Jahr 2006 durch das IASP ein durchschnittliches Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) von 77, gegenüber Sommerweizen von durchschnittlich 86 (ein MDÄ von 100 entspricht einer identischen Düngewirkung). In den Gülzower Fachgesprächen Band 30 wird der Gärrückstand aus der Vergärung von Energiepflanzen hinsichtlich des Gehaltes an möglichen Schwermetallen als unbedenklich eingestuft. „Die ausgewählten Schwermetalle Cd, Cu, Pb und Zn in Gärrückständen liegen unterhalb der in der DüMV vorgegebenen Grenzwerte“ (IASP und ASP, 2008). Dieses gilt auch für Gärreste aus NawaRo-Anlagen mit Rindergüllevergärung, nicht jedoch bei NawaRo-Anlagen mit Schweinegülle (UBA, 2007).

Hier werden die Grenzwerte für **Kupfer und Zink** bezogen auf die Trockenmasse, nach der Bioabfallverordnung (BioAbfV) meist überschritten. Beim Einsatz von Rindergülle kommt es eher selten zu Überschreitungen der Grenzwerte bei Kupfer und Zink. Bis zum jetzigen Zeitpunkt lagen keine Untersuchungen über Gärrückstände aus NawaRo-Anlagen mit Einsatz von Hilfsmitteln (Spurenelemente) vor. Bis zum Zeitpunkt der Bodenprobenentnahme wurden auch keine Hilfsmittel an den 4 Untersuchungsstandorten eingesetzt, dass hat sich aber in der Zwischenzeit geändert, muss aber bei unseren jetzigen Untersuchungen nicht mehr berücksichtigt werden.

Parameter	Maßeinheit	Grenzwert nach BioAbfV für Lehm	Grenzwert nach AbklärV	BBodSchV für Lehm/Schluff	Mittelwert Rindergülle (KTBL 2005)	Mittelwert Kompost KRÄHLING 2006)	Mittelwert Rindergülle (KRÄHLING 2006)	Mittelwert der Gärreste aus Covergärung von NawaRo & Rindergülle (UBA 2007)
Kupfer	mg/kg TM	40	60	40	37	43,7	44,5	49,0 (120)
Nickel	mg/kg TM	50	50	50	6,1	14,3	5,9	9,0 (22)
Zink	mg/kg TM	150	200	150	161	185	270	232 (570)
Chrom	mg/kg TM	60	100	60	5,3	22,5	7,3	8,5 (21)

Tabelle 7: Mittelwerte von Spurenelementgehalten in Düngemitteln und Grenzwerte (in Klammern Fracht in g/ha bei Ausbringung von 170 kg N)

Ø Spurenelementgehalte in Champignonanzucherde

Auf dem Standort in NRW wurde Champignonanzucherde zu Düngezwecken eingesetzt.

Champignonsubstrat kann sehr gut als Bodenverbesserer eingesetzt werden. Laut einer Laboruntersuchung der Kompostgütegemeinschaft liegt die Schwermetallbelastung gegenüber dem RAL-Gütezeichen Kompost zwischen 10 bis 50 % der Grenzwerte und bei den Bioland-Richtlinien zwischen 15 bis 94 % der Grenzwerte.

Ø Mögliche anthropogene Einträge von Spurenelementen auf den Untersuchungsstandorten

Die Literaturrecherchen ergaben das ein anthropogener Eintrag von Spurenelementen weder aus den **Gärresten** (reine NawaRo-Anlagen), den **mineralischen Stickstoffdüngern**, noch aus der **Champignonanzuchterde** zu erwarten ist. Einzig Kupfer und Zinkeinträge bei der Düngung mit **Rindergülle** könnte auf dem Standort in Bayern eine geringfügige Rolle spielen (Tabelle 7).

Nur in Schleswig-Holstein erfolgten eine Mikronährstoffdüngung (Blattdüngung) und damit ein direkter Eintrag von Spurenelementen (Zink), allerdings nur teilweise in/auf den Boden, sondern hauptsächlich auf/in die Pflanzen (Blattdüngung), so dass sich ein erhöhter Zinkgehalt nur in der Silage gegenüber dem Boden widerspiegeln könnte. Laut Hersteller enthält der Mehrnährstoff-Blattdünger 440 g/l P₂O₅, 75 g/l K₂O, 67 l/g MgO und 46 g/l Zink.

Der Einsatz von **Pflanzenschutzmitteln (PSM)**, insbesondere von Herbiziden mit dem Inhaltsstoff Glyphosat, einen Komplexbildner der Ionen festhält, könnte dazu führen, dass vorhandene Spurenelemente von den Pflanzen nicht mehr genutzt werden können, insbesondere Mangan, Eisen und Zink (SCHEINGRÄBER, 2007). Die eingesetzten PSM enthalten laut Datenschutzblatt jedoch kein Glyphosat.

Weitere anthropogene Spurenelementeinträge sind am Standort Wiesenau in Brandenburg nicht in der Düngung, sondern vor allem in der **Überschwemmung** durch den Oderdurchbruch (Quecksilber-, Blei- und Zinkgehalte) und den ehemaligen Emittent, ein stillgelegtes **Heizwerk** (Nickelgehalt), zu suchen.

In Folge der **Überschwemmung durch den Oderbruch** am 23. Juli 1997 wurden vom Landesumweltamt Brandenburg Untersuchungen über unerwünschte Wirkungen, ins besondere Schadstoffeinträge und Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften untersucht (*Tagungsbericht Nr. 22 von 1999*). Im Rahmen der Überwachung von Schwermetallgehalten wurden die Elemente Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Quecksilber fast täglich gemessen (Gewässeruntersuchung). Betroffen vom Hochwasser war insbesondere die Ziltendorfer Niederung, und damit der Untersuchungsstandort Wiesenau. Die Stichprobenuntersuchungen in den Überschwemmungsgebieten der Ziltendorfer Niederung konzentrierten sich auf den westlichen Randbereich der Ortschaften Brieskow-Finkenherd, Wiesenau und Ziltendorf (Bodenuntersuchung). Verglichen wurden die neuen Werte mit den **Hintergrundgehalten** von Auenböden (Auenlehme- und tone) Median und 90. Perzentil-Werte für Schwermetalle (*Hintergrundwert LUFA-Daten Brandenburg Auenböden*).

Nach Aussage des Landesumweltamts Brandenburg ergaben sich erhöhte Quecksilber-, Blei- und Zinkgehalte nur in Einzelfällen. Die erhöhten Nickelgehalte in der Umgebung des Heizwerk Brieskow-Finkenherd sind vermutlich auf Belastungen zurückzuführen, die nicht hochwasserbedingt sind. Im Siedlungsbereich ergaben Stichprobenuntersuchungen Werte (Median) für

- Zink: 115 – 149 [mg/kg] , max. 310 (Vorsorgewert Lehm (BodSchV: 150)
- Kupfer: 9,0 – 16,5 [mg/kg], max. 23
- Nickel: 4,6 – 7,0 [mg/kg], max. 11,0

Die Ursache kann standortbedingt im Immissionseinfluss des stillgelegten Heizwerks liegen. Für Nickel lag eine geringfügige Überschreitung bei den Gewässeruntersuchungen vor (SCHUNICH, 2008).

Des Weiteren kann der erst kurz vorangegangene **Grünlandumbruch** in Bayern höhere Spurenelementgehalte mit sich führen. Beim Vergleich von Schwermetallbilanzen verschiedener Betriebstypen (KÜHNEN u. GOLDBACH, 2004) lagen die Gehalte im Beprobungshorizont von Grünland (0-15 cm) tendenziell höher als von Ackerland (0-30 cm). Erklärt wurde dieses u.a. das es zu einer Akkumulation von Spurenelementen im Ah-Horizont von Grünland als Folge eines pedogenen Prozess kommt - durch „Pumpwirkung“ der Grünpflanzen.

II.1.6 Gesamtgehalte von Spurenelementen im Boden

Mikronährstoffe, bzw. Spurenelemente sind chemische Elemente, die in Organismen nur in sehr geringen Konzentrationen auftreten, die aber für den Stoffwechsel von Pflanze und Tier unverzichtbar und damit essentiell sind. Im Organismus können sie normalerweise in Konzentrationen von weniger als 50 mg/kg Körpermasse vor. Sogenannte Ultra-Spurenelemente liegen noch deutlich darunter (NELLES, 2007).

Von essentieller Bedeutung für die Pflanzen sind:

- Kupfer, Mangan, Zink, Molybdän, Eisen
- Bor, Chlorid

Mangelercheinungen sind auf dem chemisch analytischen Wege (Boden-/Pflanzenanalyse) bzw. visuellem Wege (akute Mangelercheinung) festgestellt worden und damit verbunden in der Regel eine Ertrags-, Qualitäts- und auch Resistenzminderung.

- Bor: ab dem 4-Blattstadium verhindert eine optimale Ausbildung des Kolbens und der Kornanlagen
- Zink: Gelbe Streifen oder Aufhellungen zwischen den Blattadern an älteren Blättern
- Kupfer: Helle gelbgrüne Verfärbung der jüngsten Blätter
- Mangan: Streifenförmige Chlorophyllaufhellungen zwischen den Adern (an mittleren und jüngeren Blättern) mit folgender Entwicklung von meist weißen, streifigen Nekrosen

In der Tier- und Humanernährung sind Bor und Molybdän nicht bzw. umstritten lebenswichtig, dafür aber Kobalt, Jod, Fluor und Selen (BORCHMANN, 2002)

Spurenelemente werden auch als Schwermetalle bezeichnet, wenn sie eine Massendichte über $4,5 \text{ g/cm}^3$ besitzen. Einige von ihnen sind besonders relevant hinsichtlich ihrer umwelt- und humantoxikologischen Wirkung.

Daher wurden für einige Schwermetalle in der Bodenschutzverordnung Grenzwerte festgelegt (Tabelle 8).

Dazu zählen Zink, Kupfer, Nickel, Cadmium, Chrom und Quecksilber. Böden verfügen von Natur aus über unterschiedlich hohe Gehalte an einzelnen Schwermetallelementen (geogene Grundlast/ Hintergrundwerte (Tabelle 9).

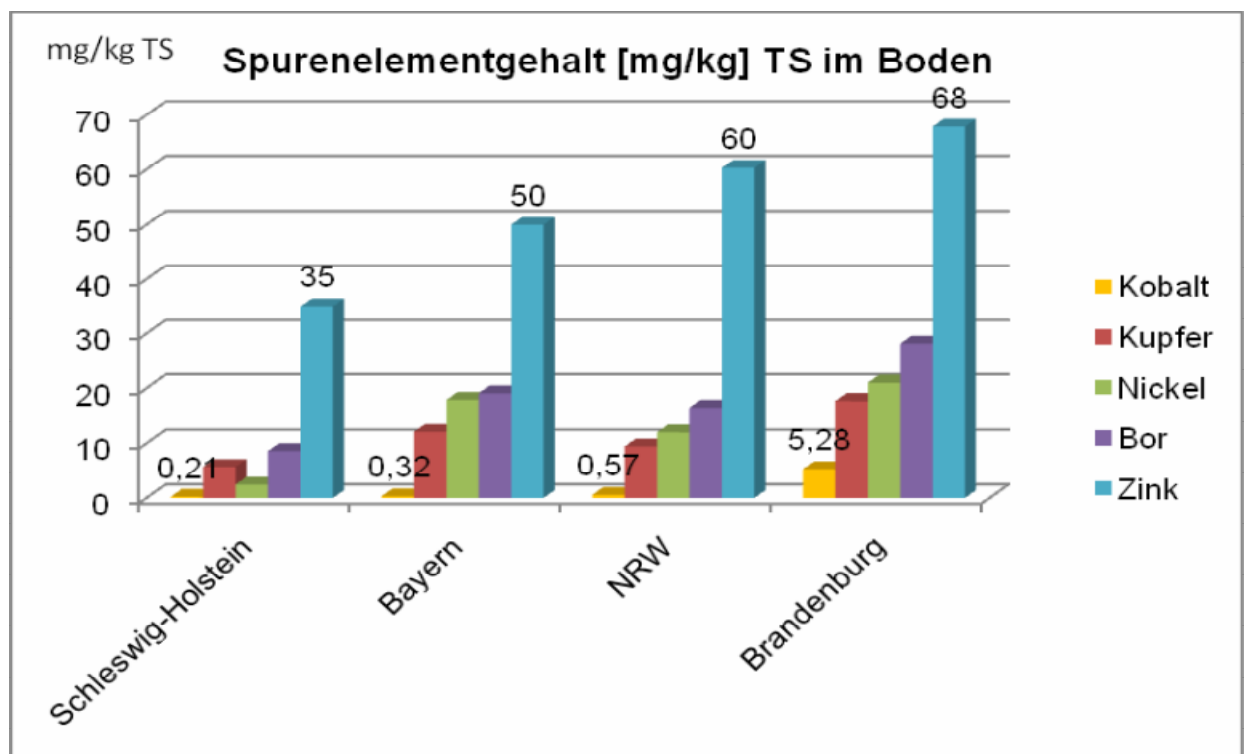


Abbildung 14: Gesamtgehalt der Spurenelemente im Oberboden (0-30 cm) / Ah-Horizont (Königswasserauszug)

Deutlich hebt sich der Standort Brandenburg mit den höchsten Werten an Spurenelementgesamtgehalten ab (Abbildung 14).

Entsprechend der Literatur weist der sandige anmoorige Geeststandort in Schleswig-Holstein (Nootbaar) die geringsten Spurenelementgehalte auf (LEISEN u. HEIMBERG, 2004).

Zink ist das Spurenelement mit den höchsten Werten (35 bis 68 mg/kg TS Boden), gefolgt von Bor, Nickel und Kupfer mit Werten zwischen 5 – über 20 mg/kg TS. Mit großem Abstand liegen die Kobaltwerte mit einer Ausnahme (Brandenburg) unter 0,6 mg/kg TS. Molybdän und Selen lagen fast ausschließlich unter der Nachweisgrenze. Bekannt ist die geringe Selenkonzentration in Futterpflanzen bei der Tierernährung in Westeuropa (LANGE, 2004).

Die Bereiche erforderlicher Versorgung (0,1 – 0,2 mg/kg TM) und bereits chronischer Toxizität (> 2,5 mg/kg TM) liegen bei Selen sehr eng beieinander. Daher ist auch eine Düngung von Selen mit großer Vorsicht zu betrachten.

Ø Bodenvorsorgewerte und Spurenelementgesamtgehalt im Vergleich

[mg/kg Trockenmasse]	Vorsorgewert Ton	Vorsorgewert Lehm	Vorsorgewert Sand
Zn	200	150	60
Cu	60	40	20
Ni	70	50	15
Cd	1,5	1	0,4
Cr	100	60	30
Hg	1	0,5	0,1
Autor	Bodenschutzverordnung		

Tabelle 8: Bodenvorsorgewerte nach der Bodenschutzverordnung (Anonym, 1999)

Der Vorsorgegedanke beinhaltet den Schutz der natürlichen Ressourcen und Lebensgrundlagen bevor Gefährdungen auftreten. Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) steht ein Instrumentarium für den vorsorgenden Bodenschutz in Deutschland zur Verfügung. In der Bodenschutzverordnung werden die **Bodenvorsorgewerte** für die unterschiedlichen Bodenarten Ton, Lehm und Sand bei den Elementen **Zink, Kupfer, Nickel, Cadmium, Chrom und Quecksilber** angegeben.

Die Bodenvorsorgewerte dienen der prospektiven Vorsorge, einen langfristig guten Erhalt der Böden unter Erhalt aller Bodenfunktionen sicherzustellen. Gemäß §8 BBodSchG ist der Vorsorgewert gekennzeichnet durch die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung durch zusätzliche Stoffeinträge. Vorsorgewerte werden anhand von ökotoxikologischen Wirkungsschwellen festgelegt

Die Bodenvorsorgewerte werden an keinem der vier Standorte überschritten.

Ø Hintergrundwerte

„**Hintergrundwerte** für Oberböden wurden von allen 16 Bundesländern und dem Bund für diejenigen anorganischen Stoffe bestimmt, für die in der BBodSchV Vorsorgewerte genannt werden. Es sind dies die Metalle Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn. Unter Berücksichtigung der pedoregionalen Repräsentanz und der Landnutzung können für diese Stoffe mit den derzeit verfügbaren Datensätzen für ca. 90% der bundesweit zu belegenden Fläche Hintergrundwerte ausgewiesen werden.“ (*Zweiter Bodenschutzbericht der Bundesregierung 2009*)

- „Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden.
- Hintergrundwerte sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.“
(*Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, 2003*)

Die Konzentrationen von Spurenelementen in Gesteinen und Böden sind überwiegend niedrig. Geologische Ausnahmen bilden z.B. der Serpentin mit hohem Chrom und Nickel, der Keuper (Vitrialschiefer) mit höheren Gehalten von Kupfer, Nickel, Zink und Kobalt, sowie im Trias Blei.

Quelle	Hintergrundwert LABO 2003 NRW, Löss [mg/kg TS] 50P/ 90P	Hintergrundwert LABO 2003 Bayern Löss, Lösslehm [mg/kg TS] 50P/90P	Hintergrundwert LABO 2003 Schleswig-Holstein Sand [mg/kg TS] 50P/ 90P	Hintergrundwert LUFA-Daten Brandenburg Auenböden [mg/kg TS] 50P/90P	Hintergrundwert LABO 2003 BRD Fluss- ablagerung [mg/kg TS] 50P/ 90P
Zn	64/90	53/63	25/39	20/52	50/75
Cu	12/18	16/21	6,8/11	5/16	14/31
Ni	16/24	26/36	4/9	3/13	15/29

Tabelle 9: Hintergrundwerte Perzentil 50 (Median) und Perzentil 90 Hintergrundgehalte der einzelnen Standorte im Vergleich (LABO 2003, LUFA-Daten)

Es liegen für alle 4 Untersuchungsstandorte die Hintergrundwerte für Zink, Kupfer und Nickel vor (LABO, 2004) und können so für den Vergleich der von uns ermittelten Werte herangezogen (Tabelle 34:).

Der Standort Brandenburg mit seinen Aueböden liegt sowohl im Oberboden(0 - 30 cm) als auch im Untergrund (60 - 90 cm) bei allen 3 Elementen Zink, Kupfer und Nickel nicht nur über dem Median, sondern auch über den 90 Perzentil (Tabelle 9).

Eine Erklärung für die hohen Spurenelementgehalte wurde bereits gegeben: Lage im Überschwemmungsgebiet (Oderdurchbruch) für Zink und Kupfer und Heizwerk als Emittent für Nickel.

II.1.7 Spurenelementgesamtgehalte

Ø Zinkgehalt

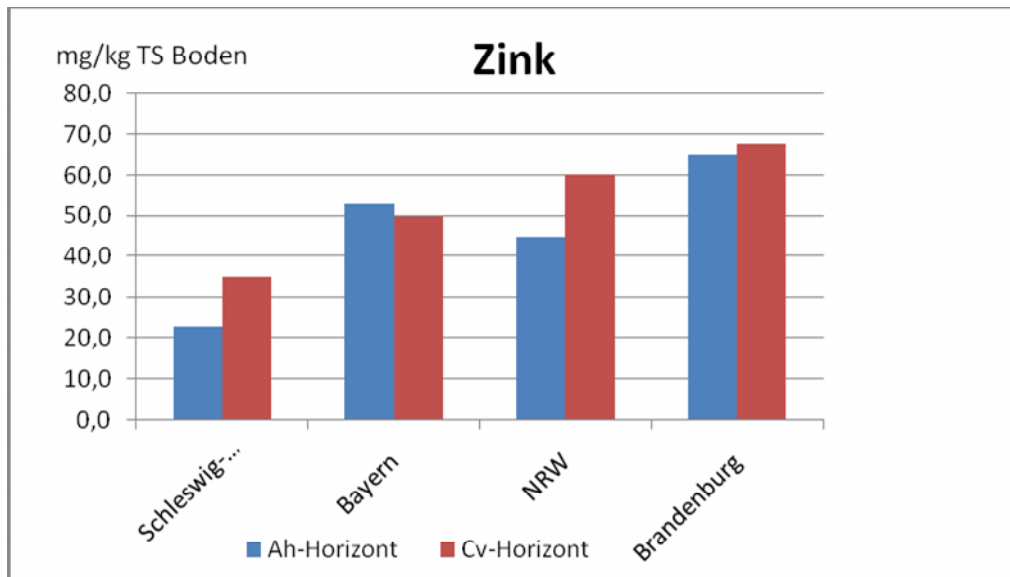


Abbildung 15: Gesamtzinkgehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm) zum Unterboden(> 60 cm)

An den 4 Standorten liegen die höchsten Hintergrundwerte (Median) beim Zink zwischen 20 – 65 mg/kg TS, gegenüber den Hintergrundwerten von Kupfer (5 – 16 mg /kg TS) und Nickel (3 – 26 mg/kg TS).

Zur Überschreitung der Hintergrundwerte (Median) von Zink im Oberboden kommt es an den Standorten Brandenburg und Schleswig-Holstein. In Brandenburg auch im Unterboden (Cv-Horizont). Die ebenfalls relativ hohen Zinkwerte in Bayern und NRW befinden sich nur knapp unter dem Medianwert. Da in Bayern der Zinkgehalt im Oberboden zudem höher ist als im Untergrund könnte ein anthropogener Eintrag durch die Rindergülle nicht ausgeschlossen werden. Vermutlich stammt der verhältnismäßig hohe Zinkgehalt in Schleswig-Holstein aus der Blattdüngung.

Die Blattdüngung „YaraVita Mais“ enthält nach Aussage der LWK NRW: 46g/l Zink. (LWK NRW, Ratgeber 2009). Dem steht jedoch der vergleichsweise hohe Wert im Untergrund gegenüber, der nicht aus der Blattdüngung stammen kann. Eine Erklärung hierfür muss offen gelassen werden. Die Hintergrundwerte für Löss/Lösslehm (Bayern: 53 und 64 mg/kg TS) liegen um einiges höher als vergleichsweise auf den sandigen Standort in Schleswig-Holstein (25 mg/kg TS).

Ø Nickelgehalt

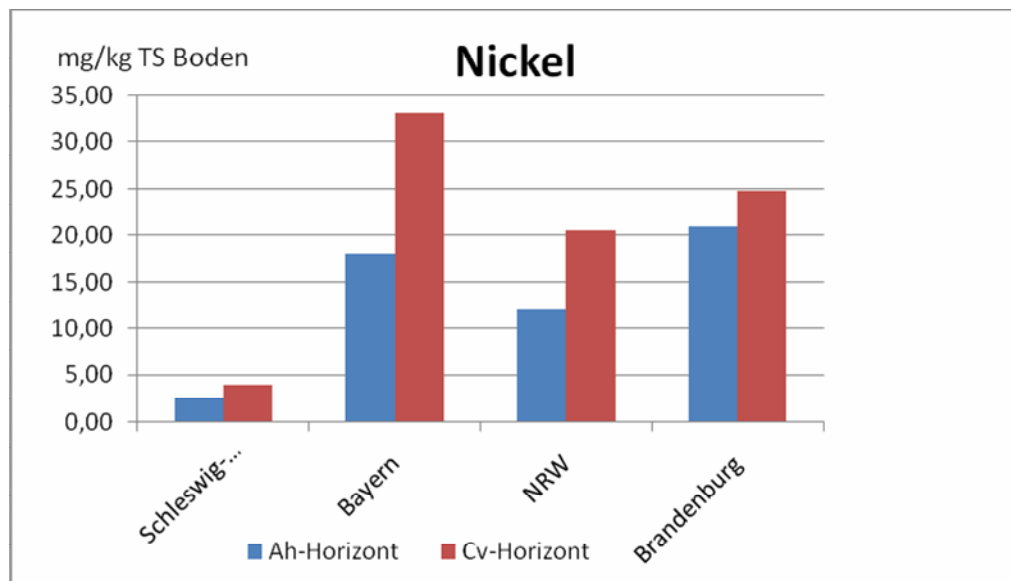


Abbildung 16: Gesamtnickelgehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm) zum Unterboden (>60 cm)

Nickel zählt aufgrund seines geringen Vorkommens ebenso wie Molybdän zu den sogenannten Ultramikronährstoffen. Häufig ist Nickel mit Kobalt und Chrom vergesellschaftet und kommt in unbelasteten Böden zwischen 1,0 – 50 mg/kg vor (SCHEFFLER u. SCHACHTSCHABEL, 1976). Erst Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts gelang der Nachweis als Pflanzennährstoff und die Darstellung von Ni-Mangel (BAD, 2007). Damit ist Nickel der „jüngste“ Pflanzennährstoff.

Relativ hohe Nickelgehalte kommen im Untergrund – geogen bedingt? - in Bayern (33,1 mg/kg TS), NRW (20,6 mg/kg TS) und Brandenburg (24,8 mg/kg TS) vor. Hier wird überall der Hintergrundwert (Median) überschritten (Tabelle 34:). Oftmals enthalten Residualtone (Rückstandstone aus der Kalkverwitterung), wie in Bayern im Cv-Horizont zu vermuten ist, höhere Metallgehalte.

Der Gesamtgehalt im Oberboden liegt zwischen 2,45 mg/kg TS in Schleswig-Holstein und 21,0 mg/kg TS in Brandenburg. Ebenso wie Kobalt kann Nickel durch einen hohen Eisen- und Manganoxidanteil demobilisiert (HILLER, 1991). Jedoch bei niedrigen pH-Werten wie z. B. in Wiesenau mit 5,7 und Buchloe mit 5,5 kommt es zu einer Erhöhung der Mobilität von Nickel. Das gilt auch für Zink.

Ø Kupfergehalte

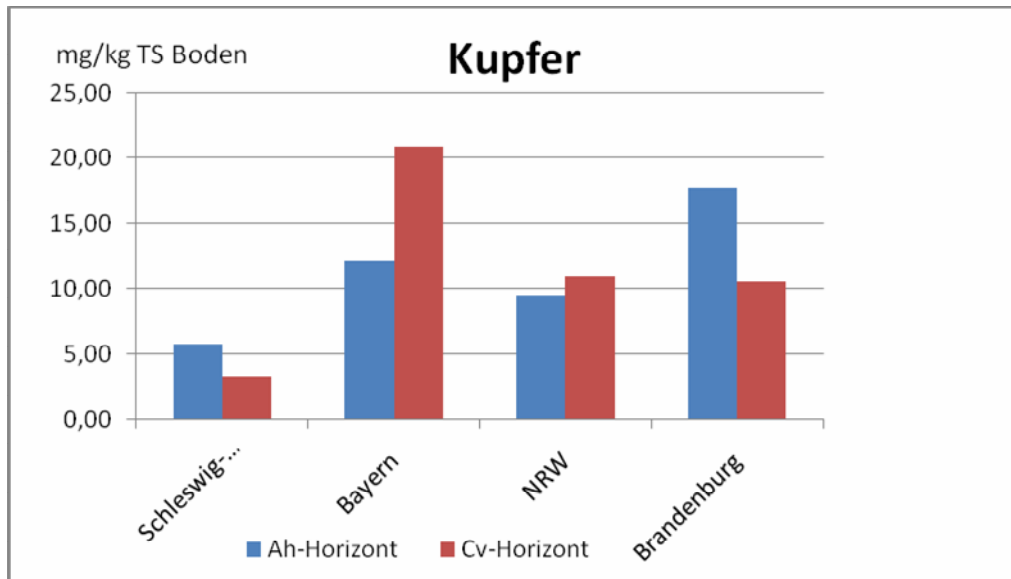


Abbildung 17: Gesamtkupfergehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm) zum Untergrund (>60 cm)

Die Hintergrundwerte der 4 Standorte für Kupfer liegen bei Perzentil 50 zwischen 5 – 16 mg/kg TS, bzw. Perzentil 90 zwischen 11 und 21 mg/kg TS. Die niedrigsten Hintergrundwerte mit 6,8 mg/kg TS werden für Schleswig-Holstein angegeben, die Höchsten für Bayern (16 mg/kg TS).

Die von uns ermittelten Werte weisen die höchsten Kupfergehalte in Brandenburg (17,7 mg/kg TS Boden Ah-Horizont) auf, in Bayern werden vergleichsweise hohe Werte (20,9 mg/kg TS Boden Cv-Horizont) im Untergrund gemessen und erreichen dort fast den 90 Perzentil. Auf allen Standorten ist der gemessene Kupfergehalt im Oberboden niedriger als im Untergrund. Kupfer reichert sich vor allem in der organischen Substanz an (HILLER, 1991) und zählt zu den mäßig mobilen Elementen.

Ø Kobaltgesamtgehalte

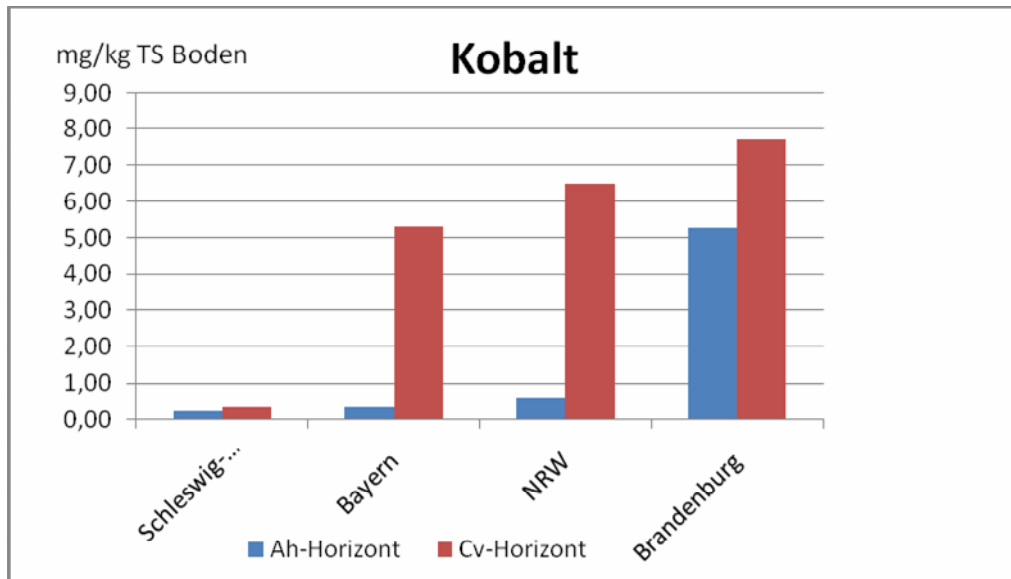


Abbildung 18: Kobaltgesamtgehalte im Vergleich Oberboden (0-30 cm) zum Untergrund (> 60 cm)

Für Kobalt wurden keine Hintergrundwerte in der BRD ermittelt. In der Bodenzustandsinventur aus Österreich liegt der Median aller untersuchten Bodenproben von Kobalt bei 13,5 mg/kg, der Mittelwert bei 14,4 mg/kg (Umweltbundesamt Österreich, 1989). Österreich hat für Kobalt einen Richtwert von 50 mg/kg festgelegt. Davon liegen alle untersuchten Standorte weit entfernt. Generell kommt Kobalt im Boden in nur sehr geringen Konzentrationen vor, wobei die Angaben zwischen 0,05 und 300 mg/kg schwanken (STEMME, 2002). Hohe Kobaltgehalte treten in ultrabasischen Gesteinen auf, arm an Kobalt sind in der Regel Sandböden, Kalksteine und Lehm.

Die Abbildung 18 zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen Ober- und Unterboden. Mit Ausnahme vom Standort in Brandenburg kommt Kobalt nur im Ausgangssubstrat in größeren Mengen vor.

	Erstarrungsgesteine	Sedimentgesteine	Metamorphite
Hohe Kobaltgehalte	Ultrabasische und basische Gesteine (z.B. Dunit) ↓	Tonige Gesteine z.B. Tonschiefer	Metamorphe Gesteine mit Fe-Mg-Mineralien z.B. Serpentin <i>(400mg/kg sind möglich, ADRIANO 1986)</i>
Niedrige Kobaltgehalte	Saure Gesteine z.B. Granit	Sandige Gesteine z.B. Sandstein	Metamorphe silicatreiche Gesteine z.B. Gneis

Tabelle 10: Allgemeine Beziehung zwischen Gesteinstypen und Kobalt-Gehalten im Boden (nach Paterson,1988)

Ø **Mangan- und Eisengesamtgehalte**

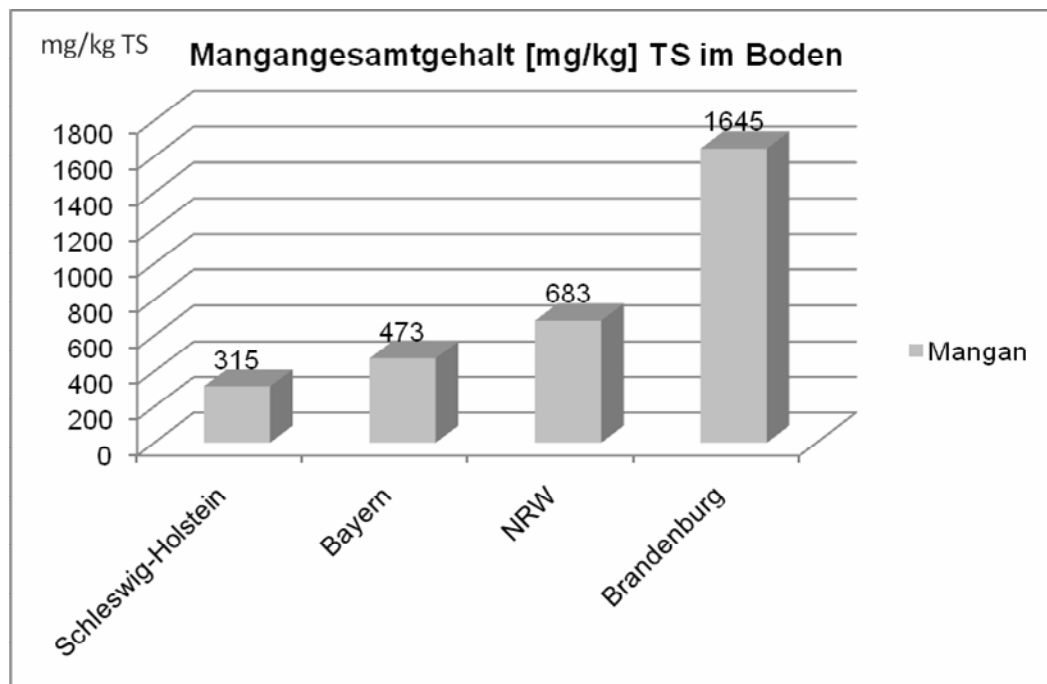


Abbildung 19: Mangangesamtgehalt im Oberboden (0-30 cm)

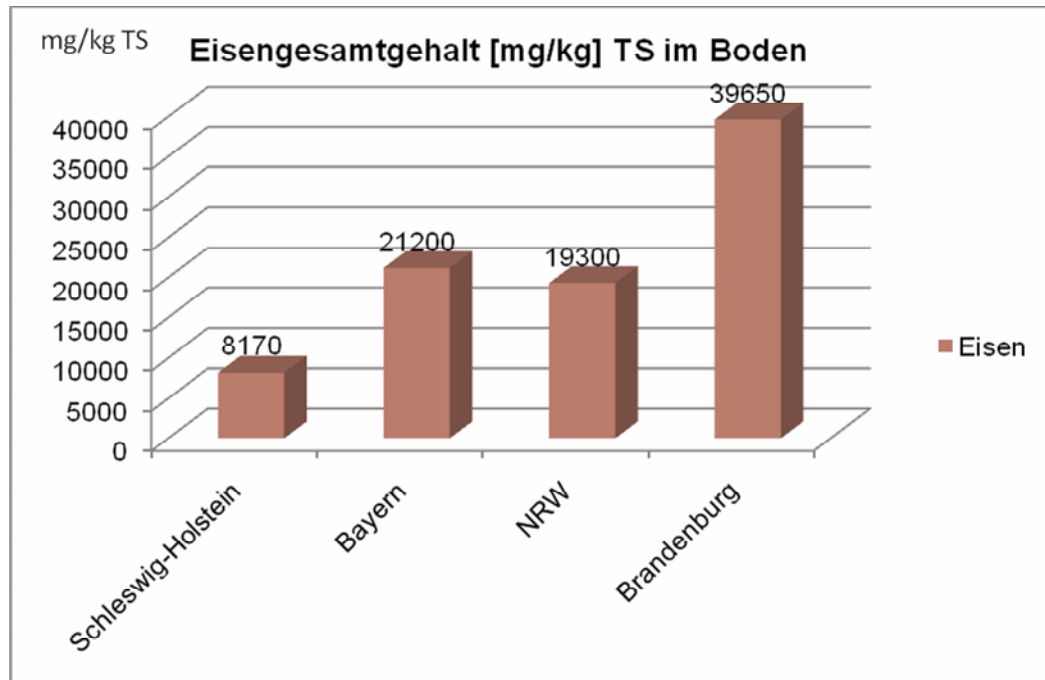


Abbildung 20: Gesamteisengehalt im Oberboden (0-30 cm)

Weder Vorsorge-, noch Hintergrundwerte liegen für das Element Mangan und Eisen vor. Denn Eisen ist das einzige Spurenelement, welches ubiquitär vorhanden ist. Es ist mit 6%-Anteil das vierthäufigste Element in der Erdkruste nach Sauerstoff, Silicium und Aluminium. Der Mittlere Gehalt an Gesamt-Mangan in Gesteinen und Böden variiert in einem weiten Bereich. Besonders Podsole und Stagnogleye sind verarmt an Mangan. Auf den vier Untersuchungsstandorten schwanken die Werte für Mangan zwischen 315 mg/kg TS bis 1645 mg/kg TS im Boden. Schon aus der Profilbeschreibung am Standort Brandenburg fallen die deutlich von Mangan-konkretionen gezeichneten Horizonte auf. Auf dem sandigen Standort in Schleswig-Holstein, mit den relativ geringen Mangangesamtgehalten könnte es zu einer Mangan-Mangelsituation kommen, insbesondere wenn die pH-Werte durch Kalkzugaben zu hoch liegen.

Ø Zusammenfassung der Auswertung der Gesamtgehalte von Spurenelementen im Vergleich zu den Hintergrundwerten

Aus der Tabelle 33 (Anhang) wird besonderes ersichtlich, dass am Standort Brandenburg die höchsten Spurenelementgehalte gemessen wurden. Das ist auch typisch für Überschwemmungsgebiete in Auenlage. Das geringste Angebot an Spurenelemente bietet der Standort in Schleswig-Holstein mit seinen anmoorigen Geestböden. In wiefern sich dieser Zustand auch bei dem mobilen, pflanzenverfügbaren Angebot von Spurenelementen widerspiegelt hängt von unterschiedlichsten Mechanismen im Boden ab und wird im nächsten Kapitel näher beleuchtet.

II.1.8 Mobiler Spurenelementgehalt im Boden

Zu den Mechanismen, die die Verteilung des Spurenelementgehaltes zwischen Bodenlösung und Festphase und damit die Mobilität im Ökosystem bestimmen, zählt Alloway (ALLOWAY, 1999):

- Kationenaustausch (unspez. Adsorption)
- Spezifische Adsorption
- Fällungs- und Lösungsreaktionen (schwerlösliche Verbindungen wie Phosphate, Sulfate)
- Bildung organischer und anorganischer Komplexe
- Einbau und Okklusion

Hohe Tonmineralgehalte oder ein hoher Gehalt an organischer Substanz, sowie Mangan- und Eisenoxide (Konkretionen) können zu Demobilisierung der Spurenelemente führen. Hohe pH-Werte schränken die Mobilität der meisten Spurenelemente ein, mit Ausnahme von Molybdän und Selen.

Außer diesen Bodenfaktoren sind auch die Pflanzen imstande, durch Abscheidung von Wurzelexsudaten, die Verfügbarkeit von Spurenelementen in der Rhizosphäre zu beeinflussen, welche die Bildung von Metallchelaten wie auch den Umtausch adsorbierter Metallkationen fördern (GERKE, 1995).

Einen nicht unwesentlichen Faktor spielt der Wassergehalt im Boden, da sonst keine Lösungsprozesse stattfinden können und der Aufnahmeweg durch die Pflanze über die Transpiration unterbrochen werden kann (Diffusion).

Ø Mobile Spurenelemente und die Einteilung in Gehaltsklassen

Zur Beurteilung der Versorgung der Pflanzen mit mobilen, pflanzenverfügbaren Spurenelementen werden die Analyseergebnisse der VDLUFA (Tabelle 38) in der Abhängigkeit vom pH-Wert und der Korngrößenfraktion in **Gehaltsklassen** unterteilt. Aus der Sicht der Pflanzenernährung sind die Spurenelemente Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink und Eisen von essentieller Bedeutung. Daher werden bei der Einstufung in Gehaltsklassen auch nur diese Elemente berücksichtigt und nicht Kobalt, Nickel und Selen.

Eisen ist ubiquitär vorhanden und bedarf daher keiner Einstufung (aus dem Methodenbuch des VDLUFA, Band I, 3, Teillieferung, 2002).

- Die anzustrebende Gehaltsklasse für pflanzenverfügbare Spurennährstoffe ist „C“, hier grau unterlegt.
- Gehaltsklasse A steht für einen niedrigen Gehalt an Spurennährstoffen im Boden, hier kann eine Spurennährstoffdüngung zu Kulturen mit hohem Spurennährstoffbedarf ertragssteigernd wirken.
- Die Gehaltsklasse E steht für einen hohen Gehalt an Spurennährstoffen im Boden, eine Düngung ist hier nicht erforderlich.

Element	Bodenart	pH-Wert	Gehaltsklasse A mg/kg	Gehaltsklasse C mg/kg	Gehaltsklasse E mg/kg
Bor	S, IS	alle	< 0,10 - 0,15	0,12 - 0,18	> 0,18
	IS, sL, uL, tL, IT, T	alle	< 0,15 – 0,20	0,15 – 0,35	> 0,35
Kupfer	S, IS		< 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0
	sL, uL, tL, tL, IT, T	< 7,0	< 2,0	2,0 – 4,0	> 4,0
		>= 7,0	< 1,2	1,2 – 2,5	> 2,5
Mangan	S, IS	< 5,0	< 3	3 – 6	> 6
		5,0 – 5,5	< 6	6 – 10	> 10
		5,6 – 6,0			
		6,1 – 6,5	< 10	10 – 20	> 20
		>6,5	< 25	25 – 50	> 50
		< 30	30 - 50	> 50	
	sL, uL, tL, IT, T	alle	< 30	30 - 60	> 60
Zink	alle	alle	< 1,0	1,0 – 3,0	> 3,0
Molybdän	alle	< 5,1	< 0,3	0,3 – 0,6	> 0,6
		5,1 – 6,0	< 0,15	0,15 – 0,3	> 0,3
		> 6,0	< 0,08	0,08 – 0,15	> 0,15

Tabelle 11: Einstufung der mobilen Spurenelemente in die Gehaltsklasse C (nach Methodenhandbuch der VDLUFA)

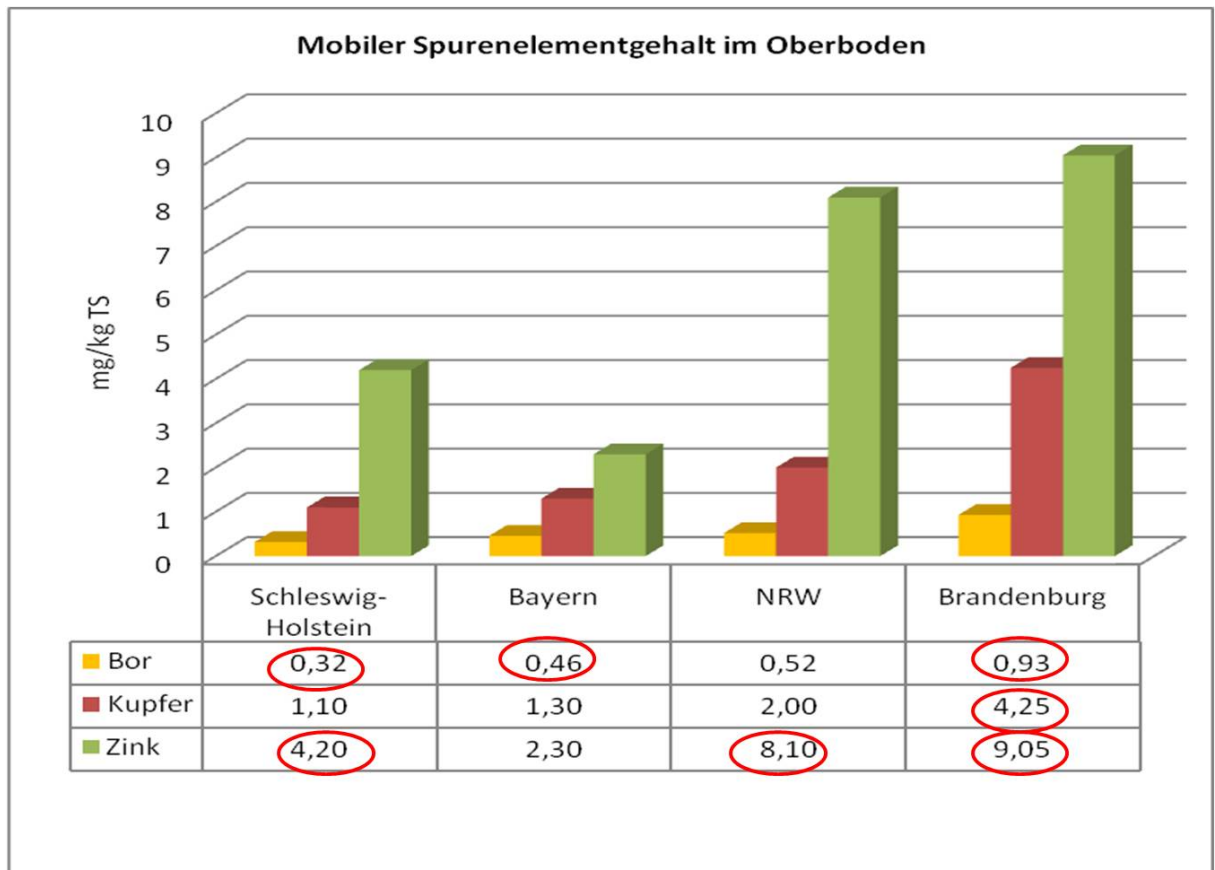


Abbildung 21: Mobiler Bor-, Kupfer- und Zinkgehalt im Boden (rot eingekreist sind die Werte die über der Gehaltsklasse C liegen)

Auch bei der pflanzenverfügbaren Nährstoffversorgung mit Spurenelementen liegt der Standort in Brandenburg wieder an der Spitze, sowohl in Bezug auf den tatsächlich gemessenen Wert, als auch in der Einstufung in Gehaltsklassen in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Korngröße (Abbildung 21). Mit einigem Abstand schließt sich der Standort in NRW an, gefolgt von Bayern und Schleswig-Holstein. Dabei steht Zink mit Werten zwischen 2,3 – 9,05 mg/kg TS Boden an der Spitze der 3 Spurenelemente Zink, Kupfer (1,1 – 4,25 mg/kg TS Boden) und Bor (0,32- 0,93 mg/kg TS Boden).

Die Vergleichsweise gute, bzw. teilweise auch überdurchschnittliche Versorgung am Standort in Schleswig-Holstein, trotz der im Verhältnis geringeren gemessenen Werte beruht auf der Tatsache, dass ein geringer pH-Wert gekoppelt mit niedrigen Tongehalten Vergleichsweise eine bessere Pflanzenverfügbarkeit von Spurenelementen aufweisen kann, als Böden mit hohen pH-Werten und einen hohen Tonmineralanteil. Das wird besonders deutlich bei der Einstufung des gemessenen Borgehaltes. Der Borgehalt in Schleswig-Holstein ist im Vergleich niedriger als in NRW, wird jedoch bezüglich der Gehaltsklasse höher eingestuft. Je niedriger der pH-Wert, desto größer ist in der Regel die Mobilität.

In der nachfolgenden Tabelle führt Brümmer (BRÜMMER et al., 1986) sogenannte Schwellenwerte hinsichtlich der Mobilität von Schwermetallen in Abhängigkeit vom pH-Wert auf. Dies gilt in erster Linie für Elemente wie, Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu) und Zink (Zn), während Molybdän (Mo) eher im alkalischen Bereich mobil wird und Bor im neutralen Bereich seine optimale Verfügbarkeit hat.

Blei	Quecksilber	Chrom	Kupfer	Nickel	Thallium	Zink	Cadmium
4,0	4,0	4,5	4,5	5,5	6,0	6,0	6,5

Tabelle 12: pH-Wert-Schwellen im Boden, deren Unterschreitung zu einer deutlichen Schwermetallmobilisierung führt (BRÜMMER et al, 1986)

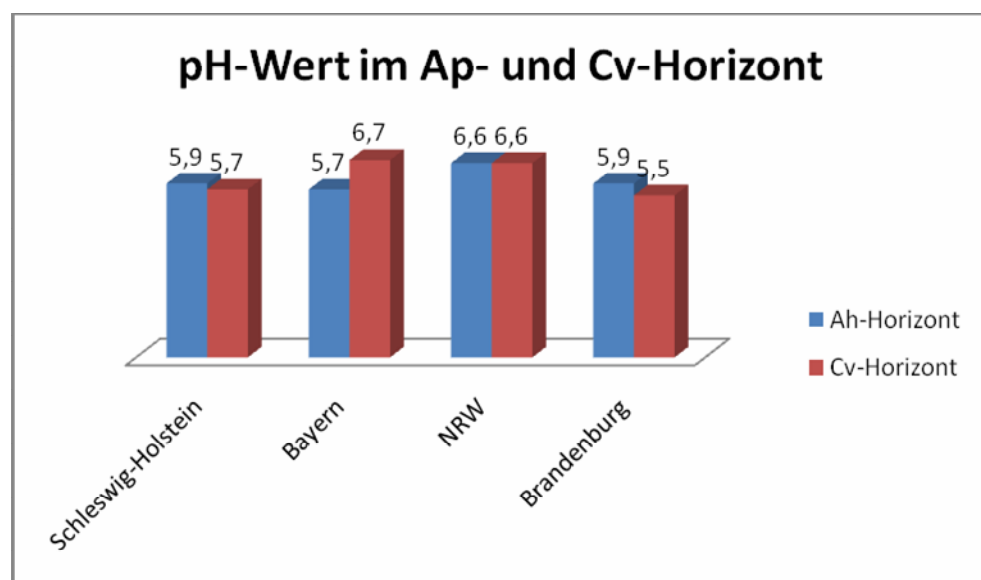


Abbildung 22: pH-Wert im Ap- und Cv-Horizont

Nicht nur der pH-Wert bestimmt die Mobilität der Spurenelemente, auch ein hoher Gehalt an **organischer Substanz** im Boden bestimmt die Verfügbarkeit von Schwermetallen. Steigende Gehalte an organischer Substanz können z. B. zu einer geringeren Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen führen (BRÜMMER et al., 1986). So weist Zink ebenso wie Kupfer hohe Bindungsneigungen zur organischen Substanz, als auch zu Tonmineralien auf (HILLER, 1991). Hiller hat die verschiedenen Schwermetallbindungsformen nicht über das übliche chemische Extraktionsverfahren, sondern über Mikrosondenmessungen ermittelt. In Übereinstimmung mit anderen Autoren ermittelte er eine Affinitätssequenz zu Huminstoffen: **Cu>Pb> Cd > Zn >Ni > Co**.

Die Standorte Brandenburg und Schleswig-Holstein, mit ihren vergleichsweise niedrigen pH-Werten bieten somit wesentlich günstigere Eigenschaften hinsichtlich der Mobilität von Spurenelemente auf, als die Standorte in Bayern und NRW. In Schleswig-Holstein liegen zudem im Vergleich zu Brandenburg die Humusgehalte höher. Diese Aussagen erklären u.a. auch das folgende Ergebnis, das nämlich in Brandenburg für alle 4 Elemente die Gehaltsklasse C überschritten wird.

An folgenden Standorten wird die Gehaltsklasse C im Oberboden (Ap-Horizont) überschritten (Tabelle 38) und stellt damit eine **Übersorgung hinsichtlich der Nährstoffversorgung** dar:

- **Zink:** Schleswig-Holstein, NRW, Brandenburg
- **Bor:** Schleswig-Holstein, Bayern, Brandenburg
- **Mangan:** Bayern, NRW, Brandenburg
- **Kupfer:** Brandenburg

Eine Unterversorgung bezüglich der Elemente Kupfer, Mangan, Bor und Zink stellt sich wie folgt an den 4 Standorten dar:

- **Kupfer:** Bayern
- **Mangan:** Schleswig-Holstein
- **Molybdän:** auf allen 4 Standorten

Weitere Einflussfaktoren sind die Bodenfeuchte, die wesentlich bestimmt in welchem Ausmaß Nährstoffe über den Prozess der **Diffusion** zur Wurzeloberfläche gelangen. Diese Faktoren können mit der chemischen Bodenuntersuchung nicht hinreichend erfasst werden.

Eine Reihung der Spurenelemente nach zunehmender Bedeutung der Diffusion findet sich beim Bundesarbeitskreis Düngung 2007:

$$B \leq Mo < Cu \leq Zn \approx Mn < Fe$$

Abbildung 23: Bedeutung der Diffusion für den Abtransport an die Wurzeloberfläche(Bundesarbeitskreis Düngung 2007)

Daraus ergibt sich umgekehrt von links nach rechts (B zu Fe) eine Reihung, in der die Aussagekraft einer chemischen Bodenuntersuchung zur Bestimmung der Spurenelementversorgung zunimmt.

Ø Mobile Borgehalte

Der Optimalbereich für den mobilen Anteil von Bor liegt je nach Bodenart und pH-Wert zwischen 0,3 – 1,2 mg/kg TS im Boden. Die Versorgung mit mobilem Bor ist auf allen 4 Standorten ausreichend, bzw. es liegt sogar auf 3 Standorten eine Überversorgung vor. Aufgrund des relativ hohen pH-Wertes in NRW kann es zur Festlegung von Bor kommen. Zudem kann es besonders bei Bor, bei feinerdereichen und bindigen Böden, zur Trockenfixierung kommen. Für das Jahr 2008 kämen hier die Standorte in Brandenburg und Bayern in Frage. Auf den sandigen Böden in Schleswig-Holstein reichen bereits geringere Werte aus, um der Gehaltsklasse C zugeordnet zu werden.

Ø Mobile Kupfergehalte

Als Optimalbereich wird hier ein mobiler Kupfergehalt im Boden von 1,5 – 3,0 mg/kg TS festgelegt. Kupfer zählt zu den eher mäßig mobilen Elementen und reicherte sich laut Zeien und Brümmer (ZEIEN u. BRÜMMER, 1991) in der organischen Substanz und in schlecht kristallinen Eisenoxiden an (HILLER, 1991).

Bis auf Brandenburg liegen alle 3 Standorte in der Gehaltsklasse C und damit im optimalen Bereich. In Brandenburg ist wieder eine leichte Überversorgung zu verzeichnen. Der von Brümmer verzeichnete Schwellenwert von 4,5 pH-Wert wird auf keiner Fläche erreicht.

Ø Mobile Zinkgehalte

Ähnlich wie Kupfer liegt die optimale Zinkversorgung bei Werten zwischen 1,1 – 3,0 mg/kg TS. Bereits der Gesamtgehalt an Zink, nach Königswasserauszug erwies sich als sehr hoch, beim mobilen Anteil ist, bis auf in NRW, auch eine Überversorgung zu verzeichnen. Die Mobilität von Zink kann eingeschränkt werden zum einen durch hohe pH-Werte (> 6,0) und hohe Phosphatgehalte. Hohe pH-Werte könnten in NRW zu einer Immobilisierung geführt haben.

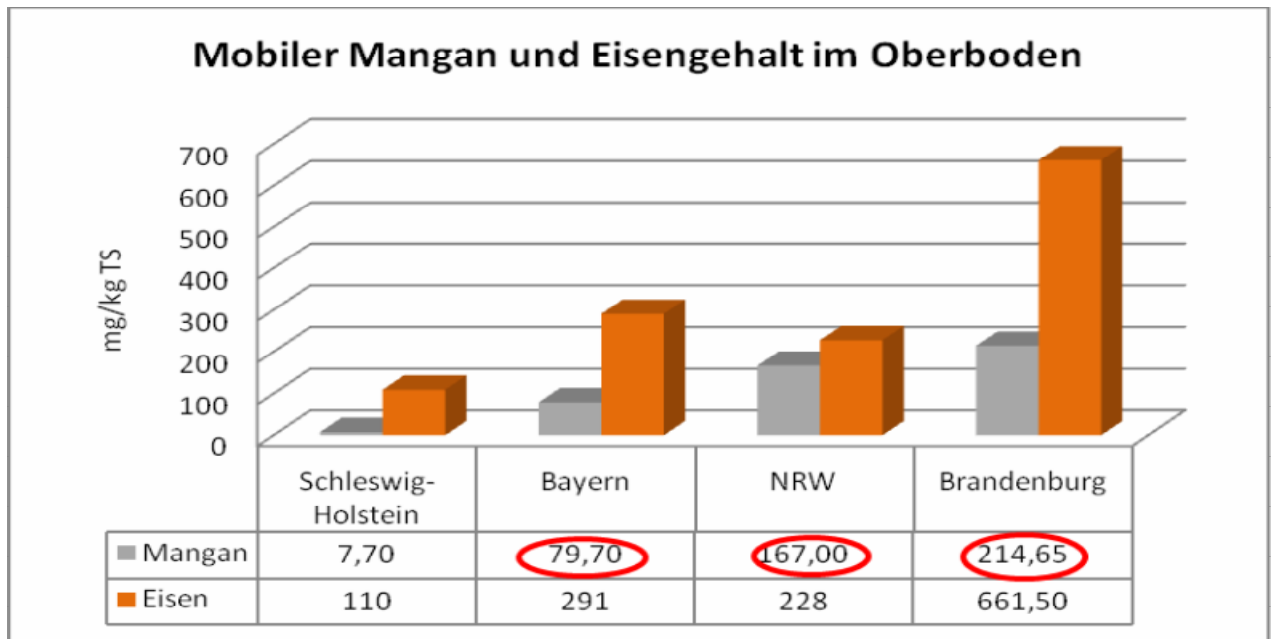


Abbildung 24: Mobiler Mangan- und Eisengehalt im Boden (rot eingekreist sind die Werte die über der Gehaltsklasse C liegen)

Ø Mobiler Mangan und Eisengehalt

Die Spanne für ein optimales Manganangebot ist recht groß und liegt zwischen 3 mg/kg TS bei reinen Sandböden bis 60 mg/kg TS bei stark tonigen Böden. Auch für Mangan wurden Gehaltsklassen bestimmt und daraus lässt sich bei allen Standorten eine ausreichende Versorgung, bis hin zu einer Überversorgung erkennen. Dieser hohe Mangangehalt muss allerdings auch in Zusammenhang mit anderen Spurenelementen gebracht werden, da er oftmals als Antagonist insbesondere gegenüber dem Kobalt und Nickel auftreten kann. Das Eisenangebot ist nicht mehr klassifiziert, da der Gehalt an Eisen im Boden in der Regel um ein vielfaches höher als notwendig für die Pflanzen ist. Bei beiden Elementen spielt nicht nur der pH-Wert, sondern auch der Sauerstoffgehalt hinsichtlich der Verfügbarkeit eine wichtige Rolle. Beide Elemente, Eisen und Mangan sind zum Wechsel des Redoxzustands befähigt, so dass in durchlüfteten Böden die chemische Löslichkeit so gering sein kann, dass ein ausreichendes Angebot an der Wurzeloberfläche nicht mehr besteht.

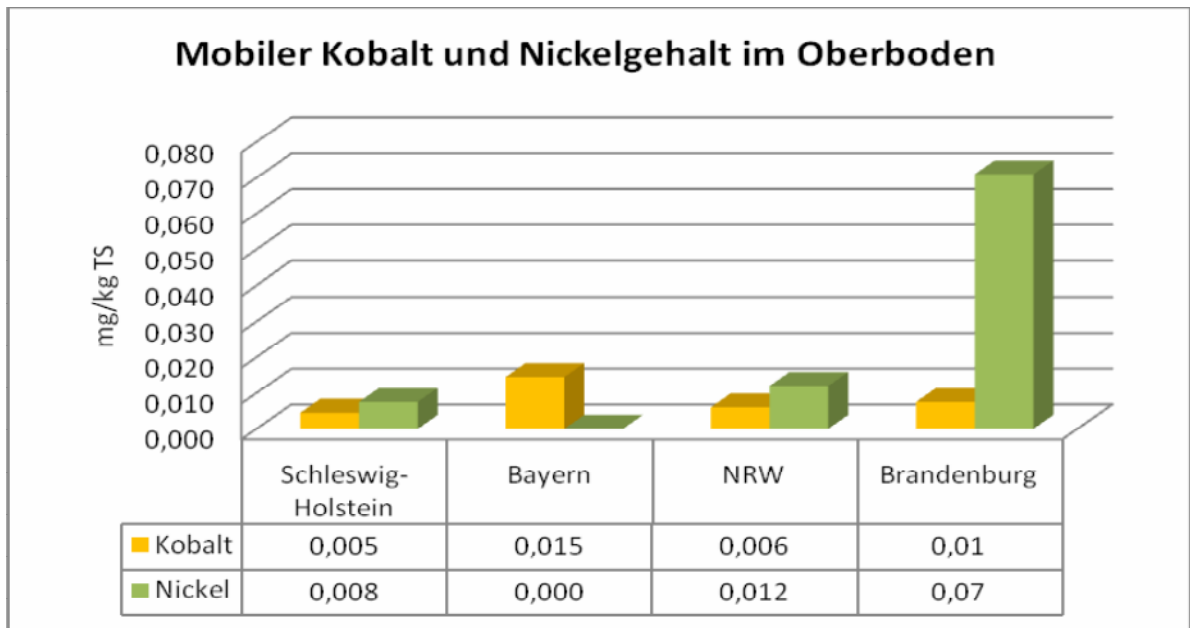


Abbildung 25: Mobiler Kobalt und Nickelgehalt im Oberboden

Ø Mobiler Kobalt und Nickelgehalt

Für Kobalt, Nickel, Selen und Eisen gibt es keine Einstufungen in Gehaltsklassen. Daher kann in dieser Hinsicht auch keine Beurteilung erfolgen. Ebenso wie Kobalt wird Nickel oftmals durch einen hohen Eisen- und Manganoxidanteil demobilisiert (HILLER, 1991). Hohe Anteile von Eisen- und Manganoxiden befinden sich in den Böden am Standort Brandenburg.

Das könnte die geringe Verfügbarkeit von Kobalt erklären, gegenüber den vergleichsweise hohen Gesamtgehalten an Kobalt an diesem Standort. Nur 0,19 % Anteil hat der mobile Kobaltgehalt gegenüber dem Gesamtgehalt am Standort Brandenburg, während in Bayern der Anteil fast 5 % beträgt.

Eine Erklärung bietet vielleicht der relativ hohe Anteil an Mangan im Oberboden in Brandenburg. Manganoxide können Kobalt immobilisieren. Auch für Kobalt gilt eine Erhöhung der Mobilität im sauren Bereich, welches auch einen Auswaschungsprozess begünstigt und somit oftmals im Unterboden zu einer Anreicherung kommen kann und damit für die Pflanzenaufnahme unerreichbar wird (STEMME, 2002).

Veranschaulicht durch die Abbildung 16 wird genau diese Situation mit Ausnahme von Brandenburg.

Nach Hiller wird besonders Kobalt und Nickel an Eisen- und Manganoxiden (Konkretionen und Rostflecke) bei Mikrosondenmessungen nachgewiesen (HILLER, 1991).

Ø **Mobiler Molybdän und Selengehalt**

Molybdän und Selen sind überall so gering vorhanden, das es bei allen Messungen unter der Nachweisgrenze liegt.

Ø **Prozentualer Anteil der mobilen Spurenelemente am Gesamtgehalt**

Kupfer und Zink zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Mobilitätsraten aus. Diese müssen natürlich immer im Zusammenhang mit dem Gesamtangebot gesehen werden. Da z. B. der Gesamtgehalt an Eisen um ein vielfaches höher liegt als bei allen anderen Elementen, ist auch der mobile quantitative Anteil trotz seiner relativ geringen prozentualen Anteil am Gesamtgehalt (1,18 – bis 1,47 %) um einiges höher als z. B. beim Kupfer. Vergleicht man die einzelnen Standorte, so scheint der Standort in NRW die geringsten Bindungskräfte für die einzelnen Spurenelemente aufzuweisen (Ausnahme bei Kobalt). Eine Ursache hierfür könnte in den vergleichweisen geringen Humuswerten liegen, das würde auch die eher geringe Mobilität der meisten Elemente in Bayern erklären, da hier im Ap-Horizont die höchsten Kohlenstoffgehalte nachgewiesen werden. Die günstigsten Wetterverhältnisse, sprich ausreichend Niederschlag während der ganzen Vegetationsperiode am Standort NRW, haben sicher auch erheblichen Anteil an der hohen Mobilität am Standort in NRW.

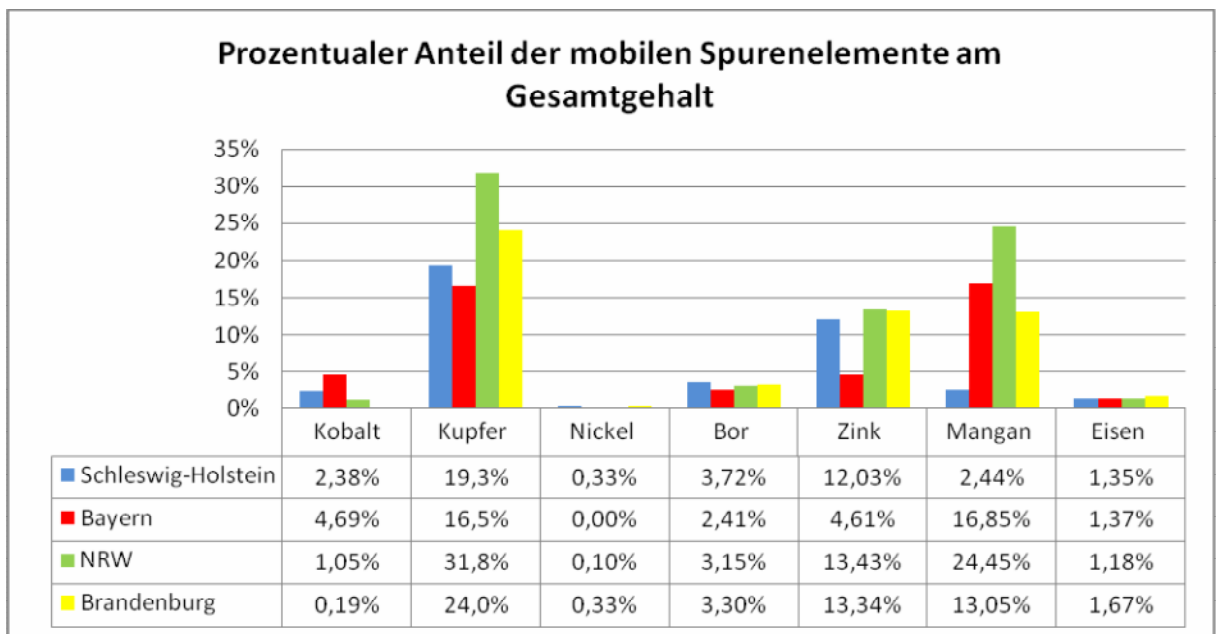


Abbildung 26: Prozentualer Anteil der mobilen Spurenelemente am Gesamtgehalt im Oberboden

II.1.9 Spurenelementgehalte in der Maissilage

Spurenelemente übernehmen in der Pflanze eine Vielzahl an Funktionen, in erster Linie sind sie Bestandteile von Enzymen im katalytischen Zentrum (Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Nickel und Zink) (BUNDESARBEITSKREIS DÜNGUNG, 2007). Desweiteren können sie Bestandteil der Zellwand oder Zellmembran sein (Bor und Zink) oder übernehmen eine Funktion in der Samenbildung und Keimfähigkeit (Bor, Kupfer, Mangan und Zink) oder der Chlorophyllbildung. In den meisten Fällen spielen Wurzelwachstum und Wurzeloberfläche eine entscheidende Rolle für die Aufnahme von Spurenelementen. Eine Spurenelementversorgung kann aber auch durchaus über das Blatt erfolgen („Blattapplikation“).

In der Regel gilt Mais als Pflanze mit einer besonders hohen Empfindlichkeit gegenüber Zinkmangel. Diese wird meist durch eine Blattdüngung versucht auszugleichen. Leichterem Böden wird oftmals ein Bormangel in Bezug auf Mais nachgesagt und dieser wird meist über eine Bodendüngung kompensiert. Mangan- und Kupfermangel können am Mais auch sichtbare Symptome wie gelbgrüne chlorotische Streifen oder gelbgrüne Verfärbung der jüngeren Blätter hervorrufen. Diese Symptome wurden auf den 4 Versuchsflächen nicht vorgefunden. Es kommt auch an keinem Untersuchungsstandort zu einer Mangelsituation, im Gegenteil, oftmals haben wir sogar eine Überversorgung (vgl. Tabelle 11).

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden Analysen der Maissilagen durchgeführt, die nachfolgend verwendeten Ergebnisse beziehen sich über einen Zeitraum von einem Jahr (Eingangsanalytik April 2009 bis April 2010) (8 Analysen der Maissilage) (Tabelle 42 bis 45) und dienen hier als Grundlage zur Ermittlung des Median für den Gehalt an Spurenelementen in der Maissilage. Für die Elemente Selen und Molybdän wurde kein Medianwert ausgerechnet, da die Werte oft unterhalb der Nachweisgrenze lagen und so nicht repräsentativ sind.

[mg/kg/ TS]	Bor	Kobalt	Kupfer	Nickel	Zink	Mangan	Eisen
N: 8	P50	P50	P50	P50	P50	P50	P50
Schleswig-Holstein	10,25	0,1	3,09	0,203	21,9	32,5	32,5
Bayern	7,75	0,075	3,975	0,215	21,3	34,75	34,75
NRW	10,35	0,1	2,73	0,3395	20,9	21,9	57,2
Brandenburg	15,3	0,1	4,06	0,515	36,2	35	740

Tabelle 13: Spurenelementgehalt in Maissilage in [mg/kg TS] Median 50 (P50)

Insgesamt sind die ermittelten Spurenelementgehalte in der Maissilage als niedrig einzustufen. Diese Aussage bezieht sich zum einen auf den Vergleich zwischen Spurenelementangebot aus dem Boden in Bezug auf die Maissilage, dem Transferfaktor (VGL KAPITEL II.1.10), als auch im Vergleich zum Gesamtgehalt der Spurenelemente im Mais mit den Gehalten in anderen Energiepflanzen. Dazu wurden die eigenen Analysewerte mit denen aus der TRANSFER-Datenbank abgeglichen.

Die Daten aus der TRANSFER-Datenbank (Tabelle 14) stammen aus Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) von Versuchsflächen des Bundessortenamtes und wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA, 2008) von Schnug (SCHNUG, 2004) durchgeführt.

Im Vergleich zur Datenerhebung des Umweltbundesamtes liegen die von uns gemessenen Werte beim Bor deutlich über den Werten der TRANSFER-Datenbank, vergleichbar mit den Werten die bei der Zuckerrübe gemessen wurde. Hingegen bei Nickel leicht darunter. Kupfer und Zink sind vergleichbar, die Kobaltwerte liegen mit 0,1 [mg/kg TS] über dem vierfachen Wert (0,025 [mg/kg TS] Körnermais Korn; 0,028 [mg/kg TS] Silomais Häcksel). Eine Erklärung hierfür muss offen gelassen werden. Für Mangan und Eisen liegen keine Daten bei der TRANSFER-Datenbank vor. Für Selen liegen auch der Datenbank nur wenige Vergleichswerte vor.

Aus der Gegenüberstellung der Stoffkonzentrationen (TRANSFER-Datenbank) einzelner Pflanzen: **Mais, Zuckerrübe und Grünland**, wird deutlich, dass das Grünland überall höhere Konzentrationen aufweist, als der Mais oder die Zuckerrübe. Leider liegen keine Aussagen über weitere Energiepflanzen wie: „durchwachsende Silphie, Hirse, Chinaschilfe, etc. vor.

In einer Publikation der bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Bayerische Landesanstalt, 2007) zu Mineralstoffen im Grünland kommt man u.a. zu dem Ergebnis, dass **leguminosenreiche Wiesen** höhere Konzentrationen an Spurenelementen aufweisen, als grasreiche Bestände und das mit steigendem Verlust der Blattmasse sich der Gehalt an Spurenelementen verringert. Ein frühzeitiger Schnitt führt meist auch zu höheren Spurenelementgehalten.

Die vergleichsweise hohen Spurenelementgehalte in der Grassilage lässt die Frage aufwerfen, ob Fermentation mit Grassilage zur Verbesserung der Monofermentation mit Maissilage aufgrund höherer Spurenelementgehalte beitragen könnte und in welchen Verhältnis dies zu erreichen wäre. Um eine Antwort auf diese Frage liefern zu können, müssten die Schwellenwerte bei der Vergärung bekannt sein.

Generell könnte sich hier ein Forschungsfeld auftun, welches Energiepflanzen nicht nur unter dem Aspekt der Biomasseerträge, sondern auch der Spurenelementgehalte betrachtet, um so zu einer Optimierung der Biogaserzeugung zu gelangen.

Stoff	Pflanzenteil Anbautyp	N	P10	P50	P90	Quelle Konzentrationswert
			[mg/kg TS]	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]	
Bor	Körnermais Korn	20	3,4	3,4	3,4	SCHNUG et. al. (2004)
Bor	Silomais Häcksel	24	2,2	3,6	4,7	SCHNUG et. al. (2004)
Bor	Zuckerrübe	30	9,4	10	11	SCHNUG et. al. (2004)
Kobalt	Körnermais Korn	20	0,025	0,025	0,3	SCHNUG et. al. (2004)
Kobalt	Silomais Häcksel	24	0,025	0,028	0,115	SCHNUG et. al. (2004)
Kobalt	Zuckerrübe	30	0,03	0,065	0,254	SCHNUG et. al. (2004)
Kobalt	Grünland	55		0,1		SCHNUG et. al. (2004)
Kupfer	Körnermais Korn	20	1,6	1,6	2,1	SCHNUG et. al. (2004)
Kupfer	Silomais Häcksel	24	1,6	3,5	5,2	SCHNUG et. al. (2004)
Kupfer	Zuckerrübe	30	1,8	3,9	4,6	
Kupfer	Grünland	55		6,2		
Molybdän	Körnermais Korn	20	0,14	0,2	0,38	SCHNUG et. al. (2004)
Molybdän	Silomais Häcksel	24	0,14	0,28	0,64	SCHNUG et. al. (2004)
Molybdän	Zuckerrübe	30	0,02	0,03	0,12	SCHNUG et. al. (2004)
Nickel	Körnermais Korn	20	0,28	0,55	0,87	SCHNUG et. al. (2004)
Nickel	Silomais Häcksel	24	0,38	0,58	0,96	SCHNUG et. al. (2004)
Nickel	Zuckerrübe	30	0,59	0,8	1,3	SCHNUG et. al. (2004)
Nickel	Grünland	55	0,364	0,91	2,4	SCHNUG et. al. (2004)
Selen	Körnermais Korn			0,137		Mittelwert für essbaren Anteil nach SOUCI et al. (2000)
Zink	Körnermais Korn	20	15	19	24	SCHNUG et. al. (2004)
Zink	Silomais Häcksel	24	12	19	31	SCHNUG et. al. (2004)
Zink	Zuckerrübe	30	9,8	12	26	SCHNUG et. al. (2004)
Zink	Grünland	55	34,68	49,5	91	SCHNUG et. al. (2004)

Tabelle 14: Stoffkonzentrationen im Erntegut aus Datenerhebung für eine TRANSFER-Datenbank für Ackerflächen des Umweltbundesamt

[mg/kg/ TS]	Bor	Kobalt	Kupfer	Nickel	Zink	Mangan	Eisen
N: 8	P50	P50	P50	P50	P50	P50	P50
Schleswig-Holstein	10,25	0,1	3,09	0,203	21,9	32,5	32,5
Bayern	7,75	0,075	3,975	0,215	21,3	34,75	34,75
NRW	10,35	0,1	2,73	0,3395	20,9	21,9	57,2
Brandenburg	15,3	0,1	4,06	0,515	36,2	35	740

(Rot: höher als der Vergleichswert, grün gleich Vergleichswert, orange unter Vergleichswert)

Tabelle 15: Spurenelementgehalte in der Maissilage an den 4 Untersuchungsstandorten im Vergleich mit der TRANSFER-Datenbank

II.1.10 Boden-Pflanze-Pfad

Als eine möglich Maßzahl für den von der Pflanze (hier Mais) dem Boden entnommen Anteil eines Elementes kann man „Transferfaktoren“ berechnen. Als „Transferfaktor“ wird der Quotient aus dem Gesamtgehaltes [mg/kg TS] eines Elementes in der Pflanze und dem Gesamtgehalt (Königswasserauszug) im Boden bezeichnet (LÜBBEN u. SAUERBECK, 1991). Ist der Transferfaktor größer als 1 (>1), findet eine Akkumulation des entsprechenden Elements in der Pflanze statt. Bei Indikatoren sind die Spurenelementaufnahme und -Transport so reguliert, daß innere Pflanzengehalte äußere Bodengehalte reflektieren ($TF_{BP} \text{ hier} = 1$). Die Indikatoren weisen also Spurenelementgehalte direkt proportional zu Bodengehalten auf, das heißt es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Boden- und Pflanzengehalten. Als Exkluder bezeichnet man Pflanzen, deren $TF_{BP} < 1$ ist (DORN, 1999). Hier liegen die Pflanzengehalte deutlich unter den Bodengehalten, weil der Substanzaufnahme wirksame Barrieren entgegenstehen.

Ø Der Transferfaktor Boden-Pflanze

Von Lübben und Sauerbeck (LÜBBEN u. SAUERBECK, 1991) wurden für zahlreiche Pflanzenarten und -teile Transferfaktoren zusammengestellt. Die für Kupfer und Nickel angegebenen Werte liegen zwischen 0,1-1,0, für Cadmium und Zink zwischen 1-10. Bruß hat in ihrer Dissertation für Selen Werte von 0,1 – 0,9 ermittelt (BRUß, 1968).

Begründet werden die unterschiedlichen Transferfaktoren über die unterschiedliche feste Bindung im Boden.

Grün et al. (1994) geben für

- Cadmium und Zink eine hohe Mobilität und damit auch Pflanzenverfügbarkeit an,
- gefolgt von Kupfer und Nickel,
- während Chrom, Quecksilber und Blei im Boden festere Bindungen eingehen (GRÜN et al., 1994).

Diese allgemein gehaltenen Aussagen spiegeln sich nicht unbedingt den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wieder.

	Kobalt	Kupfer	Nickel	Bor	Zink	Mangan	Eisen
Schleswig-Holstein	0,48	0,54	0,083	1,19	0,6	0,10	0,0040
Bayern	0,23	0,33	0,012	0,41	0,4	0,07	0,0016
NRW	0,18	0,29	0,028	0,63	0,3	0,03	0,0030
Brandenburg	0,02	0,23	0,025	0,54	0,5	0,02	0,0187

Tabelle 16: Transferfaktor Boden-Pflanze (Mais)

Die von uns ermittelten Werte weisen bis auf eine Ausnahme einen Transferfaktor auf, der z.T. sehr deutlich unter 1 liegt. Damit kann man Mais auch als einen **Exkluder** für die aufgelisteten Spurenelemente **Kobalt, Kupfer, Nickel, Zink, Mangan, Eisen** und teilweise auch für Bor bezeichnen. Baker betrachtet nicht nur die ganze Pflanze, sondern auch einzelne Pflanzenorgane und unterscheidet das Aneignungsvermögen für Schadstoffe, danach zählt der Maiskolben zu den Exkludern, der Maisstengel zu den Indikatoren (BAKER, 1981). Vegetative Pflanzenteile (z.B. Blätter, Stengel) weisen meist ohnehin höhere Metallgehalte auf als generative Pflanzenteile (z.B. Getreidekorn, Kolben) und Speicherorgane (Radieschen, Möhren) (LÜBBEN u. SAUERBECK, 1991, SAUERBECK 1989).

Ø Transferfaktor am Beispiel Nickel

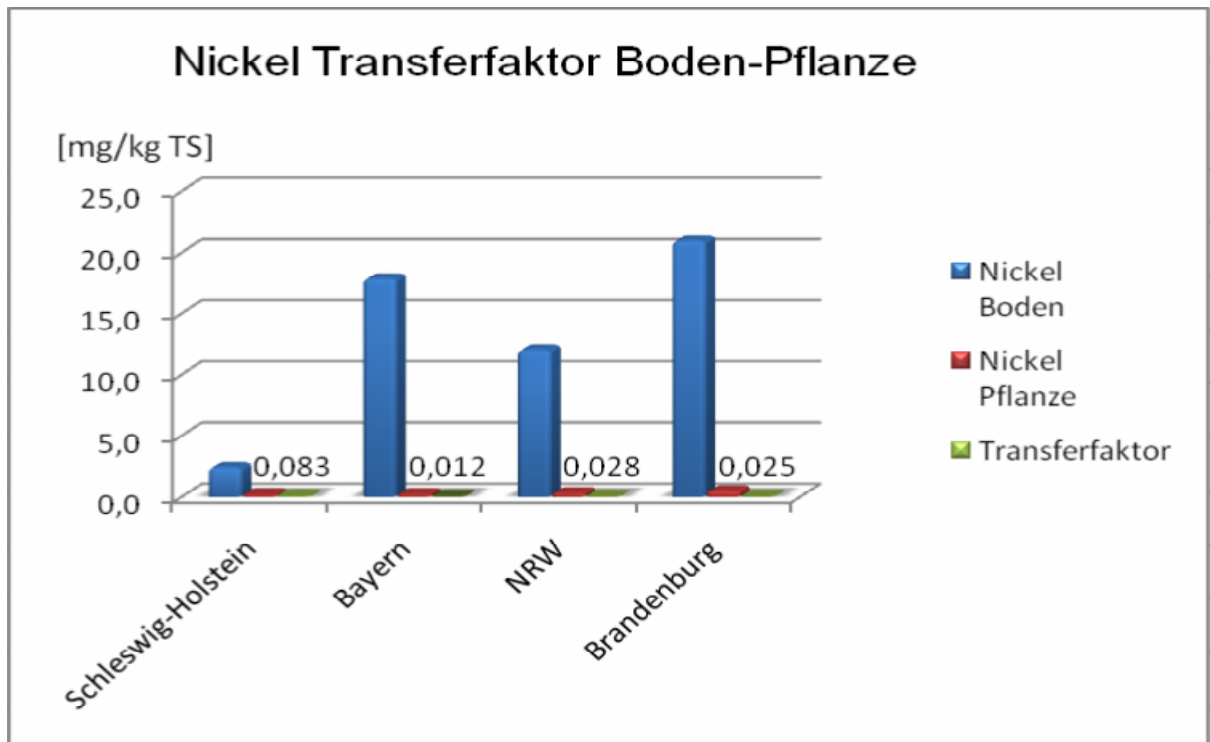


Abbildung 27: Nickel Transferfaktor Boden-Pflanze

Zu den gleichen Ergebnis kommen Metz, Böcken und Hoffmann in bezug auf die Cadmiumaufnahme (METZ, BÖKEN u. HOFFMANN, 2000). Happel und Seubert bezeichnen den Mais zusammen mit Weizen als Aluminium-Exkluder (HAPPEL u. SEUBERT, 2005). Eine Erklärung für diese Aussagen findet sich u.a. bei Gransee (GRANSEE et al., 2000). Er sieht die variierende Schwermetallakkumulation verschiedener Pflanzen in Beziehung mit der Wurzelausscheidung (Exsudation) und damit einhergehende unterschiedliche Mobilisierungswirkung. Die kaltlöslichen Wurzelabscheidungen der Maispflanze zeichnen sich bei seiner Untersuchung durch Carbonsäure und niedrigeren Zuckeranteil aus. Jüngere Maispflanzen gaben zudem höhere Mengen ab, als ältere Pflanzen. Wenzel bestätigt diese Aussage, bei Exkludern wurde hauptsächlich Milchsäure, bei Hyperakkumulatoren hingegen v.a. Zitronensäure gefunden (WENZEL, 2001). „Es wird vermutet, dass die Milchsäure eine wichtige Rolle bei der Detoxifizierung und Verringerung der Bioverfügbarkeit von **Nickel** spielt. Die Zitronensäure hingegen könnte einen wichtigen Beitrag zur Mobilisierung von schwerlöslichen Nickel leisten.“

Das spiegelt sich auch in der Abbildung 27 wieder, wo der Transferfaktor für Nickel sehr gering ist. Eine geringe Ni-Akkumulation im Maiskorn bestätigen auch Schaller und Diez (SCHALLER u. DIEZ, 1991).

Hingegen stellt z.B. Weidelgras ein Ni-Akkumulator da. Auch bei einem durch LWK Schleswig-Holstein durchgeführten Mikronährstoff-Monitoring auf Ackerstandorten (2004 und 2005) kam man zu dem Ergebnis, dass kaum Zusammenhänge zwischen Bodenversorgung und Pflanzengehalten festzustellen waren, am wenigsten bei Bor. Zu den zu untersuchenden Kulturen zählte außer Mais auch noch Raps, Weizen und Zuckerrübe. Die größten Zusammenhänge ergaben sich beim Zink im Weizen.

Ø Transferfaktor am Beispiel Bor

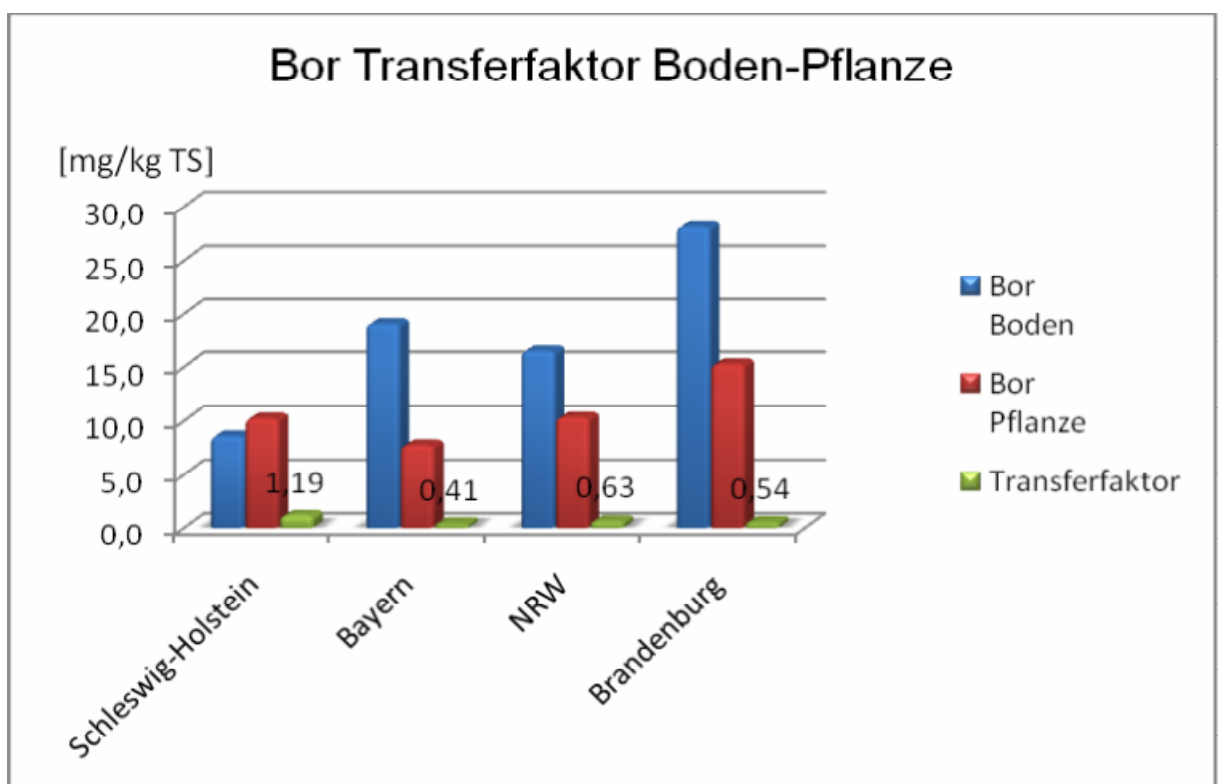


Abbildung 28: Bor Transferfaktor Boden-Pflanze

Bor wird in der Pflanze ausschließlich in den wasserleitenden Gefäßen transportiert und mit nachlassender Transpiration nur noch relativ schwach zu den Zielorganen verlagert. Daher wird bei Bormangel auch meist eine Blattdüngung und keine Bodendüngung empfohlen (S. WEIMAR, Fachbereich Landwirtschaft, SLVA). Vielleicht liegt hier auch die Ursache für den einzigen Transferfaktor >1 beim Element **Bor** am Standort in Schleswig-Holstein: Boreinträge über Meeresluft.

Ø Transferfaktor am Beispiel Zink

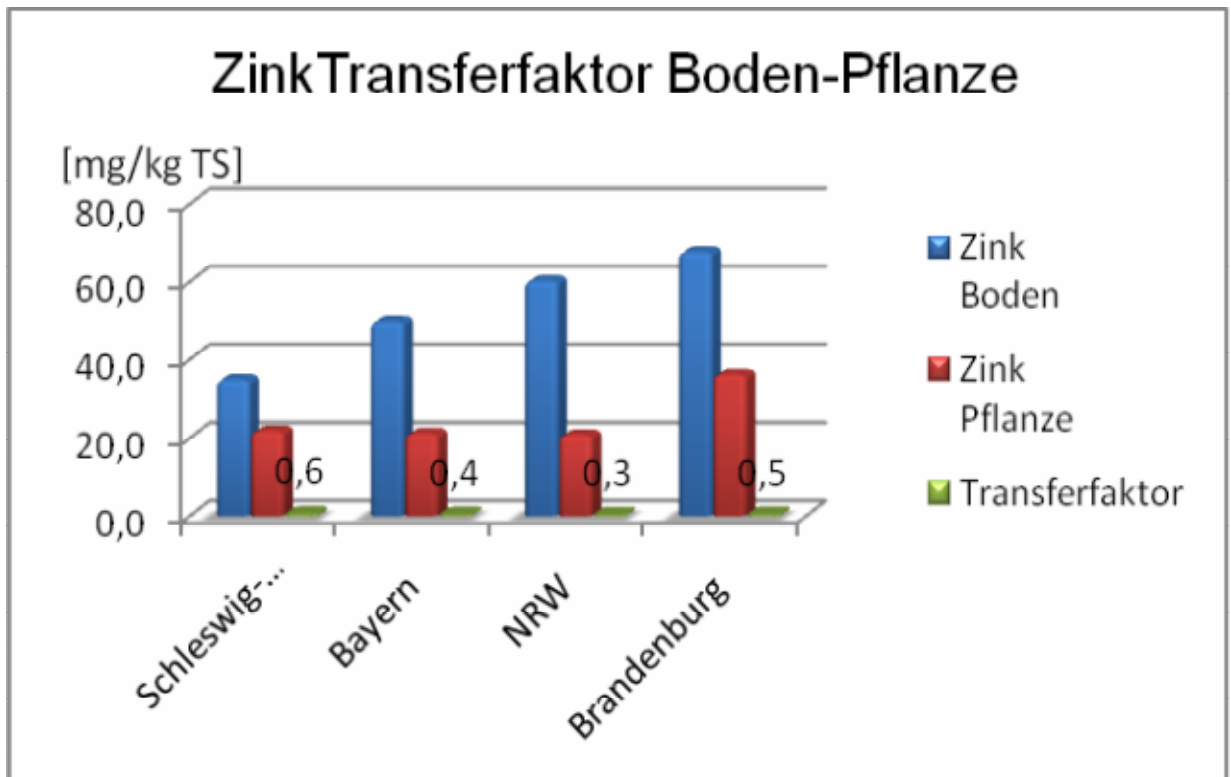


Abbildung 29: Zink Transferfaktor Boden-Pflanze

Beim Mais kann eine Absorption des Spurenelements Zink über das Blatt so gut wie ausgeschlossen werden. Die relativ niedrigen Zinkwerte in der Maissilage zeichnen nicht die hohen Einträge durch die Blattdüngung wider (Schleswig-Holstein) (Abbildung 29).

Generell gilt, dass monokotyle (einkeimblättrige) Pflanzen weniger Spurenelemente aufnehmen als dikotyle (zweikeimblättrige) (GERKE, 1995). Zu den einkeimblättrigen Pflanzen zählen Gräser, also auch der Mais, Getreide, Hirse, Chinaschilf.

Unter den Getreidearten gibt es auch ein artspezifisch differenziertes Aufnahmeverhalten, wobei Weizen gegenüber Hafer, Roggen, Gerste und Mais zu den stärker anreichernden Pflanzen (insbesondere bei Cadmium und Zink) zu zählen ist (DELSCHEN, 1989).

II.1.11 Einfluss der Düngung auf den Spurenelementgehalt in der Maissilage

Eine überdurchschnittliche Versorgung mit Spurenelemente kennzeichnet besonders den Standort in Brandenburg, sowohl im Gesamtgehalt, als auch in Bezug auf den mobilen, pflanzenverfügbaren Anteil. Für fast alle Elemente wird hier die mittlere Gehaltsklasse „C“ überschritten, so dass hier keine zusätzliche Düngung empfohlen werden kann. Trotz dieser ausreichenden Versorgung, kommt es in der Pflanze Mais zu keinerlei Anreicherung. Wie bereits im Kap. II.1.10 Boden-Pflanzepfad erläutert, handelt es sich bei Mais um einen Exkluder. Daher kann man eine zusätzliche Bodendüngung zur Erhöhung der Spurenelementgehalte in der Maispflanze für die Elemente: **Kobalt, Nickel, Zink, Kupfer, Mangan und Eisen** so gut wie ausschließen. Mehrjährige gezielte Düngeversuche müssten folgen, um eine 100% Aussage treffen zu können.

Aufgrund zu geringer **Selen- und Molybdängehalte** im Boden und in der Maissilage, meist unter der Nachweisgrenze, konnten keine verbindlichen Aussagen über den Transferfaktor getroffen werden. Da auch keine Düngungen, weder Boden, noch Blattdüngung mit den entsprechenden Spurenelementen erfolgten, kann in diesem Fall nur auf ältere Literatur zurückgegriffen werden:

Versuche zur Düngung von Mais mit **Selen** (Unterfußdüngung) durch den Auftragsversuch der Vereinigten Kreidewerke Dammann KG an die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2007) ergaben zwar keine Ertragsunterschiede, jedoch einen deutlichen Anstieg der Selengehalte in der Maispflanze von deutlich unter 0,05 mg Selen/kg TS auf 0,19 mg/kg TS. Da jedoch die Grenzen zwischen Selenmangel und Selentoxizität sehr eng beieinander liegen, birgt eine Selendüngung auch immer ein sehr großes Risiko.

Auch erste Versuche der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) ergaben bei Exaktversuchen im Allgäuer Grünland, dass sich mit Einsatz von selenhaltigen Düngern ein Effekt bezüglich der Anreicherung im Grünland nur bei mehrmaligen Düngegaben feststellen ließ.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben, erfolgten nur am Standort in Schleswig-Holstein eine **Mikronähstoffdüngung (Blattdüngung)** und damit ein direkter Eintrag von Spurenelementen, in diesem Falle dem **Zink**. Laut Hersteller enthält der Mehrnährstoff-Blattdünger 440 g/l P_2O_5 , 75 g/l K_2O , 67 l/g MgO und 46 g/l Zink. Die hohen Einträge durch die Blattdüngung spiegeln (Schleswig-Holstein) sich nicht in der Maissilage wieder (Abbildung 29). Eine Absorption des Spurenelements Zink über das Blatt kann somit hier ausgeschlossen werden und somit eine Blattdüngung zur Erhöhung der Zinkgehalte in der Maissilage ausgeschlossen werden kann. Ob dies auch für die übrigen Spurenelemente gilt, bleibt offen und müsste überprüft werden

II.1.12 Zusammenfassung der bodenkundlichen und düngewirtschaftlichen Untersuchungen

Die Ursache für den Rückgang der Biogasausbeute bei der Monofermentation von Maissilagen wird in dem geringen Angebot an Spurenelementen vermutet. Unterschiedliche Bedarfs/Schwellenwerte von unterschiedlichen Spurenelementen die für die Fermentation benötigt werden wie: „Kobalt, Nickel, Zink, Selen und Molybdän“ werden in der Literatur seit ca. 1 Jahr veröffentlicht (siehe Punkt I.4)

Obwohl der genaue Bedarf an Spurenelementen bei der Monofermentation nicht wissenschaftlich belegt ist, kommt es zum Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. Hier kann es zu einer Überversorgung kommen, es ist noch unklar wie die Bioverfügbarkeit im flüssigen Gärmedium aussieht. Die Spanne zwischen Bedarfs/Schwellenwert und Toxizität, bzw. evtl. auch die Wirkung als Hemmstoff, kann sehr nahe beieinander liegen. Es besteht also akuter Forschungs- und Handlungsbedarf.

Wo setzt der Mangel der Nährstoff- bzw. Spurenelementversorgung an und wie kann er behoben werden? Welche Rolle spielt der Boden-Pflanze-Pfad von Spurenelementen beim Mais, gibt es praxisnahe Lösungen und welche Alternative können zu den bisher zum Teil recht teuren Hilfsmittleinsatz eingesetzt werden? Könnte präventiv eine Düngung der Maiskultur zum gewünschten Erfolg führen? Diese Fragen standen am Anfang des Vorhabens.

Die Auswahl der zu untersuchenden Standorte weist ein breites Spektrum der Pedo-Landschaften in der Bundesrepublik Deutschland auf, von den basisarmen Geestböden in Schleswig-Holstein bis zu den fruchtbaren Auelehmböden in Brandenburg. Das spiegelte sich auch bei den Ergebnissen der Bodenanalysen einzelner Spurenelementen wider. Besonders der Standort in Brandenburg war durch eine Überversorgung von Spurenelementen im Boden gekennzeichnet. Die Untersuchungen ergaben am Standort Brandenburg deutlich höhere Gehalte an Zink, Kupfer und Nickel als die Hintergrundwerte vorgaben (vgl. Tabelle 8). Hohe Spurenelementgehalte konnten auch am Standort in Bayern verzeichnet werden und vergleichsweise niedrige Gehalte am Standort Schleswig-Holstein. Auch der mobile pflanzenverfügbare Anteil an Spurenelementen lag in der Regel über der mittleren Gehaltsklasse.

Die Spurenelementgesamtgehalte, als auch die pflanzenverfügbaren Anteile waren im Boden also mehr als ausreichend für die Energiepflanze Mais vorrätig.

Die Auswertung des Boden-Pflanze-Pfads ergab, dass der **Transferfaktor beim Mais** (Quotient aus Spurenelementgehalt [mg/kg TS] der Pflanze und im Boden (LÜBBEN u. SAUERBECK, 1991), mit Ausnahme von **Bor** am Standort in Schleswig-Holstein, überall sonst weit < 1 lag.

Die Begründung für den Spurenelementemangel bei der Monovergärung mit Mais, ist also in der Energiepflanze Mais selber zu suchen. Aufgrund des niedrigen Transferfaktors, bezeichnet man Mais als **Exkluder**. Das wurde auch an anderer Stelle in der Literatur für die Elemente Aluminium und Cadmium bestätigt (HAPPEL u. SEUBERT, 2005), (METZ, BÖKEN u. HOFFMANN, 2000). Zeigerpflanzen würden einen Transferfaktor von 1, Akkumulatoren einen Transferfaktor >1 aufweisen. Generell gilt für Gramineen ein vermindertes Aufnahmeleistungsvermögen von Spurenelementen (WENZEL, 2001).

Die Ursachen sind vermutlich an der Art der Wurzelexsudation von Mais zu suchen, dass ergaben die Literaturrecherchen. Bei der Wurzelexsudation von Mais handelt es sich um die relativ schwache Milchsäure, während Pflanzen mit kumulativen Eigenschaften oftmals Zitronensäure ausscheiden können und damit die Mobilität der Spurenelemente im Boden erhöhen. Hinzu kommt, dass vermutlich Milchsäure **Nickel** immobilisiert (WENZEL, 2001).

Vergleicht man die vorliegenden Untersuchungsergebnisse von Mais mit Spurenelementgehalten anderer landwirtschaftlicher Nutzpflanzen, hier Daten aus der Stoffdatenbank, (SCHNUG, 2004), kommt man zu gleichen Ergebnissen. Danach bieten die Energiepflanzen Gras, Getreide und Zuckerrübe wesentlich günstigere Voraussetzungen in Bezug auf ihren Gesamtgehalt an Spurenelementen. Sicher spielen die im Jahr 2008 ungünstigen klimatischen Verhältnisse (Trockenstress) auch eine Rolle bei der Ermittlung des Transferfaktors, jedoch kam man am Standort in NRW mit ausreichender Wasserversorgung im Jahr 2008 zu den gleichen Aussagen.

Mais ist also nicht in der Lage, trotz ausreichendem Angebot von Spurenelementen im Boden, diese auch aufzunehmen.

Auch eine direkte **Bodendüngung** würde zu keiner Steigerung der Spurenelementgehalte in der Maispflanze führen, das widerspräche der Aussage, dass Mais ein Exkluder ist. Denn Spurenelemente im Boden, sowohl der Gesamtgehalt, als auch in mobiler, pflanzenverfügbarer Form führten zu keiner Erhöhung der Gehalte in der Pflanze. Nur für **Selen** findet man in der Literatur einen gegenteiligen Hinweis (LWK Niedersachsen, 2007, LfL Bayern 2008), der von uns, aufgrund der meist unter der Nachweisgrenze ermittelten Selengehalte nicht überprüft werden konnte.

Ob **Blattdüngung** zum gewünschten Erfolg führen kann wurde nicht explizit untersucht, jedoch kann auch hierfür eine Aussage getroffen werden. Am Standort in Schleswig-Holstein erfolgte eine Mikronähstoffdüngung (Blattdüngung) mit hohem Zinkgehalten. Mais gilt als eine Pflanze mit vergleichsweise hohem Zinkbedarf.

Eine Absorption des Spurenelements **Zink** über das Blatt konnte so gut wie ausgeschlossen werden.

Die relativ niedrigen Zinkwerte in der Maissilage zeichnen nicht die hohen Einträge durch die Blattdüngung wieder (Schleswig-Holstein Abbildung 29). Auch hier lag der Transferfaktor bei 0,6 (Boden/Pflanze).

Inwiefern diese Aussage für alle Elemente zutrifft kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden, da keine weitere Blattdüngung mit anderen Spurenelementen erfolgte, auch in der Literatur wurden keine weiteren Erkenntnisse darüber gefunden.

Sinnvolle Alternativen sind also nicht in der Düngung zu suchen, sondern möglicherweise in der Auswahl weiterer Energiepflanzen mit höheren Gehalten an Spurenelementen. Hierfür in Frage kämen wohl Grassilagen mit einem hohen Anteil an Klee gras (Leguminosen- und Wiesenkräuteranteil).

II.1.13 Material und Methoden der Fermentationsuntersuchungen

Die Arbeitsteilung der Verbundpartner war so konzipiert, dass die verfahrenstechnischen Versuche mit Betrieb der Laborfermenter durch BTN realisiert wurden.

Die bodenkundlichen und düngewirtschaftlichen Untersuchungen erfolgten durch Krieg & Fischer Ingenieure.

Ø Aufbau der Versuchsanlagen

Die Laborfermenter sind vollständig durchmischte Rührkessel mit einem Nutzvolumen von 8 Liter (Abbildung 30).

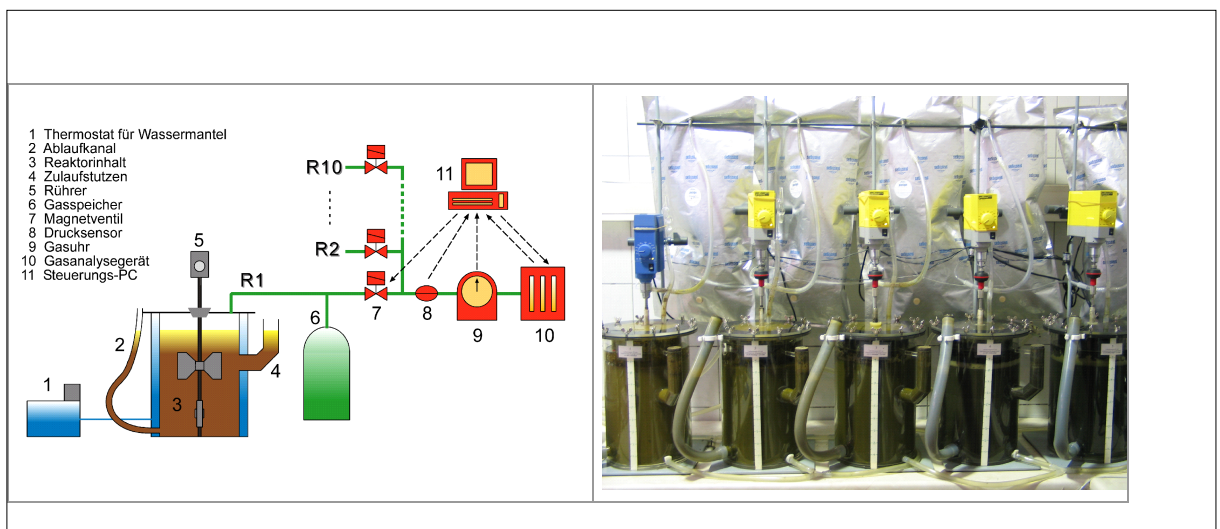


Abbildung 30: Schematische Darstellung und Foto der kontinuierlich betriebenen Laboranlage

Die Temperierung auf $37 \pm 1^\circ\text{C}$ (mesophiler Prozess) erfolgte über thermostatbeheizte Wassermäntel. Die Durchmischung der Fermenter wurde über zeitschaltuhrgesteuerte Rührwerke OST basic (Firma IKA, Staufen) mit Stahl-Rührstäben gewährleistet. Die Rührstäbe drehten sich frei in einer in den Fermenterinhalt eintauchenden Rührerhülse. In jeweils zwei unterschiedlichen Höhen sind doppelte Plexiglas-Rührblätter angebracht.

Die Substrate wurden an sechs Tagen je Woche einmal täglich über einen in halber Höhe angebrachten und in den Fermenterinhalt eintauchenden Zulaufstutzen zugegeben. Dazu wurde zuvor über einen Ablaufkanal aus Gummi Fermenterinhalt zum Anmischen des Substrates sowie für weitere Versuche bzw. Analysen entnommen. Von der Abnahmemenge wurde nach der Zugabe wieder so viel Ablauf in den Fermenter gegeben, dass sich der gleiche Volumenpegel wie zuvor einstellte.

Zur Erfassung der Gasmenge und –zusammensetzung des jeweils produzierten Biogases diente eine automatische, prozessgesteuerte Datenerfassung. Dazu wurde das Biogas für jeden Fermenter in einem Gasbeutel vor einem außerhalb der Messung geschlossenen Magnetventil gespeichert. Die Ausgänge aller 2/2-Wege-Klein-Magnetventile Typ 6013 (Fa. Bürkert, Ingelfingen) mündeten zusammen mit einem Drucksensor MPX 2010 DP (Fa. Conrad, Hirschau) über PVC-Schläuche in der Zuleitung zur Gasuhr. Der Ausgang dieses Trommelgaszählers TG 1/5 (Fa. Ritter, Bochum) führte wiederum zum Gasanalysegerät SMM 6000 (Fax, Pronova, Berlin). Ein PC-gesteuerter Microcontroller ermöglichte die zyklisch wiederkehrende Gasmengenerfassung wahlweise mit und ohne Gasanalyse in wählbaren Zeitabständen.

Ø Analytik

Parameter	Boden	Maissilagen	Fermenterinhalt
Trockensubstanz	DIN EN 12880	DIN EN 12880	DIN EN 12880
Organische Substanz	DIN EN 12879	DIN EN 12879	DIN EN 12879
Karbonsäuren (Fettsäuren)	-	DIN 38414-S19	DIN 38414-S19
Stickstoff Kjedadahl	DIN EN 25663	DIN EN 25663	DIN EN 25663
Ammonium-Stickstoff	DIN 38406-E5	DIN 38406-E5	DIN 38406-E5
pH-Wert	DIN ISO 10390	DIN ISO 10390	DIN EN 12176-S5
Cr	DIN ISO 11047	DIN EN 1233-E10	DIN EN 1233-E10
Mo	DIN ISO 11885	DIN ISO 11885	DIN ISO 11885
Mn	DIN ISO 11047	DIN 38406-E33/1	DIN 38406-E33/1
Fe	DIN 38406 -E32	DIN 38406- E32	DIN 38406 -E32
Co	DIN ISO 11047	DIN ISO 11047	DIN ISO 11047
Ni	DIN ISO 11047	DIN 38406-E11	DIN 38406-E11
Cu	DIN ISO 11047	DIN 38406 -E7	DIN 38406 -E7
Zn	DIN ISO 11047	DIN 38406- E8	DIN 38406- E8
B	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
Se	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
P ₂ O ₅	DIN 38414- S12	DIN 38414 -S12	DIN 38414 -S12
K ₂ O	DIN 38406-E13	DIN 38406-E13	DIN 38406-E13
MgO	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980
CaO	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980	DIN EN ISO 7980
Na ⁺	DIN 38406-E14	DIN 38406-E14	DIN 38406-E14
Schwefel	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885	DIN EN ISO 11885
TOC	DIN EN 13137	DIN EN 13137	DIN EN 13137
Königswasserextrakt	DIN ISO 11466	DIN EN 13346	DIN EN 13346

II.1.14 Ergebnisse und Diskussion der Fermentationsuntersuchungen

Ø Ausgangssituation

Die Laboranlagen wurden mit Fermenterablauf einer Kofermentationsanlage beimpft.

Die Einsatzstoffe der großtechnischen Biogasanlage (1.600 m³ Fermentervolumen) waren:

Rindergülle	13 m ³ /d
Maissilage	6,7 t/d
Grassilage	2,0 t/d
Getreide	0,7 t/d

Das Impfmateriale hatte folgende Zusammensetzung:

Parameter	Einheit	Messwert
TS	%	5,80
TOC	% TS	43,3
N _K	% OS	0,467
NH ₄ -N	% OS	0,312
P ₂ O ₅	% TS	0,092
MgO	% TS	1,07
CaO	% TS	2,76
Cr	mg/kg TS	> NWG
Mo	mg/kg TS	0,759
Mn	mg/kg TS	322
Fe	mg/kg TS	1.210
Co	mg/kg TS	< 0,1
Ni	mg/kg TS	7,36
Cu	mg/kg TS	197
Zn	mg/kg TS	189
B	mg/kg TS	205
Se	mg/kg TS	< 2,00
Schwefel	mg/kg TS	6.240
Na	mg/kg TS	246
K ₂ O	% TS	6,69

NWG: Nachweisgrenze

Tabelle 17: Zusammensetzung Impfmateriale

Die Anfangsdosierung Maissilage für die geplanten Belastungssteigerungsversuche waren bei 1,5 g oTS/l x d Raumbelastung folgende:

Nootbaar	26 g/d
Buchloe	30 g/d
Wiesenu	35 g/d
Ameln	32 g/d

Ø kinetische Parameter

Entsprechend ursprünglichem Arbeitsplan waren Belastungssteigerungsversuche bis zur Raumbelastung von 3,5 g oTS/l x d und gegebenenfalls darüber vorgesehen.

Bei Versuchen, die Raumbelastung über 1,5 g oTS/l x d zu steigern, übersäuerten die Fermenter wie in Abbildung 31 beispielhaft für Ameln dargestellt.

Versuche, durch Aussetzen der Dosierung die Fermenter zu stabilisieren, waren nicht erfolgreich.

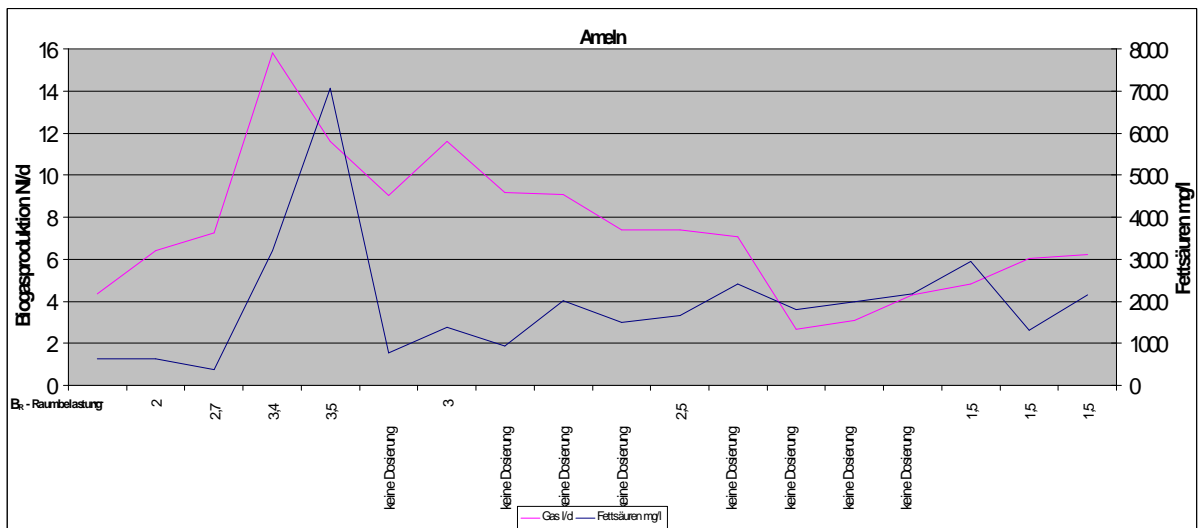


Abbildung 31: Ergebnis der Belastungssteigerung über 1,5 g oTS/l x d

Aus diesem Grund waren die Langzeituntersuchungen nur bei relativ geringen Raumbelastungen möglich. Der entsprechende Status der Spurenelementversorgung ist in Tabelle 18 zusammengestellt.

	Cr	Mo	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	B	Se
	mg/kg TS									
Nootbaar	12,5	3,9	181	1.100	0,70	12,5	120	166	29,0	1,9
Buchloe	7,83	2,6	198	936	0,46	9,16	94,0	130	34,7	2,0
Wiesenau	8,95	2,3	207	1.970	0,47	7,63	94,1	138	26,4	1,8
Ameln	13,2	4,1	173	1.060	0,55	14,0	105	151	32,0	2,1

Tabelle 18: Spurenelementstatus zum Zeitpunkt des Beginns der kontinuierlichen Dosierung

Zumindest für Molybdän und Kobalt ist vergleichend zum Impfmaterialein Konzentrationsanstieg zu verzeichnen und offenbar auch eine Anreicherung.

Dagegen werden Kupfer und Zink erwartungsgemäß durch den rückläufigen Gülleeeinfluss verdünnt.

Die über die Projektlaufzeit 12.05.2009 – 03.01.2011 gemittelten Ergebnisse sind in den Tabellen 19 bis 22 zusammengestellt.

Raumbelastung	g/l x d	1,5
Biogasproduktion	NI/d	7,67
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,654
Biogasausbeute	NI/g FM	0,219

Tabelle 19: Kinetische Parameter – Nootbaar

Raumbelastung	g/l x d	1,5
Biogasproduktion	NI/d	6,52
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,554
Biogasausbeute	NI/g FM	0,165

Tabelle 20: Kinetische Parameter – Buchloe

Raumbelastung	g/l x d	1,5
Biogasproduktion	NI/d	6,41
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,542
Biogasausbeute	NI/g FM	0,133

Tabelle 21: Kinetische Parameter - Wiesenau

Raumbelastung	g/l x d	1,5
Biogasproduktion	NI/d	6,95
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,595
Biogasausbeute	NI/g FM	0,167

Tabelle 22: Kinetische Parameter - Ameln

Die vergleichende Bewertung zu Beginn der konstanten Dosierung mit Raumbelastung 1,5 g oTS/l x d und Versuchsende zeigt Tabelle 23.

		Nootbaar	Buchloe	Wiesenau	Ameln
19.05.2009 – 31.08.2009	Raumbelastung g/l x d	1,5	1,5	1,5	1,5
	Biogasausbeute NI/g oTS	0,718	0,644	0,580	0,576
	Fettsäuren mg/l	1.330	1.220	1.640	2.150
10.08.2010 – 03.01.2011	Raumbelastung g/l x d	1,5	1,5	1,5	1,5
	Biogasausbeute NI/g oTS	0,645	0,606	0,469	0,625
	Fettsäuren mg/l	2.780	2.300	3.040	2.000

Tabelle 23: Vergleich der Biogasausbeuten zu Beginn und Ende der Untersuchungen

Mit Ausnahme von Ameln ist die Biogasausbeute rückläufig, was mit den erhöhten Säurekonzentrationen und der damit im Zusammenhang stehenden zunehmenden Hemmung der methanogenen Bakterien zusammenhängt.

Ameln zeigt über fast den gesamten Untersuchungszeitraum konstante Fettäurekonzentrationen (Ausnahme 05.01.2010 – 09.08.2010) und sogar eine Steigerung der Biogasausbeute (siehe auch Abbildung 32 – 35).

Ø Spurennährstoffe

Die Langzeituntersuchungen belegen eine stetige Verringerung der Spurennährstoffkonzentrationen im Untersuchungszeitraum 12.05.2009– 03.01.2011 (Abbildung 32 bis 35).

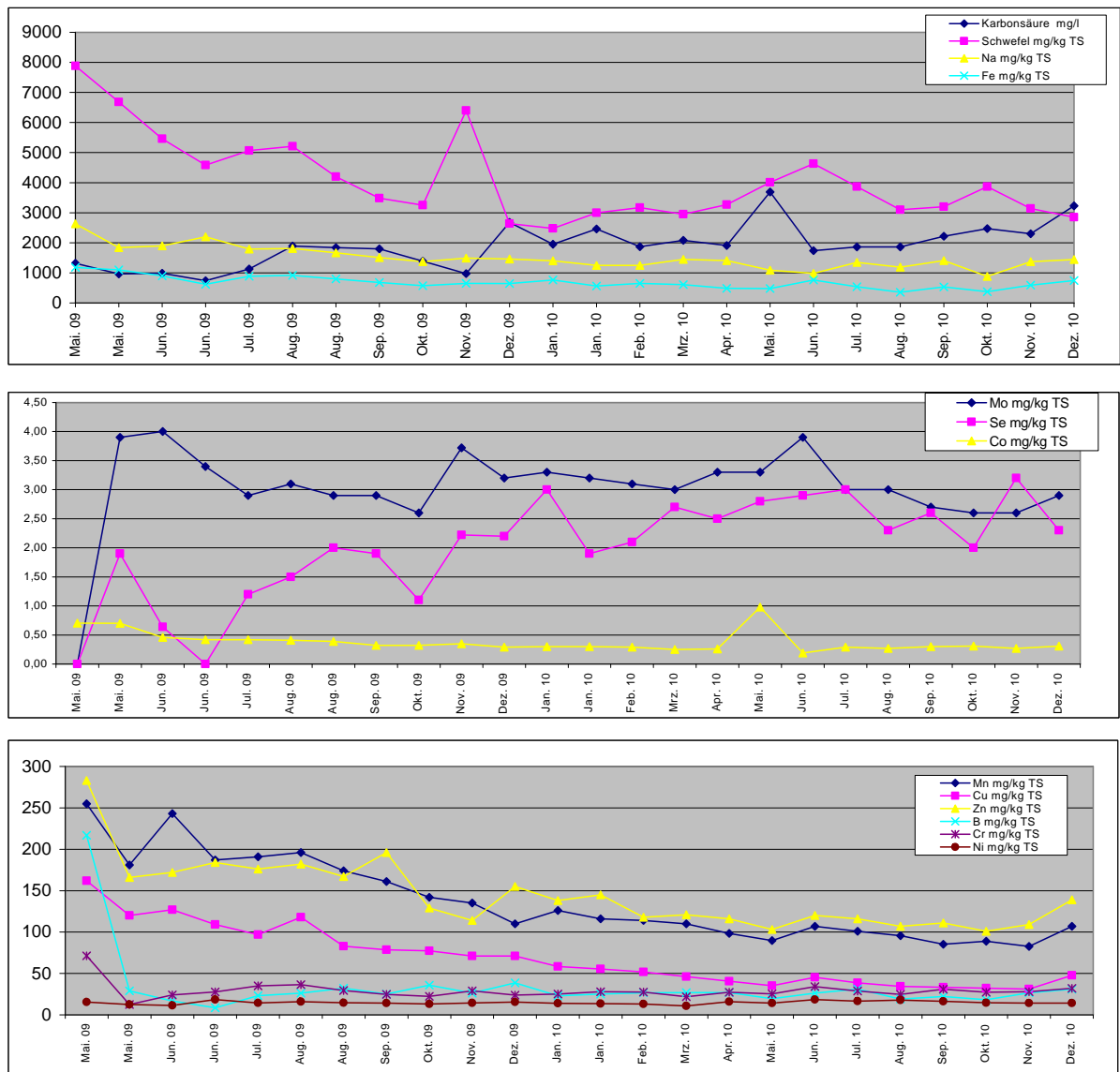


Abbildung 32: Spurennährstoffkonzentrationen - Nootbaar



Abbildung 33: Spurennährstoffkonzentrationen - Buchloe

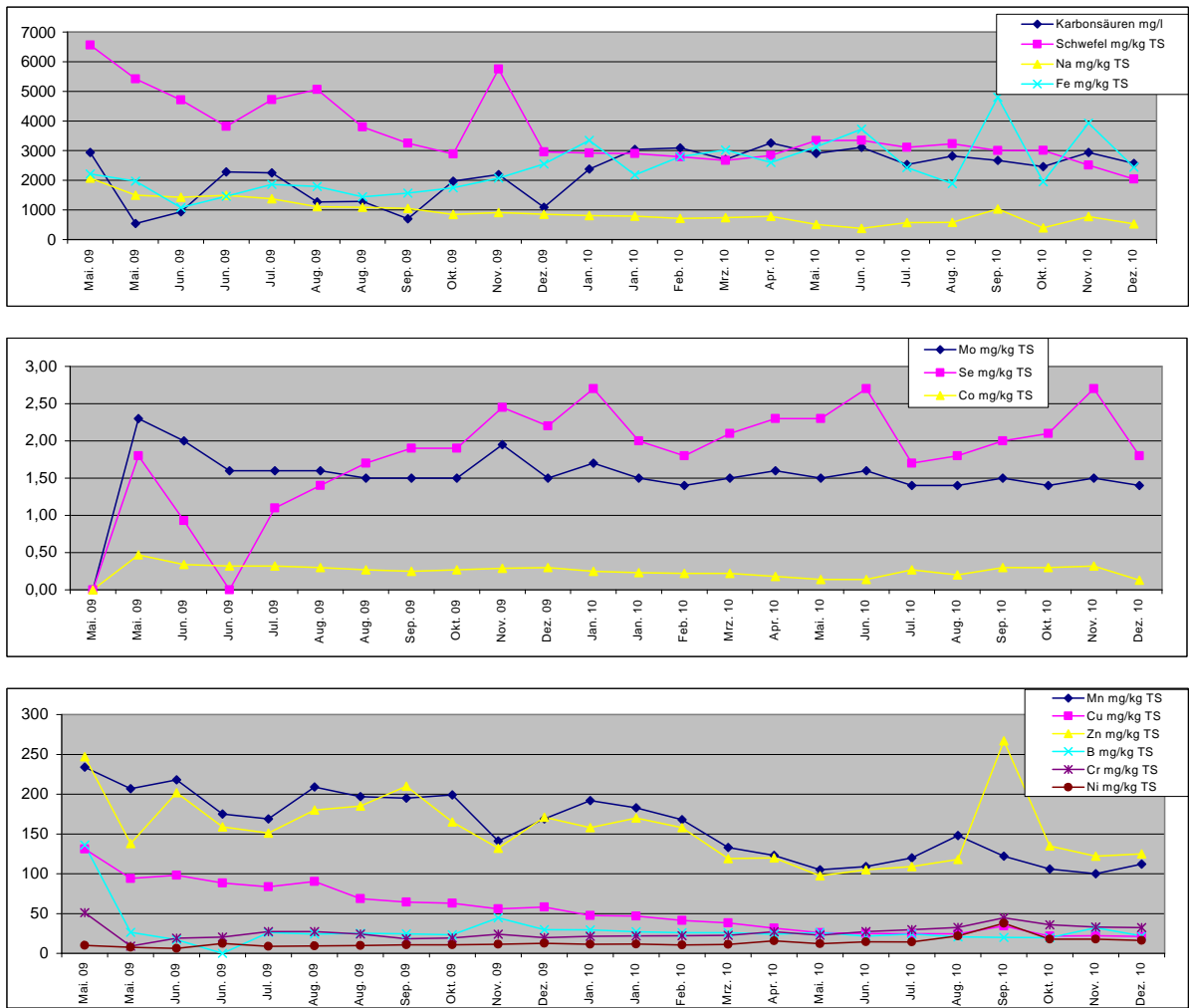


Abbildung 34: Spurennährstoffkonzentrationen - Wiesenau

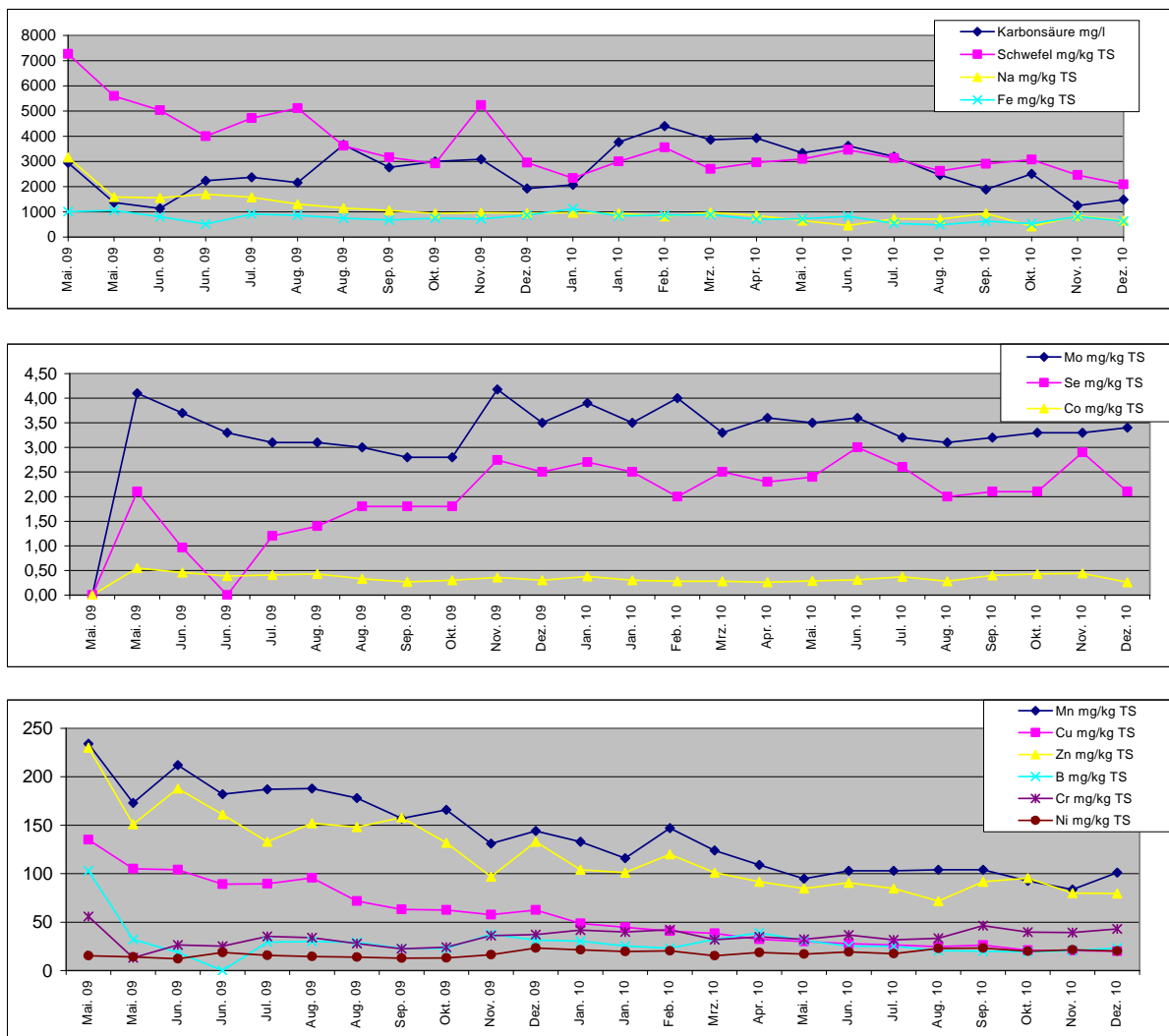


Abbildung 35: Spurennährstoffkonzentrationen - Ameln

Lediglich Nickel weist konstante Konzentrationen aus, was aus einem Edelstahlager für die Rührer der Fermenter resultiert (Nickelgehalt 21,3 g/kg). Diese wurden natürlich umgehend ausgetauscht.

In diesem Zusammenhang muss ein zweiter Versorgungsweg für Spurennährstoffe in Praxisanlagen Beachtung finden. Der Abrieb von metallischen Komponenten der Zufuhr- und Mischaggregate kann die Konzentrationen beeinflussen (LEMMER et al., 2011).

Die Spurennährstoffkonzentrationen am Ende des Untersuchungszeitraumes gibt Tabelle 24 wieder.

Die vergleichende Bewertung mit den Literaturwerten (Punkt I.4) stellt sich wie folgt dar:

	Nootbaar	Buchloe	Wiesenau	Ameln	Lebhun et.al 2010 Minimalwerte	Probeheim et. al.2010 Optimalwerte	Lemmer et. al. 2011 Minimalwerte	Leitfaden FNR 2010 Optimalwerte
	mg/kg TS mg/l				mg/l	mg/l	mg/kg TS	mg/kg TS
Cr	31,9 2,63	23,1 1,85	32,4 2,91	42,9 3,84				
Mo	2,90 0,239	1,80 0,144	1,40 0,126	3,40 0,304		0,22 - 5,09	1,0	4
Mn	107 8,82	116 9,28	112 10,0	101 9,03			100	300
Fe	748 61,6	493 39,4	2240 219	631 56,4			1500	2400
Co	0,31 0,026	0,19 0,015	0,13 0,012	0,26 0,023	0,03	0,029 - 0,118	0,4	1,8
Ni	14,1 1,16	12,1 0,968	16,2 1,45	20,2 1,81	0,08	0,082 - 0,62	3,0	16
Cu	47,6 3,93	35,9 2,87	21,2 1,90	20,0 1,79				40
Zn	139 11,5	127 10,2	125 11,2	79,4 7,1			30	200
B	30,9 2,55	20,9 1,67	21,9 1,96	23,3 2,08				
Se	2,30 0,190	2,10 0,168	1,80 0,161	2,10 0,188	0,019		0,2	0,5

Tabelle 24: Vergleichende Bewertung Spurennährstoffkonzentrationen Untersuchungszeitraum mit Literaturwerten

Der Vergleich mit den Spurenelementkonzentrationen zum Beginn der kontinuierlichen Dossierungen (Tabelle 18) unterstreicht die Aussagen aus den Abbildungen 32 bis 35.

Eine Korrelation der Spurenelementgehalten der eingesetzten Maissilagen mit den Konzentrationen der Fermenterabläufe (Tabelle 24) konnte nicht festgestellt werden.

		mg/kg TS
Beispiel Cu	Maissilage Nootbaar	2,89
	Fermenterablauf	47,6
	Maissilage Wiesenau	3,96
	Fermenterablauf	21,2
Beispiel Zn	Maissilage Buchloe	22,3
	Fermenterablauf	127
	Maissilage Wiesenau	35,5
	Fermenterablauf	125

		mg/kg TS
Beispiel Mo	Maissilage Nootbaar	0,61
	Fermenterablauf	2,9
	Maissilage Buchloe	1,32
	Fermenterablauf	1,8
Beispiel Mn	Maissilage Nootbaar	13,5
	Fermenterablauf	107
	Maissilage Buchloe	22,4
	Fermenterablauf	116
	Maissilage Wiesenau	34,5
	Fermenterablauf	112
	Maissilage Ameln	21,4
	Fermenterablauf	101

Tabelle 25: Spurenelementgehalte Maissilage mit Konzentration der Fermenterabläufe

Damit werden die Folgerungen bestätigt, dass eine Analyse der Ausgangssubstrate nicht geeignet ist, mögliche Mineralstoffkonzentrationen im Fermenter vorauszusagen (LEMMER, et. al., 2011).

Mögliche Defizite oder Überversorgungen durch eine direkte Analyse aus dem Fermenter zu erkennen muss komplex gesehen werden. So lagen beispielsweise die in o.g. Quelle genannten Minimalwerte für Nickel unter den Konzentrationen der durchgeführten Untersuchungen (Tabelle 24).

In diesem Zusammenhang zeigen erste Ergebnisse von Lebn (LEBUHN et al., 2010) und Probeheim (PROBEHEIM et al., 2010) für Kobalt und Nickel übereinstimmende Konzentrationen für die Monofermentation von Mais.

Zumindest für Kobalt liegen diese Minimalkonzentrationen über denen der Laborfermenter (Tabelle 24), d.h. ein Mangel an Kobalt.

Die Unterversorgung mit Spurenelementen darf aber auch nicht zu Überversorgungen führen.

Primär führt dies zu einem Rückgang der Biogasproduktion (Probeheim et al., 2010) der wirtschaftlich durch die Kosten der Präparate dann doppelt zu Buche schlägt.

Der Konzentrationsbereich zwischen Mindestkonzentration und Überversorgung ist nach ersten Untersuchungen für Kobalt, Nickel und Molybdän sehr eng (Probeheim et al., 2010).

Für die Biogasanlagenbetreiber bedeutet dies, für jeden einzelnen Spurennährstoff die Minimalkonzentration zu ermitteln und dann die Defizite spezifisch auszugleichen.

Dazu müssen aber sowohl die Minimalkonzentration als auch die essentiellen Spurennährstoffe bekannt sein (siehe Punkt II. 1.15).

Für Nickel, Kobalt und Molybdän liegen entsprechende Daten nun vor (Probeheim et al., 2010).

Der Einsatz der Spurenelemente ist also nur auf der Basis von Einzelanalysen der Elemente verantwortungsvoll durchführbar (HÖLKER, 2010) (EP 1997 901 A3).

Ein weiterer ökologisch wichtiger Gesichtspunkt geht aus Punkt II.1.12 hervor, da Mais trotz ausreichenden Angebots von Spurenelementen diese nicht aus dem Boden aufnimmt. Da die Gärreststoffe in der Regel auf den Anbauflächen für den Energiemais ausgebracht werden, werden diese somit im Boden festgelegt und können so zu Umweltgefährdungen führen.

II.1.15 Forschungsbedarf

- Allgemeiner Forschungsbedarf: Bei Bodendauerbeobachtungsflächen, sowie bei der Ermittlung der Hintergrundwerte für Böden werden die zu untersuchenden Elemente meist nach deren umwelt- und humantoxikologischen Auswirkung ausgewählt, nicht jedoch in Bezug auf die Mineralstoffversorgung bei Tieren und/oder Menschen. Selen, Molybdän, Wolfram und Kobalt werden nur selten untersucht. Es gibt keine Vorsorgewerte, Düngeempfehlungen oder andere Richtwerte (Gehalt in Silage, etc.) und kaum Untersuchungen über geogenen Hintergrundgehalte. Wechselwirkungen zwischen einzelnen Spurenelementen im Boden oder flüssigen Medien (Gärsubstrat) sind bisher nur ungenügend bis gar nicht untersucht worden. Die Frage nach dem Bedarf von Spurenelementen wird meist von der Betrachtung der negativen Auswirkung (Umweltschäden) überdeckt. Im Kontrast dazu stehen die Versorgungsangebote von Spurenelementen für den Menschen aus medizinisch-gesundheitlicher, bzw. ernährungsphysiologischer Sicht.
- Eine Vernetzung der Forschungsbereiche Pflanzenanbau, Phytoremediation, Energiepflanzenanbau und Bodenkunde wäre wünschenswert. Stoffkreisläufe (Gärsubstrat, Verbrennungsrückstände/Asche) zwischen Reststoffen aus erneuerbarer Energieerzeugung, als auch von Altlasten und Boden/Düngewirkung insbesondere beim Anbau von NawaRo's stellen uns vor neuen Forschungsbedarf.

- Spezieller Forschungsbedarf:
 - Die unterschiedlichen Gehalte an Spurenelementen in Pflanzen (SCHNUG et al., 2006), insbesondere in Energiepflanzen, müssten noch genauer erfasst werden. Darauf aufbauend, unter Einbeziehung der Spurenelementbedarfswerte im Fermenter, könnten optimale Mischverhältnisse von Inputstoffen erarbeitet werden, um eine Optimierung der Biogasfermentation, gegebenenfalls auch ohne Zusatzstoffe zu erreichen.
 - Das Zusammenspiel zwischen Exsudation, Mikroorganismen und Spurenelementaufnahme müsste noch genauer erfasst werden.
 - Betrachtung der Stoffkreisläufe insbesondere im Wirkungsgefüge Boden-Energiepflanze: z.B. unter besonderer Berücksichtigung der Rückführung durch Gärsubstrat.

II.1.16 Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen

Ziel des Vorhabens war, anhand geogener Grundbedingungen, standortspezifischer Gehaltsklassen-Nährstoffversorgungsstatus, Pflanzenanalysen und Gärtests anlagen- und betreiberunabhängige Grundlagen zur Einschätzung des Bedarfs an einzelnen Mikronährstoffen – über die Pflanze (Mais) bereitgestellt – zu erarbeiten.

Die Auswahl der untersuchten Standorte weist ein breites Spektrum der Pedo-Landschaften in der Bundesrepublik Deutschland auf, von den basisarmen Geestböden in Schleswig-Holstein bis zu den fruchtbaren Auelehmböden in Brandenburg. Besonders der Standort in Brandenburg war durch eine Überversorgung von Spurenelementen im Boden gekennzeichnet, hohe Spurenelementgehalte konnten auch am Standort in Bayern verzeichnet werden und vergleichsweise niedrige Gehalte am Standort Schleswig-Holstein.

Insgesamt waren die Spurenelementgehalte als auch die pflanzenverfügbaren Anteile im Boden mehr als ausreichend für die Energiepflanze Mais.

Mais ist aber nicht in der Lage, trotz ausreichendem Angebot diese aufzunehmen.

Die Unterversorgung der Mikroorganismen über die Fermenterdosierung mit Mais ließ keine stabilen Betriebszustände mit höheren Raumbelastungen als 1,5 g oTS/l x d zu.

Insgesamt aber wurde ein ganzheitlicher Ansatz mit Ausgangspunkt Boden über Pflanze, Fermenterzulauf und Fermenterablauf betrachtet und belastbar untersucht.

Die vorgegebenen Ziele wurden somit erreicht.

II.2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der für das Projekt vorgesehene Kostenrahmen wurde eingehalten.

Durch Ausscheiden einer Mitarbeiterin und keine Neubesetzung der Stelle in der Laufzeit des Vorhabens wurden die Personalkosten von BTN nicht ausgeschöpft.

Dies hatte aber keine Einschränkungen in der Erfüllung der Aufgaben- und Zielstellungen zur Folge.

Die Kostenübersicht der BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH und die von Krieg & Fischer Ingenieure sind in Tabelle 26 und Tabelle 27 aufgelistet.

Kostennachweis für Zuwendung auf Kostenbasis								
FKZ 22002908 , Laufzeit 01.08.2008 -31.01.2011								
Monofermentation von Maissilagen aus Standorten unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit								
Position Ges.-Vor. Kalkulation		Gesamt- vorkalkulation	Entstandene Kosten für 2008	Entstandene Kosten für 2009	Entstandene Kosten für 2010	Entstandene Kosten für 2011	Entstandene Kosten Gesamt	Bestand
813	Material	16.200,00	4.884,43	6.932,02	1.863,40	0,00	13.679,85	2.520,15
823	Fremdleistungen	7.440,00	194,04	2.814,28	2.898,84	0,00	5.907,16	1.532,84
837	Personal	228.679,79	11.387,77	55.475,33	122.842,24	13.783,00	203.488,34	25.191,45
838	Reisekosten	1.579,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.579,00
847	Abschreibungen	3.325,94	155,01	620,04	620,04	51,67	1.446,76	1.879,18
Summe	100%	106.246,60	16.621,25	65.841,67	128.224,52	13.834,67	224.522,11	32.702,62
Eigenanteil	50%	53.123,30	8.310,63	32.920,84	64.112,26	6.917,34	112.261,06	16.351,31
Förderung	50%	53.123,30	8.310,63	32.920,84	64.112,26	6.917,34	112.261,06	16.351,31

Tabelle 26: Kostenübersicht BTN

Kostennachweis für Zuwendung auf Kostenbasis								
FKZ 22014308 , Laufzeit 01.08.2008 -31.01.2011								
Monofermentation von Maissilagen aus Standorten unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit								
Position Ges.-Vor. Kalkulation		Gesamt- vorkalkulation	Entstandene Kosten für 2008	Entstandene Kosten für 2009	Entstandene Kosten für 2010	Entstandene Kosten für 2011	Entstandene Kosten Gesamt	Bestand
813	Material	300,00	146,92	63,67	0,00	20,00	230,59	69,41
823	Fremdleistungen	4.791,14	283,34	3.904,87	0,00	0,00	4.188,21	602,93
837	Personal	92.415,84	29.033,84	39.082,56	17.777,76	6.521,68	92.415,84	0,00
838	Reisekosten	7.480,00	3.444,43	1.582,20	133,00	306,00	5.465,63	2.014,37
847	Abschreibungen	1.259,62	1.552,51	0,00	0,00	0,00	1.552,51	-292,89
Summe	100%	106.246,60	34.461,04	44.633,30	17.910,76	6.847,68	103.852,78	2.393,82
Eigenanteil	50%	53.123,30	17.230,52	22.228,76	8.955,38	3.423,84	51.926,39	1.196,91
Förderung	50%	53.123,30	17.230,52	22.404,54	8.955,38	3.423,84	51.926,39	1.196,91

Tabelle 27: Kostenübersicht Krieg & Fischer Ingenieure

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Gewinnung neuer Erkenntnisse zur Spurenelementaufnahme von Mais aus dem Boden und damit die Versorgung der Fermenterbiologie war notwendig, weil der landwirtschaftlichen Praxis bei der Monofermentation von Maissilage entsprechende Handlungsempfehlungen fehlen.

Insofern waren Möglichkeiten zu prüfen, ob eine ausreichende Versorgung über den Pfad Boden – Pflanze erfolgen kann.

Da diese Aufgabenstellung wissenschaftlich begründbar nur durch systematische Langzeituntersuchungen mit hohem Aufwand umsetzbar war, ist die Angemessenheit darstellbar.

II.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die im Rahmen des Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse sind praxisrelevant. Zunächst ist selbst bei Überversorgung an Spurennährstoffen im Boden und deren Pflanzenverfügbarkeit die Bedienung der Enzymsysteme der Mikroorganismen im Fermenter durch Mais nicht ausreichend.

Auch die Analysen der Maissilagen liefern keine Aussagen zur Spurenelementkonzentration im Fermenter.

Andererseits ist eine Überversorgung der Fermenter aus umweltrelevanter Sicht kritisch zu sehen, wenn die Gärreststoffe zur Düngung von Energiemais eingesetzt werden

Beide Projektpartner nutzen die gewonnenen Ergebnisse in der Planung sowie in ihrer jeweiligen Beratungstätigkeit.

II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Fachbereich	Forschungstitel	Projekträger	Laufzeit	Infos
Thüringer Versuchsstationen, TLL	Optimierung der Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen in der Landwirtschaft		01/2010 - 12/2012	
HAWK Göttingen, Hildesheim, Holzminden (K. Loewe)	Gärrestbehandlung zur gezielten Rückführung von Spurenelementen in den Fermenter und Erschließung des Restgaspotenzials	EFRE-Mittel aus Europäischen Fonds für regionale Entwicklung	01/2009 - 12/2009	http://rm.hawk-hhg.de/ressourcen/124548_125777.php
Thüringer Versuchsstationen, TLL	Empfehlungen zur effizienten und umweltgerechten Verwertung von Gülle und Gärresten unterschiedlicher Herkunft, deren Nährstoffgehalte und Düngewirkung	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt	01.01.2009-31.12.2014	http://www.tll.de/ainfo/thblatt/0941240.pdf
IZNE, Göttingen	"Nachhaltige Nutzung von Energie aus Biomasse im Spannungsfeld von Klimaschutz, Landschaft und Gesellschaft" Teilprojekt 4: Bioenergetische Nutzungskonzepte für kontaminierte Standorte	Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) gefördert.	2009-	http://www.bioenergie.uni-goettingen.de/?id=12
Uni Hohenheim	Einsatz von Spurenelementen in NaWaRo-beschickten Biogasanlagen zum Ausgleich substratbedingter Mangelerscheinungen und zur Stabilisierung des Gärprozesses	FNR: FKZ: 22025907	01.11.2008-31.10.2011	https://www.uni-hohenheim.de/67724.html?typo3state=projects&lsfid=1980
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Naturwissenschaftliche Fakultät III Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften (Sabine Tischer)	Bodenchemische und -mikrobiologische Untersuchungen in einer Energiepflanzenfruchtfolge (EVA-Projekt)	Drittmittel	15.11.2008 - 31.12.2011	http://www.forschung-sachsen-anhalt.de/index.php3?option=projekteanzeige&pid=11923&PHPSESSID=9ltia1i890tj6f7g19k8mf5no1
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle	Wirkung von Biogasgärresten und Nitrifikationsinhibitoren auf ausgewählte Bodenparameter (chem., physik. und biolog.) sowie Ertrags- und Qualitätseigenschaften	Förderung der Agrarforschung durch das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt	01. 08. 2008-31. 07. 2011	http://www.forschung-sachsen-anhalt.de/index.php3?option=projekteanzeige&lang=0&perform=13&menu_link_active=601&pid=11659&lang=0&perform=13&menu_link_active=601
ATP, ETI und IASP Berlin, Biogas Crop Network	Potsdam - Wissenschaftler im "Biogas-Crops-Network" haben zahlreiche grundlegend neue Erkenntnisse u. a. zur Mikrobiologie und zur Verfahrenstechnik des Biogasprozesses erarbeitet,	Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)	2005-2009	http://www.biogas-network.de/
Verein zur Förderung agrar- und stadtoökologischer Projekte e.V. - Institut für Agrar- und Stadtoökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin	Pflanzenbauliche Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Inputs substrats Energiepflanzen	FNR	01.01.2006 - 31.06.2008	http://www.berlin-sciences.com/berlin-sciences-navigator/projekte/projekt/4146/ http://www.iasp-berlin.de/iasp159.html
Österreich: TU Graz, Inst. für Umweltbiologie (G. Gubitsch, H. Pöbke)	Einfluss von Spurenelementen auf die Biogasbildung aus Energiepflanzen	Klein- und Mittelunternehmen (Österreich)	2006 - 2009	https://online.tugraz.at/tug_online/fdb_detail.ansicht?cvfanr=F20133&cvorgnr=2389&sprache=1
Uni Kiel	Verbundprojekt: Biogas Expert, Modellgestütztes Stoffstrommanagement im System: Boden-Pflanze-Fermenter		2006 - 2010	http://www.biogas-expert.uni-kiel.de/
LTZ, Baden-Württemberg	Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft	LW Min. Baden-Württemberg und Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., DBU-Projekt	2008	http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Humus/Bodenverbesserung.pdf
Uni Vechta	Bodenprozessmodell CANDY Carbon Balance im Einsatz		2008	www.ispa.uni-vechta.de

Österreich: TU Graz, Inst. für Umweltbiologie (G. Gübitz, H. Pobeheim)	Einfluss von Spurenelementen auf die Biogasbildung aus Energiepflanzen	Klein- und Mittelunternehmen (Österreich)	2006 - 2009	https://online.tugraz.at/tug_online/fdb_detail.ansicht?cvfanr=F20133&cvorgnr=2389&sprache=1
Uni Kiel	Verbundprojekt: Biogas Expert, Modellgestütztes Stoffstrommanagement im System: Boden-Pflanze-Fermenter		2006 - 2010	http://www.biogas-expert.uni-kiel.de/
LTZ, Baden-Württemberg	Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft	LW Min. Baden-Württemberg und Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., DBU-Projekt	2008	http://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Humus/Bodenverbesserung.pdf
Uni Vechta	Bodenprozessmodell CANDY Carbon Balance im Einsatz		2008	www.ispa.uni-vechta.de
TU Bergakademie Freiberg	Untersuchung und Bewertung organischer Stoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben zur Erzeugung von Biogas in Co- und Monofermentationsprozessen	Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft gefördert	2006-2007	Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 18/2009
Sachverständigenrat für Umweltfragen SRU	Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten		2007	
Uni Trier, Bodenkunde, Prof. C. Emmerling	Landwirtschaftliche Verwertung von Gärrückständen	FNR, FKZ 22011201	0.1.05.05 - 31.03.2007	http://www.uni-trier.de/fileadmin/fb6/prof/BOD/22011201.pdf
CUTEC- Inst. GmbH, Dr. Britta Kragert	Erneuerbare Energien durch Biomasse aus der Phytoextraktion kontaminierter Böden	BMBF, Projektträger DLR	bis 2005	www.cutec.de
Universität für Bodenkultur Wien, Prof. H. Hager; W. Wenzel	BOKU-Forschungsstimulierung I: Rhizosphärenmikroben bei Metall-Hyperakkumulation	FWF Der Wissenschaftsfonds	2001/2002	http://www.boku.ac.at/
Uni Vechta, IASP	Gärrückstände als Dünger aus der Biogaserzeugung mit Energiepflanzen	FNR/ BMLEV FKZ:22012105		www.ispa.uni-vechta.de
Uni Luxemburg	Monofermentation von NaWaRo – Untersuchungen der Abbaukinetik und Technologieentwicklung			
Bund und Länder	Forschungsinformationssystem Agrar / Ernährung	Bund und Länder		http://www.fisaonline.de/index.php?act=subject&id=8&view=online&id=52&lang=dt

II.6 Veröffentlichungen

Zum KTBL/FNR Biogas-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ vom 15. bis 19.09.2009 in Weimar wurde das Projekt als Posterbeitrag vorgestellt.

Zur Veranstaltung „Spurenelementversorgung von Biogasanlagen“ der Energieagentur Göttingen am 17.05.2011 werden die Ergebnisse in 3 Vorträgen der landwirtschaftlichen Praxis vermittelt.

Weitere Publikationen sind geplant.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Methanogenese	7
Abbildung 2: Untersuchungsstandorte	11
Abbildung 3: Niederschlagsmengen von 2008 im Vergleich mit dem Niederschlagsdurchschnitt (N)	12
Abbildung 4: Bodenprofil Nootbaar –	17
Abbildung 5: Korngrößendiagramm Nootbaar	19
Abbildung 6: Bodenprofil Ameln	19
Abbildung 7: Korngrößendiagramm Ameln	21
Abbildung 8: Bodenkarten Auszug (Auszug aus der BK 1:10.000, geplanter Tagebau	21
Abbildung 9: Bodenprofil Wiesenau	22
Abbildung 10: Korngrößendiagramm Wiesenau	23
Abbildung 11: Bodenprofil Buchloe/Bayern	24
Abbildung 12: Auszug aus der Geologische Karte Bayern	25
Abbildung 13: Korngrößendiagramm Buchloe	26
Abbildung 14: Gesamtgehalt der Spurenelemente im Oberboden (0-30 cm) /	35
Abbildung 15: Gesamtzinkgehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm)	39
Abbildung 16: Gesamtnickelgehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm)	40
Abbildung 17: Gesamtkupfergehalt im Vergleich Oberboden (0-30 cm)	41
Abbildung 18: Kobaltgesamtgehalte im Vergleich Oberboden (0-30 cm)	42
Abbildung 19: Mangangesamtgehalt im Oberboden (0-30 cm)	43
Abbildung 20: Gesamteisengehalt im Oberboden (0-30 cm)	44
Abbildung 21: Mobiler Bor-, Kupfer- und Zinkgehalt im Boden (rot eingekreist sind die Werte die über der Gehaltsklasse C liegen)	47
Abbildung 22: pH-Wert im Ap- und Cv-Horizont	48
Abbildung 23: Bedeutung der Diffusion für den Abtransport an die Wurzeloberfläche(Bundesarbeitskreis Düngung 2007)	49
Abbildung 24: Mobiler Mangan- und Eisengehalt im Boden (rot eingekreist sind die Werte die über der Gehaltsklasse C liegen)	51
Abbildung 25: Mobiler Kobalt und Nickelgehalt im Oberboden	52
Abbildung 26: Prozentualer Anteil der mobilen Spurenelemente am	53
Abbildung 27: Nickel Transferfaktor Boden-Pflanze	59

Abbildung 28: Bor Transferfaktor Boden-Pflanze	60
Abbildung 29: Zink Transferfaktor Boden-Pflanze	61
Abbildung 30: Schematische Darstellung und Foto der kontinuierlich betriebenen Laboranlage	65
Abbildung 31: Ergebnis der Belastungssteigerung über 1,5 g oTS/l x d	69
Abbildung 32: Spurennährstoffkonzentrationen - Nootbaar	72
Abbildung 33: Spurennährstoffkonzentrationen - Buchloe	73
Abbildung 34: Spurennährstoffkonzentrationen - Wiesenau	74
Abbildung 35: Spurennährstoffkonzentrationen - Ameln	75

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Klimadaten Nootbaar.....	14
Tabelle 2: Klimadaten Wiesenau	14
Tabelle 3: Klimadaten Ameln	15
Tabelle 4: Klimadaten Buchloe	16
Tabelle 5: Analysenmethoden nach DIN.....	28
Tabelle 6: Organischer und mineralischer Düngeeintrag.....	29
Tabelle 7: Mittelwerte von Spurenelementgehalten in Düngemitteln und Grenzwerte	32
Tabelle 8: Bodenvorsorgewerte nach der Bodenschutzverordnung (Anonym, 1999)	36
Tabelle 9: Hintergrundwerte Perzentil 50 (Median) und Perzentil 90	38
Tabelle 10: Allgemeine Beziehung zwischen Gesteinstypen und Kobalt-Gehalten im Boden	43
Tabelle 11: Einstufung der mobilen Spurenelemente in die Gehaltsklasse C (nach	46
Tabelle 12: pH-Wert-Schwellen im Boden, deren Unterschreitung zu einer deutlichen.....	48
Tabelle 13: Spurenelementgehalt in Maissilage in [mg/kg TS] Median 50 (P50)	54
Tabelle 14: Stoffkonzentrationen im Erntegut aus Datenerhebung für eine TRANSFER- Datenbank für Ackerflächen des Umweltbundesamt	56
Tabelle 15: Spurenelementgehalte in der Maissilage an den 4 Untersuchungsstandorten im Vergleich mit der TRANSFER-Datenbank	57
Tabelle 16: Transferfaktor Boden-Pflanze (Mais)	58
Tabelle 17: Zusammensetzung Impfmaterail.....	68
Tabelle 18: Spurenelementstatus zum Zeitpunkt des Beginns der kontinuierlichen Dosierung.....	70
Tabelle 19: Kinetische Parameter – Nootbaar	70
Tabelle 20: Kinetische Parameter – Buchloe.....	70
Tabelle 21: Kinetische Parameter - Wiesenau.....	71
Tabelle 22: Kinetische Parameter - Ameln	71
Tabelle 23: Vergleich der Biogasausbeuten zu Beginn und Ende der Untersuchungen	71
Tabelle 24: Vergleichende Bewertung Spurennährstoffkonzentrationen.....	76
Tabelle 25: Spurenelementgehalte Maissilage mit Konzentration der Fermenterabläufe	77
Tabelle 26: Kostenübersicht BTN	80
Tabelle 27: Kostenübersicht Krieg & Fischer Ingenieure.....	80
Tabelle 28: Klimadaten im Vergleich.....	94

Tabelle 29: Korngrößenverteilung.....	94
Tabelle 30: Effektive nutzbare Feldkapazität der Böden	95
Tabelle 31: Gesamtgehalte im Boden Frühjahr 2008	95
Tabelle 32: Gesamtgehalte im Boden Herbst 2008	96
Tabelle 33: Gesamtgehalte Boden im Frühjahr 2009	97
Tabelle 34: Gesamtgehalt der Spurenelemente der einzelnen Standorte im Vergleich zu den Hintergrundwerten [mg/kg TS] (Orange: Wert über Median, Rot über Perzentil 90 über den regionalen Hintergrundwerten liegen)	98
Tabelle 35: Mobiler Anteil der Spurenelemente im Boden Sommer 2008.....	99
Tabelle 36: Mobiler Anteil der Spurenelemente Herbst 2008	100
Tabelle 37: Mobiler Anteil der Spurenelemente Frühjahr 2009	101
Tabelle 38: Mobile Spurenelementgehalte und deren Einteilung nach Gehaltsklassen.....	102
Tabelle 39: Erhebungen zum Maisanbau und Ernte.....	103
Tabelle 40: Transferfaktor Boden-Pflanze TF_{BP} (Mais).....	104
Tabelle 41: Boden-Pflanze-Pfad, B= Bodengehalt [mg/kg], P= Pflanzengehalt [mg/kg], TF= Transferfaktor)	104
Tabelle 42: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Schleswig-Holstein	105
Tabelle 43: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Bayern	106
Tabelle 44: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Brandenburg	107
Tabelle 45: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ NRW	108
Tabelle 46: Fermenteranalytik – Standort Nootbaar	110
Tabelle 47: Fermenteranalytik – Standort Buchloe	112
Tabelle 48: Fermenteranalytik – Standort Wiesenau.....	114
Tabelle 49: Fermenteranalytik – Standort Ameln.....	116
Tabelle 50: Kinetische Parameter – Standort Nootbaar	117
Tabelle 51: Kinetische Parameter – Standort Buchloe	117
Tabelle 52: Kinetische Parameter – Standort Wiesenau	118
Tabelle 53: Kinetische Parameter – Standort Ameln.....	118

QUELLENVERZEICHNIS

ALLOWAY(1999):

„Schwermetalle in Böden“ – Analytik, Konzentrationen, Wechselwirkungen – Hrsg. Brian J. Alloway, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Honkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Springer Verlag

BAKER, A.J.M. (1981):

„Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrient, 3: S. 634 - 643

Bayr. LA f. Landwirtschaft 2008:“ Monitoring im Intensiv-Grünland Teil 2: Bodenproben“, April 2006, Dr. Michael Diepolder, Bernd Jacob, Robert Schwertfirm, Inst. f. Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz.

<http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/17205/index.php>

BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2009):

„Neue Perspektiven für Biogas ?!“ Heuwinkel, H. „Mineralische Additive für anaerobe Fermentation“. In: Schriftreihe 2, 2009

BMELV (2011): Pressemitteilung vom 17.02.2011

BORCHMANN, W. (2002):

„Mikronährstoffe – Forschung an der agrarwissenschaftlichen Instituten in Rostock – ein Rückblick“

BROCK (2001):

Biology of Microorganism. – Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg – Berlin. S. 684

BRÜMMER, G.J. GERTH, U. HERMS (1986):

„Heavy metal species and availability in soils. Z. Pflanzen - .Bodenk., S. 176 - 382

BRUß, A. (1968):

„Untersuchungen zum Haushalt und zum Transfer von Selen im System Boden/Pflanze an einigen nord- und ostdeutschen Standorten“. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena

BUNDEARBEITSKREIS DÜNGUNG (BAD) (2007):

„Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau Bedeutung-Mangelsymptome-Düngung, Industrieverband Agrar, S.13

<http://www.iva.de/publikationen/mikronaehrstoffe-der-landwirtschaft-und-im-gartenbau>

Bund/Länder 2003

Bund und Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) 2003: „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“, 3. überarbeitete Auflage

DELSCHEN, T. (1989):

„Untersuchungen zur Schwermetallverfügbarkeit in klärschlammgedüngten Böden unter Feldbedingungen und im Gefäßversuch, Dissertation Universität Bonn

DEMIREL, B.; SCHERER, P. (2011):

Trace element requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. – Biomass and Bioenergy 35, S. 992 – 998

DORN, J (2009):“

Untersuchungen zu Einzel- und Kombinationswirkungen von anorganischen und organischen Schadstoffen beim Anbau verschiedenerer Pflanzenarten auf Rieselfeldböden.“ Dissertation an der landwirtschaftlich-gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin. S.12

<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/agrar/dorn-jana/PDF/Dorn.pdf>

FNR (2010):

Leitfaden Biogas. – Von der Gewinnung zur Nutzung

Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)

GERKE, J. (1995):

„Chemische Prozesse der Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre und ihre Bedeutung für den Übergang vom Boden in die Pflanze“, Habilitationsschrift, Agrarwissenschaften der Georg August Universität Göttingen.

GOTTSCHALK, R. (2003):

„Studien zu spätrömischen Großfunden in der südlichen Rheinbucht“, Dissertation, Uni Bonn, ULB

GRANSEE, A.; JÄGER, R.; FRÜND; H.-C.; MERBACH; W. (2000):

Mobilisierung von Cadmium im Boden durch Wurzelabscheidungen von Mais und Spinat. Fachhochschule Osnabrück, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung Martin-Luther-Universität Halle – Wittenberg

GRÜN, M.; MACHELETT, B; KRONEMANN, H.; MARTIN, M.; SCHNEIDER, J.; PODLESAK, W. (1994):

Schwermetalle in der Nahrungskette unter besonderer Berücksichtigung des Transfers vom Boden zur Pflanze. Grenzwerte für umweltrelevante Spurenstoffe, Band 1, DLG-Umweltgespräche 07. und 08.09.1993 in Suhl, S. 7 -16

Gülzower Fachgespräche, Band 30 : Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf – FNR 2009

HAPPEL, O. und A. SEUBERT (2005):

„ Aluminium – Ein Element mit vielseitigen Vorkommensformen“, Aktuelle Wochenschau 2005, Woche 3, <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2005/woche3/woche3.htm>

HILLER, D.A. (1991):

„Elektronenmikrostrahlanalysen zur Erfassung der Schwermetallbindungsformen in Böden unterschiedlicher Schwermetallbelastungen“, Universität Bonn, Bonner Bodenkdl. Abh. 4, 172 S.

Hornburg, V. (2002):

“Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden – Vergleich zwischen Königswasser-Extrakt und Flusssäure-Aufschluss.“ Krefeld, (Geol. Dienst NRW) - www.gd.nrw.de/Projekte

HÖLKER, U. (2010):

Spurennährstoffe . – Joule 5, S. 53 – 55

IASP und ASP, (2008):

„Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Inputsubstrats Energiepflanzen“,
Schlussbericht des Verbundprojektes FKZ 22012105, Projektträger Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.

KELS. H u. SCHIRMER, W. (2006):

„Beziehung zwischen der Masse der Lössseinheiten und prähistorischer Funddichte im Tagebau Garzweiler“; 48. Tagung der Gesellschaft Köln, April 2006, Hugo Obermaier-Gesellschaft

KLOCKE, M.; NETTMANN, E.; BERGMANN, I. (2009):

Mikrobielle Diversität in Biogasreaktoren bei der Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen. – Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. Tagungsband zum KTBL-Biogas-Kongress vom 15. bis 16. September 2009 in Weimar, S. 98 – 107

KÜHNEN, V.; GOLDBACH, H.E. (2004):

„Schwermetallbilanzen verschiedener betriebstypen: Eintragswege, Flüsse, Minderungspotential“ Forschungsbericht Nr. 118 im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, ISSN 1610-2460, Universität Bonn

Labo 2004

Bund und Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) 2004: „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“, 4. überarbeitete Auflage

LANDWIRTSCGAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2007):

„Bericht zum Versuch Düngung mit Selen im Mais im Jahr 2006 in Celle/Dasselsbruch“, Ansprechpartner G. Lüttmann

LANGE, G (2004):

„Düngungsstrategien für das Grünland 2004“, Landwirtschaftskammer Hannover,

www.lwk-hannover.de/index

siehe Pflanzenbau - Düngung – Empfehlung, 2004

LEBHUN, M.; ANTRADE, D.; BAUER, C.; GRONAUER, A. (2010):

„Intensivierung des anaeroben Biomasseabbaus zur Methanproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen. – Abschlussbericht Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 132 Seiten

LEISEN, E. und P. HEIMBERG (2004):

„Mineralstoffversorgung bei Rindern und Kühen“, Leitbetrieb ökologischer Landbau der Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/projekte_versuche//leitbetriebe_2004/Bericht_2004/59_Mineralstoffversorgung_Rinder_TH_04.pdf

LEMMER, A.; VINTILOIV, A.; PREIBLER, D.; BASTAM, C.; BÄUERLE, L.; OECHSNER, H.; MATHIES, E.; RAMHOLD, D. (2011):

Gülzower Fachgespräche, Band 35 – Herausgeber Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) – Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. – Untersuchungen zum Einsatz von Mineralstoffen in Biogasanlagen – Bedeutung der Mineralstoffe für die anaeroben Mikroorganismen und Ursachen der Konzentrationsunterschiede in Biogasfermentern . S. 45 -77

LKW NRW, Ratgeber 2009:

<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/spurenelemente/spurenelementduenger-pdf.pdf>

LÜBBEN, S. und SAUERBECK, D. (1991):

„Transferfaktoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetallübergang Boden-Pflanze.“
Forschungszentrum Jülich GmbH, Bericht e aus der ökologischen Forschung 6, S. 180-223

LWK Ratgeber 2009

Landwirtschaftskammer NRW (2009): Ratgeber 2009

MENGE, R.-M.; BOURDILLON, C. (1985):

Nickel Controls the Reversible Anaerobic Activation/Inactivation of the Desulfovibrio gigas Hydrogenase by the Redox Potential. – The Journal of Biological Chemistry 260 (27), S. 14701 - 14706

METZ, R., BÖKEN, H. und HOFFMANN, C.H. (2000):

“Schwermetalle in der Nahrungskette, im Pfad Boden-Pflanze-Tier-Mensch“, Inst. für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, TU-Berlin, FG Bodenkunde

METZ, R., BÖKEN, H. und HOFFMANN, C.H.(2000) :

“Boden-Pflanzentransfer und Ertragsbeeinflussung durch Schadstoffe auf Klärschlammeinsatzflächen“, Humboldt-Universität Berlin, und TU Berlin

NELLES, M. (2007):

„Prozessoptimierung in NaWaRo-Biogasanlagen – Schwerpunkt Spurenelemente“
Universität Rostock, Biogas-Tagung von Schaumann BioEnergy in Saerbeck

OECHSNER, H.; MATHIES, E.; RAMHOLD, D. (2011):

Untersuchungen zum Einsatz von Mineralstoffen in Biogasanlagen – Bedeutung der Mineralstoffe für die anaeroben Mikroorganismen und Ursachen der Konzentrationsunterschiede in Biogasfermentern - Gülzower Fachgespräche – Band 35 – Herausgeber: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. – S. 45 -77

PROBEHEIM, H.; MUNK, B.; JOHANSOSON, J.; GUEBITZ, G.M. (2010):

Influence of trace elements on methane formation from synthetic model substrate for maize silage. – Bioresource Technology 101, S. 836 – 839

SAHM, H. (1981):

Biologie der Methanbildung. – Chem.-Ing. Tech 53 (11) S. 854 - 863

SAUERBECK, D (1989):

„Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. In: Dechema: Beurteilung von Schwermetall-Kontaminationen im Boden, S. 281- 317

SCHALLER, A & DIETZ, TH. (1991):

„Pflanzenspezifische Aspekte der Schwermetallaufnahme und Vergleich mit den Richt- und Grenzwerten für Lebens- und Futtermittel. In: Berichte aus der ökologischen Forschung Band 6 / 1991, Forschungszentrum Jülich GmbH, S. 92-125

SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL (1976):

„Lehrbuch der Bodenkunde“ , 9. Auflage

SCHEINGRÄBER, C. (2007):

„Die Mischung aus Herbizid und Spurenelementen schadet den Pflanzen“, Deutsche Umwelt- und Gesundheits-INITIATIVE e.V

http://www.zivil-courage.info/Forschung/Mischung_aus_Herbizid_und_Spurenelementen.pdf

SCHMACK, D. (2005):

Nährstoffe im Fermenter – Limitierender Faktor für die Vergärung von Nachwachsenden Rohstoffen) – 14. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. ; 11.01. – 14.01.2008 in Nürnberg, Tagungsband S. 121 - 124

SCHNUG, E (2004):

„Große Erwartungen an kleinste Mengen – Mikronährstoffe in der Düngung“, FAL, 2004

SCHUNICH, E. (2008):

„Oderflut 1997: Ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen und Konsequenzen“. IKZM-Oder Berichte 51 (2008), Universität Rostock, ISSN 1614-596

SCHÜSSELER, P.; KLIEBER, U. (2011):

Gülzower Fachgespräche Band 35, Herausgeber: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR); - Einsatz von Hilfsmitteln zur Steigerung der Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses. – Ergebnisse der Diskussion und Zusammenfassung. - S. 110 -117

STEMME, K. (2002):

„Untersuchungen zur Kobalt-Versorgung von Milchkühen“, Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Tagungsbericht Nr. 22 v. 1999

Landesumweltamt Brandenburg (1999): „Schadstoffbelastung von Böden im Nationalpark „Unteres Odertal“ vor und nach dem Oderhochwasser 1997“ Studien und Tagungsberichte Bd. 22

UBA, 2001

UBA-Text 59-01 (2001) „Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden“

UBA 2007:

UBA (2008 Hrsg): „Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe“, Empfehlung der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU);

http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3472

UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH (1989):

„Bodenzustandsinventur“

UMWELTBUNDESAMT (2008): „Vergleichende Auswertung von Stoffeinträgen in Böden über verschiedene Eintragspfade“, Nr. 36/08, Knappe, F., Möhler, S., Ostermayer, A.

(IFEU.-Inst.), Dr. Lazar, S. , Kaufmann, C. (ahu AG Aachen, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3644.html>

UTERMANN, J. et.al. (2005) „Entwicklung eines Verfahrens zur Quantifizierung von Stoffkonzentrationen im Sickerwasser auf der Grundlage chemischer und physikalischer Pedotransferfunktionen“ Endbericht im Auftrag des BMBF, Förderkennzeichen 02 WP 0206, 2005 Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
http://www.bgr.bund.de/nn_333592/DE/Themen/Boden/Projekte/Bodeneigenschaften/Transportmodellierung_Spurenelemente/Transportmodellierung_Verlagerungsprognose.html

VDLUFA (2002): Methodenhandbuch Band I, 3, Teillieferung
VDLUFA Band 1

UBA (2009): Zweiter Bodenschutzbericht der Bundesregierung
Zweiter Bodenschutzbericht 2009

WEIMAR, S. (2009):

„Spurenelemente bei Ackerkulturen nach Bedarf düngen“ Fachbereich SLVA Bad Kreuznach-Simmern

[http://www.dlr-rnh.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/39931b26c2a3e87ac1256f9d00443731/\\$FILE/SPURNELEMENTE1.pdf](http://www.dlr-rnh.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/39931b26c2a3e87ac1256f9d00443731/$FILE/SPURNELEMENTE1.pdf)

WEILAND, P. (2009):

Ergebnisse aus dem aktuellen Biogas-Messprogramm II. – Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. Tagungsband zum KTBL/FNR-Biogas-Kongress vom 15. bis 16. September 2009 in Weimar, S. 14 – 25

WENZEL, W. (2001):

„Rhizosphärenmikroben bei Metall-Hyperakkumulation“ Einzelprojekt P15357 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Inst. für Bodenforschung, Universität für Bodenforschung Wien, Österreich

ZORN, (2005):

(Zweiter Bodenschutzbericht der Bundesregierung 2009) – Seite 37

ZEIEN, H und G.W. BRÜMMER (1991):

„Chemische Extraktion zur Bestimmung der Schwermetallbindungsformen in Böden“, In: Forschungszentrum Jülich GmbH: Berichte aus der ökologischen Forschung 6, S. 62 – 91

Zweiter Bodenschutzbericht 2009

UBA (2009) Zweiter Bodenschutzbericht der Bundesregierung

Anhang: Tabellen

	Bayern	Bayern 2008	Schleswig Holstein	Schleswig Holstein 2008	Branden- burg	Branden- burg 2008	NRW	NRW 2008
durchschnittliche Temperatur	6,5° - 7° C	8,2°	8°-8,2°	9,4°C	8,4-8,8°	10,16	9,4-9,8°	10,83
durchschnittlicher Niederschlag	950 - 1.000 mm	991,1 mm	850 - 900 mm	739,4 mm	550 - 600 mm	597 mm	800-900 mm	965,7 mm
Höhenlage	640 m			0 m NN		7 m NN		49 m NN

Tabelle 28: Klimadaten im Vergleich

Standort	Horizont	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Bodenart
NRW	0 - 30 cm	4,0	86,7	9,3	Ut2
NRW	30 - 60 cm	3,1	83,9	13,0	Ut3
NRW	> 60 cm	3,3	84,7	12,0	Ut3
Schleswig- Holstein	0 - 30 cm	87,6	8,0	4,4	S
Schleswig- Holstein	30 - 60 cm	92,0	4,8	3,2	S
Brandenburg	0 - 30 cm	26,8	45,9	27,3	Lt2
Brandenburg	30 - 60 cm	21,4	50,7	27,9	Ut4
Brandenburg	> 60 cm	32,4	46,6	21,0	Lt2
Bayern	0 - 30 cm	29,1	52,7	18,2	Ut4
Bayern	30 - 60 cm	27,1	47,3	25,6	Lt2
Bayern	> 60 cm	26,5	41,2	32,3	Lt2

Tabelle 29: Korngrößenverteilung

Standort	Schleswig-Holstein	NRW	Brandenburg	Bayern
mm/m	90	> 250	164	129
nFKe Stufe	2	5	4	3
Bodentyp	B32	L25	A54	B33

Tabelle 30 Effektive nutzbare Feldkapazität der Böden

Gesamtgehalte Frühjahr 2008			%TS							Königswasseraufschluss [mg/kg TS]										
Datum Boden- probe	PN	pH- Wert	TS	TOC fest	Nk	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Cu	Mn	B	Zn	S- elementar	Fe	Co	Mo	Ni	Se	Cr
Frühjahr 08	Nootbaar		99,2	2,65	0,171	0,132	0,1	0,222	0,341	4,77	315	15,4	36,9	359,0	8.170	0,21	<1	0,49	< 2,0	11,7
Frühjahr 08	Nootbaar		99,5	0,74	0,046	0,050	0,1	0,217	0,194	3,02	214	15,8	32,1	109,0	11.200	0,32	<1	1,02	< 2,0	11,6
Frühjahr 08	Nootbaar		99,3	0,29	0,021	0,023	0,1	0,208	0,06	3,22	191	<2	25,4	67,8	6.110	0,37	<1	0,79	< 2,0	9,26
Frühjahr 08	Buchloe		87,7	2,91	0,317	0,123	0,3	0,7	0,534	11,5	470	30,3	58,0	624,0	21.200	0,16	<1	7,91	< 2,0	26,5
Frühjahr 08	Buchloe		97,7	0,59	0,051	0,031	0,5	1,14	0,445	42,7	329	28,7	52,8	92,0	25.000	7,45	<1	18,7	< 2,0	14,1
Frühjahr 08	Buchloe		98,1	5,1	0,062	0,033	0,4	7,39	10,2	13,1	566	26,5	49,8	145,0	16.500	5,33	<1	11,5	< 2,0	26,7
Frühjahr 08	Ameln		99,2	2,75	0,115	0,083	0,3	0,362	0,331	8,39	714	20,2	64,4	280,0	19.000	0,24	<1	4,43	< 2,0	23
Frühjahr 08	Ameln		99	0,96	0,095	0,097	0,3	0,391	0,34	8,04	618	21,7	61,5	251,0	20.200	0,23	<1	4,79	< 2,0	22,4
Frühjahr 08	Ameln		98,4	0,38	0,052	0,051	0,5	0,535	0,288	19,8	446	31,6	62,0	74,0	21.400	6,47	<1	31,8	< 2,0	19,1

Tabelle 31: Gesamtgehalte im Boden Frühjahr 2008

Gesamtgehalte																				
Herbst 2008																				
			%	%TS						Königswasseraufschluss [mg/kg TS]										
Datum	PN	pH-Wert	TS	TOC fest	Nk	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Cu	Mn	B	Zn	S-elementar	Fe	Co	Mo	Ni	Se	Cr
02.10.2008	Wiesenau		99,8	2,18	0,017	0,142	0,5	0,701	0,784	19,1	1710	37,6	86,6	425,0	41.500	0,45	< 1	22,8	< 2,0	26,1
02.10.2008	Wiesenau		99,5	1,08	0,120	0,089	0,385	0,667	0,661	14,5	1030	28,9	67,4	252,0	34.600	0,31	< 1	20,9	< 2,0	22,9
02.10.2008	Wiesenau		99,9	1,05	0,117	0,126	0,448	0,768	0,735	10,9	1050	34,4	72,1	240,0	43.600	0,25	< 1	24,9	< 2,0	25,2
10.10.2008	Ameln		99,9	1,05	0,111	0,080	0,316	0,424	0,291	9,42	683	16,2	60,3	195,0	19.300	0,57	1,39	13,1	< 2,0	18
10.10.2008	Ameln		100	0,39	0,056	0,016	0,372	0,65	0,753	8,66	546	21,7	44,3	102,0	23.000	0,49	< 1	15,9	< 2,0	15,9
10.10.2008	Ameln		99,9	0,25	0,046	0,034	0,478	0,641	0,279	10,9	510	25,2	44,6	82,1	26.400	0,47	< 1	20,6	< 2,0	18,3
20.10.2008	Buchloe		99,8	2,55	0,272	0,044	0,272	0,685	0,313	12,3	480	19,1	49,1	376,0	22.500	0,32	< 1	19,2	< 2,0	19,9
20.10.2008	Buchloe		99,6	0,88	0,101	0,023	0,395	0,867	0,262	16,3	258	23,2	49,9	147,0	26.400	0,27	< 1	26,6	< 2,0	19,6
20.10.2008	Buchloe		99,9	0,66	0,082	0,027	0,489	1,36	0,724	20,9	345	29,7	20,9	135,0	28.500	0,23	< 1	33,1	< 2,0	24,3
30.10.2008	Nootbaar		99,9	2,73	0,158	0,092	0,08	0,131	0,259	5,75	209	6,6	29,9	297,0	7.600	0,16	< 1	2,45	< 2,0	6,96
30.10.2008	Nootbaar		99,9	1,04	0,080	0,023	0,06	0,141	0,129	2,31	122	6,6	18,3	102,0	6.810	0,32	< 1	3,03	< 2,0	5,02
30.10.2008	Nootbaar		99,8	0,69	0,045	n.n.	0,08	0,171	0,114	2,66	127	20	18,7	71,4	7.670	0,27	< 1	3,92	< 2,0	4,54

Tabelle 32: Gesamtgehalte im Boden Herbst 2008

Gesamtgehalte Frühjahr 2009										Königswasseraufschluss [mg/kg TS]										
			%	%TS																
Datum Boden- probe	PN	pH- Wert	TS	TOC fest	Nk	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Cu	Mn	B	Zn	S- elementar	Fe	Co	Mo	Ni	Se	Cr
31.03.2009	Nootbaar	6,58	97,7	2,39	0,173	0,153	0,075	0,179	0,312	6,54	408	8,6	34,9	244,0	9.060	2,3	0,21	2,52	< 2,0	25,8
31.03.2009	Nootbaar	6,62	96,2	0,81	0,045	0,032	0,053	0,103	0,136	1,32	216	6	15,6	50,0	7.090	2,2	< 0,2	2,1	< 2,0	18,3
31.03.2009	Nootbaar	6,44	97,7	0,35	0,017	0,034	0,16	0,374	0,139	4,05	241	15,7	22,7	47,4	10.900	4,6	< 0,2	6,44	< 2,0	27,9
08.04.2009	Ameln	6,52	93	1,14	0,119	0,046	0,319	0,394	0,392	9,8	627	16,5	59,6	187,0	23.900	7,5	< 0,2	12	< 2,0	43,1
08.04.2009	Ameln	6,6	85,6	0,28	0,042	0,044	0,478	0,586	0,287	9,56	449	26,7	43,9	65,0	16.400	10,5	< 0,2	17,8	< 2,0	47,4
08.04.2009	Ameln	6,73	86,1	0,21	0,031	0,048	0,496	0,612	0,309	10,9	448	26,3	42,0	59,6	23.000	8,5	< 0,2	20,2	< 2,0	48,1
22.04.2009	Wiesenau	6,37	95,5	2,37	0,229	0,160	0,402	0,555	0,694	16,3	1580	20,5	80,4	578,0	37.800	10,1	< 0,2	19,2	< 2,0	116
22.04.2009	Wiesenau	5,33	96,9	0,94	0,101	0,060	0,248	0,378	0,293	6,68	356	19,5	41,1	165,0	20.200	6,5	< 0,2	12,4	< 2,0	43,8
22.04.2009	Wiesenau	4,43	92,5	0,64	0,077	0,067	0,457	0,77	0,617	10,2	547	31,3	67,2	407,0	51.600	15,2	< 0,2	24,6	< 2,0	144
03.05.2009	Buchloe	5,38	80,9	2,88	0,301	0,080	0,254	0,608	0,347	12,1	473	18,7	49,1	575,0	21.000	6	< 0,2	17,9	< 2,0	49,5
03.05.2009	Buchloe	5,88	87	0,45	0,850	0,025	0,595	1,28	0,357	24,2	275	27,5	65,3	104,0	31.900	11	< 0,2	37,8	< 2,0	104
03.05.2009	Buchloe	6,4	87	1,08	0,073	0,060	0,528	1,86	1,3	21,1	921	28,9	57,6	150,0	26.800	9	< 0,2	37,7	< 2,0	87,9

Tabelle 33: Gesamtgehalte Boden im Frühjahr 2009

	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv
Element	Kupfer		Mangan		Bor		Zink		Eisen		Kobalt		Nickel		Molybdän		Selen	
Schleswig-Holstein	4,77	3,22	315	191	15,4	2	36,9	25,4	8170	11200	0,21	0,32	0,49	1,02	0	0	0	0
	5,75	2,66	209	127	6,6	20	29,9	18,7	7600	7670	0,16	0,27	2,45	3,92	0	0	0	0
	5,7	4,05	408	241	8,6	15,7	34,9	22,7	9060	10900	2,3	4,6	2,52	6,44	0,21	0	0	0
Median 50	5,70	3,22	315	191	8,60	15,7	34,9	22,7	8170	10900	0,21	0,32	2,45	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00
Hintergrundwerte	6,8/11						25/39						4/9					
Bayern	11,5	13,1	470	566	30,3	26,5	58	52,8	21200	16500	0,16	5,33	7,91	11,5	0	0	0	0
	12,3	20,9	480	345	19,1	29,7	49,9	20,9	22500	28500	0,32	0,16	19,2	33,1	0	0	0	0
	12,1	21,1	473	921	18,7	28,9	49,1	57,6	21000	26800	6	9	17,9	37,7	0	0	0	0
Median 50	12,10	20,90	473,00	566,00	19,10	28,90	49,90	52,80	21200	26800	0,32	5,33	17,90	33,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Hintergrundwerte	16/21						53/63						26/36					
NRW	8,39	19,8	714	446	20,2	31,6	64,4	62	19000	214000	0,24	6,47	4,43	31,8	0	0	0	0
	9,42	10,9	683	510	16,2	25,2	60,3	44,6	19300	26400	0,57	0,47	13,1	20,6	0	0	0	0
	9,8	10,9	627	448	16,5	26,7	59,6	42	23900	23000	7,5	8,5	12	20,2	1,39	0	0	0
Median 50	9,42	10,90	683	448	16,5	26,7	60,3	44,6	19300	26400	0,57	6,47	12,0	20,6	0	0	0	0
Hintergrundwerte	12/18						64/90						16/24					
Brandenburg	19,1	10,9	1710	1050	37,6	34,4	86,6	72,1	41500	43600	0,45	0,25	22,8	24,9	0	0	0	0
	16,3	10,2	1580	547	18,7	28,9	49,1	57,6	37800	51600	10,1	15,2	19,2	24,6	0	0	0	0
Median 50	17,7	10,55	1645	798,5	28,2	31,7	67,9	64,9	39650	47600	5,3	7,7	21,0	24,8	0	0	0	0
Hintergrundwerte	5/16						20/52						3/13					

Hintergrundwerte: Median/Perzentil 90

Tabelle 34: Gesamtgehalt der Spurenelement der einzelnen Standorte im Vergleich zu den Hintergrundwerten [mg/kg TS] (Orange: Wert über Median, Rot über Perzentil 90 über den regionalen Hintergrundwerten liegen)

Sommer 2008 (Labor Dr. Janssen)				[mg/100ml Boden]			CAT-Methode [mg/kg]						[%]		
Datum Bodenprobe	PN	Bodenart	pH-Wert	P	K	Mg	Cu	Mn	B	Na	Zn	S	C-Analyse	C/N	Carbonat
20.08.2008	Ameln	Ut2	6,4	8	11	6	2,1	167	0,47	3,0	8,2		1,08	10	0
20.08.2008	Ameln	Ut3	6,3	2	7	5	1,1	56	0,27	1,7	1,5		0,39	7,5	0
20.08.2008	Ameln	Ut3	6,4	3	6	4	0,8	22	0,23	2,1	0,4		0,23	6,1	0
25.08.2008	Nootbaar	S	5,9	13	14	5	1,2	16	0,28	2,7	4,2		2,18	13,3	0
25.08.2008	Nootbaar	S	5,7	2	2	1	1,1	4	0,08	1,7	1,2		0,52	14,9	0
25.08.2008	Nootbaar	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	0
09.09.2008	Wiesenu	Lt2	5,7	8	11	16	-	-	-	-	-		2,13	8,9	0
09.09.2008	Wiesenu	Ut4	5,5	5	7	16	-	-	-	-	-		1,8	8,8	0
09.09.2008	Wiesenu	Lt2	5,5	14	7	14	-	-	-	-	-		1,74	9,2	0
19.09.2008	Buchloe	Ut4	5,5	2	3	22	1,3	81	0,38	2,7	2,4		2,79	9,6	0
19.09.2008	Buchloe	Lt2	5,8	1	2	29	0,8	34	0,18	2,4	0,4		0,73	8,5	0
19.09.2008	Buchloe	Lt2	6,7	1	2	30	1,8	83	0,26	1,1	1,1		0,49	9,2	7,3

Tabelle 35: Mobiler Anteil der Spurenelemente im Boden Sommer 2008

Herbst 2008 (Labor: LUFA)					[mg/100ml Boden]			CAT-Methode [mg/kg]					[%]			[mg/l]		[mg/kg]		
Datum Bodenprobe	PN	Bodenart	pH- Wert	P	K	Mg	Cu	Mn	B	Na	Zn	S	C- Analys e	C/ N	Carbon at	Fe EDTA- Metho de	Co Ammoniu m-nitrat- methode	Mo Ammoniu m-nitrat- methode	Ni Ammo nium- nitrat- metho de	Se Ammo nium- nitrat- metho de
02.10.2008	Wiesenaus	uT	6,4	6	7	15	4,5	225,3	0,77	42,3	8,9	11,3	2		0	586	0,015	<1	0,022	0,001
02.10.2008	Wiesenaus	uT	6,5	3	3	14	2,9	217,2	0,56	42,2	3,9	11,8	1,1		0	569	0,014	<1	0,011	<1
02.10.2008	Wiesenaus	uT	6,7	2	2	15	2,3	298,1	0,44	34,5	2,5	16,7	0,9		0	555	0,014	<1	0,025	<1
10.10.2008	Ameln	sL	6,7	6	9	8	1,9	167,9	0,52	21,8	8,1	7,7	1		0	250	0,006	<1	<1	0,002
10.10.2008	Ameln	sL	6,6	2	5	8	1,4	85,4	0,4	14,0	3,3	6,2	0,4		0	123	0,005	<1	<1	<1
10.10.2008	Ameln	sL	6,6	2	3	7	0,8	21,3	0,35	12,2	0,4	9,4	0,2		0	86	0,007	<1	0,005	<1
20.10.2008	Buchloe	IIS	6,1	3	3	30	1,4	72,8	0,46	11,9	2,3	13,0	2,8		0,9	291	0,009	<1	<1	0,002
20.10.2008	Buchloe	sL	5,9	1	5	22	0,9	36,2	0,35	13,3	0,8	5,7	1		0	122	0,012	<1	0,013	0,001
20.10.2008	Buchloe	sL	6,7	1	4	36	0,6	57,2	0,22	12,8	0,1	4,5	0,5		2	88	0,011	0,001	<1	0,001
30.10.2008	Nootbaar	S	5,9	6	13	7	0,9	7,7	0,32	14,1	5,5	3,5	2,1		0	122	0,004	0,002	<1	<1
30.10.2008	Nootbaar	S	6	2	3	2	0,4	3,3	0,12	130,8	1,7	6,1	0,8		0,6	69	0,035	0,009	0,017	0,013
30.10.2008	Nootbaar	S	5,7	1	3	1	0,4	2	0,15	15,3	0,9	5,5	0,5		1,1	50	0,007	<1	0,031	<1

Tabelle 36: Mobiler Anteil der Spurenelemente Herbst 2008

Frühjahr 2009 (Labor: LUFA)					[mg/100ml Boden]			CAT-Methode [mg/kg]					[%]			[mg/l]	[mg/kg]			
Datum Bodenprobe	PN	Bodenart	pH-Wert	P	K	Mg	Cu	Mn	B	Na	Zn	S	C-Analyse	C/N	Carbonat	Fe EDTA-Methode	Co Ammonium-nitrat-methode	Mo Ammonium-nitrat-methode	Ni Ammonium-nitrat-methode	Se Ammonium-nitrat-methode
31.03.2009	Nootbaar	S	5,8	6	4	3	1,1	5,6	0,32	8,4	2,8	2,4	1,8		0,5	97	0,005	0,001	0,015	0,001
31.03.2009	Nootbaar	S	5,9	1	2	1	0,1	0,3	0,17	5,0	<0,1	3,6	0,6		0	25	0,005	<1	0,017	<1
31.03.2009	Nootbaar	S	5,6	1	2	1	0,2	0,6	<0,1	3,6	<0,1	1,7	0,2		0	22	0,011	0,002	0,035	<1
08.04.2009	Ameln	sL	6,8	7	9	7	2	163,5	0,62	14,1	7,9	3,0	1		0,5	206	0,006	0,003	0,024	0,014
08.04.2009	Ameln	uT	6,8	2	6	9	0,9	31,3	0,41	19,4	0,4	5,3	0,3		0	123	0,007	0,002	0,033	0,001
08.04.2009	Ameln	uT	6,7	3	3	6	0,6	52,6	0,34	13,9	0,2	11,9	0,1		0,5	100	0,007	0,002	0,027	<1
22.04.2009	Wiesenau	sL	5,7	6	12	15	4	204	1,09	21,4	9,2	13,2	2,1		0	737	<1	<1	0,12	<1
22.04.2009	Wiesenau	sL	5	5	4	11	1,9	28,7	1,14	27,3	0,75	19,8	0,72		<0,5	963	0,01	0,03	1,15	<1
22.04.2009	Wiesenau	uT	4,3	4	6	15	1,25	27,9	1,46	35,5	0,39	93,9	0,75		<0,5	1864	0,32	<1	<1	<1
03.05.2009	Buchloe	sL	5,6	3	5	23	1,3	79,7	0,87	11,0	2,27	34,2	2,54		1,5	291	<1	<1	<1	<1
03.05.2009	Buchloe	uT	6	1	5	32	1,37	8,13	0,89	16,8	0,3	8,3	0,52		<0,5	79,6	0,02	<1	<1	<1
03.05.2009	Buchloe	uT	6,7	1	4	56	1,06	118	0,31	12,3	0,38	11,4	1,41		9,7	107	<1	<1	<1	<1

Tabelle 37: Mobiler Anteil der Spurenelemente Frühjahr 2009

Mobiler Spurenelemente	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv	Ah	Cv
Element	Kupfer		Mangan		Bor		Zink		Eisen		Kobalt		Nickel		Molybdän		Selen	
Schleswig-Holstein	1,1	0,2	5,6	0,6	0,32	0,1	2,8	0,1	97	22	0,005	0,011	0,015	0,035	0	0	0,001	0
	0,9	0,4	7,7	2	0,32	0,15	5,5	0,9	122	50	0,004	0,007	0	0,031	0	0	0	0,013
	1,2	0	16	0	0,28	0	4,2	0							0,21	0		
Median 50	1,10	0,20	7,70	0,60	0,32	0,10	4,20	0,10	110	36	0,005	0,009	0,008	0,033	0,00	0,00	0,001	0,007
Gehaltsklasse C / Sand	1-2	1-2	25-50	10-20	0,1-0,15	0,1-0,15	1-2,5	1-2,5							0,15-0,3	0,15-0,3		
pH-Wert	5,9	5,7																
Bayern	1,3	1	79,70	118,00	0,87	0,31	2,27	0,38	291	107	0,02	0	0	0	0	0	0	0
	1,4	0,6	72,80	57,20	0,46	0,22	2,3	0,1	291	88	0,009	0,011	0	0	0	0	0,002	0,001
	1,3	1,8	81,00	83,00	0,38	0,26	2,4	1,1							0	0		
Median 50	1,30	1,00	79,70	83,00	0,46	0,26	2,30	0,38	291	98	0,015	0,006	0,000	0,000	0,00	0,00	0,001	0,001
Gehaltsklasse C/ Lehm																		
pH-Wert	5,7	6,7													0,15-0,03	0,15-0,3		
NRW	2	0,6	163,5	52,6	0,62	0,34	7,9	0,2	206	100	0,006	0,007	0,024	0,027	0	0	0,014	0,001
	1,9	0,8	167,9	21,3	0,52	0,35	8,1	0,4	250	86	0,006	0,007	0	0,005	0	0	0,002	0
	2,1	0,8	167	22	0,47	0,23	8,2	0,4							1,39	0		
Median 50	2,00	0,80	167,00	22,00	0,52	0,34	8,10	0,40	228	93	0,006	0,007	0,012	0,016	0,00	0	0,008	0,001
Gehaltsklasse C/ Lehm	2-4	2-4	30-50	20-30	0,35-0,6	0,35-0,6	1,5-3,0	1,5-3,0							0,08-0,15	0,08-0,15		
pH-Wert	6,6	6,6																
Brandenburg	4	1,25	204	27,9	1,09	1,46	9,2	0,39	737	1864	0	0,32	0,12	0	0	0	0	0
	4,5	2,3	225,3	298,1	0,77	0,44	8,9	2,5	586	555	0,015	0,014	0,022	0,025	0	0	0,001	0
Median 50	4,25	1,78	214,65	163,00	0,93	0,95	9,05	1,45	661,50	1209,50	0,01	0,17	0,07	0,01	0	0	0,0005	0
Gehaltsklasse C/ Lehm																		
pH-Wert	5,9	5,5													0,15-0,3	0,15-0,3		

Einheiten in [mg/kg] TS im Boden, Medianwert als Endresultat

(Gelb unterm Durchschnitt, Grün gewünschter Gehalt entsprechend Gehaltsklasse C, Rot über dem Durchschnittsgehalt)

Tabelle 38: Mobile Spurenelementgehalte und deren Einteilung nach Gehaltsklassen

Pflanzenanbau				
Standort	Nootbaar	Wiesenaue	Ameln	Buchloe
Vorfrucht im Jahr 2007	Mais/Winter: Roggen	Winterweizen	Zuckerrübe	Mais
angebaute Pflanzensorte und Siloreifezahl	Agromax 240 (S)	Pionier B39 ~ 330(S)	Atletico 280 (S)	Agromais/ Pistole (wie Gavotte) gebeizt 240 (S)
Reifestadium (Ernte)	Teigreife/Vollreife	Teigreife	Teigreife	Teigreife
Aussaattermin	12.04.2008	03.05.2008	20.04.2008	04.05.2008
Erntetermin	24.09.2008	28.09.2008	15.09.2008	29.09.2008
Vegetationszeit/ Tage	165	147	147	147
TS-Gehalt [%] der Gesamtpflanze nach der Ernte	32%	30%	30%	31%
Biomasseertrag [kg FM/ha]	44,4 [t/ha]	48,2 [t/ha]	83 [t/ha]	53,5 [t/ha]
Biomasseertrag [dt TM/ha]	142 [dt/ha]	145 [dt/ha]	249 [dt/ha]	166 [dt/ha]
Maisblüte	~ 20.07	Ende Juni	Ende Juni	?
Kolbenbildung	04. Aug	Ende Juli	?	?
Schäden oder sonstige Beobachtungen an der Maiskultur	Pilzbefall, Anfang August sichtbar: z.T. keine Kolbenausgebildet,		Kolbenbrand	

Tabelle 39: Erhebungen zum Maisanbau und Ernte

	Kobalt	Kupfer	Nickel	Bor	Zink	Mangan	Eisen
Schleswig-Holstein	0,48	0,54	0,083	1,19	0,6	0,10	0,0040
Bayern	0,23	0,33	0,012	0,41	0,4	0,07	0,0016
NRW	0,18	0,29	0,028	0,63	0,3	0,03	0,0030
Brandenburg	0,02	0,23	0,025	0,54	0,5	0,02	0,0187

Tabelle 40: Transferfaktor Boden-Pflanze TF_{BP} (Mais)

[mg/kg/ TS]	Kobalt			Kupfer			Nickel			Bor			Zink			Mangan			Eisen		
	B	P	TF	B	P	TF	B	P	TF	B	P	TF	B	P	TF	B	P	TF	B	P	TF
Schleswig-Holstein	0,21	0,100	0,48	5,7	3,090	0,54	2,5	0,203	0,083	8,6	10,25	1,19	34,9	21,9	0,6	315	32,50	0,10	8170	32,50	0,0040
Bayern	0,32	0,075	0,23	12,1	3,975	0,33	17,9	0,215	0,012	19,1	7,75	0,41	49,9	21,3	0,4	473	34,75	0,07	21200	34,75	0,0016
NRW	0,57	0,100	0,18	9,4	2,730	0,29	12,0	0,3395	0,028	16,5	10,35	0,63	60,3	20,9	0,3	683	21,90	0,03	19300	57,20	0,0030
Brandenburg	5,28	0,100	0,02	17,7	4,060	0,23	21,0	0,515	0,025	28,2	15,30	0,54	67,9	36,2	0,5	1645	35,00	0,02	39650	740,00	0,0187

Tabelle 41: Boden-Pflanze-Pfad, B= Bodengehalt [mg/kg], P= Pflanzengehalt [mg/kg], TF= Transferfaktor

Parameter	Einheit	Eingangsanalytik	04.05.2009	27.05.2009	25.06.2009	07.08.2009	27.10.2009	07.12.2009	23.02.2010	13.04.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	12.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
TS	%	37,1	35,5	37,4	35,8	33,9	34,7	32,4	33,0	33,8	34,8	34,7	34,5	33,6	35,5	34,6	34,6
oTS	% OS	35,5	34,2	36,4	34,8	32,8	33,5	31,9	32,8	32,8	33,7	33,6	33,5	32,4	34,4	33,5	33,5
TOC	% TS	48,8	47,2	46,7	44,4	46,1	41,3	41,2	43,0	41,2	45,3	45,9	46,7	45,3	44,9	45,2	45,7
N _L	% OS	0,525	0,456	0,419	0,449	0,411	0,420	0,415	0,456	0,386	0,416	0,469	0,403	0,426	0,423	0,243	0,45
pH - Wert				7,09	6,27	3,81	3,87	3,88	4,15	4,61	3,84	3,88	3,80	3,73	4,26	4,22	4,23
Königswasserextrakt																	
P ₂ O ₅	% TS	0,295	0,251	0,286	0,197	0,300	0,285	0,499	0,369	0,233	0,357	0,261	0,286	0,403	0,300	0,220	0,240
MgO	% TS	0,166	0,172	0,138	0,146	0,204	0,183	0,201	0,173	0,154	0,164	0,156	0,167	0,201	0,189	0,183	0,18
CaO	% TS	0,039	0,172	0,122	0,175	0,191	0,187	0,194	0,193	0,160	0,183	0,169	0,188	0,201	0,184	0,175	0,184
Cr	mg/kg TS	0,456	4,23	n.n.	n.n.	0,579	0,173	0,732	0,756	1,24	0,551	0,330	0,328	0,245	0,621	2,20	2,01
Mo	mg/kg TS	0,918	<0,200	<0,200	<0,400	0,510	0,430	0,770	0,620	0,560	0,570	<0,5	<0,5	0,52	0,580	0,63	0,61
Mn	mg/kg TS	19,9	15,0	12,2	13,3	15,3	13,8	14,2	15,8	11,5	11,9	11,0	12,6	8,91	16,7	11,6	15,1
Fe	mg/kg TS	35,7	26,8	36,8	20,5	35,7	29,1	32,5	36,2	27,6	32,3	29,2	26,9	34,0	28,5	26,9	65,0
Co	mg/kg TS	<0,100	<0,100	<0,050	<0,050	<0,050	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Ni	mg/kg TS	0,258	0,020	0,765	0,203	0,262	0,144	0,136	0,311	0,112	0,560	1,09	1,15	n.n.	n.n.	n.n.	0,166
Cu	mg/kg TS	3,09	2,93	3,42	2,01	2,84	3,51	3,46	3,14	2,66	2,47	2,31	2,49	2,33	3,19	2,89	3,86
Zn	mg/kg TS	21,9	20,1	18,4	23,6	23,1	20,2	22,4	22,6	17,5	20,0	19,3	17,6	21,8	21,2	21,0	24,7
B	mg/kg TS	63,5	17,7	16,1	<5,00	9,70	10,8	7,00	7,60	9,30	11,8	5,10	2,60	3,30	4,50	5,40	13,6
Se	mg/kg TS	<2,00	2,06	2,10	1,60	2,20	2,20	3,10	2,50	2,20	3,10	2,00	2,30	2,70	3,00	2,80	2,40
Schwefel	mg/kg TS	871	1150	1010	826	750	631	472	653	560	787	690	571	590	639	602	462
Na	mg/kg TS	119	344	160	116	147	136	144	221	224	147	162	257	302	181	288	263
K ₂ O	% TS	1,14	1,09	1,21	1,35	1,38	1,40	1,54	1,37	1,02	1,30	1,17	1,34	1,29	1,25	1,24	1,60
NH ₄ -N	% OS					0,032											

n.n. – nicht nachweisbar

Tabelle 42: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Nootbaar - Schleswig-Holstein

Parameter	Einheit	Eingangsanalytik	04.05.2009	27.05.2009	25.06.2009	07.08.2009	27.10.2009	03.12.2009	13.02.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	12.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
TS	%	32,4	34,0	25,9	25,4	31,2	31,9	33,1	32,2	31,8	31,6	33,3	29,0	33,3	33,3
oTS	% OS	31,2	32,8	24,6	24,2	30,0	30,6	32,1	31,0	31,1	30,4	32,1	28,3	32,0	32,0
TOC	% TS	48,5	46,8	46,8	42,6	45,9	41,9	45,3	43,7	44,1	46,0	45,3	45,4	44,1	45,7
N _k	% OS	0,420	0,486	0,362	0,387	0,403	0,398	0,446	0,442	0,432	0,435	0,498	0,430	0,282	0,432
pH - Wert				6,82	5,88	3,04	3,75	3,56	3,99	4,01	4,51	3,78	3,76	4,22	4,20
Königswasserextrakt															
P ₂ O ₅	% TS	0,295	0,229	0,219	0,360	0,256	0,260	0,403	0,355	0,294	0,366	0,389	0,382	0,188	0,323
MgO	% TS	0,237	0,221	0,177	0,311	0,236	0,230	0,226	0,228	0,208	0,208	0,252	0,224	0,24	0,249
CaO	% TS	0,050	0,224	0,141	0,286	0,188	0,187	0,175	0,203	0,203	0,197	0,193	0,195	0,183	0,209
Cr	mg/kg TS	0,523	4,71	n.n.	n.n.	0,520	0,223	1,10	0,765	0,201	0,307	0,628	0,702	2,29	2,06
Mo	mg/kg TS	0,426	<0,200	<0,200	<0,400	<0,500	<0,400	0,510	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,5
Mn	mg/kg TS	26,4	24,2	19,5	30,3	21,8	21,9	19,6	23,7	20,9	21,0	17,1	23,1	19,0	24,4
Fe	mg/kg TS	37,8	40,6	37,5	25,5	32,0	31,7	31,0	50,5	48,3	30,1	35,6	36,2	42,3	33,6
Co	mg/kg TS	<0,100	<0,100	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,100	<0,100	0,110	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Ni	mg/kg TS	0,134	n.n.	0,646	0,287	0,220	0,143	0,180	0,215	1,08	1,30	n.n.	n.n.	n.n.	0,161
Cu	mg/kg TS	3,94	4,24	4,17	3,08	3,46	4,37	4,01	3,65	3,79	3,64	3,00	3,87	3,72	3,79
Zn	mg/kg TS	20,8	20,9	19,5	35,5	22,5	20,6	21,6	22,4	20,3	18,9	20,3	22,4	22,3	23,9
B	mg/kg TS	51,8	15,3	21,9	<5,00	7,10	6,80	8,00	7,50	7,10	6,00	5,20	4,90	5,60	12,4
Se	mg/kg TS	2,50	1,56	2,20	1,10	2,60	2,00	3,30	2,50	2,10	2,20	2,40	2,60	2,60	2,40
Schwefel	mg/kg TS	911	1220	1160	1030	781	670	486	631	788	644	655	684	624	487
Na	mg/kg TS	21,3	485	93,5	55,7	37,9	23,2	111	138	92,5	169	242	102	233	183
K ₂ O	% TS	1,23	1,07	1,23	2,12	1,15	1,22	1,25	1,28	1,10	1,22	1,08	1,11	1,18	1,21
NH ₄ -N	% OS					0,022									

n.n. – nicht nachweisbar

Tabelle 43: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Buchloe – Bayern

Parameter	Einheit	Eingangsanalytik	04.05.2009	27.05.2009	25.06.2009	07.08.2009	27.10.2009	01.12.2009	18.02.2010	13.04.2010	27.05.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	12.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
TS	%	27,7	22,8	24,1	21	28,8	23,1	24,7	28,8	28,3	25,2	27,2	26,9	26,4	28,4	29,2	29,2
oTS	% OS	26,3	21,6	22,8	19,7	27,5	21,9	23,5	27,6	27,1	23,9	26,2	26,1	25	27,1	27,8	27,8
TOC	% TS	47,5	46,4	45,9	43	45	44,7	43,2	42,5	40,2	44,2	46,0	44,4	44,8	44,7	43,8	44,3
N _k	% OS	0,468	0,325	0,292	0,327	0,377	0,360	0,234	0,365	0,329	0,363	0,355	0,359	0,378	0,369	0,373	0,350
pH - Wert				6,46	5,11	3,70	3,49	3,51	3,81	7,60	3,71	3,71	3,65	3,61	3,65	3,88	3,81
Königswasserextrakt																	
P ₂ O ₅	% TS	0,252	0,320	0,278	0,275	0,169	0,248	0,327	0,229	0,179	0,270	0,172	0,318	0,295	0,240	0,135	0,202
MgO	% TS	0,219	0,300	0,239	0,293	0,229	0,297	0,307	0,218	0,184	0,273	0,222	0,232	0,255	0,192	0,226	0,211
CaO	% TS	0,449	0,632	0,418	0,592	0,420	0,551	0,505	0,431	0,437	0,464	0,445	0,448	0,449	0,407	0,417	0,323
Cr	mg/kg TS	0,328	10,4	n.n.	n.n.	4,48	0,62	1,28	1,13	1,66	0,850	0,762	0,721	0,947	1,05	2,72	2,49
Mo	mg/kg TS	0,273	<0,200	<0,200	<0,400	<0,5	<0,400	0,41	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500
Mn	mg/kg TS	37,1	43,9	35,0	42,7	33,4	39,1	33,0	31,3	25,3	36,8	35,6	35,2	29,0	32,4	28,8	33,5
Fe	mg/kg TS	656	842	916	471	733	722	740	953	943	1030	896	653	831	867	800	881
Co	mg/kg TS	<0,100	<0,100	<0,050	<0,050	<0,05	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,140	0,11	<0,100	<0,100	<0,100
Ni	mg/kg TS	3,20	0,240	0,849	0,373	0,669	0,515	0,433	0,823	0,28	0,866	1,47	1,62	0,122	0,019	n.n.	0,364
Cu	mg/kg TS	1,64	4,78	4,43	2,77	4,06	4,89	4,67	3,78	3,68	4,13	4,19	4,11	3,56	4,49	3,97	3,92
Zn	mg/kg TS	33,4	49,1	40,3	47,7	36,2	20,7	42,3	33,1	26,6	38,8	35,2	30,5	34,2	32,1	34,4	33,0
B	mg/kg TS	31,2	51,3	21,2	<5,00	15,30	8,60	11,3	7,80	16,80	8,90	8,80	7,20	7,40	7,10	8,00	7,90
Se	mg/kg TS	<2,00	<2,00	1,90	1,10	2,40	1,80	2,90	2,20	2,30	3,10	2,20	1,90	2,20	2,50	2,50	2,30
Schwefel	mg/kg TS	1,190	2,580	1,380	1,100	805	812	632	695	685	977	827	718	648	696	654	531
Na	mg/kg TS	857	798	101	73,0	60,0	53,0	63,5	174	186	24,8	110	202	234	101	273	186
K ₂ O	% TS	0,972	1,25	1,54	1,92	0,988	1,46	1,49	1,08	0,78	1,18	1,01	1,10	0,921	0,841	0,947	0,989
NH ₄ -N	%OS					0,014											

n.n. – nicht nachweisbar

Tabelle 44: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Wiesenau – Brandenburg

Parameter	Einheit	Eingangsanalytik	04.05.2009	27.05.2009	25.06.2009	07.08.2009	27.10.2009	03.12.2009	22.02.2010	13.04.2010	27.05.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	12.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
TS	%	29,8	31,8	30,9	27,1	29,9	30,3	28,6	30,5	27,9	29,5	30,9	23,9	29,5	30,9	30,1	30,1	30,1
oTS	% OS	28,8	30,5	29,5	25,7	28,6	28,9	27,3	29,1	26,5	28,1	29,5	22,5	28,1	29,5	28,8	28,8	28,8
TOC	% TS	46,0	46,3	47,2	43,4	45,0	43,9	42,5	42,6	41,7	45,4	46,2	44,4	45,2	44,8	44,8	44,3	45,2
N _k	% OS	0,432	0,389	0,345	0,357	0,363	0,368	0,373	0,371	0,377	0,359	0,361	0,346	0,34	0,414	0,371	0,224	0,356
pH - Wert				5,17	6,49	3,53	3,38	4,21	5,00	5,23	3,57	3,58	3,68	3,52	3,46	3,41	3,55	3,51
Königswasserextrakt																		
P ₂ O ₅	% TS	0,234	0,274	0,300	0,300	0,286	0,281	0,435	0,382	0,35	0,375	0,380	0,375	0,431	0,401	0,358	0,252	0,389
MgO	% TS	0,160	0,150	0,145	0,186	0,174	0,186	0,205	0,171	0,18	0,204	0,169	0,24	0,174	0,175	0,157	0,181	0,174
CaO	% TS	0,290	0,270	0,230	0,342	0,280	0,300	0,295	0,303	0,284	0,334	0,306	0,381	0,306	0,286	0,264	0,304	0,300
Cr	mg/kg TS	n.n.	5,00	n.n.	2,08	0,489	0,567	1,33	0,985	1,55	0,571	0,727	0,214	0,466	0,765	0,818	2,62	2,60
Mo	mg/kg TS	0,526	-	0,680	<0,400	0,670	0,470	0,840	0,74	0,78	0,9	0,88	0,76	0,72	0,62	0,67	0,77	0,74
Mn	mg/kg TS	22,4	24,8	19,6	21,9	20,1	22,2	19,5	22,9	17,9	22,2	21,2	26,5	22,4	16,0	21,4	20,1	22,8
Fe	mg/kg TS	56,3	57,2	59,3	31,7	57,0	51,5	70,0	81,4	62,9	112	95,1	100	53,8	82,0	53,0	82,8	67,0
Co	mg/kg TS	<0,100	<0,100	<0,050	<0,050	<0,05	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Ni	mg/kg TS	3,45	n.n.	0,646	1,92	0,212	0,467	0,133	0,195	0,113	0,638	0,680	1,12	1,13	n.n.	n.n.	n.n.	0,119
Cu	mg/kg TS	n.n.	2,38	3,04	1,89	2,67	3,33	3,08	2,27	2,79	2,82	2,64	3,80	2,60	2,09	2,86	2,68	2,50
Zn	mg/kg TS	13,6	15,8	17,0	22,8	19,5	41,8	21,5	22,8	20,9	23,0	18,0	27,5	16,0	17,4	18,3	19,3	19,8
B	mg/kg TS	61,4	17,0	14,4	<5,00	8,70	7,50	12,0	7,7	7,90	8,20	7,70	8,40	6,80	6,50	6,20	12,4	7,00
Se	mg/kg TS	2,50	2,72	2,30	1,70	2,40	2,30	3,00	2,10	2,30	2,90	2,60	2,30	2,20	2,30	2,60	2,80	2,30
Schwefel	mg/kg TS	889	1140	1100	949	716	690	534	655	714	900	850	820	618	650	609	622	516
Na	mg/kg TS	857	91,5	114	55,7	96,6	32,8	83,3	206	190	38,9	40,1	126	208	255	112	316	222
K ₂ O	% TS	1,25	1,07	1,49	1,75	1,32	1,43	1,41	1,39	1,30	1,45	1,30	1,81	0,989	1,10	1,18	1,33	1,32
NH ₄ -N	% OS																	

n.n. – nicht nachweisbar

Tabelle 45: Spurenelementgehalte in der Maissilage/ Ameln - NRW

Parameter	Einheit	04.05.2009	27.05.2009	10.06.2009	24.06.2009	21.07.2009	05.08.2009	26.08.2009	30.09.2009	27.10.2009	11.11.2009	09.12.2009	13.01.2010
Karbonsäure	mg/l	1320	961	985	739	1130	1890	1840	1800	1390	973	2680	1950
pH-Wert		8,04	8,36	8,30	7,99	7,85	8,18	7,84	7,72	7,99	7,92	8,10	7,85
TS	%	6,12	6,63	6,73	6,85	7,23	7,46	7,54	7,21	7,62	7,44	7,47	7,38
oTS	% OS	4,76	5,30	5,40	5,40	5,81	6,02	6,12	5,82	6,28	6,12	6,17	6,05
TOC	% TS	43,0	42,5	44,1	42,2	43,3	44,0	40,8	42,4	42,9	43,6	44,0	44,5
N_k	% OS	0,469	0,447	0,483	0,465	0,472	0,444	0,457	0,441	0,456	0,433	0,472	0,457
NH₄-N	% OS	0,210	0,241	0,216	0,220	0,207	0,200	0,191	0,193	0,171	0,191	0,166	0,184
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	1,87	1,45	1,47	1,10	0,94	1,36	1,61	1,72	2,47	2,43	1,93	2,43
MgO	% TS	1,23	0,901	1,02	0,980	0,831	0,976	0,813	0,917	0,989	0,982	0,932	1,07
CaO	% TS	2,29	1,60	1,96	1,94	1,61	1,63	1,45	1,56	1,56	1,52	1,37	1,40
Cr	mg/kg TS	71,2	12,5	24,0	27,8	34,9	36,6	29,5	24,7	22,4	29,0	23,9	25,1
Mo	mg/kg TS	-	3,90	4,00	3,40	2,90	3,10	2,90	2,90	2,60	3,72	3,20	3,30
Mn	mg/kg TS	255	181	243	187	191	196	174	161	142	135	110	126
Fe	mg/kg TS	1180	1100	901	619	888	915	798	681	576	653	642	763
Co	mg/kg TS	0,703	0,700	0,460	0,420	0,420	0,410	0,390	0,320	0,320	0,350	0,290	0,300
Ni	mg/kg TS	15,5	12,5	11,3	18,5	14,3	15,8	14,7	14,2	13,2	14,4	15,5	13,9
Cu	mg/kg TS	162	120	127	109	96,8	118	82,9	78,6	77,4	71,1	71,1	58,5
Zn	mg/kg TS	283	166	172	184	176	182	167	196	129	114	155	138
B	mg/kg TS	217	29,0	16,7	8,60	23,2	26,3	32,3	25,1	35,9	26,1	38,6	22,9
Se	mg/kg TS	-	1,90	0,64	<1,00	1,20	1,50	2,00	1,90	1,10	2,22	2,20	3,00
Schwefel	mg/kg TS	7880	6680	5460	4580	5070	5210	4200	3480	3250	6400	2640	2480
Na	mg/kg TS	2630	1840	1900	2200	1790	1810	1670	1510	1370	1490	1460	1400
K₂O	% TS	6,36	6,02	6,90	7,00	6,14	6,79	6,04	6,38	6,27	6,15	6,65	6,92

Parameter	Einheit	27.01.2010	24.02.2010	24.03.2010	14.04.2010	19.05.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	13.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
Karbonsäure	mg/l	2460	1870	2080	1910	3690	1740	1860	1860	2220	2470	2300	3230
pH-Wert		7,64	8,10	8,12	8,04	7,59	7,67	7,97	8,29	7,73	7,79	7,98	8,11
TS	%	7,71	7,63	7,79	7,60	8,30	7,91	8,16	8,36	8,74	8,34	8,58	8,24
oTS	% OS	6,32	6,33	6,58	6,31	6,94	6,54	6,75	6,97	7,36	6,91	7,19	6,89
TOC	% TS	43,5	44,7	44,3	44,3	44,9	43,7	45,2	44,3	44,7	44,6	44,2	44,6
N _k	% OS	0,434	0,445	0,433	0,435	0,469	0,465	0,455	0,473	0,474	0,490	0,454	0,458
NH ₄ -N	% OS	0,180	0,167	0,159	0,156	0,163	0,183	0,148	0,159	0,158	0,151	0,152	0,155
Königswasserextrakt													
P ₂ O ₅	% TS	2,02	2,05	2,95	2,13	1,79	2,04	2,01	2,04	1,83	1,87	1,74	1,69
MgO	% TS	0,929	0,856	0,882	0,780	0,876	0,951	0,737	0,776	0,900	0,863	0,908	0,792
CaO	% TS	1,34	1,31	1,07	1,14	1,15	1,35	1,14	1,12	1,21	1,21	1,08	1,45
Cr	mg/kg TS	27,9	27,4	21,8	27,3	25,4	34,1	28,7	24,7	30,9	27,2	27,9	31,9
Mo	mg/kg TS	3,20	3,10	3,00	3,30	3,30	3,90	3,00	3,00	2,70	2,60	2,60	2,9
Mn	mg/kg TS	116	114	110	98,4	89,7	107	101	95,5	85,3	89,0	82,6	107
Fe	mg/kg TS	564	648	612	484	477	762	539	356	531	374	590	748
Co	mg/kg TS	0,300	0,290	0,250	0,260	0,980	0,190	0,290	0,270	0,300	0,310	0,270	0,31
Ni	mg/kg TS	13,6	13,2	10,8	15,9	14,1	18,4	16,5	17,8	16,3	14,7	14,2	14,1
Cu	mg/kg TS	55,5	51,8	46,1	40,6	35,3	45,3	38,6	34,4	33,3	32,3	31,1	47,6
Zn	mg/kg TS	145	118	121	116	103	120	116	107	111	101	109	139
B	mg/kg TS	25,1	26,6	26,9	26,9	19,5	26,2	31,2	19,2	22,1	18,3	26,7	30,9
Se	mg/kg TS	1,90	2,10	2,70	2,50	2,80	2,90	3,00	2,30	2,60	2,00	3,20	2,30
Schwefel	mg/kg TS	3000	3170	2950	3270	4010	4630	3870	3100	3200	3870	3140	2850
Na	mg/kg TS	1250	1250	1450	1410	1090	984	1350	1190	1410	883	1370	1440
K ₂ O	% TS	6,33	6,26	5,70	5,96	6,05	6,56	5,60	6,27	5,47	5,63	5,93	6,52

Tabelle 46: Fermenteranalytik – Standort Nootbaar

Parameter	Einheit	04.05.2009	27.05.2009	10.06.2009	24.06.2009	21.07.2009	05.08.2009	26.08.2009	30.09.2009	27.10.2009	11.11.2009	09.12.2009	13.01.2010
Karbonsäure	mg/l	1380	757	805	1180	1230	1210	1960	901	1560	1130	4160	4240
pH-Wert		8,12	8,06	7,73	8,18	8,08	8,16	7,85	8,02	8,04	7,97	7,99	7,89
TS	%	5,91	7,10	7,62	6,98	7,24	7,00	7,32	7,38	7,87	7,29	8,29	8,04
oTS	% OS	4,51	5,70	6,22	5,49	5,77	5,54	5,86	5,92	6,44	5,88	6,88	6,60
TOC	% TS	43,3	43,4	44,7	42,9	41,2	44,8	41,2	41,3	43,1	43,0	43,9	43,7
N_k	% OS	0,456	0,455	0,465	0,491	0,475	0,421	0,491	0,471	0,470	0,446	0,454	0,526
NH₄-N	% OS	0,227	0,223	0,232	0,220	0,226	0,228	0,199	0,195	0,213	0,248	0,172	0,205
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	1,39	1,26	1,15	1,04	0,804	1,36	1,69	1,85	1,72	1,95	1,87	2,07
MgO	% TS	1,07	0,950	0,987	0,949	1,01	1,04	0,983	1,09	1,01	0,994	1,00	1,11
CaO	% TS	2,00	1,36	1,79	1,81	1,50	1,56	1,40	1,56	1,44	1,43	1,25	1,24
Cr	mg/kg TS	49,1	7,83	16,7	16,4	22,7	21,8	19,7	15,5	16,6	20,1	14,6	14,3
Mo	mg/kg TS	-	2,60	2,60	2,10	2,10	2,10	2,00	1,90	3,40	2,46	1,90	2,00
Mn	mg/kg TS	244	198	214	179	167	197	189	176	193	126	145	150
Fe	mg/kg TS	924	936	750	540	798	779	696	601	659	639	606	677
Co	mg/kg TS	0,677	0,460	0,410	0,370	0,340	0,370	0,280	0,270	0,280	0,290	0,230	0,210
Ni	mg/kg TS	9,58	9,16	8,04	13,6	9,65	9,75	10,2	9,65	9,84	10,2	9,83	8,31
Cu	mg/kg TS	142	94,0	106	96,7	88,1	101	83,6	38,2	81,9	64,1	60,1	48,4
Zn	mg/kg TS	259	130	156	163	144	167	162	186	151	106	140	121
B	mg/kg TS	82,9	34,7	15,3	<5,00	25,4	20,6	23,6	18,0	45,9	30,1	22,4	19,4
Se	mg/kg TS	-	2,00	1,30	<1,00	1,30	1,40	2,00	1,90	4,00	2,68	2,70	2,80
Schwefel	mg/kg TS	6770	5530	5220	4360	4880	5260	4080	3350	6490	6170	2900	2090
Na	mg/kg TS	2390	1540	1490	1660	1660	1330	1210	1040	971	1030	946	926
K₂O	% TS	6,95	6,00	6,66	7,41	5,87	6,68	5,85	5,94	6,41	6,08	6,35	6,18

Parameter	Einheit	27.01.2010	24.02.2010	24.03.2010	14.04.2010	19.05.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	13.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
Karbonsäure	mg/l	6930	6200	7780	6510	3760	1770	1420	901	1970	2550	3190	3550
pH-Wert		7,10	7,29	7,23	7,65	7,77	7,93	7,91	8,32	7,64	8,02	8,22	8,12
TS	%	8,12	8,82	9,55	7,68	7,65	7,27	7,27	8,11	8,00	8,48	8,90	8,00
oTS	% OS	6,66	7,41	8,09	6,50	6,17	5,85	5,89	6,70	6,58	7,07	7,48	6,57
TOC	% TS	42,8	44,6	43,1	44,7	44,2	43,5	43,7	43,4	43,3	43,5	43,5	45,1
N_k	% OS	0,521	0,522	0,507	0,498	0,485	0,500	0,466	0,470	0,462	0,482	0,483	0,485
NH₄-N	% OS	0,195	0,198	0,198	0,212	0,229	0,212	0,188	0,177	0,182	0,172	0,176	0,181
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	1,90	1,83	2,66	2,02	1,43	2,09	1,95	1,82	1,68	1,70	1,64	1,81
MgO	% TS	1,04	0,943	0,933	0,980	1,07	1,17	0,835	0,882	1,01	0,965	1,10	1,02
CaO	% TS	1,18	1,19	1,03	1,12	1,24	1,34	1,20	1,14	1,04	1,09	1,01	1,07
Cr	mg/kg TS	15,1	15,4	12,9	19,6	21,4	23,8	27,9	20,9	22,0	21,0	20,1	23,1
Mo	mg/kg TS	1,90	1,80	1,80	2,10	3,60	2,60	2,20	1,80	1,80	1,70	1,80	1,80
Mn	mg/kg TS	150	149	127	118	124	131	131	122	99,9	102	93,5	116
Fe	mg/kg TS	515	583	532	522	631	783	536	416	416	416	605	493
Co	mg/kg TS	0,210	0,220	0,170	0,300	0,190	0,170	0,370	0,260	0,300	0,310	0,280	0,19
Ni	mg/kg TS	8,48	8,16	6,93	12,4	11,8	14,4	13,8	16,6	12,1	12,0	12,4	12,1
Cu	mg/kg TS	48,3	47,9	42,0	41,4	45,0	45,5	46,7	40,1	34,4	34,5	34,4	35,9
Zn	mg/kg TS	138	134	105	114	110	117	125	94,3	96,9	124	115	127
B	mg/kg TS	20,5	22,3	16,5	22,0	21,8	21,4	25,9	20,7	20,0	22,0	17,8	20,9
Se	mg/kg TS	2,20	2,10	2,20	2,50	2,60	2,70	2,50	2,10	2,40	2,30	2,70	2,10
Schwefel	mg/kg TS	3000	3380	2710	3100	4400	4490	4230	3940	3900	3650	3870	2700
Na	mg/kg TS	844	801	869	1010	826	780	1070	998	1050	640	897	810
K₂O	% TS	5,75	5,76	6,10	5,83	6,29	6,42	5,77	5,86	4,49	5,05	5,59	6,43

Tabelle 47: Fermenteranalytik – Standort Buchloe

Parameter	Einheit	04.05.2009	27.05.2009	10.06.2009	24.06.2009	21.07.2009	05.08.2009	26.08.2009	30.09.2009	27.10.2009	11.11.2009	09.12.2009	13.01.2010
Karbonsäure	mg/l	2940	540	937	2280	2250	1270	1290	703	1970	2190	1090	2380
pH-Wert		8,13	8,15	7,87	8,15	7,75	8,06	7,66	7,69	7,70	7,63	8,01	8,15
TS	%	6,92	6,90	7,37	7,23	7,25	7,73	7,29	6,99	7,31	7,49	7,41	6,97
oTS	% OS	5,38	5,42	5,95	5,68	5,8	6,24	5,78	5,58	5,89	6,09	5,95	5,54
TOC	% TS	43,5	42,1	44,7	43,3	41,7	45,1	42,0	40,7	43,0	42,4	42,8	42,9
N_k	% OS	0,461	0,455	0,432	0,439	0,396	0,386	0,427	0,386	0,398	0,379	0,411	0,389
NH₄-N	% OS	0,198	0,203	0,207	0,194	0,176	0,156	0,149	0,157	0,152	0,142	0,130	0,138
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	0,867	1,13	1,01	0,863	0,556	1,12	1,38	1,37	1,29	1,22	1,37	1,33
MgO	% TS	1,00	0,840	0,897	0,889	0,925	0,973	0,856	0,899	0,897	0,940	1,02	1,11
CaO	% TS	2,24	1,58	1,98	1,93	1,77	1,97	1,82	1,74	1,89	1,83	1,85	1,84
Cr	mg/kg TS	51,0	8,95	19,0	20,4	27,3	27,2	24,2	18,4	19,3	23,9	19,7	21,4
Mo	mg/kg TS	-	2,30	2,00	1,60	1,60	1,60	1,50	1,50	1,50	1,95	1,50	1,70
Mn	mg/kg TS	234	207	218	175	169	209	197	195	199	141	169	192
Fe	mg/kg TS	2210	1970	1080	1460	1860	1790	1440	1570	1750	2070	2550	3350
Co	mg/kg TS	-	0,470	0,340	0,320	0,320	0,300	0,270	0,250	0,270	0,290	0,300	0,250
Ni	mg/kg TS	9,86	7,63	6,06	12,3	8,7	9,29	9,75	10,7	10,7	11,5	12,5	11,3
Cu	mg/kg TS	131	94,1	98,0	88,4	83,5	90,2	68,7	64,3	63,0	55,8	58,2	47,5
Zn	mg/kg TS	247	138	202	159	151	180	185	210	165	132	171	158
B	mg/kg TS	136	26,4	17,0	<5,00	26,2	24,2	25,2	24,5	23,2	44,6	29,8	29,4
Se	mg/kg TS	-	1,80	0,93	<1,00	1,10	1,40	1,70	1,90	1,90	2,45	2,20	2,70
Schwefel	mg/kg TS	6560	5420	4710	3820	4720	5060	3800	3250	2890	5750	2960	2920
Na	mg/kg TS	2070	1500	1430	1490	1380	1110	1090	1050	851	914	854	812
K₂O	% TS	5,30	5,61	5,95	6,22	4,96	5,46	4,78	5,28	5,28	5,19	5,35	5,67

Parameter	Einheit	27.01.2010	24.02.2010	24.03.2010	14.04.2010	19.05.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	13.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
Karbonsäure	mg/l	3040	3090	2700	3260	2910	3110	2530	2820	2670	2460	2940	2570
pH-Wert		7,51	7,55	7,74	7,60	7,58	7,79	7,70	7,72	7,80	7,78	7,89	7,56
TS	%	7,15	7,33	7,53	7,85	8,37	8,85	9,02	8,53	8,36	8,65	9,06	8,97
oTS	% OS	5,66	5,95	6,11	6,40	6,92	7,38	7,55	7,01	6,85	7,16	7,58	7,43
TOC	% TS	43,2	42,6	42,5	43,7	44,2	42,6	43,2	42,8	42,4	43,0	42,5	43,1
N _k	% OS	0,392	0,369	0,373	0,355	0,386	0,382	0,393	0,404	0,379	0,394	0,388	0,411
NH ₄ -N	% OS	0,140	0,119	0,119	0,114	0,108	0,114	0,104	0,116	0,113	0,099	0,093	0,103
Königswasserextrakt													
P ₂ O ₅	% TS	1,60	1,57	1,59	1,48	1,06	1,06	1,25	1,39	1,21	1,16	0,996	1,14
MgO	% TS	1,06	0,986	0,937	0,804	0,828	0,769	0,681	0,786	0,888	0,787	0,891	0,792
CaO	% TS	1,94	1,78	1,59	1,53	1,42	1,59	1,49	1,58	1,56	1,54	1,43	1,45
Cr	mg/kg TS	21,8	22,0	22,5	27,0	22,9	27,2	29,7	32,6	44,6	35,8	32,9	32,4
Mo	mg/kg TS	1,50	1,40	1,50	1,60	1,50	1,60	1,40	1,40	1,50	1,40	1,50	1,40
Mn	mg/kg TS	183	168	133	123	105	109	120	148	122	106	100	112
Fe	mg/kg TS	2180	2800	3020	2600	3130	3720	2430	1890	4800	1950	3930	2440
Co	mg/kg TS	0,230	0,220	0,220	0,180	0,140	0,140	0,270	0,200	0,300	0,300	0,320	0,13
Ni	mg/kg TS	11,6	10,5	11,2	15,6	12,1	14,4	14,3	21,9	37,7	17,8	17,7	16,2
Cu	mg/kg TS	46,7	41,4	38,2	31,5	26,0	24,9	24,8	24,5	34,4	21,5	22,0	21,2
Zn	mg/kg TS	170	158	119	120	97,3	105	109	118	267	135	122	125
B	mg/kg TS	27,1	25,9	25,9	24,0	26,1	21,6	24,3	20,7	20,0	19,6	32,0	21,9
Se	mg/kg TS	2,00	1,80	2,10	2,30	2,30	2,70	1,70	1,80	2,00	2,10	2,70	1,80
Schwefel	mg/kg TS	2900	2790	2670	2840	3340	3350	3110	3230	3000	3010	2510	2040
Na	mg/kg TS	792	714	739	787	513	373	573	581	1030	393	779	526
K ₂ O	% TS	5,21	4,90	4,70	4,44	4,18	5,93	4,08	4,49	3,49	3,91	5,53	4,17

Tabelle 48: Fermenteranalytik – Standort Wiesenau

Parameter	Einheit	04.05.2009	27.05.2009	10.06.2009	24.06.2009	21.07.2009	05.08.2009	26.08.2009	30.09.2009	27.10.2009	11.11.2009	09.12.2009	13.01.2010
Karbonsäure	mg/l	2940	1370	1140	2230	2370	2160	3660	2770	3000	3090	1930	2070
pH-Wert		8,26	8,31	8,02	7,04	7,87	8,48	7,92	7,71	7,68	7,72	7,81	8,00
TS	%	6,70	6,78	7,08	7,69	7,30	7,37	7,44	7,67	7,83	7,82	7,96	7,62
oTS	% OS	5,11	5,30	5,60	6,07	5,74	5,77	5,83	6,14	6,26	6,27	6,43	6,02
TOC	% TS	42,6	41,7	43,7	41,6	41,7	44,7	40,8	40,5	42,7	41,5	42,1	42,5
N_k	% OS	0,431	0,446	0,426	0,441	0,409	0,422	0,440	0,441	0,434	0,396	0,431	0,426
NH₄-N	% OS	0,224	0,220	0,236	0,232	0,192	0,195	0,197	0,197	0,234	0,203	0,126	0,192
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	1,61	1,33	1,35	0,935	1,20	1,31	2,05	1,34	1,38	1,58	1,81	1,69
MgO	% TS	1,00	0,808	0,852	1,02	0,767	0,839	0,955	0,780	0,797	0,767	0,856	0,945
CaO	% TS	2,21	1,53	1,98	1,97	1,64	1,77	1,53	1,51	1,55	1,54	1,60	1,48
Cr	mg/kg TS	55,8	13,2	26,4	25,2	35,3	34,0	27,8	22,5	24,1	36,0	37,1	41,8
Mo	mg/kg TS	-	4,10	3,70	3,30	3,10	3,10	3,00	2,80	2,80	4,18	3,50	3,90
Mn	mg/kg TS	234	173	212	182	187	188	178	157	166	131	144	133
Fe	mg/kg TS	1010	1060	806	513	912	866	751	678	748	714	875	1120
Co	mg/kg TS	-	0,550	0,460	0,390	0,410	0,430	0,330	0,270	0,300	0,360	0,300	0,380
Ni	mg/kg TS	15,4	14,0	12,2	18,6	15,8	14,4	13,9	12,7	13,1	16,4	23,3	21,3
Cu	mg/kg TS	135	105	104	89,2	89,6	95,6	71,8	63,1	62,5	57,7	62,4	48,6
Zn	mg/kg TS	230	151	188	161	133	152	148	158	132	97,0	133	104
B	mg/kg TS	103	32,0	18,6	<5,00	29,3	30,0	29,1	22,9	22,9	37,5	31,4	30,4
Se	mg/kg TS	-	2,10	0,960	<1,00	1,20	1,40	1,80	1,80	1,80	2,74	2,50	2,70
Schwefel	mg/kg TS	7270	5600	5030	4000	4720	5110	3620	3160	2920	5230	2950	2340
Na	mg/kg TS	3160	1590	1560	1700	1580	1310	1150	1060	932	968	950	967
K₂O	% TS	6,13	6,68	6,93	7,14	5,75	6,72	5,71	5,92	6,08	5,96	6,34	6,32

Parameter	Einheit	27.01.2010	24.02.2010	24.03.2010	14.04.2010	19.05.2010	23.06.2010	27.07.2010	25.08.2010	14.09.2010	13.10.2010	01.11.2010	07.12.2010
Karbonsäure	mg/l	3770	4400	3860	3930	3340	3620	3190	2460	1890	2510	1250	1480
pH-Wert		7,54	7,59	7,56	7,86	7,41	7,40	8,08	8,12	7,86	8,29	8,47	8,07
TS	%	7,94	8,22	8,45	9,16	8,62	8,84	8,97	9,38	8,75	9,28	11,0	8,94
oTS	% OS	6,38	6,66	6,86	7,58	6,97	7,21	7,32	7,80	7,13	7,61	9,00	7,22
TOC	% TS	41,8	43,3	42,5	44,0	43,2	41,8	43,1	42,2	42,7	42,0	41,9	42,8
N_k	% OS	0,435	0,436	0,451	0,436	0,477	0,406	0,433	0,450	0,438	0,442	0,449	0,452
NH₄-N	% OS	0,155	0,177	0,177	0,156	0,117	0,169	0,161	0,160	0,175	0,174	0,168	0,170
Königswasserextrakt													
P₂O₅	% TS	1,81	1,70	3,44	1,57	1,19	1,55	1,60	1,87	2,16	1,64	1,42	1,59
MgO	% TS	0,770	0,803	0,748	0,764	0,710	0,704	0,582	0,661	0,950	0,726	0,709	0,619
CaO	% TS	1,40	1,46	1,29	1,28	1,22	1,14	1,21	1,33	1,56	1,32	1,21	1,32
Cr	mg/kg TS	39,8	42,2	31,9	34,9	32,3	36,8	31,6	33,3	46,4	39,7	39,2	42,9
Mo	mg/kg TS	3,50	4,00	3,30	3,60	3,50	3,60	3,20	3,10	3,20	3,30	3,30	3,40
Mn	mg/kg TS	116	147	124	109	94,9	103	103	104	104	92,4	83,7	101
Fe	mg/kg TS	837	875	888	699	724	823	538	483	632	534	816	631
Co	mg/kg TS	0,300	0,280	0,280	0,260	0,290	0,310	0,370	0,280	0,400	0,430	0,440	0,26
Ni	mg/kg TS	19,7	20,3	15,4	18,7	17,0	19,2	17,4	22,9	23,2	20,0	21,3	20,2
Cu	mg/kg TS	44,6	40,7	38,4	32,2	30,0	27,6	26,5	24,8	26,3	21,0	20,5	20,0
Zn	mg/kg TS	101	120	101	91,6	84,8	90,6	84,8	71,7	91,6	95,4	79,9	79,4
B	mg/kg TS	25,4	23,0	32,2	39,0	31,0	25,2	25,1	20,5	20	19,3	20,5	23,3
Se	mg/kg TS	2,50	2,00	2,50	2,30	2,40	3,00	2,60	2,00	2,10	2,10	2,90	2,10
Schwefel	mg/kg TS	3000	3560	2700	2960	3100	3460	3130	2620	2900	3070	2460	2090
Na	mg/kg TS	947	821	979	856	652	460	723	709	942	425	849	656
K₂O	% TS	5,37	5,85	5,27	5,31	5,43	5,43	5,30	5,85	5,56	5,04	5,53	5,81

Tabelle 49: Fermenteranalytik – Standort Ameln

		29.06.- 05.07.10	06.07.- 12.07.10	13.07.- 19.07.10	20.07.- 26.07.10	27.07.- 02.08.10	03.08.- 09.08.10	10.08.- 16.08.10	17.08.- 23.08.10	24.08.- 30.08.10	31.08.- 06.09.10	07.09.- 13.09.10	14.09.- 20.09.10	21.09.- 27.09.10	28.09.- 04.10.10
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	7,47	9,75	8,25	6,55	7,32	8,06	7,14	6,76	5,17	6,45	6,73	7,13	7,53	7,77
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,633	0,865	0,732	0,582	0,652	0,718	0,635	0,602	0,460	0,574	0,599	0,635	0,661	0,682
Biogasausbeute	NI/g FM	0,223	0,292	0,247	0,196	0,219	0,241	0,213	0,202	0,155	0,193	0,201	0,213	0,214	0,221

		05.10.- 11.10.10	12.10.- 18.10.10	19.10.- 25.10.10	26.10.- 01.11.10	02.11.- 08.11.10	09.11.- 15.11.10	16.11.- 22.11.10	23.11.- 29.11.10	30.11.- 06.12.10	07.12.- 13.12.10	14.12.- 20.12.10	21.12.- 27.12.10	28.12.- 03.01.11
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	7,70	7,92	7,65	9,01	8,26	8,30	8,28	7,79	7,15	7,12	6,60	5,23	6,66
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,825	0,695	0,683	0,804	0,738	0,741	0,739	0,696	0,639	0,636	0,590	0,467	0,595
Biogasausbeute	NI/g FM	0,219	0,225	0,235	0,276	0,253	0,248	0,248	0,233	0,214	0,213	0,197	0,156	0,199

Tabelle 50: Kinetische Parameter – Standort Nootbaar

		29.06.- 05.07.10	06.07.- 12.07.10	13.07.- 19.07.10	20.07.- 26.07.10	27.07.- 02.08.10	03.08.- 09.08.10	10.08.- 16.08.10	17.08.- 23.08.10	24.08.- 30.08.10	31.08.- 06.09.10	07.09.- 13.09.10	14.09.- 20.09.10	21.09.- 27.09.10	28.09.- 04.10.10
Raumbelastung	g/l*d	1,4	0,5	0	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	6,03	4,97	1,85	2,66	5,81	6,77	6,90	7,23	6,96	6,00	6,77	6,01	6,34	6,58
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,537	0,439	-	-	0,513	0,605	0,617	0,646	0,621	0,536	0,604	0,537	0,562	0,584
Biogasausbeute	NI/g FM	0,164	0,153	-	-	0,178	0,188	0,192	0,201	0,193	0,167	0,184	0,163	0,180	0,187

		05.10.- 11.10.10	12.10.- 18.10.10	19.10.- 25.10.10	26.10.- 01.11.10	02.11.- 08.11.10	09.11.- 15.11.10	16.11.- 22.11.10	23.11.- 29.11.10	30.11.- 06.12.10	07.12.- 13.12.10	14.12.- 20.12.10	21.12.- 27.12.10	28.12.- 03.01.11
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	6,59	7,44	7,77	8,06	6,86	6,35	7,61	6,82	6,13	6,76	6,30	5,53	5,32
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,584	0,659	0,696	0,723	0,614	0,564	0,676	0,603	0,542	0,597	0,557	0,488	0,470
Biogasausbeute	NI/g FM	0,188	0,212	0,197	0,204	0,174	0,181	0,216	0,166	0,149	0,164	0,153	0,134	0,129

Tabelle 51: Kinetische Parameter – Standort Buchloe

		29.06.- 05.07.10	06.07.- 12.07.10	13.07.- 19.07.10	20.07.- 26.07.10	27.07.- 02.08.10	03.08.- 09.08.10	10.08.- 16.08.10	17.08.- 23.08.10	24.08.- 30.08.10	31.08.- 06.09.10	07.09.- 13.09.10	14.09.- 20.09.10	21.09.- 27.09.10	28.09.- 04.10.10
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,7	-	-	1,5	0,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	5,50	5,54	5,76	4,15	5,86	4,86	4,83	2,62	4,04	2,63	3,10	3,79	5,17	4,89
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,488	0,492	0,511	0,368	0,520	0,433	0,430	-	-	0,234	0,276	0,338	0,455	0,430
Biogasausbeute	NI/g FM	0,117	0,118	0,122	0,088	0,143	0,113	0,113	-	-	0,061	0,072	0,088	0,114	0,108

		05.10.- 11.10.10	12.10.- 18.10.10	19.10.- 25.10.10	26.10.- 01.11.10	02.11.- 08.11.10	09.11.- 15.11.10	16.11.- 22.11.10	23.11.- 29.11.10	30.11.- 06.12.10	07.12.- 13.12.10	14.12.- 20.12.10	21.12.- 27.12.10	28.12.- 03.01.11
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	5,01	5,56	5,82	5,56	5,07	5,90	5,75	5,27	5,45	5,23	4,49	4,36	4,43
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,441	0,490	0,522	0,499	0,434	0,527	0,513	0,470	0,487	0,467	0,401	0,390	0,395
Biogasausbeute	NI/g FM	0,110	0,122	0,142	0,135	0,123	0,147	0,143	0,131	0,135	0,130	0,112	0,108	0,110

Tabelle 52: Kinetische Parameter – Standort Wiesenau

		29.06.- 05.07.10	06.07.- 12.07.10	13.07.- 19.07.10	20.07.- 26.07.10	27.07.- 02.08.10	03.08.- 09.08.10	10.08.- 16.08.10	17.08.- 23.08.10	24.08.- 30.08.10	31.08.- 06.09.10	07.09.- 13.09.10	14.09.- 20.09.10	21.09.- 27.09.10	28.09.- 04.10.10
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	7,59	7,56	7,50	7,45	7,17	7,51	7,12	6,47	7,66	6,41	7,12	7,37	6,71	7,23
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,682	0,680	0,674	0,670	0,644	0,672	0,637	0,579	0,676	0,565	0,628	0,650	0,603	0,650
Biogasausbeute	NI/g FM	0,201	0,201	0,199	0,198	0,190	0,151	0,143	0,130	0,199	0,166	0,185	0,191	0,178	0,192

		05.10.- 11.10.10	12.10.- 18.10.10	19.10.- 25.10.10	26.10.- 01.11.10	02.11.- 08.11.10	09.11.- 15.11.10	16.11.- 22.11.10	23.11.- 29.11.10	30.11.- 06.12.10	07.12.- 13.12.10	14.12.- 20.12.10	21.12.- 27.12.10	28.12.- 03.01.11
Raumbelastung	g/l*d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biogasproduktion	NI/d	7,09	7,76	7,45	7,74	6,99	7,09	7,49	7,30	6,39	7,00	6,59	6,12	5,03
Biogasausbeute	NI/g oTS	0,638	0,698	0,656	0,682	0,615	0,624	0,660	0,642	0,563	0,616	0,580	0,539	0,443
Biogasausbeute	NI/g FM	0,188	0,206	0,189	0,196	0,177	0,180	0,190	0,185	0,162	0,178	0,167	0,155	0,127

Tabelle 53: Kinetische Parameter – Standort Ameln