



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Landschaftsarchitektur

Fachgebiet Agrarwirtschaft

Prof. Dr. Bernhard Seggewiß

Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze

## **Bachelorarbeit**

### **Einfluss einer Kalium- und Magnesiumdüngung zu Mais, auf Wachstum und Ertrag unter Wasserstress (Feldversuch)**

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0224-4

*von*

*Michael Guhl, Michael Marquardt*

*September 2009*

## **Danksagung**

Hiermit möchte wir uns bei allen, die uns bei der Anfertigung der Bachelorarbeit unterstützt haben, recht herzlich bedanken.

Unser besonderer Dank geht an das Landwirtsunternehmen „Agrar GbR Jähne/Marquardt“, das die Versuchsfläche zur Verfügung gestellt hat, sowie an unsere Betreuer und Prüfer, Prof. Dr. Bernhard Seggewiß und Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze.

Außerdem bedanken wir uns bei Dipl.-Ing. (FH) Ines Wawra von der Hochschule Neubrandenburg für ihr Engagement.

1	Einleitung .....	10
2	Kalium .....	11
2.1	allgemeines .....	11
2.2	Vorkommen im Boden .....	11
2.3	Kaliumkreislauf im landwirtschaftlichen Betrieb .....	12
2.4	Verhalten im Boden.....	13
2.5	Kaliumfixierung .....	14
2.6	Kalium in der Pflanze.....	15
3	Material und Methoden .....	16
3.1	Standortbeschreibung und Versuchsbetrieb .....	16
3.2	Bodenbearbeitung.....	18
3.3	Aussaat .....	18
3.4	Düngung .....	19
3.5	Pflanzenschutz.....	21
3.6	Versuchsanlage.....	23
3.7	LUFA.....	24
3.8	Bodenansprache.....	25
3.9	Bodenmischproben .....	30
3.10	Bodenwasser .....	31
3.11	Kaliapplikation .....	32
3.12	Bittersalzapplikation.....	33
3.13	Pflanzenproben .....	33
3.14	Wuchshöhe .....	34
3.15	Pflanzendichte .....	35
3.16	Ernte .....	36
3.17	Statistik.....	38
4	Ergebnisse.....	39
4.1	Bodenprofil I .....	39
4.2	Bodenprofil II.....	42
4.3	Bodengehalte an Kalium .....	44
4.4	Niederschläge und Bodenwasser (Bodenwasserhaushalt).....	46
4.5	Kalium- und Magnesiumgehalte in der Pflanze (Varianz).....	56
4.6	Wachstumsverlauf .....	58
4.7	Bestandesdichte .....	63
4.8	Biomasse.....	64
5	Diskussion .....	66
6	Zusammenfassung .....	69
7	Literaturverzeichnis .....	70
8	Anlagen.....	71
9	Eidesstattliche Erklärung.....	99

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1: Kaliumkreislauf im landwirtschaftlichen Betrieb .....	12
Abbildung 2: Kalium im Boden .....	13
Abbildung 3: Standort Karte .....	17
Abbildung 4: Standort Luftbild .....	17
Abbildung 5: Lageplan der Parzellen .....	29
Abbildung 6: Munsell Farbtafel/Bohrstock .....	29
Abbildung 7: Kaliumgehalt des Bodens in den unterschiedlichen Varianten .....	45
Abbildung 8: Niederschläge und Lufttemperatur .....	46
Abbildung 9: Wuchsleistung Mais .....	47
Abbildung 10: Bodenwassergehalt in % am 04. Juli 2008 .....	48
Abbildung 11: Totwassergehalt in % am 04. Juli 2008 .....	48
Abbildung 12: Bodenwassergehalt in % am 04. August 2008 .....	50
Abbildung 13: Totwassergehalt in % am 04. August 2008 .....	50
Abbildung 14: Bodenwassergehalt in % am 04. September 2008 .....	52
Abbildung 15: Totwassergehalt in % am 04. September 2008 .....	52
Abbildung 16: Bodenwassergehalte in % im Mittel der Monate Juli, August, September .....	54
Abbildung 17: Totwassergehalte in % im Mittel der Monate Juli, August, September .....	54
Abbildung 18: K- und Mg- Gehalte in der TM der Blätter in den unterschiedlichen Varianten am 04. Juli 2008 .....	56
Abbildung 19: K- und Mg- Gehalte in der TM der Blätter in den unterschiedlichen Varianten am 04. September 2008 .....	56
Abbildung 20: Wuchshöhe in cm Anfang Juli 2008 .....	58
Abbildung 21: Wuchshöhe Anfang August 2008 .....	59
Abbildung 22: Wuchshöhe Anfang September 2008 .....	60
Abbildung 23: Wachstumskurve der Varianten von Juli bis September .....	62
Abbildung 24: Bestandesdichten der einzelnen Varianten .....	63
Abbildung 25: Biomasse in t Hochrechnung vom 04. Juli 2008 .....	64
Abbildung 26: Biomasseertrag am 04. September 2008 .....	65

## **Tabellenverzeichnis**

**Seite**

Tabelle 1: Düngung Agrar GbR Jähne/Marquardt .....	19
Tabelle 2: Nährstoffbedarfswerte Silomais/Nährstoffzufuhr Agrar GbR Jähne/Margquardt ..	20
Tabelle 3: Maisherbizide und Wirkstoffzusammensetzung .....	21
Tabelle 4: Reifezahlen Mais .....	35
Tabelle 5: Abreife - Situation bei unterschiedlichen TS-Gehalten.....	36
Tabelle 6: Bodenprofil I .....	39
Tabelle 7: Bodenprofil II .....	42
Tabelle 8: Kaliumgehalte des Bodens in den Wiederholungen.....	44
Tabelle 9: Niederschläge 2008 .....	46
Tabelle 10: P-Werte Bodenwasser Juli 2008.....	49
Tabelle 11: P-Werte Bodenwassergehalte August .....	51
Tabelle 12: P-Werte Bodenwasser September .....	53
Tabelle 13: Wuchshöhen der einzelnen Monate.....	61
Tabelle 14: Werte der einzelnen Wiederholungen .....	63

## Anlagenverzeichnis

Seite

Anlage 1: Bodenartendreieck .....	71
Anlage 2: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalt Boden .....	72
Anlage 3: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 30 cm Tiefe .....	73
Anlage 4: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 60 cm Tiefe .....	74
Anlage 5: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 90 cm Tiefe .....	75
Anlage 6: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 30 cm Tiefe.....	76
Anlage 7: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 60 cm Tiefe.....	77
Anlage 8: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 90 cm Tiefe.....	78
Anlage 9: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 30cm Tiefe .....	79
Anlage 10: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 60 cm .....	80
Anlage 11: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 90 cm .....	81
Anlage 12: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalt Pflanze im Juli.....	82
Anlage 13: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalt Pflanze September.....	83
Anlage 14: einfaktorielle Varianzanalyse Magnesiumgehalt Pflanze Juli.....	84
Anlage 15: einfaktorielle Varianzanalyse Magnesiumgehalte Pflanze September .....	85
Anlage 16: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe Juli.....	86
Anlage 17: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe August .....	87
Anlage 18: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe September.....	88
Anlage 19: einfaktorielle Varianzanalyse Bestandesdichte .....	89
Anlage 20: einfaktorielle Varianzanalyse Biomasse .....	90
Anlage 21: Schlagkartei 1 Agrar GbR Jähne/Marquardt.....	91
Anlage 22: Schlagkartei 2 Agrar GbR Jähne/Marquardt.....	92
Anlage 23: Schlagkartei 3 Agrar GbR Jähne/Marquardt.....	93
Anlage 24: LUFA Prüfbericht Kalium- und Magnesiumgehalte Blatt.....	94
Anlage 25: LUFA Prüfbericht Kalium- und Magnesiumgehalte Blatt.....	95
Anlage 26: LUFA Prüfbericht Kalium- und Magnesiumgehalte Blatt.....	96
Anlage 27: LUFA Prüfbericht Kaliumgehalt Boden.....	97
Anlage 28: LUFA Prüfbericht Kaliumgehalt Boden.....	98

## Abkürzungsverzeichnis

à	von je
ALS	Acetolactat-Synthase
Al	Aluminium
Apr.	April
ATP	Adenosintriphosphat
bzw.	beziehungsweise
Ca	Calcium
ca.	cirka
Cl	Chlor
Cu	Kupfer
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DAP	Diammonphosphat
DL	Doppellactat
dt	Dezitonne
EC	Entwicklungsstadium
FAO - Zahl	Reifezahl
Fe	Eisen
FK	Feldkapazität
FM	Frischmasse
fS	feiner Sand
g	Gramm
GbR	Gemeinschaft bürgerlichen Rechts
gS	grober Sand
ha	Hektar
HTR	Helminthosporium – Blattfleckenkrankheit
K	Kalium
K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid
kg	Kilogramm
KWh	Kilowattstunde
l	Liter
lS	lehmiger Sand
LUFA	landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
max.	Maximum
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
MgO	Magnesiumoxid
min.	Minimum
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Mn	Mangan
mS	mittlerer Sand
N	Stickstoff
Na	Natrium
nFK	nutzbare Feldkapazität
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NN	Normalnull
Nr.	Nummer
Okt.	Oktober
P	Phosphor
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Diphosphorpentoxid
PWP	permanenter Welkepunkt
S	Sand
s.	siehe
Si	Silicium
sL	sandiger Lehm
t	Tonne
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
uS	schluffiger Sand
v.a.	vor allem
WG	Wintergerste
WW	Winterweizen
Zn	Zink
ZR	Zuckerrüben



%	Prozent
°C	Grad Celsius
€	Euro

# 1 Einleitung

Ein Überschuss an Wasser, ist ebenso wie eine Unterversorgung mit H<sub>2</sub>O für das Pflanzenwachstum ungünstig. Wassermangel – auch Wasserstress genannt - ist der wichtigste ertragslimitierende Faktor in der Landwirtschaft. Kalium stellt unter den Makronährstoffen einen besonderen Teil der Pflanzenernährung dar, da durch ihn der Wasserhaushalt der Pflanzen geregelt wird.

Der Feldversuch beschäftigt sich mit der Einwirkung von Kalium auf den Wasserhaushalt von Mais auf leichten Standorten. In Deutschland, speziell in Brandenburg, ist dies ein äußerst wichtiges Thema geworden. In den letzten Jahren kam es vermehrt zur so genannten „Vorsommertrockenheit“. Dies führte zu Wassermangel, woraus Ertragseinbußen resultierten. Die These in diesem Versuch war, ob der Wasserhaushalt von Mais durch eine erhöhte Kaliumdüngung positiv beeinflusst wird und wie sich diese auf die Bodenwassergehalte auswirkt. Dazu wurden auf einem leichten Standort vier unterschiedliche Kaliumdüngungsvarianten mit jeweils vier Wiederholungen angelegt und während der Vegetationszeit des Mais in einem Feldversuch betreut.

## **2 Kalium**

### **2.1 allgemeines**

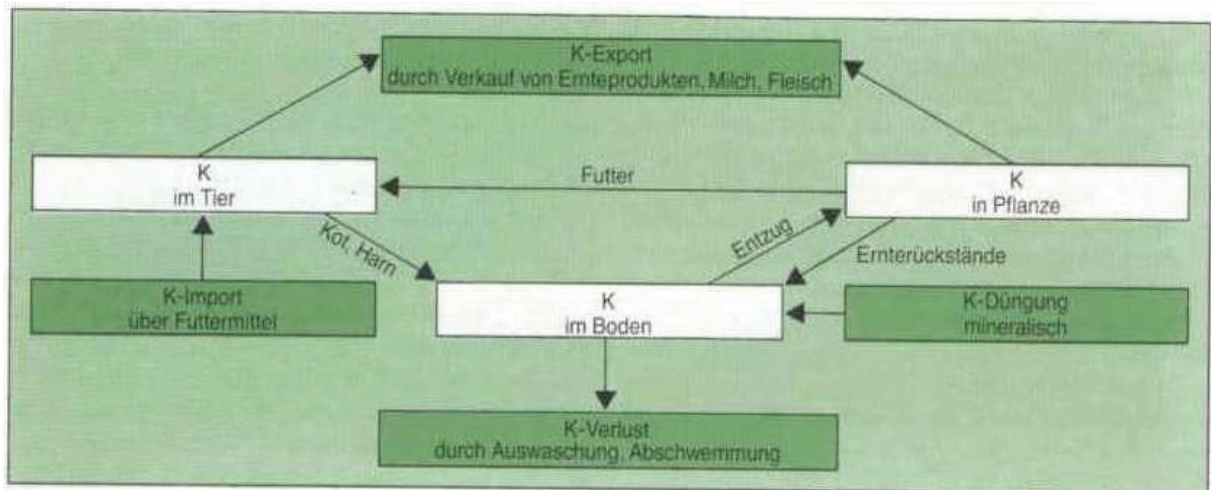
Kalium ist ein chemisches Element der ersten Hauptgruppe des Periodensystems mit der Ordnungszahl 19. Dieses Element ist zu cirka 3% am Aufbau der Erdrinde beteiligt. Es ist sehr reaktionsfreudig und deshalb nur unter Luft- und Feuchtigkeitsabschluss beständig. Die Reinform dieses Elementes gewinnt man durch die Aufbereitung der weit verbreiteten kalihaltigen Mineralien. Verschiedene Kaliverbindungen finden in der Waschmittel- und Nahrungsmittelindustrie Verwendung. In unterschiedlichen Anteilen ist kohlensaures Kalium (Pottasche) in der Pflanzenasche zu finden. Von größter wirtschaftlicher Bedeutung, sind weltweit die Kalidüngemittel, die bergmännisch aus Kalilagerstätten gewonnen werden. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

### **2.2 Vorkommen im Boden**

Kalium ist am Aufbau vieler Minerale beteiligt, vor allem der Tonminerale. Am weitesten verbreitet sind Kalifeldspat (bestehend aus Kalium, Aluminium und Kieselsäure) und Kaliglimmer (der zusätzlich noch Fluor enthält). In der Bodenlösung ist es in ionischer Form pflanzenverfügbar und ist in austauschbarer Form an den Ton-Humus-Komplex gebunden. Die für die Landwirtschaft wichtigen Kalidüngemittel werden aus Meeresablagerungen gewonnen. Höherprozentige Dünger werden bergmännisch in Salzlagerstätten aus Kalirohsalzen durch Reinigung und Anreicherung gewonnen. In den Salzen liegt Kalium als Chlorid (KCl) oder Sulfat ( $K_2SO_4$ ) vor. Der Gehalt der Kaliumdünger wird in Prozent  $K_2O$  (Kaliumoxid) oder in Prozent K angegeben. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

## 2.3 Kaliumkreislauf im landwirtschaftlichen Betrieb

Der Kaliumkreislauf ist bei Viehhaltung im landwirtschaftlichen Betrieb meistens geschlossen. Der Export durch den Verkauf von Ernteprodukten, Milch oder Fleisch wird durch den Import in Form von Futtermittelzukauf häufig ausgeglichen. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

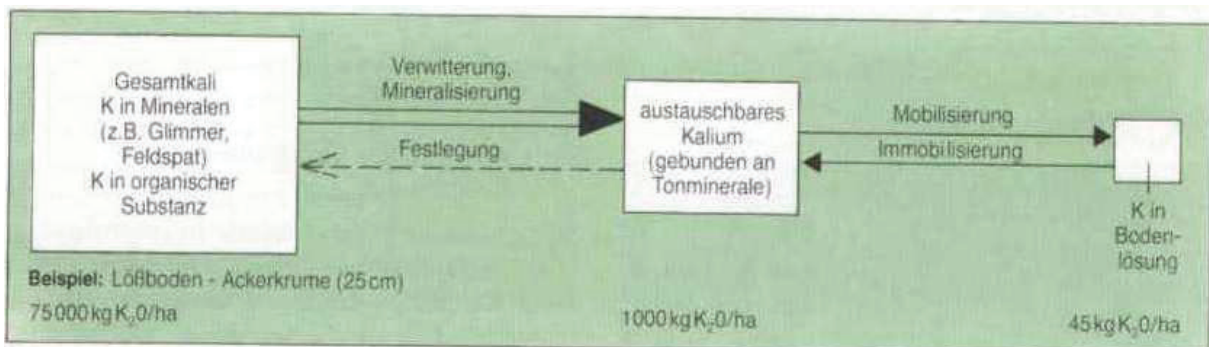


**Abbildung 1: Kaliumkreislauf im landwirtschaftlichen Betrieb**

Quelle: (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998)

## 2.4 Verhalten im Boden

Das Ausgangsgestein ist entscheidend für die Gesamt- K- Gehalte der Böden, beziehungsweise für die unterschiedlichen Gehalte der verschiedenen Minerale. Sie unterliegen starken Schwankungen in einem Bereich von unter 0,1 Prozent bis über 3 Prozent. In der Krume von 30 cm Tiefe entspricht das einer Menge von etwa 75.000 kg/ha  $K_2O$ . Die wichtigsten Quellen der natürlichen Kaliumnachlieferung sind Feldspate und Glimmer. Die Tonminerale binden das meiste Kalium im Boden. Der Anteil an austauschbarem Kalium und die K-Konzentration in der Bodenlösung stehen im Gleichgewicht miteinander.



**Abbildung 2: Kalium im Boden**

Quelle: (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998)

Kalium verlagert sich in tiefere Schichten, wenn nicht genügend K- Bindungsstellen im Boden vorhanden sind, zum Beispiel auf leichten Böden. Das in den Tonmineralen gebundene Kali steht den Pflanzen kurzfristig nicht zur Verfügung. Es wird erst im Verlauf der Verwitterung frei gesetzt. Das Kalium in den Zwischenschichten der Tonminerale ist relativ stark fixiert, an der Oberfläche ist es jedoch nur schwach gebunden. Nur etwa 1 bis 2 Prozent des Gesamtgehaltes in anorganischen Böden sind austauschbar. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

## **2.5 Kaliumfixierung**

Kalifixierung ist die Festlegung des im Boden vorhandenen Kaliums in den Schichtgittern bestimmter Tonminerale. Insbesondere nach dem Umbruch von Grünland ist mit dieser Kali-bindung zu rechnen. Dies führt zu starken Ertragsausfällen bei der folgenden Ackerkultur. Die Ursachen hierfür liegen in einer jahrzehntelangen Unterversorgung des Grünlandes. Die verarmten Tonminerale weiteten dadurch ihre Schichten auf. Das durch die Düngung zugeführte Kalium wird zunächst wieder in die leeren Zwischenschichten eingebaut und steht deshalb den Pflanzen nicht zur Verfügung. Zum Ausgleich dieser Defizite sind jährliche Kaligaben in Höhe von 600 bis 900 Kilogramm  $K_2O$  pro Hektar notwendig, dies nennt man auch Meliorationsdüngung. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

## 2.6 Kalium in der Pflanze.

Kalium wird als Metallion durch die Wurzeln aus der Bodenlösung oder vom Sorptionskomplex entnommen. Von der Pflanze wird bevorzugt das Kalium-Ion aufgenommen, jedoch kann die Sorption zeitweilig durch andere Kationen wie zum Beispiel:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  behindert werden. In der Pflanze liegt Kalium ebenfalls in Ionenform vor, teils gelöst im Zellsaft, teils in sorptiver Bindung an die Zellkolloide. Sorptiv gebundenes Kalium kommt in stoffwechselaktiven Geweben vor. In diesem Gewebe werden Proteinstrukturen ausgebildet, die Kalium ziemlich fest und spezifisch sorbieren. Ihre Bildung und Aufrechterhaltung wird durch das Kalium beeinflusst.

Die fermentativen Prozesse der Wasserstoffabspaltung und Phosphorylierung werden durch Kalium begünstigt. Das in den Chloroplasten angereicherte Kalium wirkt strukturstabilisierend und fermentaktivierend bei der Photosynthese. Durch Kalium wird die Bildung energiereicher Phosphate (ATP) gefördert. An Hand dieser Beispiele geht die besondere Bedeutung von Kalium für den Energie- und Kohlenhydratstoffwechsel hervor. Des Weiteren reguliert dieser Nährstoff im Wechselspiel mit anderen Ionen, hauptsächlich Calcium und Magnesium, den Hydratationsgrad (Wassergehalt) der kolloiden Systeme der Zelle. Deshalb werden diese Ionen auch als „lebenswichtige“ Antagonisten bezeichnet. Einwertige Ionen, wie Kalium und Natrium, wirken stark quellend, das zweiwertige Calcium hingegen entquellend, während das Magnesium eine Mittelstellung einnimmt. Die Aufrechterhaltung des optimalen Quellungsstandes des Plasmas ist Voraussetzung für den Ablauf einer Vielzahl wichtiger Stoffwechselforgänge, wie Stoffaufnahme, Wasserhaushalt, Photosynthese, Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißbildung. Nur in einem beschränkten Umfang kann Kalium durch andere einwertige Ionen, wie Natrium, Rubidium und Cäsium in dieser Funktion ersetzt werden.

Kalium erhöht infolge seiner quellenden Wirkung die Permeabilität des Protoplasmas und wird deshalb leicht in die Vakuole transportiert. Dadurch wird auch der Eintritt anderer Ionen erleichtert. Hieraus resultiert ein höherer osmotischer Wert, der sich günstig auf die Wasserbilanz der Pflanzen auswirkt, indem er die Wasseraufnahme fördert und die Transpiration herabsetzt. Auch die Frostresistenz wird erhöht.

Bei Kaliummangel wird, durch das dann im Überschuss vorhandene Calcium, die Stoffaufnahme erschwert und die Wasserbilanz wesentlich ungünstiger gestaltet. Pflanzen mit Kaliummangel haben deshalb einen geringeren Turgor und zeigen besonders bei warmem, v.a. bei heißem Wetter „Welketracht“. (KUNDLER; ANSORGE; MATZEL, et. al. 1970).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Standortbeschreibung und Versuchsbetrieb

Der für den Versuch ausgewählte Schlag mit einer Größe von 3,44 Hektar liegt zwischen Rittgarten und Augustfelde (genaue geographische Lage: 53°23' Nord; 13°42' Ost; 80 m über NN), in der Nordwestuckermark, Bundesland Brandenburg.

Die Fläche für die Versuchsanlage bewirtschaftet die Firma Agrar GbR Jähne/Marquardt aus Wittstock, ein landwirtschaftliches Unternehmen mit drei Unternehmenszweigen. Diese beinhalten Ackerbau, Viehzucht sowie die Erzeugung von Strom aus regenerativen Energien.

Die GbR wird durch 2 Gesellschafter vertreten: Herr Marquardt, verantwortlich für Pflanzenbau und Stromerzeugung, und Herr Jähne, Leiter des Bereiches Tierproduktion. Das Unternehmen beschäftigt insgesamt 15 Arbeitskräfte, eine Bürokraft in Teilzeit, sowie 5 Mitarbeiter im Pflanzenbau und 9 in der Tierhaltung.

Durch die betriebseigene Biogasanlage werden jährlich 4,2 Mio. KWh produziert und in das Stromnetz eingespeist.

Der Viehbestand der Firma zählt knapp 330 Milchkühe sowie 316 Jungrinder.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche umfasst 1150 Hektar, wovon cirka 850 Hektar Marktfruchtanbau, 260 Hektar Futteranbau und rund 40 Hektar Stilllegungsfläche sind.

Die Flächen liegen in einem Endmoränengebiet mit eiszeitlich durchzogenen Söllen. Die Bodenqualität liegt im Bereich von 30 bis 55 Bodenpunkten, was eine durchschnittliche Ackerzahl von 43 ergibt. Die am häufigsten vorkommende Bodenart ist sandiger Lehm.

Die Jahresniederschlagsmenge beträgt 504 mm/m<sup>2</sup> im langfristigen Mittel bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7,9°C.

Der Anbauplan des Betriebes beinhaltet die Kulturen Raps, Weizen, Gerste, Mais und Zuckerrüben. Der Mais wird hauptsächlich als Monokultur angebaut.

Die Rotation und der Anbauumfang der anderen Kulturen stellen sich wie folgt dar:

##### **Rotation:**

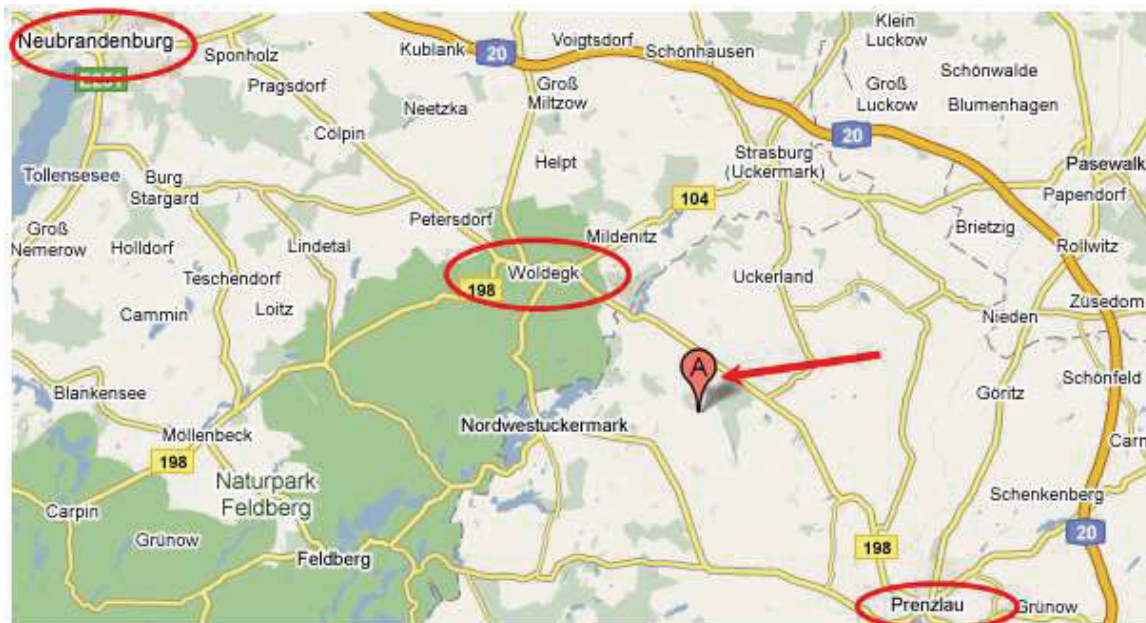
- WG – Raps – WW – Raps
- WG – Raps – WW – WW
- WW – ZR – WW

##### **Anbauumfang:**

- Winterweizen 45 %
- Winterraps 30 %
- Wintergerste 20 %
- Zuckerrüben 5 %

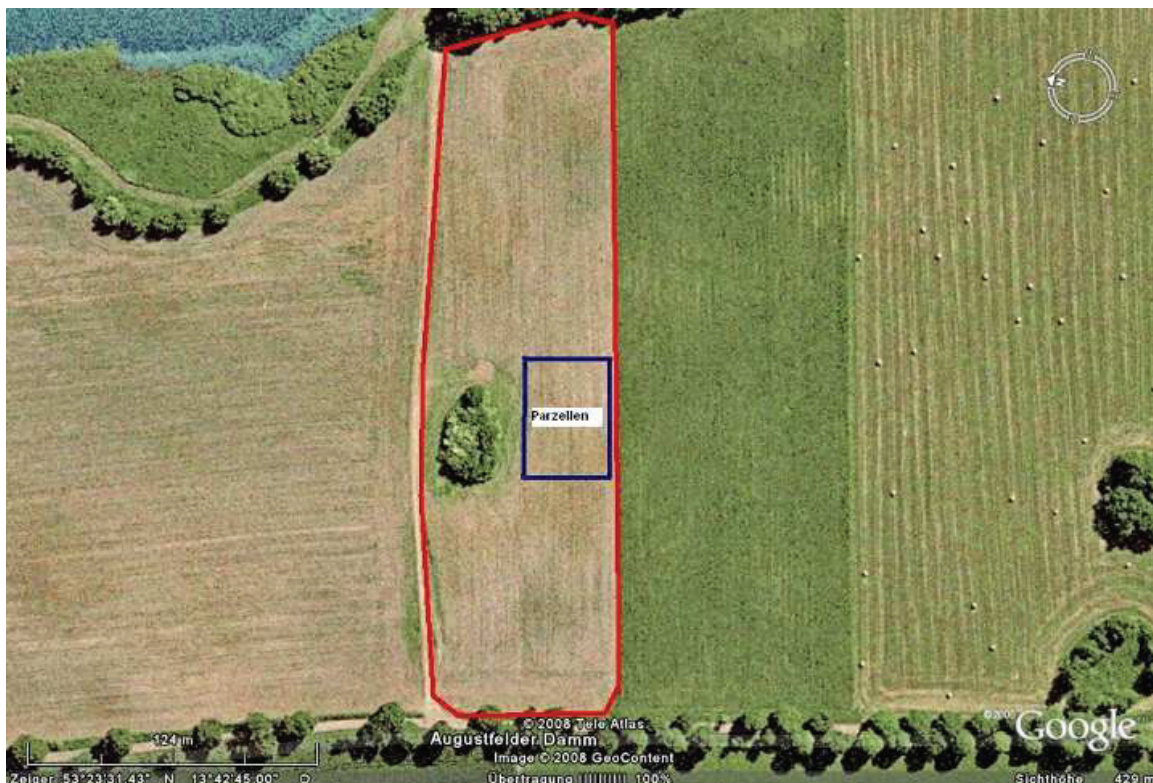


Die Versuchspartellen wurden in der Mitte des Schlags angelegt, da dort der Boden am wenigsten „verschießt“, so bezeichnet man stark wechselnde Bodenqualitätsverhältnisse. Auf diesen Flächen erfolgte ein Vergleich des Wachstumsverhaltens des Mais, insbesondere unter Wassermangel.



**Abbildung 3: Standort Karte**

Quelle: Google Maps



**Abbildung 4: Standort Luftbild**

Quelle: Google Earth

## **3.2 Bodenbearbeitung**

Die Bodenbearbeitung wird in der Agrar GbR „Jähne/Marquardt“ konventionell durchgeführt. Im Anschluss an die Ernte erfolgt der Stoppelsturz mit einer Kurzscheibenegge, Modell Väderstad Carrier. Im Herbst wird die Winterfurche mit einem 6- Schar-Beetpflug gezogen, die bis ca. Mitte März liegen bleibt. Im März wird dann Gülle ausgebracht und mit der Scheibenegge in den Boden eingearbeitet. Einen Tag vor der Aussaat erfolgt die Saatbettbereitung mit einem Schwergrubber, Marke „Tiger“ von Horsch. Hierbei wird gleichzeitig Harnstoff mit eingearbeitet. Durch die Ausführung dieser Arbeitsgänge erzielt man ein gut gelockertes Saatbett.

## **3.3 Aussaat**

Die Aussaat übernahm das Lohnunternehmen Markhoff aus Arendsee. Der Mais wurde am 23. April 2008 mit einer 12- reihigen Legemaschine der Firma „Rau Kleine“ gelegt. Zur Aussaat kam die Sorte „Fuxxol“ zum Einsatz. Eine Sorte, die sich für alle frühen Standorte eignet und auch auf kalten Böden sicher abreift.

### **Die Sorte hat folgende Eigenschaften:**

- energiereiche Silagen für die Hochleistungsfütterung
- hohe Stärkegehalte für eine erhöhte Leistung aus dem Grundfutter
- sehr gute Blattgesundheit (HTR) und Jugendentwicklung

Gesät wurde der Mais mit 10 Körnern/m<sup>2</sup>, was einer Menge von 100.000 Einheiten/ha entspricht. Die Aussaatstärke beim Silomais liegt zwischen 8 – 12 Körner/m<sup>2</sup>, abhängig von Sorte und Typ. ([http://www.ragt.de/uploads/media/RAGT-Sortenratgeber\\_01\\_2006.pdf](http://www.ragt.de/uploads/media/RAGT-Sortenratgeber_01_2006.pdf))

### 3.4 Düngung

Tabelle 1: Düngung Agrar GbR Jähne/Marquardt

Düngung	Datum	Einheiten/ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Rinderdung	27. Okt. 08	4,2 t	29	16,8	37,8	4,2
Rindergülle	16. Apr. 09	14 m <sup>3</sup>	78	28	102,2	9,8
Harnstoff	22. Apr. 09	3,47 dt	159,6	0	0	
DAP	23. Apr. 09	1,00 dt	18	46	0	
<b>Summe</b>			284,6	90,8	140	14

Quelle: Betriebsdokumentation

In der Tabelle 1 sind alle Düngungsmaßnahmen, die von der Agrar GbR „Jähne/Marquardt“ durchgeführt wurden, aufgelistet. Sie verdeutlicht, dass sowohl mineralische als auch organische Dünger verwendet wurden. Die organischen Dünger bezieht das Unternehmen aus der betriebseigenen Tierhaltung.

Im Herbst wurden vor der Winterfurche 4,2 t Rindermist gestreut (Gehalte siehe Tabelle 1) wodurch dem Boden sowohl Humus als auch Nährstoffe zugeführt wurden. Die Mistdüngung ist beim Silomaisanbau sehr sinnvoll, weil dadurch der humuszehrenden Kultur zusätzlich organische Nährstoffe geliefert werden.

Mitte April, als der Acker genügend Tragfähigkeit aufwies, wurden 14 m<sup>3</sup>/ha Rindergülle ausgebracht (Gehalte siehe Tabelle 1). Im Maisanbau lässt sich die Gülle ebenso wie der Mist aus der Tierhaltung sehr gut einsetzen und verwerten.

Einen Tag vor der Aussaat wurden 3,5 dt/ha Harnstoff gestreut, welche mit dem Grubber eingearbeitet wurden.

Als Unterfußdüngung gab noch zusätzlich eine dt DAP gegeben. Dieser Mineraldünger enthält leicht verfügbares Phosphat in wasserlöslicher Form. Phosphor ist im Boden unbeweglich. Durch eine Unterfußdüngung gelangt dieser direkt an die Maiswurzeln, wodurch er von der Pflanze besser erschlossen werden kann. Da Mais eine langsame Jugendentwicklung aufweist, ist dies eine gute Möglichkeit die Nährstoffverfügbarkeit an der Wurzel zu verbessern.

Vergleicht man die Nährstoffmengen (s. Tabelle 2), die durch das Unternehmen ausgebracht wurden, mit den Bedarfswerten von Silomais, so fällt deutlich ein Stickstoffüberschuss von fast 85 kg/ha auf.

Das Unternehmen könnte also bei der vor der Aussaat ausgebrachten Menge Dünger rund 1,8 dt Harnstoff/ha einsparen.

**Tabelle 2: Nährstoffbedarfswerte Silomais/Nährstoffzufuhr Agrar GbR Jähne/Margquardt**

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>
<b>Düngung Jähne/Margquardt</b>	284,6	90,8	140	14
<b>Bedarfswerte Silomais (32 % TM) bei 500 dt FM</b>	200	80	225	45
<b>Differenz</b>	84,6	10,8	-85	-31

Quelle: Eigene Darstellung

Der Stickstoffüberdüngung der Flächen steht eine Unterversorgung an K<sub>2</sub>O gegenüber. Diesem Mangel könnte mit einer Gabe von 212,5 kg/ha 40'er Kornkali entgegen gewirkt werden. Es würde sich der fehlende Bedarf von -31 kg/ha Magnesiumoxid auf -12 kg/ha reduzieren, da der Kornkali 6% wasserlösliches Magnesiumoxid enthält. Eine zusätzliche Applikation von Bittersalz ermöglicht es, dass Magnesiumoxid in konzentrierter Form über das Blatt von der Pflanze aufgenommen werden kann.

Mit diesen Nährstoffgaben müsste der Mais ideal versorgt sein. Der effiziente Einsatz der Düngemittel würde außerdem wesentlich zur Erhöhung der Ökonomie im Maisanbau beitragen.

### 3.5 Pflanzenschutz

Im Pflanzenschutz wird bei dem Maisanbau in der Regel nur die Herbizidmaßnahme durchgeführt. Nur bei Schädlingsbefall, durch den Maiszünsler, muss eine zusätzliche Bekämpfungsmaßnahme im fast ausgewachsenen Mais mittels Spezialmaschinen getätigt werden.

Im Versuchsbetrieb stand nur die Herbizidmaßnahme an, welche im Nachauflauf am 12. Mai 2008 appliziert wurde.

Folgende Mittel kamen zum Einsatz:

**Tabelle 3: Maisherbizide und Wirkstoffzusammensetzung**

Mittel	Aufwandmenge	Wirkstoff
Task	255 g	Komponente A: 32,5 g Rimsulfuron /kg + 609 g Dicamba /kg Komponente B: 900 g Isodecylalkoholethoxylat /l
Gardo Gold	2,0 l	312 g/l S-Metolachlor; 187,5 g/l Terbuthylalzin

Quelle: Eigene Darstellung

Task ist ein Herbizid mit systemischer Wirkung zur Bekämpfung von Hühnerhirse und zweikeimblättrigen Samenunkräutern. Es wird von der Pflanze über das Blatt und in eingeschränktem Maße auch über den Boden aufgenommen. Es besteht aus einem Gemisch von wasserdispergierbaren Granulaten und einem flüssigen Formulierungshilfsstoff. Die Granulate enthalten den Wirkstoff Rimsulfuron und Dicamba. Das Mittel ist anwenderfreundlich in wasserlöslichen Folienbeuteln verpackt. Die Folienbeutel werden ungeöffnet direkt in den Spritztank gegeben und lösen sich dort auf.

Rimsulfuron wird überwiegend über das Blatt aufgenommen und sehr schnell in der Pflanze verteilt. In empfindlichen Pflanzen hemmt Rimsulfuron das Enzym Acetolactat-Synthase (ALS), das für die Bildung wichtiger Aminosäuren notwendig ist. Nach Aufnahme tritt bei sensiblen Unkräutern ein sofortiger Wachstumsstillstand an Spross und Wurzel ein. Der darauf folgende Absterbeprozess kann sich über mehrere Wochen erstrecken.

Dicamba wird hauptsächlich über das Blatt und zu geringeren Teilen auch über den Boden aufgenommen. In empfindlichen Pflanzen beeinträchtigt Dicamba die Weiterleitung und die Funktion der Auxine. Eine Gruppe von natürlichen und synthetischen Wuchsstoffen (LÜTKE ENTRUP/OEHMICHEN, 2000). Das Wachstum, der gegenüber Task empfindlichen Unkräuter und Ungräser, endet praktisch sofort nach der Behandlung. Somit endet die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz der Unkräuter zur Kulturpflanze.

Die beste und schnellste Wirkung erzielt Task bei warmem, wüchsigem Wetter. In Maispflanzen werden die Herbizidwirkstoffe schnell abgebaut und schaden der Pflanze nicht.

Gardo Gold ist Kombinationspräparat mit den beiden Wirkstoffen S-Metolachlor und Terbuthylazin, die dem Mittel eine gute Sofort- und starke Dauerwirkung zur Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern im Mais verleiht.

Der Wirkstoff S-Metolachlor wird von Hirsearten über die Wurzeln und vor allem das Hypokotyl keimender, in den Stadien des Auflaufens befindlicher und bereits aufgelaufener junger Pflanzen aufgenommen. Durch diesen Aufnahmemechanismus und die frühe Applikation wird auch auf später auflaufende Hirsen eine sichere Bekämpfung erreicht.

Die Aufnahme des Wirkstoffs Terbuthylazin erfolgt überwiegend über die Wurzeln der Ungräser und Unkräuter, wobei die schnelle Wirkung des Präparates am absterbenden Blattapparat der jungen Pflanzen zu erkennen ist. Eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit erhöht den Wirkungsgrad beider Präparate. (<http://www.syngenta-agro.de/>, Stand 25.06.09; <http://www.spiess-urania.com>, Stand 25.06.09).

### 3.6 Versuchsanlage

Die Durchführung des Versuchs gliedert sich in folgende Punkte:

- Planung des Versuches
- Anlegen der Versuchsglieder
- Probenentnahme
- Datenerfassung
- Auswertung der Daten
- Darstellung von Ergebnissen

In dem einfaktoriellen Versuch wird die Wirkung von Kalium auf den Wasserhaushalt und die damit verbundenen Ertrags- und Nährstoffveränderungen in Boden und Pflanze untersucht. Es erfolgt ein direkter Vergleich der verschiedenen Versuchsglieder.

Die Versuchspartellen wurden am 26. April 2008 angelegt. Es wurden insgesamt 16 Partellen mit einer Größe von je 144 m<sup>2</sup> (13,50m x 10,66m) vermessen und mit Stäben markiert.

Auf den 16 Partellen wurden 4 verschiedene Versuche mit je 4 Wiederholungen angelegt, um eine statistische Absicherung zu gewährleisten. Die Entnahme verschiedener Stichproben aus einer Partelle gilt hierbei nicht als Wiederholung, nur eine unabhängige Partelle mit gleicher Düngung und gleichen Versuchsbedingungen ist als solche zu verstehen. Die vier einzelnen Versuchsglieder mit ihren Wiederholungen wurden zufällig auf der Fläche angeordnet, damit wurden die Partellen randomisiert angelegt. Bei dieser Art Versuchsanlage kann es vorkommen, dass Wiederholungen eines Versuchsgliedes nebeneinander liegen.

Die erste Variante ist die Nullpartelle, in der nur die Kaliummenge aufgebracht wurde, die jedes Jahr im Versuchsbetrieb angewendet wird. In der zweiten Variante wurden 200 kg/ha Kalium zusätzlich zu der betriebsüblichen Menge gestreut. Die dritte Variante erfolgte mit einer Gabe von 400 kg/ha. In der vierten Variante wurden wie bei der zweiten 200 kg/ha Kali gestreut, aber mit einer zusätzlichen Applikation von 15 kg/ha Bittersalz. (FELDVERSUCHE, DLG-VERL.-GMBH, 1988)

### 3.7 LUFA

Für die Ermittlung der Nährstoffgehalte in Blatt und Boden wurden die gezogenen Proben zur LUFA Rostock geschickt. Die LUFA Rostock ist eine landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt die sich mit der Analyse von Proben sowie der Probennahme beschäftigt.

Die Proben von Blatt und Boden sind am 12. März 2009 bei der LUFA eingegangen. Untersuchungsende bei den Blatt-Proben war der 17. März 2009 und bei den Bodenproben der 02. April 2009. Die Analyse der Proben erfolgte durch Herrn Lorenz, verantwortlicher Mitarbeiter der LUFA für Probenlogistik, Bodenuntersuchung, Düngemittel und Abfall.

Bei den Bodenproben wurde nur der Kaliumgehalt mit Hilfe der Methode „VDLUFA IA 6.2.1.2“ ermittelt. Dies ist eine Methode zur Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium im Doppellactat(DL)-Auszug. Insgesamt wurden 16 Bodenmischproben, die am 12. Juli 2008 gezogen wurden, von der LUFA analysiert. Bei den Blätterproben wurde zum Kalium, zusätzlich Magnesium mitbestimmt. Die Blätterproben wurden an Hand der Methode „VDLUFA III 10.8.3“ analysiert. Ein Verfahren zur Bestimmung von Al, Ca, Cl, Fe, K, Cu, Mg, Mn, Na, P, S, Si und Zn in Pflanzen und Grundfuttermitteln mittels Röntgenfluoreszenzanalyse. Die Blätterproben wurden zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten während der Vegetation des Mais genommen. Zur LUFA wurden jeweils 16 Proben vom 04. Juli und vom 04. September 2009 geschickt (<http://www.lms-lufa.de>. Stand 25.08.09).



## **3.8 Bodenansprache**

### **Grundvorgänge der Bodenentwicklung**

Boden ist die oberste Verwitterungsschicht der festen Erdrinde. Er ist in seinen Schichten gewachsen und unvermehrbar. Die wichtigsten Vorgänge bei der Bodenbildung sind die Verwitterung, Humusbildung und die stofflichen Verlagerungen. Bodentypen, aufgebaut aus Bodenhorizonten sind das Ergebnis dieser bodenbildenden Prozesse.

Die Verwitterung des festen Gesteins, ist der erste Schritt jeder Bodenentwicklung. Es gibt zwei Arten der Verwitterung, zum einem die physikalische und zum anderen die chemische. Bei der physikalischen Verwitterung zerfällt das Gestein in kleine Bruchstücke auf Grund von Spannungen. Diese entstehen durch die Ausdehnung der im Gestein enthaltenen Minerale bei Temperaturänderung (Temperaturverwitterung). Es entstehen feine Risse, die den Zerfall des Gesteins einleiten. Wasser, welches in die Risse eindringt, sprengt beim Gefrieren das Gestein auseinander (Frostverwitterung).

Bei der chemischen Verwitterung kommt es zur stofflichen Veränderung des Mineralkörpers. Silikatminerale werden durch Hydrolyse in ihre Elementarbausteine zerlegt, die entweder zu Neubildungen zusammentreten (Tonminerale, Oxide, Hydroxide), von den Pflanzen als Nährstoffe aufgenommen werden oder ausgewaschen werden. Wasserlösliche Gesteinskomponenten werden durch die so genannte „Lösungsverwitterung“ von den wasserunlöslichen abgetrennt. Böden aus kalkigem Gestein sind im Wesentlichen die Lösungsrückstände des Ausgangsgesteins.

Um aus Gestein Boden zu bilden, muss neben der Gesteinszerlegung und Mineralneubildung ein Humuskörper aufgebaut werden. Die Vorgänge laufen gleichzeitig parallel ab und verstärken sich gegenseitig. Für den Humuskörper sind die Pflanzen und Bodentiere das Ausgangsmaterial sowie für den Mineralkörper das Gestein. Aus den Abbauprodukten der Pflanzen und Bodentiere entstehen als Neubildung die Huminstoffe, so wie aus den durch Hydrolyse freigesetzten Bauelementen der Gesteine neue Tonminerale aufgebaut werden. Mit der Bildung von Humus und der Gesteinszerlegung ist die Bodenbildung nicht abgeschlossen. Das durch den Boden sickende Wasser nimmt gelöste Stoffe mit und bewirkt somit eine allmähliche Umwandlung des Bodenkörpers.

Böden im humiden Klima neigen auf Grund des Austausches basischer Kationen gegen Wasserstoffionen und dem Abtransport der Kationen mit dem Sickerwasser zur Versauerung. Die Calciumauswaschung hat eine Reihe schwerwiegender Folgen, die geflockte Tonsubstanz des Bodens bei der Ca-Sättigung wird beweglich und fängt an zu wandern, es kommt zur Tonverlagerung.

Durch das Entmischen der Korngrößen kommt es zur so genannten „Strukturverschlechterung“ des Bodens. Die Tonsubstanz, die in den Unterboden einwandert, kann Verdichtungen und Staunässe hervorrufen. Die Reduktion von Eisen- und Manganoxiden wird durch Luftmangel hervorgerufen mit der Folge, dass auch diese Stoffe zu wandern beginnen. Kommt es zur Austrocknung des Bodens werden sie in Form von Konkretionen wieder ausgefällt. Eine Konkretion ist eine unregelmäßige, häufig auch rundlich gestaltete Mineralmasse. Mit der fortschreitenden Versauerung ändern sich Bodenleben und Vegetation sowie die Humusformen. Es werden wanderungsunfähige Humuskolloide von den sauren Moder- und Rohhumusaufgaben gebildet. Diese Humuskolloide werden in Verbindung mit Eisen, Mangan und Aluminium in tiefere Bodenschichten verlagert und rufen dort charakteristische Bleich- und Anreicherungszone hervor (Podsolierung). All diese Vorgänge der Bodenbildung laufen teils nach-, teils nebeneinander ab und vollziehen sich nur sehr langsam. Die hier vorfindbaren Böden sind nach Ende der letzten Eiszeit in einem Zeitraum von 10.000 Jahren entstanden. So konnten sich zum Beispiel aus leicht verwitterbaren Lößböden von einem Meter Mächtigkeit und mehr entwickeln, während dessen die flachgründigen Böden aus schwer verwitterbarem Gestein entstanden. (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002)

## **Bodenbildung**

Der Bodentyp ist abhängig von mehreren Einflussgrößen. Diese werden als Faktoren der Bodenbildung bezeichnet und beinhalten:

- Klima
- Ausgangsmaterial (Gestein)
- Vegetation
- Relief
- Wasser
- Einfluss der Zeit
- Umwelteinflüsse (Mensch)

Das Klima ist über weitläufige Räume und Höhen der bedeutendste Bodenbildungsfaktor. Die Niederschlagsmengen und die Sonneneinstrahlung sind die Hauptfaktoren der klimatisch bedingten Bodenunterschiede eng begrenzter Landschaften. In der Bundesrepublik Deutschland tritt das Gestein in den klimatisch einheitlichen, aber geologisch unterschiedlichen Gebieten beherrschend in den Vordergrund. Eine Vielzahl von Bodentypen kann nur aus ganz bestimmten Gesteinen entstehen.

Die Vegetation ist das Ergebnis vieler miteinander gekoppelter Faktoren. Sie wirkt durch den Humuskörper sehr stark auf die Bodenentwicklung ein und leistet einen wesentlichen Beitrag zum Humusgehalt des Bodens.

Der Ablauf der Bodenbildung ist abhängig von der Oberflächengestaltung (Relief). So kann zum Beispiel die Bodenbildung durch Erosion zum Anfangsstadium zurückgeworfen werden beziehungsweise gelangt nicht über dieses Stadium hinaus.

Das Wasser steht im engen Zusammenhang mit der Oberflächengestaltung. Durch den Einfluss von Überschwemmungs- oder Grundwasser verläuft die Bodenbildung anders als unter grundwasserfreien Bedingungen.

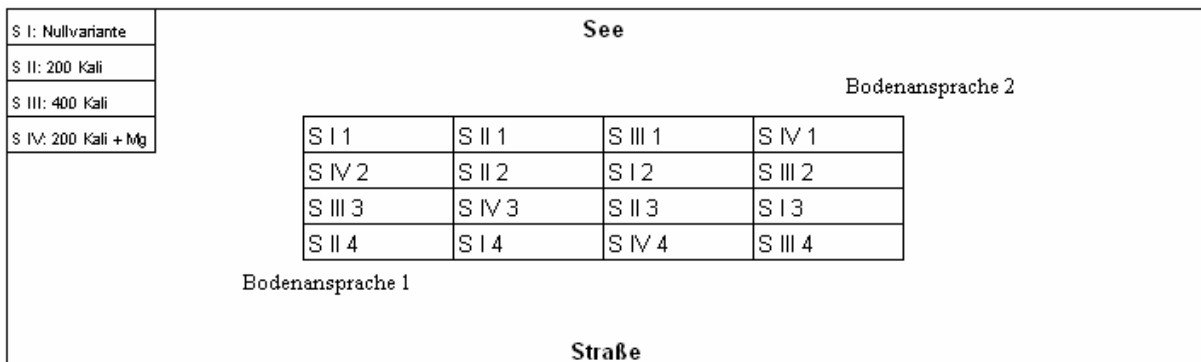
Für die Bildung und Entwicklung braucht jeder Boden eine bestimmte Zeit. Die Tiefgründigkeit der Böden ist umso stärker, je älter die Erdoberfläche ist.

Der Mensch brachte für die Böden die größte Veränderung. Durch die Bearbeitung, Wasserregulierung, Düngung, Erdbewegung sowie das Auslösen von Bodenerosionen wurden viele Böden stärker verändert als durch Jahrtausende von Jahren Entwicklung.

Besonders Waldböden die als Ackerland umfunktioniert wurden und sich in Hanglagen befanden waren starker Erosion ausgesetzt. In den Flussniederungen setzte sich das von den Hängen abgetragene Bodenmaterial als Auelehm ab. Die Ackerböden in Hanglagen sind heute am meisten durch Bodenerosion geprägt. Abgetragener Boden lässt sich nicht ersetzen, da die Bodenbildungsprozesse sehr langsam ablaufen. Deshalb kommt dem Erosionsschutz eine besondere Bedeutung zu, da der Boden als Lebensgrundlage geschützt werden muss. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998). (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002)

## Bodenansprache im Feldversuch

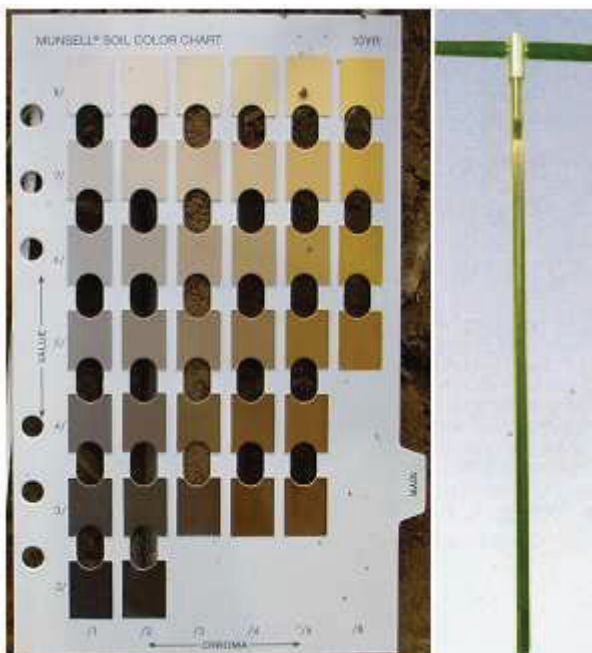
Die Bodenansprache dient der Ermittlung des Bodenprofils. Das Bodenprofil stellt die unterschiedlichen Bodenhorizonte eines Standortes in 90 cm Tiefe dar. Auf dem Versuchsstandort fand die Bodenansprache am 16. Juni 2008 statt. Wie in Abbildung 5 zu erkennen, erfolgte die Bodenansprache an zwei verschiedenen Punkten. Die Bodenprofile wurden neben den Parzellen S II 4, in der Nähe der Straße, und S IV 1, in Richtung des Sees ermittelt.



**Abbildung 5: Lageplan der Parzellen**

Quelle: Eigene Darstellung

Als Hilfsmittel zur Bestimmung des Bodenprofils dienen ein Bohrstock, ein Plastikhammer, Bodenfarbtafeln und eine detaillierte Beschreibung zur Anwendung der Fingerprobe.



**Abbildung 6: Munsell Farbtafel/Bohrstock**

Quelle: Eigene Darstellung

Der Bohrstock wurde an beiden Probestellen über 90 cm tief in den Boden geschlagen. Nach ca. 45 cm erfolgte eine Drehung des Bohrstockes um seine eigene Achse, dies bewirkt eine saubere Schnittfläche des Bodens im Bohrstock, sowie ein leichteres Herausziehen aus dem Boden.

Anschließend wurden die unterschiedlichen Horizonte mit Hilfe der Bodenfarbtafel und weiterführender fachlicher Literatur eingeteilt. Die einzelnen Bodenarten in den Horizonten wurden an Hand der Fingerprobe und dem Bodenarten-Dreieck (in Anhang) definiert. Für die Erstellung der Bodenprofile wurde der Bohrstock mit seinen unterschiedlichen Horizonten mit der Digitalkamera festgehalten, welche im Ergebnisteil dargestellt sind.

Für die Ermittlung des pH-Wertes wurden aus den einzelnen Horizonten kleine Mengen Boden entnommen. Die pH-Wertmessung erfolgte im Labor der Hochschule Neubrandenburg mit Hilfe eines pH-Meters. Dazu wird eine bestimmte Menge Boden mit einer festgelegten Menge Calciumchloridlösung ( $\text{CaCl}_2$ -Lösung) versetzt und nach der Gleichgewichtseinstellung der pH-Wert gemessen. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

### **3.9 Bodenmischproben**

Über die Bodenmischproben kann kontrolliert werden, ob und wie viel Dünger im Boden enthalten ist. Im Versuch wurden 8-10 Einstiche pro Parzelle entnommen. Mit Hilfe des Bohrstockes wurde Bodensubstrat aus einer Tiefe von 30 cm entnommen und anschließend in Beuteln aufbewahrt. Zum Testen wurde jedes Bodengemenge vorerst luftgetrocknet und dann in den Trockenschrank gelegt. Abschließend wurden die Proben zur LUFA nach Rostock eingeschickt und dort auf den Gehalt an Kalium und Magnesium untersucht. Durch die Auswertung der Ergebnisse können Rückschlüsse auf die Verwertung der gegebenen Dünger gezogen werden.

### 3.10 Bodenwasser

Die Bodenwasserproben dienen dazu, das Wasserangebot für den Mais während des gesamten Versuches aufzeigen zu können. Der Bohrstock wird bis auf 90 cm in den Boden geschlagen. Die entnommene Probe wird in Bereiche von jeweils 30 cm Bodenschicht in einzelne Beutel verpackt, sodass für jede Parzelle 3 Proben vorhanden sind. Die Unterteilung der 90 cm in 3 Abschnitte ist von Vorteil, da das Wasserangebot dadurch in 3 verschiedenen Horizonten des Bodens aufgezeigt werden kann. Die eingetüteten Proben wurden erdfeucht gewogen und dann zum „Lufttrocknen“ in einen Raum mit niedriger Luftfeuchte aufbewahrt. Somit kann der Hauptanteil des Wassers aus dem Boden entweichen. Die Dauer des Trocknens ist maßgeblich abhängig von der Höhe des Wasseranteils in der Probe und von der Menge des sich in der Tüte befindenden Bodens. Sind die Proben getrocknet, lässt sich mit der Differenz aus Ausgangsgewicht und Trockengewicht der Wassergehalt im Boden bestimmen. Abschließend wurden alle Proben im Trockenschrank bei 105 °C, 24 Stunden lang getrocknet. Direkt nach der Trocknung wurden die Proben erneut gewogen. Dies musste zügig erfolgen, um eine erneute Wasseraufnahme des Bodens aus der Luft zu vermeiden. Aus der Differenz von lufttrockenem und schranktrockenem Boden ergibt sich der Totwasseranteil.

Der Wasseranteil, der durch eine hohe Saugspannung ( $>4,2$  pF) im Boden so fest gebunden ist, dass er nicht durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann, wird als Totwasser bezeichnet. Der pF-Wert kennzeichnet die Kraft, mit der das Bodenwasser entgegen der Schwerkraft in der Bodenmatrix gehalten wird. Der Wasserhaushalt der Böden ist in einem starken Maße abhängig von „den wechselnden Witterungsbedingungen und den hierdurch bedingten Schwankungen in der Stoffwechselintensität der Pflanzen“. Auch die Bodeneigenschaften und die hydrologische Situation in den Böden spielen eine Rolle. Besonders die unterschiedlichen Sättigungszustände des jeweiligen Bodens und die damit verbundenen Eigenschaften des Porensystems sowie die Wasserleitfähigkeit sind dabei von Belang. Die Wasserspannungskurve und die Wasserleitfähigkeitskurve sind deshalb wichtige Hilfsmittel bei der Beurteilung von Wasserhaushalten in Böden. „Für die Beurteilung des Wasserhaushaltes von Böden werden häufig Begriffe wie „Feldkapazität“ (FK) und „Permanenter Welkepunkt“ (PWP) verwendet. Diese Werte entsprechen Wassergehalten, die für die einzelnen Bodenschichten und -horizonte charakteristisch sind und sich unter definierten Verhältnissen stets wieder einstellen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002). (LÜTKE ENTRUP / OEMICHEN, 2000).

### 3.11 Kaliapplikation

Die Parzellen wurden mit Korn-Kali gedüngt. Dies ist ein kieserithaltiges Kalidüngemittel. Kieserit ist eines der Hauptsalzminerale der Rohsalze Sylvinit, Carnallit und Hartsalz. Korn-Kali ist eine Kombination von Kalium mit Magnesium. Es enthält 40 %  $K_2O$  in Form von Kaliumchlorid, 6 %  $MgO$  in Form von Magnesiumsulfat, 4 % Schwefel sowie 3 % Natrium. Alle Nährstoffe im Korn-Kali sind wasserlöslich und daher nach dem Auflösen direkt pflanzenverfügbar. Es ist ein granuliertes Produkt, welches durch sein enges Korngrößenspektrum eine hohe Streuqualität sichert und eine verteilgenaue Ausbringung ermöglicht. Aufgrund des Schwefelanteils von 4 % ist die Grundversorgung der Bestände mit Schwefel gesichert. Es wirkt unabhängig vom pH-Wert des Bodens und ist daher auf allen Standorten einsetzbar.

Bei dem Versuch wurde auf einer Parzellengröße von  $144\text{ m}^2$  für die 200 K-Variante 7,2 kg Korn-Kali auf den betreffenden 8 Parzellen ausgebracht. Für die Variante mit 400 kg/ha wurden auf den 4 entsprechenden Parzellen 14,4 kg Korn-Kali gestreut. Diese Mengen wurden genau abgewogen und am 26. April 2008 appliziert. Aufgrund einer langen Trockenheitsphase im Mai 2008 konnte das Korn-Kali erst sehr spät in den Boden gelangen. Da die Hauptaufnahme von Kalium beim Mais erst im Juni/Juli beginnt, war die Trockenheit im Mai nur von geringer Bedeutung. (FINCK, 1991).



### **3.12 Bittersalzapplikation**

Bittersalz ist auch unter dem Namen Magnesiumsulfat-Heptahydrat bekannt. Es kommt in der Landwirtschaft als Blattdünger zum Einsatz. In Wasser lässt es sich rückstandslos auflösen. Die Lösung wird auf die Pflanzen gesprüht und über das Blatt aufgenommen. Magnesiummangelerscheinungen kann so vorgebeugt werden.

Durch Umkristallisation von gelöstem Kieserit kann Bittersalz gewonnen werden. Es ist ein Feststoffdünger, der meist synthetisch oder chemisch hergestellt wird. In natürlicher Form ist es an Wänden von Kalksteinhöhlen oder in der Nähe vulkanischer Quellen zu finden. In diesem Düngemittel sind 16 % MgO enthalten. Als Blattdünger wird es in einer 1-2%igen Lösung verspritzt. Der Ausnutzungsgrad von Magnesiumdüngern ist identisch mit dem der Kaliumdünger. Mit steigendem Kaliumangebot sinkt die Ausnutzung des Magnesiums, weil  $K^+$  und  $Mg^{2+}$  im Antagonismus zueinander stehen.

In dem Versuch wurde das Bittersalz am 16. Juni 2008 zum EC-Stadium 49 mit Hilfe einer Handspritze ausgebracht. Es kamen 15 kg Bittersalz/ha zum Einsatz. Dies entspricht 2,25 kg MgO/ha. Die Spritzbrühe wurde mit 216 g Bittersalz angerührt und auf 144 m<sup>2</sup> verspritzt. (<http://www.dünger-info.de/bittersalz.php> 25.06.09).

### **3.13 Pflanzenproben**

Von jeder Parzelle wurden an verschiedenen Terminen Blattproben von den Pflanzen entnommen. Aus allen Versuchsreihen, inklusive den Wiederholungen, wurden jeweils 10 Proben aus verschiedenen Bereichen der Parzelle entnommen. Es wurde immer das Jüngste, voll entwickelte Blatt einer Pflanze abgetrennt. Diese Blätter wurden in perforierten Tüten getrocknet und dem jeweiligen Versuch zugehörig zur LUFA geschickt. In der LUFA wurden die Blattproben auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. Analysiert wurde der Kalium- und Magnesiumgehalt der Blätter, um zu sehen, wie viel Dünger die Pflanzen aufgenommen haben. Aufgrund der gewählten Termine für die Probenahme, lässt sich die Konzentration der Nährstoffe in den Blättern sehr gut grafisch darstellen.

### **3.14 Wuchshöhe**

Im Laufe der Vegetation wurde an drei Terminen die mittlere Wuchshöhe ermittelt. Dies fand jeweils am Anfang der Monate Juli, August und September statt. An Hand der Wuchshöhe lassen sich Wachstumskurven erstellen, sodass Unterschiede in den Wuchsleistungen aufgrund veränderter Düngungsintensität grafisch dargestellt werden können.

In Deutschland liegt die durchschnittliche Wuchshöhe beim Mais zwischen 1,7 m bis 2,5 m. Zur Ermittlung der Wuchshöhe dienten eine zwei Meter lange Wasserwaage und ein Zollstock. Die Wasserwaage wurde waagrecht an der durchschnittlichen Bestandshöhe angelegt und die Höhe an der Oberkante gemessen. Diese Messungen wurden in jeder Variante und der dazugehörigen Wiederholung viermal durchgeführt um eine repräsentative Aussagen treffen zu können.

### 3.15 Pflanzendichte

Die Pflanzendichte (Bestandsdichte) bei Mais richtet sich nach der Nutzungsrichtung (Silo- oder Körnermais), der Sorte, der Reifegruppe und der Niederschlagsverteilung während der Vegetation.

Die Saatstärke ist entscheidend für die Restpflanzen- und Kolbenentwicklung und ist somit von großer Bedeutung für den Ertrag, den Futterwert sowie den Trockensubstanzgehalt. Der Gesamtertrag steigt bei einer Saatstärke von bis zu 14 Körnern/m<sup>2</sup> an, jedoch gehen der Kolbenanteil und der Abreifegrad sowie die Standfestigkeit deutlich zurück.

**Tabelle 4: Reifezahlen Mais**

<b>FAO-Zahl</b>	<b>Körnermais</b>	<b>Silomais</b>
bis 220	11-10	12-11
230-250	10- 9	11-10
260-290	10- 9	10- 9

Quelle: Eigene Darstellung

Grundsätzlich gilt die Regel Je frühreifer ein Sorte ist, desto höher muss die Bestandesdichte sein. Je geringer die Niederschläge zur Zeit der Blüte und je leichter der Boden, desto weniger Pflanzen sollen je Quadratmeter stehen.

Bei der Agrar GbR Jähne/Marquardt wurde der Mais mit 10 Körnern/m<sup>2</sup> ausgesät. Die Bestandesdichte in den Versuchspartellen wurde am 03. September 2008 vor der Ernte ermittelt. In jeder Variante und der dazu gehörigen Wiederholung wurden vier Messungen durchgeführt. Die Ermittlung der Pflanzendichte erfolgte mit der Hilfe eines Zollstockes und der Berechnung über die laufenden Meter in der Maisreihe. 1,33m Maisreihe entsprechen 1m<sup>2</sup> Mais (100cm dividiert durch 75cm Maisreihe ergibt = 1,33m Länge). (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998). (ZSCHEISCHLER; ESTLER; STAUDACHER; et. al., 1990)

### 3.16 Ernte

Bei der Silomaisernte wird die ganze Pflanze geerntet. Mit zunehmender Reife steigt nicht nur der Ertrag, sondern auch die Verdaulichkeit und Energiedichte bis zum Stadium der Teigreife. Bei einem guten Silomaisbestand kommt die Energie zu 60-65 % aus dem Kolben. Die Energieeinlagerung ins Korn setzt beim Mais im August ein und erstreckt sich bis in den September, sodass mit einem Energieanstieg bis in den September zu rechnen ist. In Abhängigkeit von der Sorte wird die optimale Nährstoffkonzentration bei einem Trockensubstanzgehalt von 28 – 36 % erreicht.

**Tabelle 5: Abreife - Situation bei unterschiedlichen TS-Gehalten**

<b>Kornertragspotential der Sorte</b>	<b>Restpflanzen-abreife</b>	<b>optimaler TS-Gehalt</b>
hoch	langsam	34-36
hoch	schnell	30-32
niedrig	langsam	30-32
niedrig	schnell	28-30

Quelle: Eigene Darstellung

Sorten mit hohen Kornerträgen und langsam abreifender Restpflanze (Stay-green-Typen), sollten einen Trockensubstanzgehalt von 34-36 % in der Gesamtpflanze erreichen.

Für Sorten mit einem geringen Kornanteil und einer schnellen Abreife der Restpflanze gilt ein Trockensubstanzgehalt von 28-30 %.

Bei geringeren TS-Gehalten erhöht sich der Sickersaftverlust im Silo. Bei höheren TS-Gehalten sinkt der Energiegehalt der Silage und die Verdaulichkeit geht zurück.

Der TS-Gehalt lässt sich über mehrere Wege ermitteln. Zum einen an Hand von mehreren Häckselproben à 1,0 kg der gesamten Pflanze und anschließender Trocknung bei 100 °C bis zur Gewichtsbeständigkeit. Zum anderen optisch an den Körnern, wenn sie an der Spindelansatzstelle nicht mehr milchig, sondern teigig sind und sich nur noch leicht mit dem Daumennagel eindrücken lassen.

Bei der Ernte vom Silomais wird eine mittlere Häcksellänge von 4-6 mm gewählt, um so eine ausreichende Verdichtung des Erntegutes im Silo zu realisieren. Die Körner werden mit einem so genannten „Cracker“ bearbeitet, dadurch können sie von den Rindern bei der Verdauung ideal aufgeschlossen werden.

Geerntet wird der Mais mit einer Stoppelhöhe von 20-25 cm, dieser Wert kann aber bei schlechten Abreifebedingungen in die Höhe verlagert werden, um auch so eine ideale Energiedichte sicher zu stellen.

Das Silo sollte so schnell wie möglich befüllt und abgedeckt werden. Als Richtwert gelten hier 1 bis maximal 2 Tage.

Am Versuchsstandort war der Mais am 04. September 2008 mit einem Trockensubstanzgehalt von 33 % am weitesten gereift, so dass geerntet und einsiliert werden konnte. Insgesamt wurden 3,44 ha geerntet. Die GbR Jähne/Marquardt benutzte hierzu einen Claas Jaguar 850 mit einem 4,5m breiten, reihenunabhängigen Maisgebiss. Den Abtransport übernahmen 2 Zugmaschinen mit jeweils 1 HW 80 mit Siloaufbau, in der Siloanlage verdichtete 1 K700 den gehäckselten Mais.

Die Ernte auf diesem Schlag war in 2 Stunden abgeschlossen. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998). (ZSCHEISCHLER; ESTLER; STAUDACHER; et. al., 1990).

### **Biomassebestimmung in den Parzellen**

Die Biomassebestimmung in den einzelnen Varianten erfolgte am 03. September 2008. In jeder Parzelle und der dazu gehörigen Wiederholung wurden 2 mal 5 m<sup>2</sup> beerntet. Dazu wurde die Maisreihe auf einer Länge von 6,65 m abgemessen, was einer Fläche von 5 m<sup>2</sup> entspricht. Das Ermitteln der Fläche fand an Hand der laufenden Meter statt, wobei 1 m<sup>2</sup> Fläche einer Maisreihenlänge von 1,33 m entspricht. Die Ernte der Maispflanzen erfolgte bodennah, um so den gesamten oberirdischen Biomasseaufwuchs zu ermitteln. Das Erntegut wurde gebündelt und das Gewicht mit Hilfe einer Zugwaage ermittelt. Sämtliche gewonnenen Daten wurden für die spätere Auswertung in vorgefertigte Tabellen eingetragen.

### 3.17 Statistik

Die statistischen Berechnungen dieser Arbeit erfolgten mit dem Softwareprogramm „Microsoft Excel“. Die erhobenen Daten wurden unter Inanspruchnahme der einfaktoriellen Varianzanalyse „ANOVA“ ausgewertet. Diese beruht auf die Zerlegung der Gesamtvariabilität von Datensätzen in einzelne Komponenten, wobei jede Komponente ihre Variabilitätsursache hat.


Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse berechnet Excel eine Signifikanzwahrscheinlichkeit, die mit dem P-Wert übereinstimmt. Der P-Wert (auch Überschreitungswahrscheinlichkeit genannt) ist eine Kennzahl zur Auswertung von statistischen Tests. Als Signifikanzniveau, welche auch Irrtumswahrscheinlichkeit genannt wird, wurden 5 % festgelegt - eine gängige Größe für die Auswertung von Datensätzen. Liegt der P-Wert nach der Analyse der Daten unter 0,05 und somit unter dem festgelegten Signifikanzniveau, so können die Daten als statistisch abgesichert betrachtet werden.

Für die Berechnung wurden die erhobenen Daten in einer Excel-Tabelle zusammengefasst. Durch die im Programm enthaltenen Analysefunktionen konnten die Daten mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse berechnet werden. (siehe Anhang).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Bodenprofil I

Tabelle 6: Bodenprofil I

<u>Horizont-einteilung</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Tiefe (cm)</u>	<u>Bodenart</u>	<u>Farbe</u>	<u>pH - Wert</u>	<u>Bemerkungen</u>	<u>Proben-Nr.</u>	
	Ah	0						
		10	IS z.T.					
		20	uS	10YR 4/3	6,3		I <sub>1</sub>	
			30	fS				
	Bv	40	IS				Steine	
		50			10YR 4/6	6,6	Kleine Lehm- bereiche	I <sub>2</sub>
60		gS						
C	75	gS						
	80	S	10YR 4/3	7,0		I <sub>3</sub>		
	90							

Quelle: Eigene Darstellung

Der Standort zwischen Rittgarten und Augustfelde ist ein Braunerdestandort. Dies sind häufig Standorte des gemäßigt humiden Klimas mit der Horizontabfolge Ah, Bv und C.

Typisch für Braunerden sind die Verbraunung und Verlehmung des B-Horizontes in denen kein Humus angereichert wurde. Vorwiegend entwickeln sich Braunerden aus silikatischen, kalkfreien oder kalkarmen Ausgangsgestein. In Abhängigkeit von ihrem Ausgangsgestein

unterscheiden sich die Braunerden stark in ihren Eigenschaften. Braunerden aus Geschiebelehm weisen eine mittlere nutzbare Feldkapazität auf und werden oft landwirtschaftlich genutzt, wobei Braunerden aus silikatischem Festgestein eher forstwirtschaftlich genutzt werden.

Das Bodenprofil I besteht aus drei Bodenhorizonten, die sich wie folgt zusammensetzen: Ah-, Bv-, und C-Horizont. Der A-Horizont wird als Mineralhorizont, welcher mit Humus angereichert ist, verstanden. Er kann an Mineralen verarmt, oder, wie in ariden Gebieten, mit Mineralen angereichert sein. Als Verwitterungs- oder Einwaschungshorizont folgt der B-Horizont. Dieser gilt auch als nässefreier Mineralboden. Er weist einen veränderten Mineralbestand durch die Einlagerung aus dem Oberboden oder durch Verwitterungssituationen auf. Unter dem B-Horizont beginnt der C-Horizont, welcher aus Lockergestein mit grabbarer Erde besteht.

#### **Ah-Horizont:**

Der Ah-Horizont erstreckt sich bis auf eine Tiefe von knapp 39 cm. Er ist mit Humus angereichert, dessen Gehalt bis zu 15 % betragen kann. In dieser Erdschicht erfolgt die Bodenbearbeitung durch den Landwirt. Bei der Bearbeitung werden Jahr für Jahr Erntereste und sonstige organische Stoffe in die obersten 30 cm Boden eingearbeitet, so dass sich die erhöhten Humusgehalte gegenüber den anderen Horizonten erklären.

Auf dem Versuchsstandort ist der Ah-Horizont im Bodenprofil I von drei unterschiedlichen Bodenarten geprägt. Die ersten 10 bis 20 cm bestehen zum Teil aus lehmigen Sand (IS), in der Schicht ab 20 cm kommt schluffiger Sand (uS) und ab 30 cm feiner Sand. Die Farbensprache des Bodens erfolgte am normfeuchten Boden mit Hilfe der Munsell-Farbtafel, welche die Einzelfarben durch drei Kriterien definiert:

- a. Pigment (hue): Mischung von rotem und gelbem Pigment (YR). Die Zahl davor beschreibt die jeweiligen Anteile der Pigmente
- b. Pigmentdichte (chroma)
- c. Schwarzanteil (value)

In diesem Falle ist der Ah-Horizont mit dem Farbsymbol 10YR 4/3 definiert. Ein graubrauner Farbton der auf der Munsell-Farbtafel unten angesiedelt ist.

Das Säure-Basen-Verhältnis liegt bei einem pH-Wert von 6,3. Dieser Wert liegt im schwach sauren Bereich und somit auch in dem Anspruchsbereich vom Mais welcher zwischen 5,5 und 7 liegt.



**Bv-Horizont:**

Ab einer Tiefe von > 39cm beginnt der Bv-Horizont und erstreckt sich über 34 cm bis zu 73 cm Tiefe. Er ist durch die Verwitterung gekennzeichnet, ist braun und tonhaltig, typisch für Braunerde. In 40cm Tiefe liegt lehmiger Sand vor. Der Boden enthält viele Steine in diesem Bereich. Bei 50cm sind kleine Lehmgebiete zu finden und ab 60cm dominiert der reine Grobsand. Hier wird Wasser extrem gut vom Boden weiter geleitet, jedoch ist die nutzbare Feldkapazität sehr schlecht, da der Boden kein, oder nur sehr wenig Wasser hält.

Das Säure-Basen-Verhältnis ist mit einem pH-Wert von 6,6 dem des Ah-Horizontes ähnlich und liegt auch im Anspruchsbereich vom Mais. Im Farbton ist der Bv-Horizont deutlich heller als der Ah-Horizont, er ist mit 10YR 4/6 nach der Munsell-Farbtabelle definiert und somit intensiver pigmentiert.


**C-Horizont:**

Der C-Horizont beginnt ab einer Tiefe von > 73 cm. Die vorherrschende Bodenart ist grober Sand. In den tieferen Schichten dieses Horizontes wird der Sand immer reiner bis hin zum reinen Sand, welcher ein geringes Wasserhaltevermögen hat.

Mit dem pH-Wert von 7 liegt das Säure-Basen-Verhältnis dieser Bodenschicht im neutralen Bereich. Der Farbton dieses Horizontes ist grau-braun und mit dem Symbol 10YR 4/3 definiert.

## 4.2 Bodenprofil II

Tabelle 7: Bodenprofil II

<u>Horizont-einteilung</u>	<u>Horizonte</u>	<u>Tiefe ( cm )</u>	<u>Bodenart</u>	<u>Farbe</u>	<u>pH - Wert</u>	<u>Bemerkungen</u>	<u>Proben-Nr.</u>
	Ah	10	uS				II <sub>1</sub>
		20	fS	10YR 3/2	5,6		
		30					
	B	40	uS				II <sub>2</sub>
		50	mS - gS	10YR 5/6	6,2		
		60					
	C <sub>1</sub>	70					II <sub>3</sub>
		80	uS	5YR 4/6	6,4	oxidiert, Rostrot	
	C <sub>2</sub>	90		gS			II <sub>4</sub>
		100	sL	10YR 4/4	6,4	hält H <sub>2</sub> O	

Quelle: Eigene Darstellung

Bei dem Bodenprofil II handelt es sich um Braunerde aus Geschiebesand und Geschiebemergel. Das Profil gliedert sich in die Horizonte A-, B-, und C, wobei der C-Horizont in C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub> unterteilt ist.

**Ah-Horizont:**

Fast genau wie im Bodenprofil I erstreckt sich der Ah-Horizont bis auf eine Tiefe von 38 cm. In den obersten Zentimetern des Ah-Horizontes besteht das Bodenprofil II aus schluffigem Sand. In den tieferen Schichten, ab 20 cm bis hin zum B-Horizont, liegt feiner Sand vor. Die Farbansprache erfolgte auch hier, wie beim Bodenprofil I, am normfeuchten Boden nach der Munsell-Farbtabelle. Der Boden des Horizontes ist mit dem Farbsymbol 10YR 3/2 definiert, ein dunkler, grau-brauner Farbton.

Der Ah-Horizont ist mit einem pH-Wert von 5,6 mäßig sauer, liegt aber noch im Anspruchsbereich vom Mais.

**B-Horizont:**

Dieser Horizont beginnt ab einer Tiefe von > 38 cm und verläuft bis zu 71 cm Tiefe. Nach der Schicht feinem Sand aus dem Ah-Horizont, folgt hier eine Schicht schluffiger Sand in 40 bis 50 cm Tiefe. Daran schließt sich eine große Schicht mittlerer bis grober Sand an, welche sich bis zum C-Horizont erstreckt.

Im Farbton zeichnet sich der B-Horizont deutlich vom A-Horizont ab, er zeigt wesentlich mehr Braunanteile, wirkt beige und ist mit dem Farbsymbol 10YR 5/6 gekennzeichnet. Der pH-Wert liegt mit 6,2 im schwach sauren Bereich, auch im Anspruchsbereich vom Mais.

**C-Horizont:**

Bei > 71 cm Bodentiefe beginnt der C-Horizont, welcher sich nochmals in C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub> unterteilt. Der erste Abschnitt C<sub>1</sub> geht bis zu einer Tiefe von 89 cm und ist in der obersten Schicht durch schluffigen Sand und in der unteren Schicht durch groben Sand geprägt. Der Boden ist rostrot oxidiert und mit dem Farbsymbol 5YR 4/6 definiert.

Unter dem C<sub>1</sub>-Horizont beginnt der C<sub>2</sub>-Horizont ab > 89 cm Tiefe. Die hier vorherrschende Bodenart ist sandiger Lehm. Der Lehmanteil hält das Wasser in diesem Abschnitt. Der Farbton ist braun und nach der Farbtabelle 10YR 4/4 definiert.

### 4.3 Bodengehalte an Kalium

In diesem Abschnitt werden die Kaliumgehalte des Bodens in den unterschiedlichen Varianten dargestellt und interpretiert. Die Proben aus den verschiedenen Düngungsvarianten wurden am 12. Juli 2008 entnommen und in dafür vorgesehene Tüten gelagert, um so für jede Variante die gleichen Ausgangsbedingungen zu garantieren.

Die folgende Tabelle stellt die Gehalte der Varianten und der jeweils dazu gehörigen Wiederholung dar.

**Tabelle 8: Kaliumgehalte des Bodens in den Wiederholungen**

Variante	Parzelle	mg K/100g Boden	Min	Max	Median	Mittelwert der Varianten	Gehaltsklasse nach Mittelwert
Nullvariante	S I 1	9	5	9	7	7	B
	S I 2	5					
	S I 3	8					
	S I 4	6					
200 K	S II 1	7	6	9	7	7,25	B
	S II 2	7					
	S II 3	6					
	S II 4	9					
400 K	S III 1	9	9	16	10,5	11,5	C
	S III 2	11					
	S III 3	10					
	S III 4	16					
200 K + Mg	S IV 1	10	6	15	9	9,75	C
	S IV 2	15					
	S IV 3	8					
	S IV 4	6					

Quelle: Eigene Darstellung

Werden die Werte der Wiederholungen betrachtet, so ist eine starke Schwankungsbreite zu erkennen.

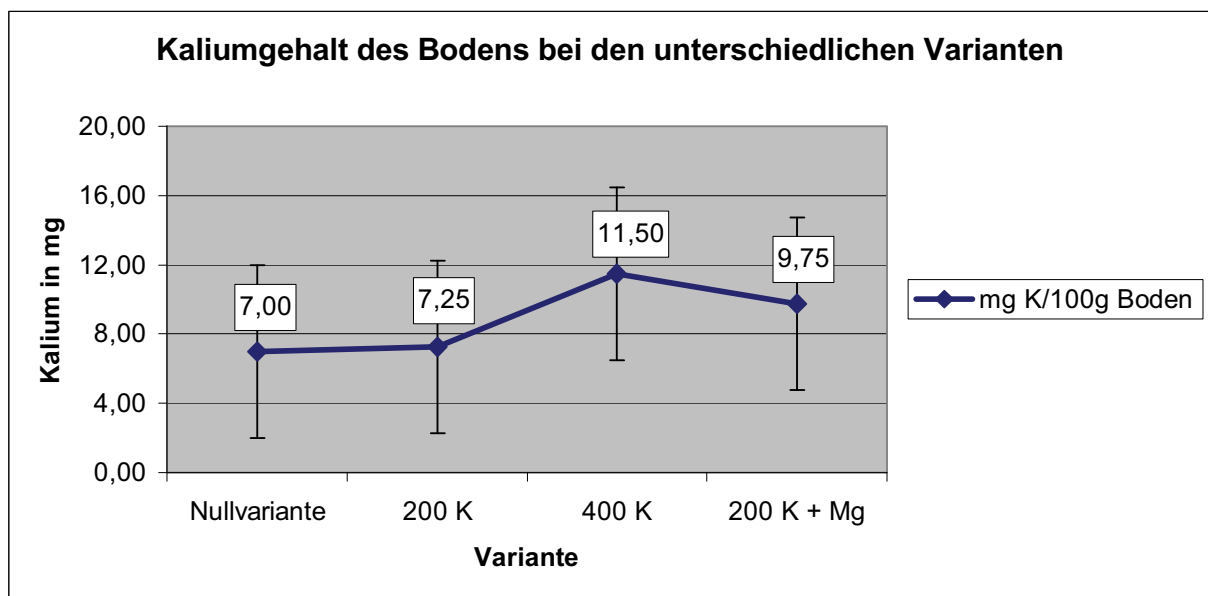
Die statistische Berechnung mit einem P-Wert von 0,11 ergibt keine Absicherung dieser Werte.

Als eine Ursache für die starken Unterschiede der analysierten Werte in den Varianten, könnte der sehr inhomogene Boden gesehen werden.

In dem Versuchsschlag wechselt die Bodenqualität sehr stark, was sich auch deutlich an der gemessenen Wuchshöhe der Pflanzen zeigt. Zur Ernte wurden Unterschiede in den Wiederholungspartellen von mehr als einem halben Meter festgestellt.

Eine weitere Ursache für die abweichenden Werte kann auch in der Form der Applikation des Korn-Kalis liegen. Der Kaliumdünger wurde von Hand auf die 144 m<sup>2</sup> großen Parzellen ausgebracht. Es wurden 7,2 kg Korn-Kali in den 200 K-Parzellen und 14,4 kg in den 400 K-Parzellen gestreut. Umgerechnet auf einen Quadratmeter entspricht das einer Menge von 50 g/m<sup>2</sup> in der einfachen Variante und 100 g/m<sup>2</sup> in der Vollvariante.

Diese Mengen lassen sich natürlich nicht exakt mit der Hand ausbringen, so dass die Parzellen mit hoher Wahrscheinlichkeit sehr heterogen gedüngt wurden und hier ein deutliches Fehlerpotential gesehen werden kann.



**Abbildung 7: Kaliumgehalt des Bodens in den unterschiedlichen Varianten**

Quelle: Eigene Darstellung

Trotz dessen ist mit steigender Düngungsintensität ein Anstieg der Kaliumgehalte im Boden zu erkennen (siehe Abbildung 7). Besonders die 400 K-Variante hebt sich mit ihren 11,5 mg/100g Boden deutlich hervor. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Dünger vom Boden aufgenommen wurde.

Irritierend sind jedoch die Ergebnisse der Nullvariante gegenüber der 200 K-Variante. Diese ist mit ihrem Kaliumgehalt im Durchschnitt nur um 0,25 mg/100 g Boden niedriger als die 200 K-Variante. Vergleicht man die 200 K-Varianten, sowohl mit Magnesiumgabe als auch ohne, mit der Nullvariante, so fällt auf, dass die Variante mit Magnesiumgabe einen deutlich höheren Kaliumgehalt aufweist. An Hand dieses Faktes könne man vermuten, dass die Kaliumversorgung auf diesem Versuchsschlag, schon vor der Versuchsanlage sehr inhomogen war. (HEGE; BRANDHUBER; TISCHNER; et. al., 1998).

## 4.4 Niederschläge und Bodenwasser (Bodenwasserhaushalt)

Tabelle 9: Niederschläge 2008

Monat	Niederschlag	Temperatur
Januar	49	2,5
Februar	12	3,9
März	47	3,7
April	46	7,3
Mai	8	13,4
Juni	43	16,4
Juli	30	18
August	38	17,6
September	44	12,7
Oktober	53	8,9
November	20	4,9
Dezember	0	2
Summe/ Mittelwert	390	9,28

Quelle: Eigene Darstellung

In der Tabelle 8 sind die Niederschläge vom gesamten Jahr 2008 dargestellt. Für den Maisanbau sind die Monate von April bis September interessant.

Innerhalb dieses Versuches wäre eine Trockenphase von Mitte Juni bis Mitte August optimal gewesen, um Trockenstress in der Hauptwachstumsphase der Maispflanze zu erreichen.

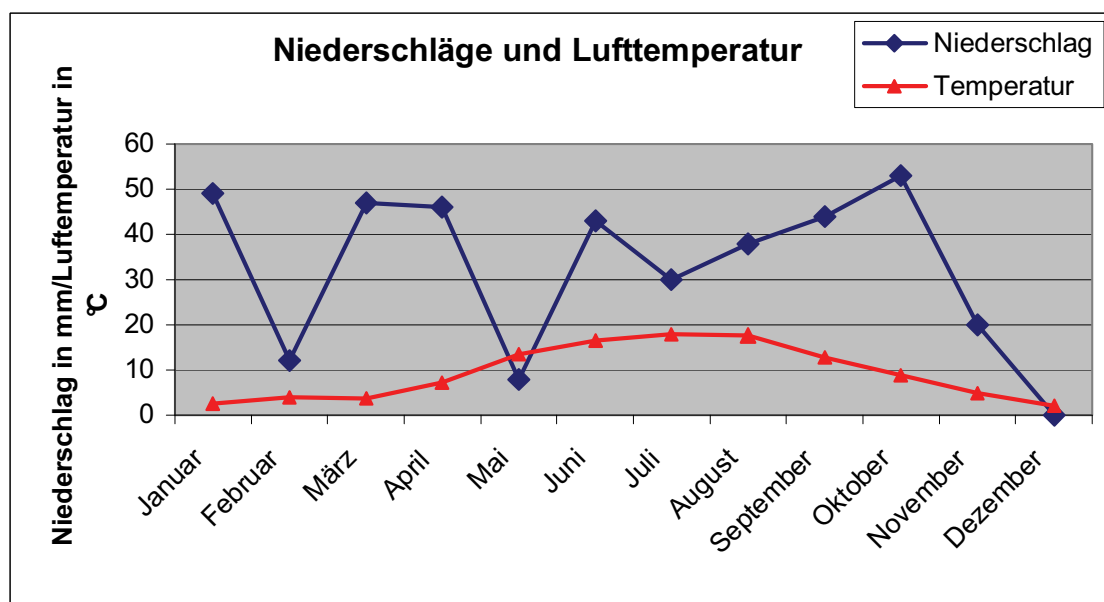


Abbildung 8: Niederschläge und Lufttemperatur

Quelle: Eigene Darstellung

Die Trockenphase trat aber leider schon im Monat Mai (Abbildung 8) auf. In dieser Phase wies der Mais aber noch kaum vegetatives Wachstum auf (s. Abbildung 9).

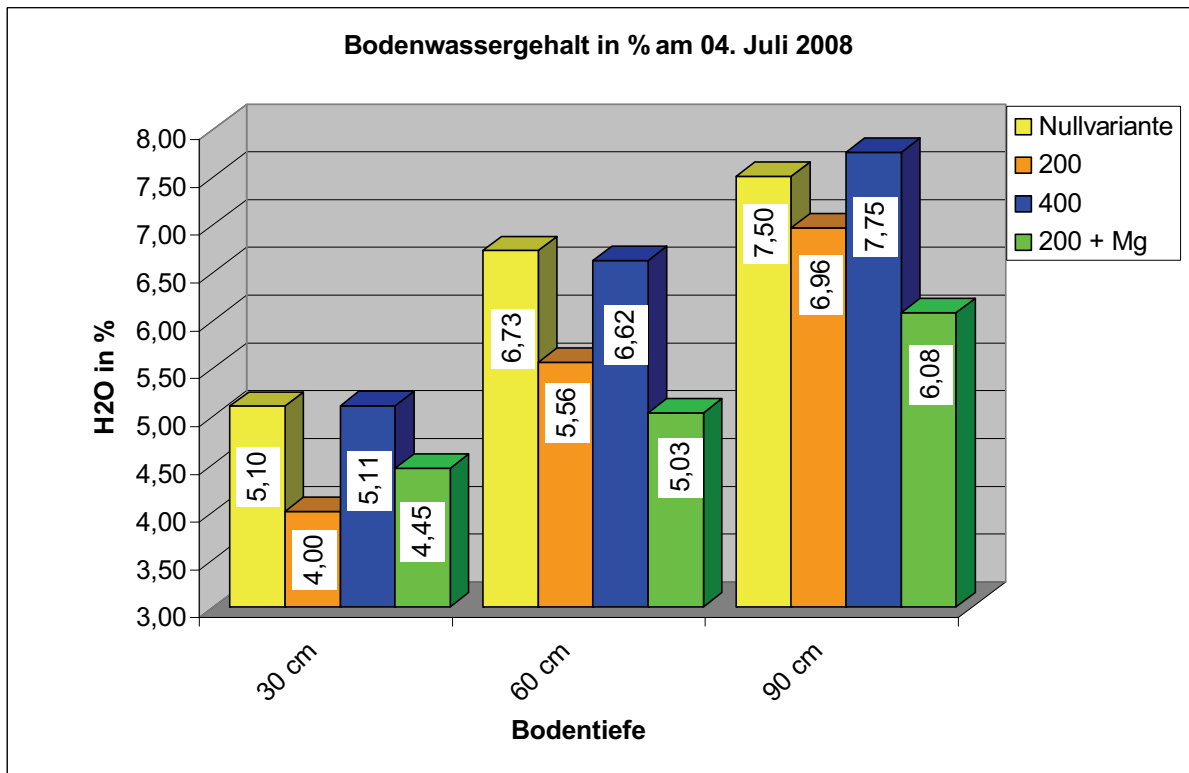
Der Mais hatte zu diesem Zeitpunkt gerade erst eine Wuchshöhe von 8cm und war deshalb noch nicht auf hohe Wassermengen angewiesen.

Messdatum	Wachstum nach ... Tagen	Größenwachstum in cm	
		Unterer Wert	Oberer Wert
16. Mai	Erster Tag der Messung	2	4
24. Mai	8	8	10
2. Juni	17	20	24
9. Juni	34	35	41
26. Juni	51	74	90
5. Juli	60	100	124
29. Juli	84	240	270
7. August	93	280	310
24. August	110	280	310

**Abbildung 9: Wuchsleistung Mais**

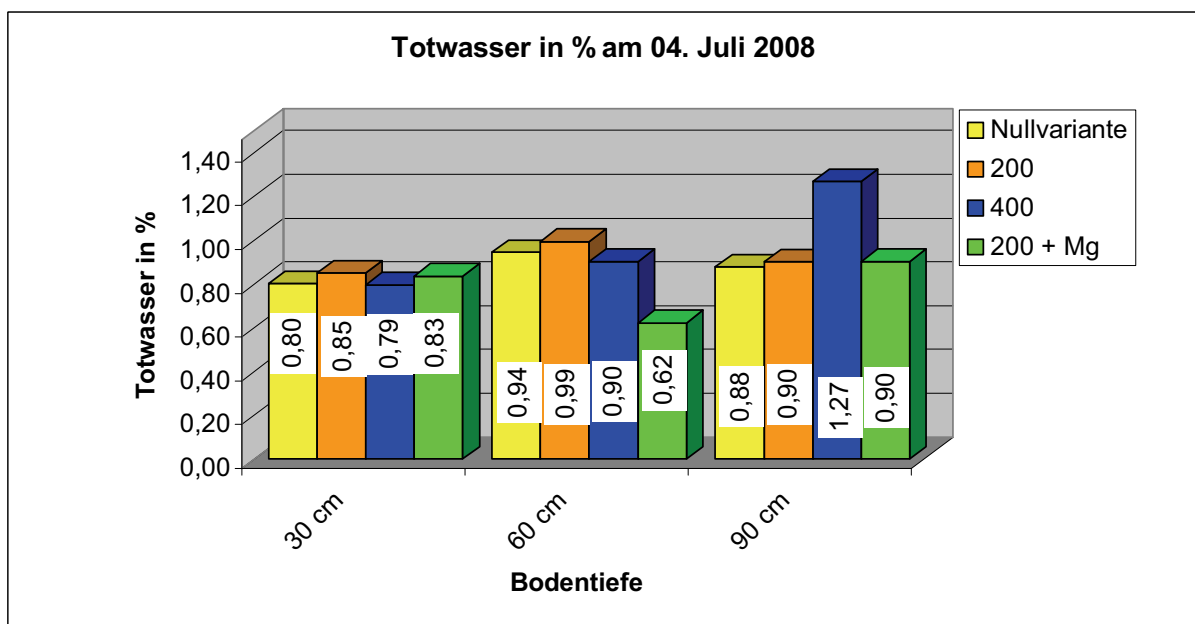
Quelle: <http://www.blick.it/angebote/primarmathe/ma7316.htm>

Von Mitte Juni bis Mitte August wächst der Mais dagegen rund 200 cm – 250 cm (Abbildung 9) und benötigt dafür auch ein dem entsprechendes Angebot an Wasser, um das vegetative Wachstum voran zu Treiben. Dieses Wasser war zum Nachteil des Versuches in der Hauptwachstumsphase der Pflanzen auch vorhanden. Deshalb wird hier deutlich, dass die gewünschte Trockenphase etwas zu früh eingetreten ist.



**Abbildung 10: Bodenwassergehalt in % am 04 Juli 2008**

Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 11: Totwassergehalt in % am 04. Juli 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Der Bodenwassergehalt variiert deutlich in den einzelnen Wiederholungen, sowie auch in den verschiedenen Tiefenmessungen. So ist in den Abbildungen 10 deutlich ein hoher Gehalt an Wasser und Totwasser in der 400 K-Variante erkennbar. Bei der 400 K-Variante und der



Nullvariante ist ein hoher Wassergehalt im Boden zu beobachten, wobei im Totwasserbereich kaum messbare Unterschiede zu erkennen sind.

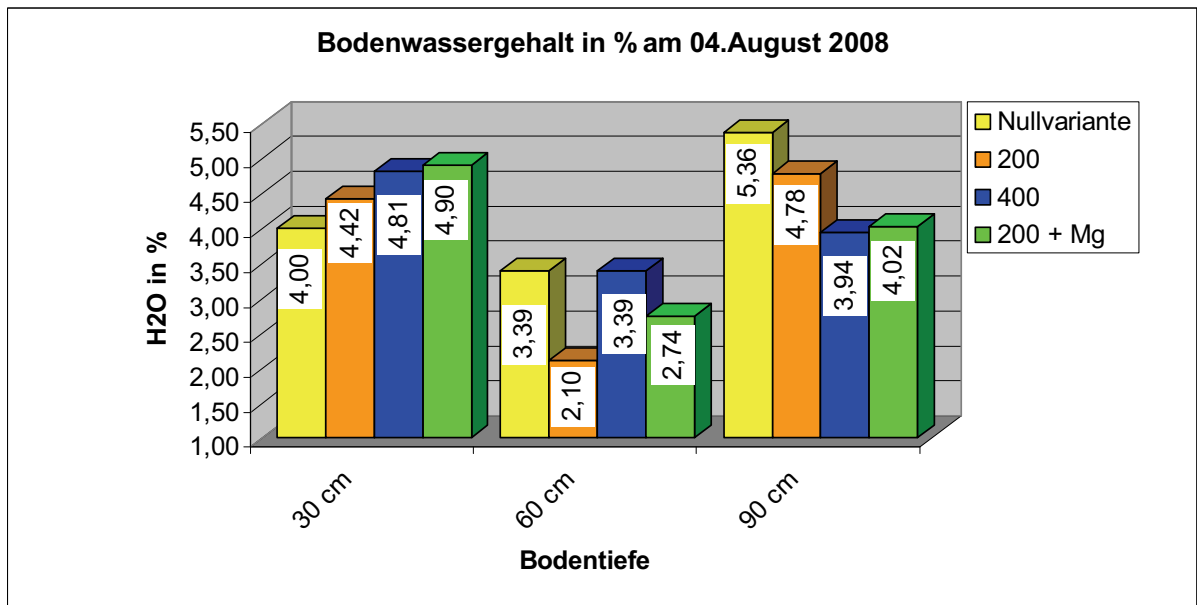
Bei dem Totwasser handelt es sich um fest gebundenes Wasser im Boden, welches durch die Pflanzen nicht mobilisiert werden kann. Generell sind im Bodenwassergehalt deutlichere Unterschiede in den Wiederholungen festzustellen als im Totwasserbereich.

Die Bodenwassergehalte bei der 200 K-Variante, sowie bei der 200 K-Variante mit zusätzlicher Magnesiumgabe liegen deutlich unter den Bodenwassergehalten der anderen beiden Varianten. Sowohl in 30cm, als auch in 60cm Tiefe weisen die Gehalte an Totwasser kaum Unterschiede auf. Einzig im Bereich von 60 bis 90 cm Tiefe sticht die 400 K-Variante durch höhere Werte heraus. Bei der statistischen Auswertung der Bodenwassergehalte vom Juli ergaben sich folgende Ergebnisse, die in Tabelle 10 dargestellt sind. Diese sind statistisch nicht absicherbar, da der P-Wert in allen drei Tiefen über 0,05 liegt.

**Tabelle 10: P-Werte Bodenwasser Juli 2008**

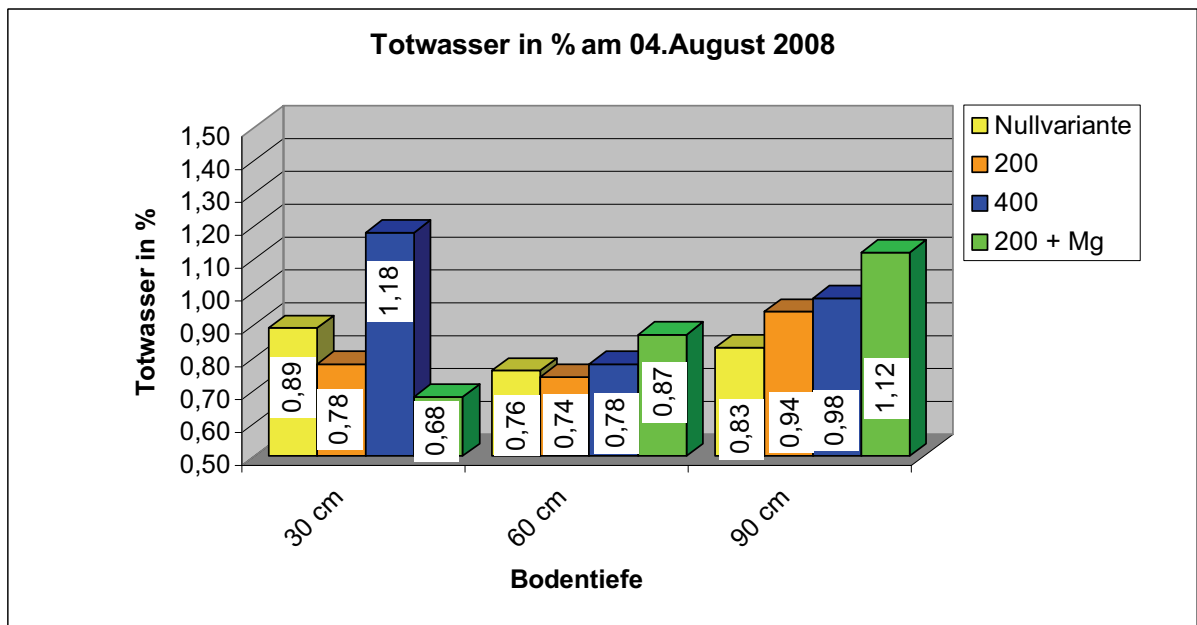
<b>Tiefe</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>
<b>P-Wert</b>	0,4	0,13	0,74

Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 12: Bodenwassergehalt in % am 04. August 2008**

Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 13: Totwassergehalt in % am 04. August 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Auch die Proben vom 04. August 2008 weisen keine erheblichen Unterschiede im Bodenwassergehalt und im Totwassergehalt auf.

Die Nullvariante zeigt eine Tendenz im Bodenwassergehalt, die sich nach oben hin orientiert, aber nicht deutlich von den anderen Varianten abhebt. Die anderen Varianten schwanken in allen drei Tiefen von einem niedrigen, bis hin zu einem hohen Anteil an Bodenwasser.

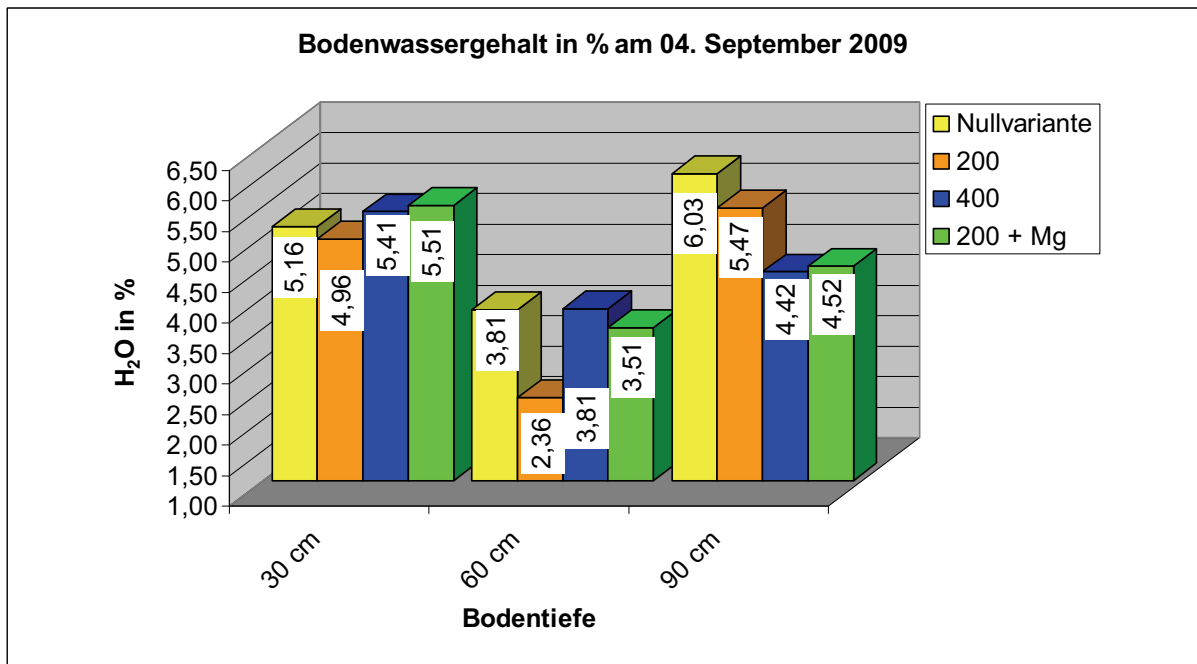
Bis auf zwei Abweichungen der 400 K-Variante im 30 cm Bereich und der 200 K + Mg-Variante im 90 cm Bereich sind bei den Totwassergehalten kaum Unterschiede zu beobachten.

Die Auswertung der Bodenwassergehalte vom August ergab folgende Ergebnisse, die in Tabelle 11 dargestellt sind. Bis auf die Werte der Bodenwassergehalte in 60 cm Tiefe sind die weiteren Tiefen statistisch nicht absicherbar, da der P-Wert über 0,05 liegt.

**Tabelle 11: P-Werte Bodenwassergehalte August**

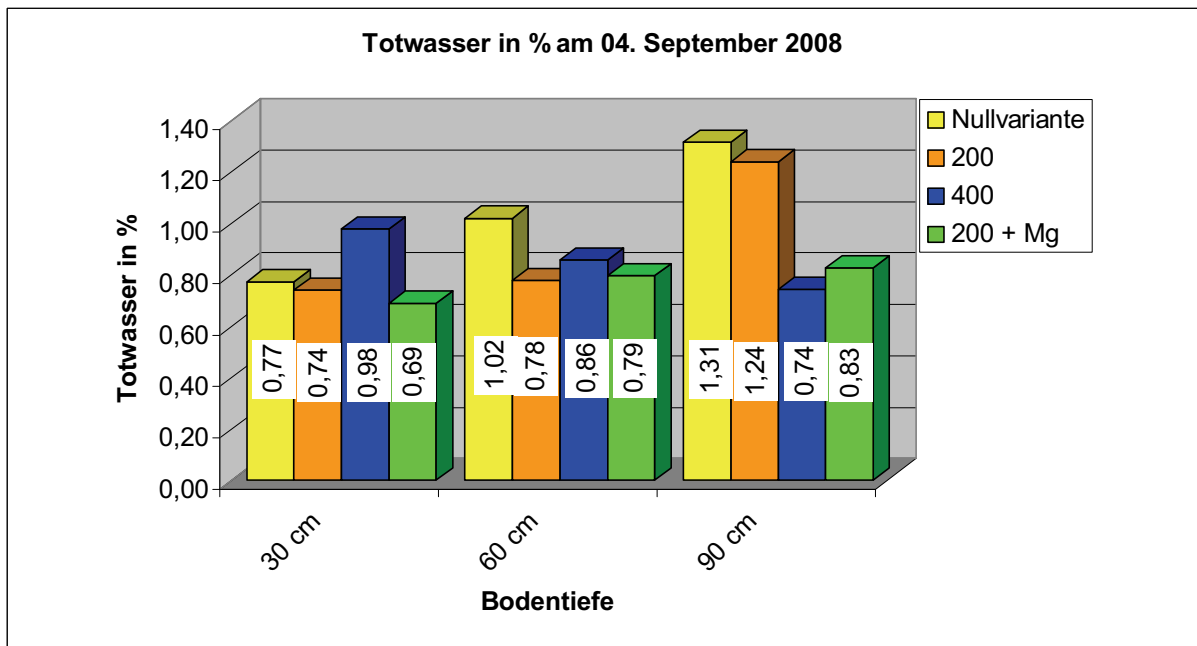
<b>Tiefe</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>
<b>P-Wert</b>	0,81	0,03	0,5

Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 14: Bodenwassergehalt in % am 04. September 2008**

Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 15: Totwassergehalt in % am 04. September 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Wie bereits in den Proben vom 04. Juli und 04. August, sind auch bei den Proben vom 04. September 2008 keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten erkennbar. Die Nullvariante hat hier tendenziell den höchsten Bodenwassergehalt aufzuweisen.

Die anderen Varianten schwanken sehr stark zwischen den einzelnen Tiefen. Im 60cm-Bereich ist der Bodenwassergehalt deutlich geringer als in den anderen Tiefen, wobei die 200 K-Variante extrem niedrige Gehalte aufweist.

Auch im Totwasserbereich hebt sich keine Variante erheblich von den anderen ab. Die Schwankungen sind auch hier sehr stark erkennbar.

Die Auswertung der Bodenwassergehalte vom September sind in Tabelle 12 aufgezeigt.

Bis auf die Werte der Bodenwassergehalte in 60 cm Tiefe sind die weiteren Tiefen statistisch nicht absicherbar, da der P-Wert über 0,05 liegt. Die Ergebnisse sind bis auf zwei Stellen nach dem Komma mit den Werten vom August identisch.

**Tabelle 12: P-Werte Bodenwasser September**

<b>Tiefe</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>
<b>P-Wert</b>	0,81	0,03	0,5

Quelle: Eigene Darstellung

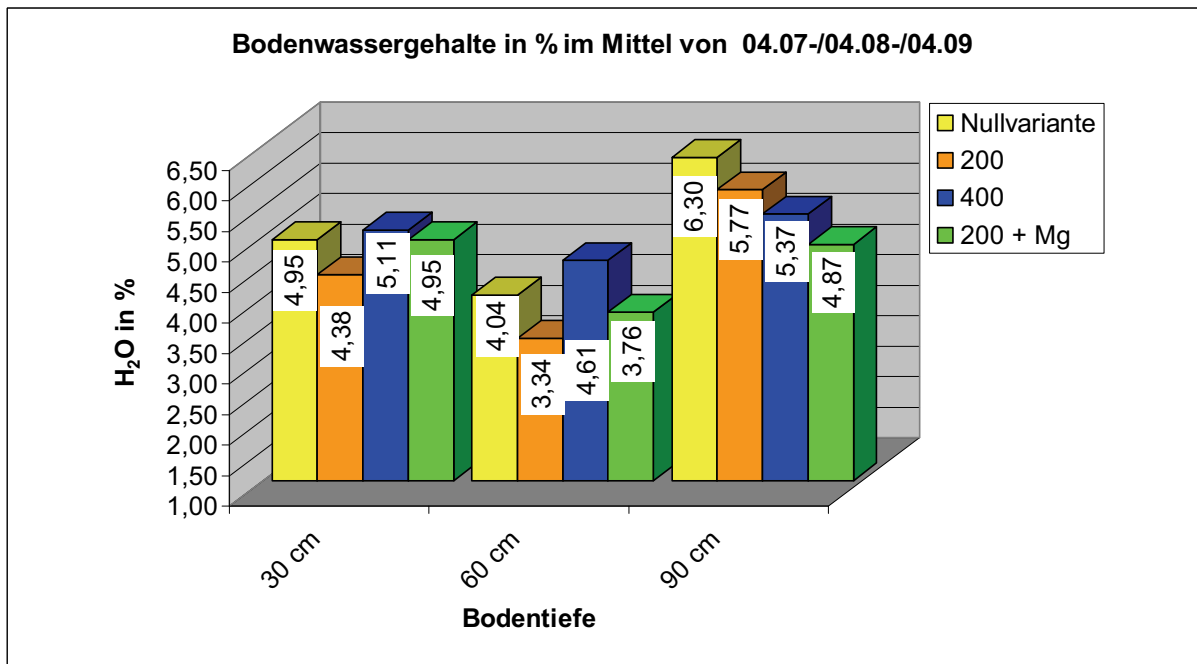


Abbildung 16: Bodenwassergehalte in % im Mittel der Monate Juli, August, September

Quelle: Eigene Darstellung

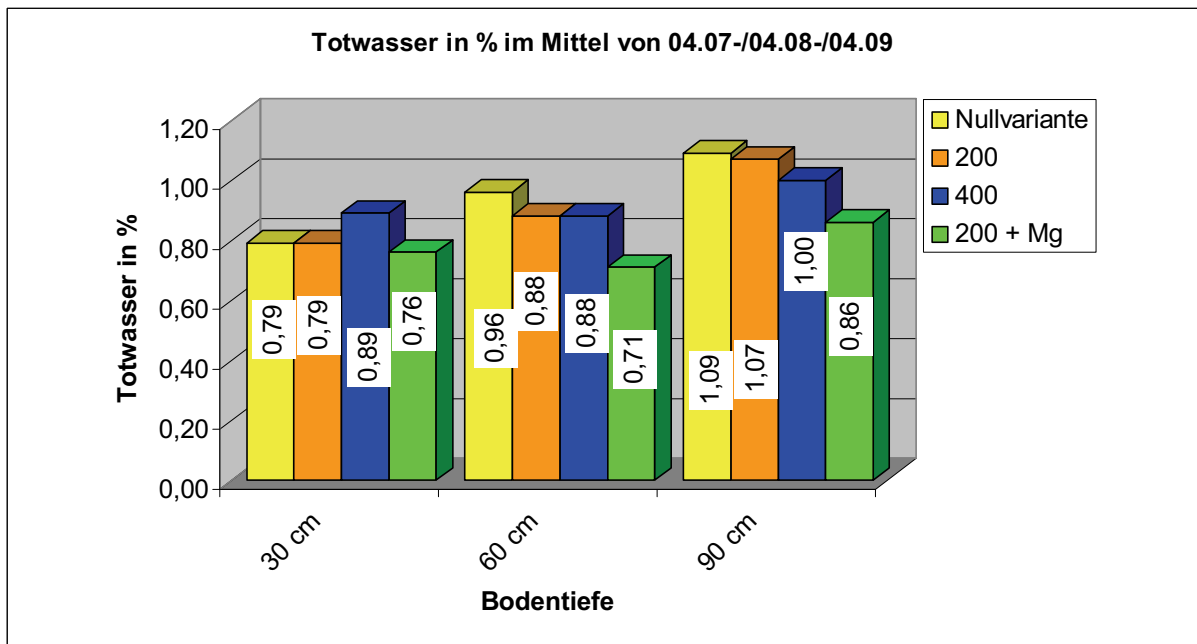


Abbildung 17: Totwassergehalte in % im Mittel der Monate Juli, August, September

Quelle: Eigene Darstellung

Im Mittel von allen gezogenen Bodenwasser- und Totwasserproben sind ebenfalls keine erheblichen Unterschiede zwischen den Varianten erkennbar, jedoch ist eine klare Tendenz der einzelnen Tiefen und der jeweiligen Varianten zu beobachten. Sowohl der Bodenwasserbereich, als auch der Totwasserbereich weisen in einer Tiefe von 0-30 cm den höchsten Wassergehalt bei der 400 K-Variante auf.

In einer Tiefe von 30-60 cm und auch von 60-90 cm hat die Nullvariante einen geringfügig höheren Gehalt an Wasser, als die anderen Varianten.

Die niedrigsten Wassergehalte waren bei dem 200 K-Variante mit Magnesiumgabe zu verzeichnen.

## 4.5 Kalium- und Magnesiumgehalte in der Pflanze (Varianz)

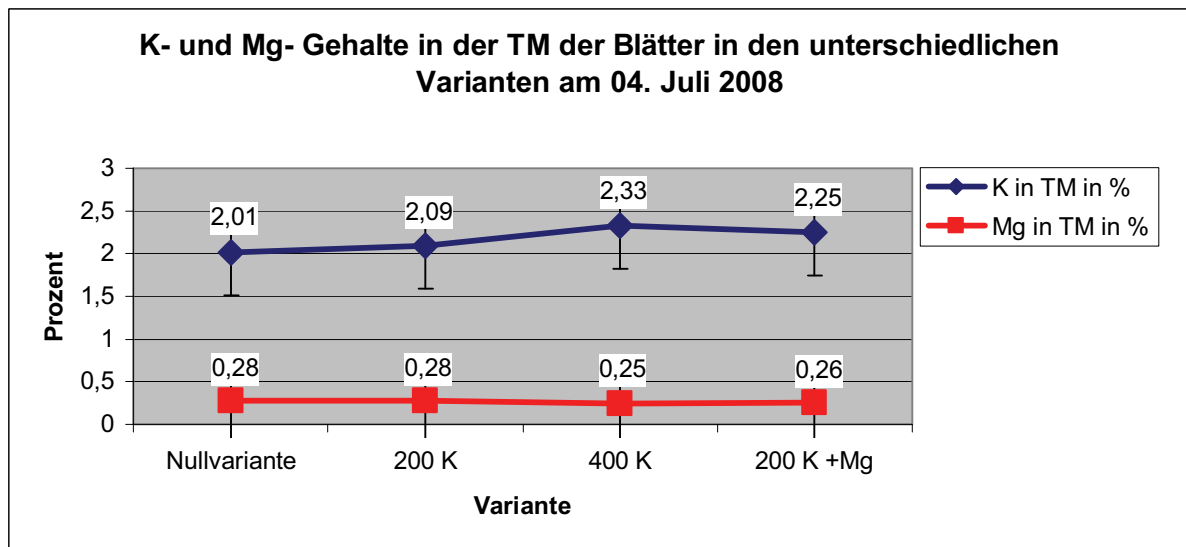


Abbildung 18: K- und Mg- Gehalte in der TM der Blätter in den unterschiedlichen Varianten am 04. Juli 2008

Quelle: Eigene Darstellung

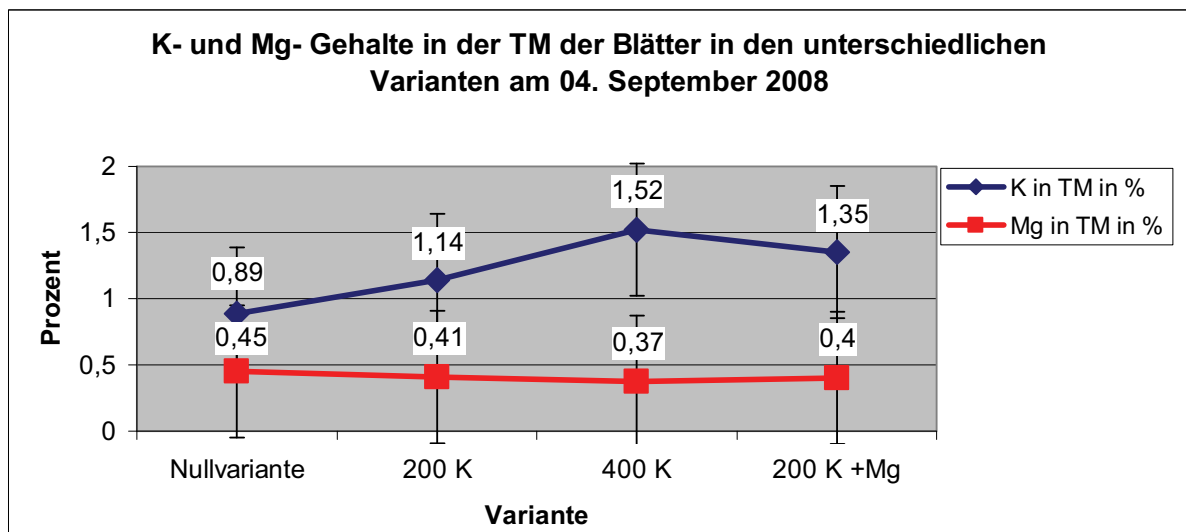


Abbildung 19: K- und Mg- Gehalte in der TM der Blätter in den unterschiedlichen Varianten am 04. September 2008

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 18 und 19 sind die Kalium- und Magnesiumgehalte in den Blättern der Pflanzen dargestellt. Es wurden die Durchschnittswerte aller vier Wiederholungen für die Grafik herangezogen.



Beide Ergebnisse zeigen, dass die Nullvariante immer den geringsten Kaliumgehalt hat. Die Variante mit 200 Kalium weist stets geringere Gehalte auf, als die mit der zusätzlichen Magnesiumgabe. Die Variante mit 400 Kalium hat immer die höchsten Kaliumanteile in den Blättern.

Die Ergebnisse belegen, dass die gewählte Düngungsstrategie auch in den Pflanzen Wirkung zeigt.

Bei den Proben vom 04. Juli 2008 weisen die Magnesiumgehalte nur geringe Abweichungen in den einzelnen Düngungsvarianten auf. Bei der Auswertung im September haben sich die Magnesiumgehaltswerte verdoppelt. Wiedererwartend enthielt die zusätzlich mit Magnesium gedüngte Variante nicht den höchsten Wert.

Bei der zweiten Probe vom 04. September 2008 (Abbildung 19) sind die prozentualen Anteile an Kalium in der Trockenmasse deutlich geringer, als bei der Probe vom 04. Juli 2008. Dies ist bei den Magnesiumgehalten genau umgekehrt, hierbei weist die Probe vom 04. September 2008 die deutlich höheren Gehalte auf.

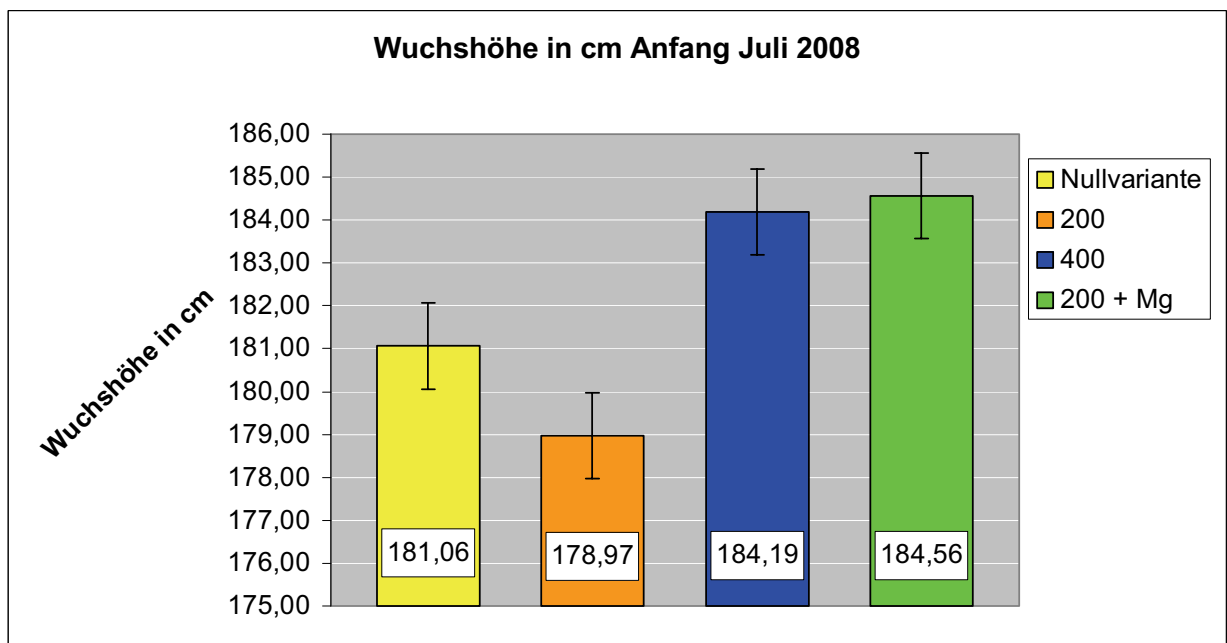
Die Gehalte an Kalium sind bei beiden Proben statistisch absicherbar. Bei der Probe vom Juli 2008 errechnet sich ein P-Wert in Höhe von 0,0012 und vom September 2008 ein P-Wert in Höhe von 0,005. Somit liegen beide Proben unter einem Wert von 0,05 und sind damit statistisch abgesichert. Die Unterschiede in den einzelnen Versuchen sind als signifikant zu betrachten.

Beim Magnesium ist das Gegenteil zu beobachten. Mit einem P-Wert im Juli in Höhe von 0,27 und im September von 0,26 ist keine statistische Absicherung gegeben, weil keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wiederholungen bestehen.

## 4.6 Wachstumsverlauf

Während des Versuches wurde jeweils zum Anfang der Monate Juli, August und September die Wuchshöhe des Mais ermittelt. Dies dient, wie schon im Teil „Material und Methoden“ erwähnt, der Erstellung von Wachstumskurven und Wuchsdiagrammen. Die Diagramme für die einzelnen Monate sind alle in der gleichen Form erstellt worden. Jede Variante ist mit gleicher Farbe und gleichem Symbol gekennzeichnet.

Die Abbildung 20 zeigt die unterschiedlichen Wuchshöhen der verschiedenen Varianten zum Stichtag 04. Juli 2009.



**Abbildung 20: Wuchshöhe in cm Anfang Juli 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

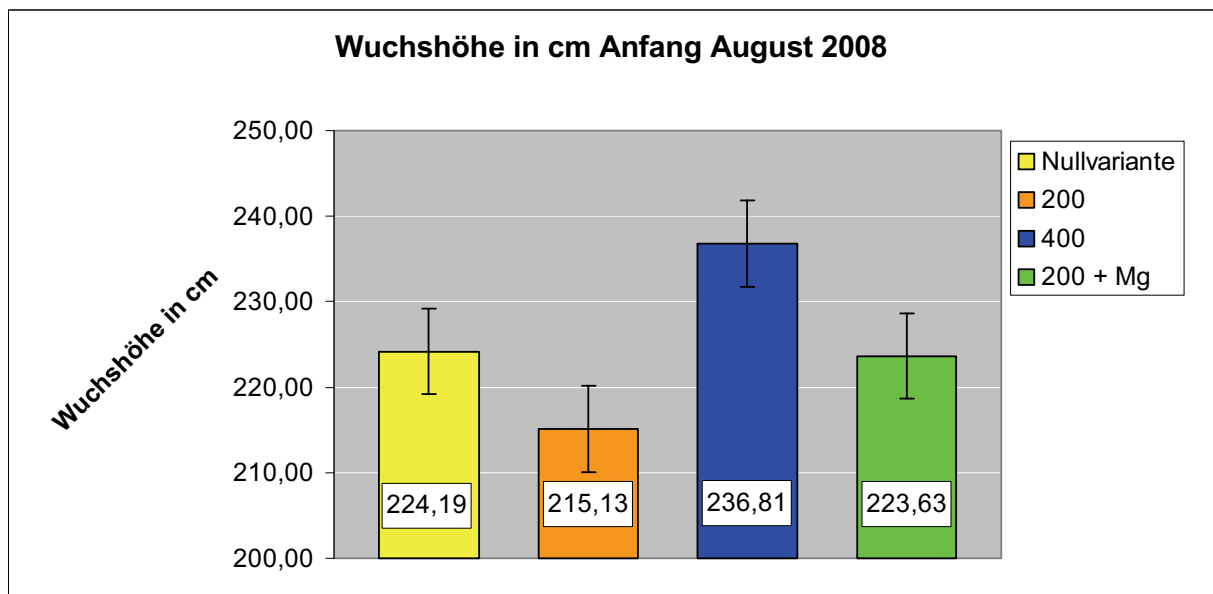
Wie erwartet, hatte die Vollvariante mit 400 K eine deutlich größere Wuchshöhe als die Nullvariante. Erstaunlich hingegen war, dass die 200 K +Mg-Variante einen noch höheren Wuchs als die 400 K-Variante erreichte. Erstaunlicherweise weist die Nullvariante eine größere Wuchshöhe als die 200 K-Variante. Ursachen hierfür könnten in der wechselhaften Qualität des Bodens sowie in der ungenauen Applikation des Düngers liegen.

Die ermittelte Wuchshöhe vom Juli lässt sich statistisch nicht absichern, da der P-Wert mit 0,9 deutlich über dem Grenzwert von 0,05 liegt.

Bis zur Messung im August war der Mais in der Nullvariante um 43 cm, in der 200 K-Variante um 36 cm, in der 400 K-Variante um 52 cm und in der 200 K +Mg-Variante um 39 cm gewachsen.

Generell ist das Längenwachstum beim Mais mit der Vollendung des Rispschiebens abgeschlossen. Dieser Zeitpunkt ist im Juli/August zum EC-Stadium 59 erreicht.

Die genauen Wuchshöhen des Monats August sind in Abbildung 21 dargestellt.



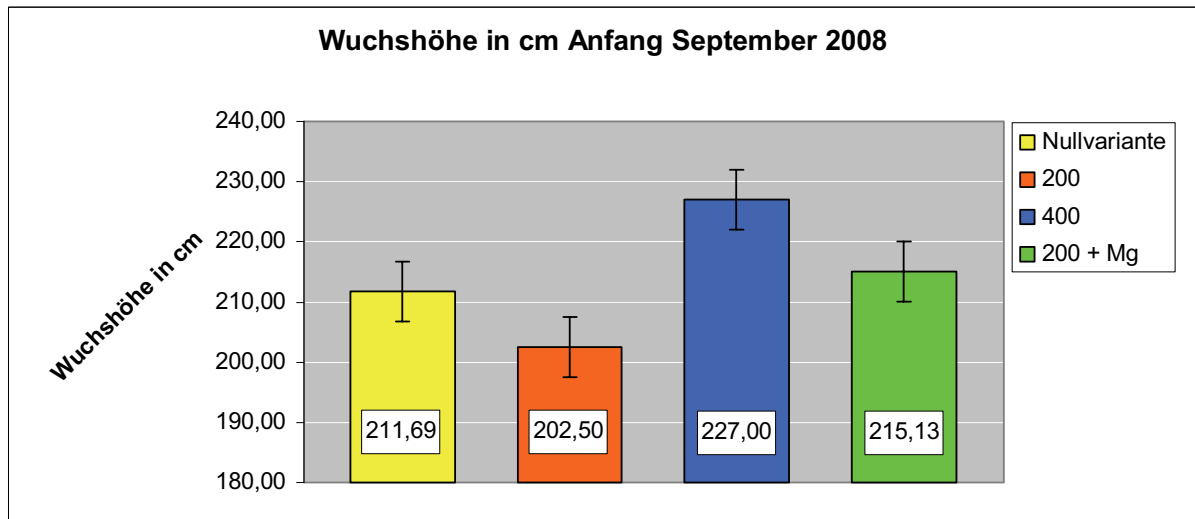
**Abbildung 21: Wuchshöhe Anfang August 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

In der Abbildung 21 zeigt sich ein ähnlicher Wachstumsverlauf wie in der Abbildung 20. Ausnahme ist hierbei ein sich deutlich zeigender Unterschied von der Vollvariante zur 200 K +Mg-Variante. Bei der Nullvariante und der 200 K-Variante zeigt das Diagramm das ähnliche Bild wie Anfang Juli, die Nullvariante ist der 200'er-Variante im Wuchs überlegen. Die Variante, bei der zusätzlich mit Magnesium gedüngt wurde, ist mit der Nullvariante auf gleichem Niveau. Es besteht nur ein geringer Unterschied von 0,56 cm, im Juli hingegen waren es noch 3,5 cm.

Die Auswertung der Wuchshöhen für den August lassen sich genau wie im Juli statistisch nicht abzusichern. Der P-Wert liegt mit 0,43 über dem Grenzwert von 0,05.

Am 04. September 2009, am Tag der Ernte, wurde zum letzten Mal die Wuchshöhe ermittelt. Gegenüber dem Monat August ist der Mais nicht weiter gewachsen, sondern sogar geschrumpft, wie die Werte der Abbildung 22 zeigen.



**Abbildung 22: Wuchshöhe Anfang September 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Nullvariante und der 200 K-Variante ist gegenüber der Messungen vom August ein Wuchshöhenverlust von 12,5 cm zu verzeichnen. In der 400 K-Variante sind es 9,8 cm und bei der 200 K + Mg-Variante 8,4 cm.

Ansonsten zeigt die September-Abbildung den gleichen Verlauf wie die August-Abbildung. Auch für den September lassen sich die Wuchshöhen statistisch nicht absichern. Der P-Wert liegt bei 0,16 womit er den Grenzwert von 0,05 überschreitet.

An Hand der Wachstumskurven lassen sich die enormen Wuchsleistungen von Mais sehr gut veranschaulichen. Da die Wuchshöhe in diesem Feldversuch erst ab Anfang Juli gemessen wurde, lassen sich die Wuchsleistungen pro Tag nur für den Zeitraum Juli bis August berechnen. Diese Werte sind in Tabelle 13 aufgeführt.

**Tabelle 13: Wuchshöhen der einzelnen Monate**

Monat	Nullvariante	200	400	200 + Mg
Juli	181,06	178,97	184,19	184,56
August	224,19	215,13	236,81	223,63
Differenz	43,13	36,16	52,63	39,06
Wuchsleistung in cm/Tag	1,39	1,17	1,70	1,26

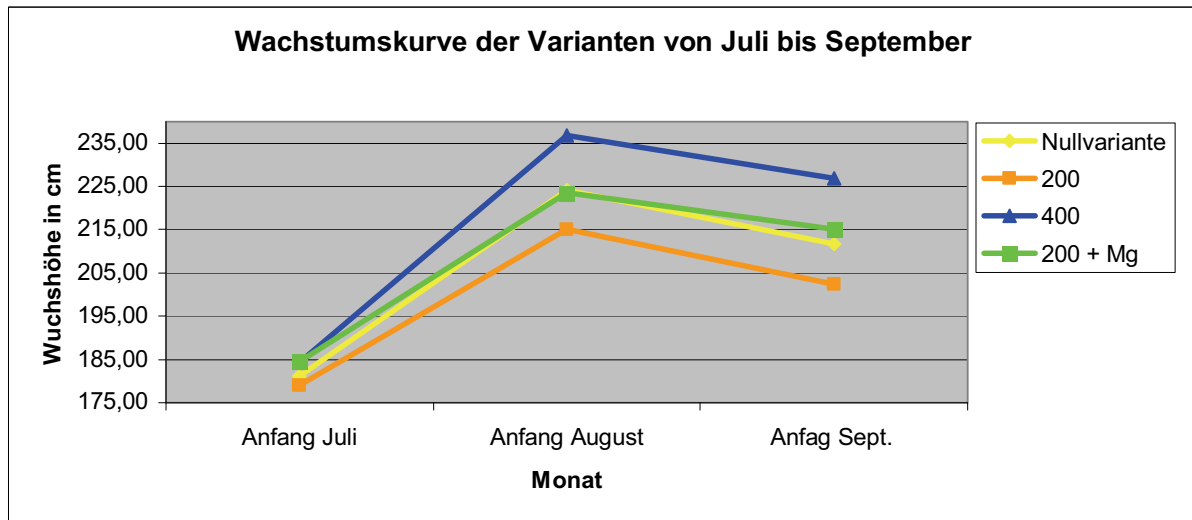
Quelle: Eigene Darstellung

Der Tageszuwachs für den Monat August liegt bei diesem Feldversuch zwischen 1,17 und 1,7 cm/Tag. Der Mais befand sich zu diesem Zeitpunkt bereits in der Endphase des Längenwachstums, da das Rispschieben fast abgeschlossen war.

Die Tabelle verdeutlicht das gleiche Muster, wie in den zuvor dargestellten Abbildungen.

Insgesamt schnitt die 200 K-Variante bei allen Messungen am schlechtesten ab, wogegen die 400 K-Variante die höchsten Tageswuchsleistungen aufweist. Die Variante mit der zusätzlichen Magnesiumgabe übertrifft die Ergebnisse der reinen 200 K-Variante nur minimal mit 0,9 mm.

Der Wachstumsverlauf der unterschiedlichen Varianten über den gesamten Zeitraum von Juli bis September stellt sich sehr anschaulich in Abbildung 23 dar.



**Abbildung 23: Wachstumskurve der Varianten von Juli bis September**

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Wachstumskurven in Abbildung 23, lässt sich bei allen Varianten ein ähnlicher Wachstumsverlauf feststellen. Es grenzt sich keine Variante durch einen besonders steilen Anstieg der Kurve ab, lediglich die 400 K-Variante zeigt einen stärkeren Anstieg, der aus den höheren Tageswuchsleistungen resultiert.

Der nur sehr geringe Unterschied zwischen der Nullvariante und der 200 K +Mg-Variante lässt sich in Abbildung 23 sehr gut erkennen. Die Wachstumskurven verlaufen fast auf einer Linie, da der Unterschied der Wuchshöhe nur sehr gering ist. Wie in den zuvor erwähnten Einzelgrafiken der jeweiligen Monate, ist in der Abbildung 23 die stetige Unterlegenheit der 200 K-Variante zu erkennen.

## 4.7 Bestandesdichte

Bei der Auswertung der durchschnittlichen Bestandesdichte fallen keine deutlichen Unterschiede zwischen den Varianten auf (s. Abbildung 24).

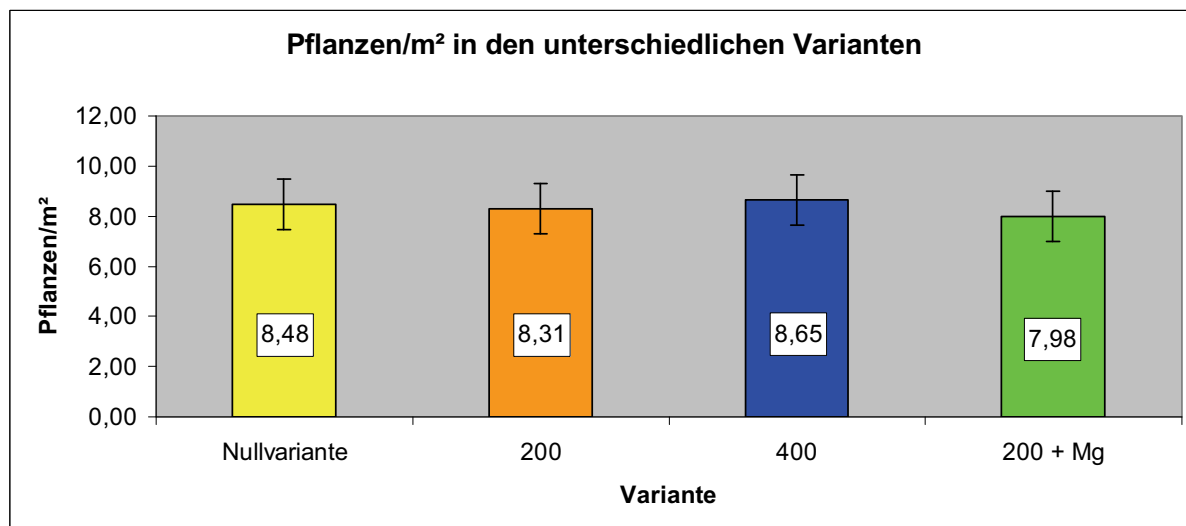


Abbildung 24: Bestandesdichten der einzelnen Varianten

Quelle: Eigene Darstellung

Bei Betrachtung der Tabelle 14 fällt jedoch ein deutlicher Unterschied in den einzelnen Wiederholungen der Varianten auf.

Tabelle 14: Werte der einzelnen Wiederholungen

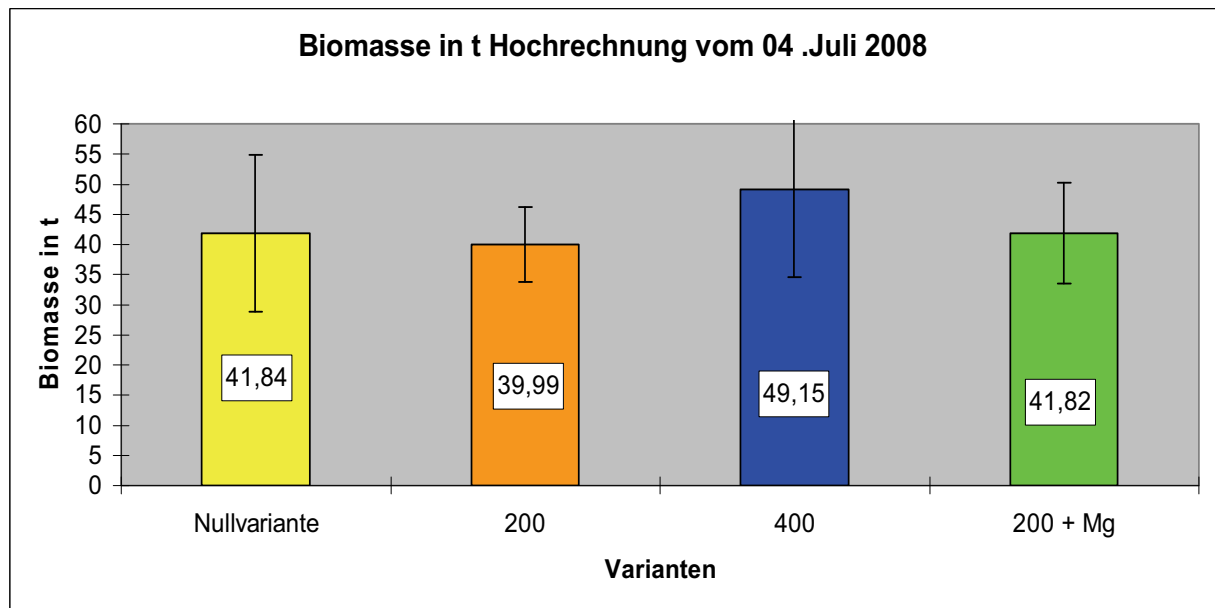
Wiederholung	Nullvariante	200 K	400 K	200 + Mg
1	9,31	8,65	9,31	7,32
2	7,98	7,98	9,31	7,98
3	9,31	6,65	7,98	9,31
4	7,32	9,98	7,98	7,32
Mittelwert	8,48	8,32	8,65	7,98
Min.	7,32	6,65	7,98	7,32
Max.	9,31	9,98	9,31	9,31

Quelle: Eigene Darstellung

Prinzipiell sind Schwankungen von zwei Pflanzen/m<sup>2</sup> zu verzeichnen. Die 200 K-Variante weist in einer Wiederholung sogar über drei Pflanzen weniger auf, als ursprünglich gesät wurde. Im Durchschnitt sind in allen Varianten mehr als 83 % der gesäten Körner aufgelaufen, einzige Abweichung zeigt die Mg-Variante mit knapp unter 80 %. Die gewünschte Zielgröße von 90 % Feldaufgang wurden somit in keiner Variante erreicht.

Bei der Bestandesdichte ergab sich keine statistische Absicherung, der P-Wert liegt mit 0,83 weit über dem Grenzwert von 0,05.

## 4.8 Biomasse

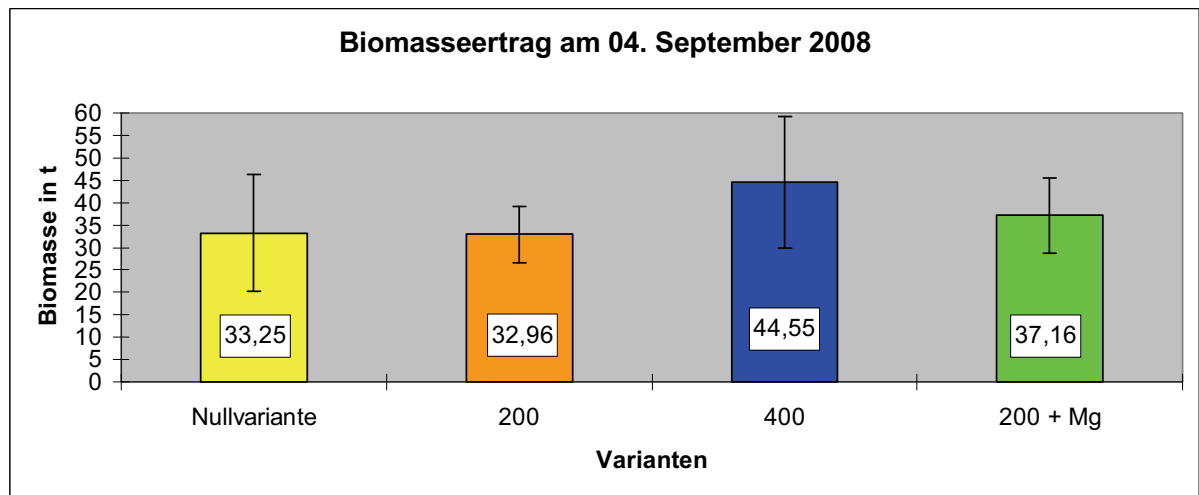


**Abbildung 25: Biomasse in t Hochrechnung vom 04. Juli 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildung 25 enthält eine Prognose des erwarteten Biomasseertrages. Grundlage für die Hochrechnung war die Auswertung von Pflanzenproben aus den Versuchsvarianten zum Stichtag 04. Juli 2008. Hierbei hebt sich der Ertrag der 400 K-Variante deutlich von den anderen Varianten ab, d.h. in den Parzellen mit dieser Düngungsvariante kann mit dem höchsten Ertrag gerechnet werden. Die Ertragsprognosen der anderen Versuchspartellen weichen dagegen kaum voneinander ab.





**Abbildung 26: Biomasseertrag am 04. September 2008**

Quelle: Eigene Darstellung

Den tatsächlichen Biomasseertrag am 04. September 2008 spiegelt die Abbildung 26 wieder. Die Ernte erfolgte somit genau 2 Monate nach der Ertragsprognose (Hochrechnung der Biomasseerträge). Zum Erntezeitpunkt liegen die Erträge in den einzelnen Varianten deutlich unter den Erwartungen der Hochrechnung vom 04. Juli 2008. Die Vermutungen mit der 400 K-Variante den höchsten Ertrag zu erzielen, bestätigte sich. Die anderen drei Varianten weisen, wie bereits auch schon im Juli hochgerechnet, keine erheblichen Ertragsunterschiede auf. Die Ergebnisse der Ernte sind statistisch nicht absicherbar. Ein P-Wert in Höhe von 0,45 deutet nicht auf signifikante Unterschiede innerhalb der Varianten hin.

## 5 Diskussion

Bei den Kaliumgehalten im Boden hebt sich die Nullvariante gegenüber der Variante mit 200 kg K/ha nur minimal ab. Es kann vermutet werden, dass es in diesem Fall zu einer K-Fixierung im Boden kam. Das zugeführte Kalium wurde an den spezifischen Bindungsstellen in den veramten Zwischenschichten wieder aufgefüllt (LÜTKE ENTRUP & OEMICHEN, 2000). Diese Vermutung verstärkt sich durch die vorhandene Gehaltsklasse B (siehe Tabelle 8). Die Variante mit der doppelten Menge an Kalium (400 kg K/ha) ist in der Abbildung 7 am auffälligsten. Es ist zu sehen, dass bei erhöhter Kaliumdüngung gleichzeitig der Kaliumgehalt im Boden ansteigt. Demnach kann man annehmen, dass es zur Sättigung in den Zwischenschichten mit K-Ionen kam und deswegen der Kaliumgehalt im Boden anstieg. Die zusätzliche Düngung von Magnesium führte ebenfalls zu einer Erhöhung. Man kann vermuten, dass sich Magnesium, ähnlich wie Kalium, in den Zwischenschichten einlagert und es aus diesem Grund zu einem leichten Anstieg kam.

Die Bodenwasser bzw. Totwassergehalte in Verbindung mit Niederschlägen sind von den Ergebnissen her sehr schwankend. . Wie in diversen Abbildungen ersichtlich ist, zeigt die 400 K-Variante häufig die höchsten Werte auf. Sowohl in den Ergebnissen der Wuchshöhe und der Ernte als auch in denen der Boden- und Pflanzengehalte an Kalium ist dieser Aspekt erkennbar. Hier ist zu beobachten, dass bei der Nullvariante tendenziell mehr Wasser im Boden ist als bei den anderen Varianten. Es ist also durchaus möglich, dass höhere Kaliumgaben eine positive Wirkung auf den Ertrag haben. Allerdings lässt sich nicht eindeutig feststellen ob dies auch mit einem höheren Bodenwassergehalt zusammenhängt.

Die Ergebnisse der K- und Mg-Gehalte in der TM der Blätter zeigen deutlich, dass sich der gestreute Dünger in der Pflanze wieder findet. Bis September fallen die Werte, jedoch erkennt man deutlicher eine negative Korrelation zwischen der überhöhten K-Düngung (400 kg K/ha) und dem Magnesiumgehalt in der Pflanze. Nach LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN besteht ein Ionenantagonismus zwischen Ammonium - und Kalium - Ionen einerseits sowie Magnesium - Ionen andererseits. Folglich hemmen hohe Gaben an Ammonium - Stickstoff oder Kalium die Aufnahme von Magnesium.

Es ist nicht ersichtlich dass die zusätzliche Magnesiumdüngung höhere Gehalte aufweisen als die Varianten ohne. Der Grund könnte in der guten Magnesiumversorgung des Bestandes gesehen werden. So ist der Mais ausreichend mit Magnesium versorgt, wenn die Blattgehalte zwischen 0,16 und 0,4 % in der TS liegen (ZSCHEISCHLER et al., 1990). Nach ZSCHEISCHLER et al. (1990) ist eine Behandlung durch Spritzung mit Mg-Salzen bei Mais im Allgemeinen wirkungslos. Normalerweise genügt die Verwendung Mg-haltiger Düngemittel, um die Bilanz ausgeglichen zu gestalten (u.a. Korn-Kali mit 6 % MgO).

Im Interdisziplinären Projektseminar 2008 der Hochschule Neubrandenburg wurde dieser Versuch in der Kultur Winterweizen durchgeführt. Bei diesem Projekt stellte sich der gleiche Sachverhalt dar. Es wurden ebenfalls keine erhöhten Magnesiumgehalte in den Blättern der Weizenpflanzen festgestellt.

Bei der Wuchshöhe heben sich zu allen Terminen die beiden ersten Varianten deutlich von den restlichen Varianten ab. Im Juli ist nur ein geringer Unterschied zwischen der 400 K – Variante und der 200 K +Mg – Variante zu erkennen. Dies jedoch relativiert sich zu den späteren Terminen. Wie auch schon nach ZSCHEISCHLER et al. (1990) erwähnt, ist eine zusätzliche Magnesiumdüngung im Mais generell wirkungslos. Auch in Abbildung 23) ist zu erkennen, dass es nur sehr geringe Unterschiede zwischen der Nullvariante und den Varianten mit 200 kg K +Mg/ha gibt.

Die Wachstumskurve zeigt einen Anstieg von Juli bis August. Die lässt sich dahingehend erklären, dass während des Schossens und Rispenstehens der Mais 7 bis 10 cm pro Tag wächst (ZSCHEISCHLER et al., 1990). Ab August kommt es wieder zu einem deutlichen Abfall. Vermutlich wurde der Rückgang der Wuchshöhe durch die Abreife des Bestandes hervorgerufen, da sich bei steigendem TS-Gehalt die Zellen zusammen ziehen und der Pflanzenbestand eventuell dadurch kleiner wird.

Die durchschnittliche Bestandesdichte in der Abbildung 24 zeigt keine Unterschiede innerhalb der Varianten. Daraus lässt schließen, dass die Bestandesdichte unabhängig von der Kalium - bzw. der Magnesium – Düngung ist. Nach ZSCHEISCHLER et al. (1990) hängt das Auflaufen der Pflanzen stark von den gegebenen Bonitäten ab.

In den Einzelwerten (Tabelle 14) erkennt man die Unterschiede der Werte innerhalb der Varianten in den einzelnen Wiederholungen sehr deutlich. Vermutlich ist der inhomogene Boden der Grund für diese Schwankungen.

Der tatsächliche Biomasseertrag ist in der Abbildung 26 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die Variante mit 400 kg K/ha deutlich von den anderen Varianten abhebt. Folglich lässt sich vermuten, dass eine entsprechende Mehrdüngung an Kalium positive Auswirkungen auf den Biomasseertrag hat. Dies lässt sich durch die Versuche nach MEHRBACH (2003) belegen. Auch auf kaliumreichen Boden ist eine entsprechende Kalidüngung erforderlich, um hohe Erträge und produktspezifische Qualität zu sichern sowie eine K-Verarmung des Bodens zu vermeiden. Nach LÜKTE ENTRUP & OEHMICHEN kommt es bei einem K-Mangel zum verminderten Aufbau des Stützgewebes sowie zu einer verringerten Einlagerung von Reservestoffen.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurde der Einfluss einer Kalium- und Magnesiumdüngung zu Mais auf Wachstum und Ertrag unter Wasserstress untersucht und diskutiert. Es wurde dazu ein randomisierter einfaktorieller Feldversuch angelegt. Dieser befindet sich in der Gemeinde Nordwestuckermark, nahe Augustfelde. Die Versuchsfläche stellte die Agrar GbR Jähne/Marquardt. Es wurden 4 Varianten mit je 4 Wiederholungen angelegt. Zum einen die Nullvariante, welche ausschließlich betriebsüblich gedüngt wurde. Zum anderen 2 Varianten mit unterschiedlich hohen Düngungsintensitäten, einmal 200 kg K und einmal 400 kg K. Als letztes kommt noch eine Variante mit 200 kg K und zusätzlicher Mg – Düngung hinzu.

Einzig die Ergebnisse vom Kalium in der Pflanze wiesen signifikante Unterschiede auf. Alle anderen Ergebnisse sind nicht signifikant unterschiedlich. Wie in diversen Abbildungen ersichtlich ist, zeigt die 400 K-Variante häufig die höchsten Werte auf, sowohl in den Ergebnissen der Wuchshöhe und der Ernte als auch in denen der Boden- und Pflanzengehalte an Kalium. Die einzige Ausnahme bildet der Bodenwassergehalt. Hier ist zu beobachten, dass bei der Nullvariante tendenziell mehr Wasser im Boden ist als bei den anderen Varianten. Es ist also durchaus möglich, dass höhere Kaliumgaben eine positive Wirkung auf den Ertrag haben. Allerdings lässt sich nicht eindeutig feststellen ob dies auch mit einem höheren Bodenwassergehalt zusammenhängt.

Die 200 K-Variante mit der zusätzlichen Magnesiumgabe zeigt sich in ihren Ergebnissen stetig besser als die reine 200 K-Variante. Einzig bei den Kaliumgehalten in der Pflanze ist dies nicht der Fall. Entgegen den Erwartungen ist der Grund dafür vermutlich nicht in der zusätzlichen Magnesiumgabe zu sehen, sondern in den starken Unterschieden bei der Bodengüte. So hatte die 200 K-Variante zwei Parzellen nebeneinander auf einer Sandlinse.

Es handelt sich hierbei um einen einjährigen Versuch. Die gewünschte Trockenphase in der Hauptwachstumszeit der Pflanzen, sowie eine Homogenität des Bodens waren leider nicht gegeben. Bei extremeren Witterungsverhältnissen und einheitlicher Bodengüte, könnten die Ergebnisse anders ausfallen, eventuell sogar statistisch abgesichert werden.

## 7 Literaturverzeichnis

FINCK, A.: Düngung, ertragssteigernd – qualitätsverbessernd – umweltgerecht. 1.Aufl., Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer GmbH & Co., 1991.

HAUFE, W.: Feldversuche, Anlage – Auswertung – Interpretation. Frankfurt (Main): DLG – Verlag, 1988.

HEGE, U. / DIEZ, T. / TISCHNER, H. / et. al.: Pflanzliche Erzeugung Band 1: Die Landwirtschaft. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1998.

KNITTEL, H., ALBERT, E.: Praxishandbuch Dünger und Düngung 1. Auflage. Bergen/Dumme: Agrimedia GmbH, 2003.

KUNDLER, P. / ANSORGE, H. / MATZEL, W. / et. al.: Mineraldüngung. Berlin: IV/10/5 Druckhaus Freiheit Halle, 1970.

LÜTKE ENTRUP, N. / OEHMICHEN, J.: Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 1: Grundlagen. Gelsenkirchen: Th. Mann Verlag, 2000.

LÜTKE ENTRUP, N. / OEHMICHEN, J.: Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 2: Kulturpflanzen (2. überarbeitete Auflage). Gelsenkirchen: Th. Mann Verlag, 2000.

MERBACH, T.: P-, K Dauerversuch. Martin Luther Universität Halle / Wittenberg; Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle: 2003.

SCHEFFER, F. / SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg; Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2002.

ZSCHEISCHLER, J. / ESTLER, M. C. / STUNDACHER, W. / et. al.: Handbuch Mais, umweltgerechter Anbau – wirtschaftliche Verwertung 4., vollkommen überarbeitete Auflage. Berlin: Möller Druck + Verlag GmbH, 1990.

URL: <http://www2.raiffeisen.com/pflanzenbau-neu/ec.htm> (Stand 08/2003)

URL: [http://www.hydrologie.tu-cottbus.de/deutsch/projekte\\_d/meson/document/bornim98.pdf](http://www.hydrologie.tu-cottbus.de/deutsch/projekte_d/meson/document/bornim98.pdf) (Stand 07/2003)

URL: [http://www.ragt.de/uploads/media/RAGT-Sortenratgeber\\_01\\_2006.pdf](http://www.ragt.de/uploads/media/RAGT-Sortenratgeber_01_2006.pdf) (Stand 06.05.09)

URL: <http://www.lms-lufa.de> (Stand 25.08.09)

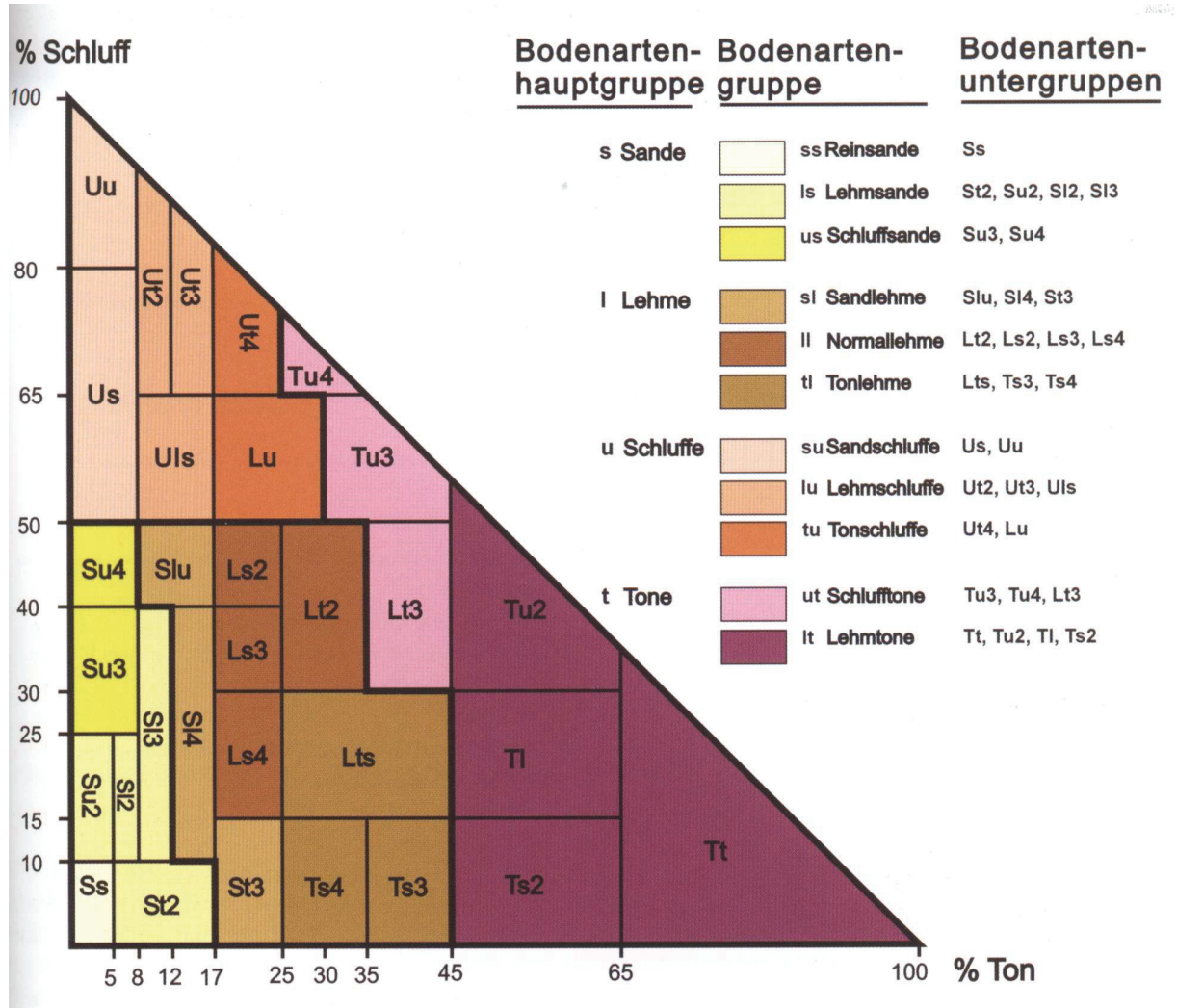
URL: <http://www.duenger-info.de/bittersalz.php> (Stand 25.06.09)

URL: <http://www.spiess-urania.com/pflanzenschutz/produkte/herbizide/57.html> (Stand 25.06.09)

URL: [http://www.syngenta-agro.de/syngenta\\_infos/pdf\\_dateien/prd\\_ga/ga\\_gardo\\_gold.pdf](http://www.syngenta-agro.de/syngenta_infos/pdf_dateien/prd_ga/ga_gardo_gold.pdf) (Stand 25.06.09)

# 8 Anlagen

Anlage 1: Bodenartendreieck



Quelle: Landesamt für Umwelt, Naturschutz, und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 2005

Anlage 2: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalte Boden

ZUSAMMENFASSUNG				
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
Nullvariante	4	28	7	3,33
200 K	4	29	7,25	1,58
400 K	4	46	11,5	9,67
200 K + Mg	4	39	9,75	14,92

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	55,25	3,00	18,42	2,50	0,11	3,49
Innerhalb der Gruppen	88,50	12,00	7,38			
Gesamt	143,75	15,00				

mg K/100g Boden			
Nullvariante	200 K	400 K	200 K + Mg
9	7	9	10
5	7	11	15
8	6	10	8
6	9	16	6

Quelle: eigene Darstellung



Anlage 3: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 30 cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	19,92	4,98	0,40	
200	4	15,11	3,78	4,20	
400	4	20,43	5,11	0,77	
200 + Mg	4	17,82	4,45	0,16	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	4,39	3,00	1,46	1,06	0,40
Innerhalb der Gruppen	16,58	12,00	1,38		
Gesamt	20,97	15,00			

Nullvariante	200	400	200 + Mg
5,65	2,37	4,15	4,89
4,44	2,53	6,24	4,00
5,39	3,44	5,22	4,27
4,44	6,77	4,82	4,66

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 4: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 60 cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	27,96	6,99	2,07	
200	4	22,22	5,56	2,06	
400	4	26,50	6,62	0,38	
200 + Mg	4	20,11	5,03	1,29	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	9,99	3	3,33	2,30	0,13
Innerhalb der Gruppen	17,41	12	1,45		
Gesamt	27,41	15			

Nullvariante	200	400	200 + Mg
5,65	2,37	4,15	4,89
4,44	2,53	6,24	4,00
5,39	3,44	5,22	4,27
4,44	6,77	4,82	4,66

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 5: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt Juli 90cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	28,87	7,22	2,10		
200	4	27,86	6,96	6,90		
400	4	31,01	7,75	7,33		
200 + Mg	4	24,30	6,08	1,93		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	5,88	3	1,96	0,43	0,74	3,49
Innerhalb der Gruppen	54,76	12	4,56			
Gesamt	60,64	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	9,36	4,25	6,52
	6,33	5,30	5,77
	6,85	9,86	11,74
	6,33	8,45	6,98

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 6: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 30cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	18,38	4,60	0,25	
200	4	17,66	4,42	0,48	
400	4	19,25	4,81	1,61	
200 + Mg	4	19,60	4,90	0,02	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,57	3	0,19	0,32	0,81
Innerhalb der Gruppen	7,11	12	0,59		
Gesamt	7,68	15			kritischer F-Wert

Nullvariante	200	400	200 + Mg
4,40	3,89	3,5	4,92
4,30	4,05	4,37	4,81
4,34	4,29	4,86	4,76
5,34	5,43	6,52	5,11

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 7: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 60cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	13,54	3,39	0,73		
200	4	8,42	2,11	0,43		
400	4	13,58	3,40	0,28		
200 + Mg	4	10,98	2,75	0,07		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	4,54	3		1,51		3,49
Innerhalb der Gruppen	4,55	12		0,38	0,03	
Gesamt	9,09	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
4,39	1,25	2,88	2,71
2,3	1,93	3,56	2,51
3,4	2,54	3,08	3,13
3,45	2,7	4,06	2,63

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 8: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt August 90cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	21,45	5,36	2,99		
200	4	19,48	4,87	3,70		
400	4	15,75	3,94	1,23		
200 + Mg	4	16,08	4,02	1,26		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	5,67	3	1,89	0,83	0,50	3,49
Innerhalb der Gruppen	27,50	12	2,29			
Gesamt	33,18	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	7,61	2,74	2,59
	3,87	4,04	3,49
	4,15	5,49	5,01
	5,82	7,21	4,66

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 9: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 30cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	20,86	5,16	0,31		
200	4	19,85	4,96	0,62		
400	4	21,63	5,41	2,04		
200 + Mg	4	22,02	5,51	0,03		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,72	3	0,24	0,32	0,81	3,49
Innerhalb der Gruppen	9,01	12	0,75			
Gesamt	9,73	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
4,95	4,37	3,93	5,53
4,83	4,55	4,91	5,40
4,88	4,82	5,46	5,35
6,00	6,11	7,33	5,74

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 10: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 60cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	15,22	3,81	0,92		
200	4	9,46	2,36	0,55		
400	4	15,25	3,81	0,35		
200 + Mg	4	12,33	3,08	0,09		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	5,75	3	1,91687	4,00155	0,03455	3,49030
Innerhalb der Gruppen	5,75	12	0,47903			
Gesamt	11,50	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
4,94	1,40	3,24	3,04
2,59	2,16	4,00	2,82
3,82	2,85	3,46	3,51
3,88	3,04	4,56	2,96

Quelle: eigene Darstellung



Anlage 11: einfaktorielle Varianzanalyse Bodenwassergehalt September 90cm Tiefe

ZUSAMMENFASSUNG				
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
Nullvariante	4	24,11	6,03	3,76
200	4	21,88	5,47	4,67
400	4	17,70	4,42	1,55
200 + Mg	4	18,07	4,52	1,59

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	7,17	3		0,82695	0,50407	3,49030
Innerhalb der Gruppen	34,69	12		2,89112		
Gesamt	41,87	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
8,55	3,07	2,91	5,05
4,35	4,54	3,92	4,49
4,67	6,17	5,63	5,73
6,54	8,10	5,23	2,79

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 12: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalte Pflanze im Juli

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	8,03	2,0075	0,008225	
200 K	4	8,34	2,085	0,002966667	
400 K	4	9,32	2,33	0,008733333	
200 K + Mg	4	8,99	2,2475	0,013958333	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,26085	3	0,08695	10,26463355	0,001242358
Innerhalb der Gruppen	0,10165	12	0,008470833		3,490299605
Gesamt	0,3625	15			

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	1,92	2,13	2,37
	2,13	2,01	2,38
	2,12	2,08	2,19
	2,04	2,12	2,38
			2,17

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 13: einfaktorielle Varianzanalyse Kaliumgehalte Pflanze im September

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	3,55	0,8875	0,016958333	
200 K	4	4,55	1,1375	0,015891667	
400 K	4	6,06	1,515	0,033966667	
200 K + Mg	4	5,41	1,3525	0,097091667	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,88761875	3	0,295872917	7,220448421	0,005013705
Innerhalb der Gruppen	0,491725	12	0,040977083		3,490299605
Gesamt	1,37934375	15			

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	0,98	1,32	1,41
	0,71	1,04	1,69
	0,99	1,12	1,31
	0,87	1,07	1,65

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 14: einfaktorielle Varianzanalyse Magnesiumgehalte Pflanze im Juli

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	1,13	0,2825	0,001158333		
200 K	4	1,1	0,275	0,000433333		
400 K	4	0,99	0,2475	0,000425		
200 K + Mg	4	1,03	0,2575	0,000758333		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,00306875	3	0,001022917	1,474474474	0,27098911	3,490299605
Innerhalb der Gruppen	0,008325	12	0,00069375			
Gesamt	0,01139375	15				

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	0,33	0,28	0,26
	0,28	0,3	0,23
	0,27	0,25	0,27
	0,25	0,27	0,23

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 15: einfaktorielle Varianzanalyse Magnesiumgehalte Pflanze im September

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	1,8	0,45	0,007133333	
200 K	4	1,65	0,4125	0,000891667	
400 K	4	1,46	0,365	0,0027	
200 K + Mg	4	1,58	0,395	0,002766667	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,01511875	3	0,005039583	1,49413218	0,266049902
Innerhalb der Gruppen	0,040475	12	0,003372917		3,490299605
Gesamt	0,05559375	15			

Nullvariante	200	400	200 + Mg
	0,52	0,42	0,41
	0,52	0,44	0,32
	0,41	0,37	0,41
	0,35	0,42	0,32

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 16: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe Juli

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Nullvariante	4	724,30	181,08	200,60		
200 K	4	715,90	178,98	66,45		
400 K	4	736,50	184,13	249,30		
200 K + Mg	4	738,30	184,58	76,76		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	84,05	3		28,02	0,90	3,49
Innerhalb der Gruppen	1779,33	12		148,28		
Gesamt	1863,38	15				

Nullvariante	200 K	400 K	200 K + Mg
164,40	167,30	164,40	197,50
177,80	179,50	200,00	178,60
198,60	184,00	179,00	179,80
183,50	185,10	193,10	182,40

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 17: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe August

ZUSAMMENFASSUNG				
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
Nullvariante				
200 K	4	896,90	224,23	259,59
400 K	4	860,50	215,13	465,56
200 K + Mg	4	947,30	236,83	375,79
	4	894,30	223,58	188,02

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	959,85	3		319,95	0,43	3,49
Innerhalb der Gruppen	3866,89	12		322,24		
Gesamt	4826,74	15				

Nullvariante	200 K	400 K	200 K + Mg
209,80	185,50	211,30	243,50
237,00	223,00	258,00	216,50
239,30	236,50	242,00	213,00
210,80	215,50	236,00	221,30

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 18: einfaktorielle Varianzanalyse Wuchshöhe September

ZUSAMMENFASSUNG				
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
Nullvariante	4	846,80	211,70	283,46
200 K	4	810,05	202,51	227,62
400 K	4	908,10	227,03	141,98
200 K + Mg	4	860,60	215,15	143,50

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	1232,75	3	410,92	2,06	0,16	3,49
Innerhalb der Gruppen	2389,65	12	199,14			
Gesamt	3622,40	15				

Nullvariante	200 K	400 K	200 K + Mg
198,00	184,25	215,50	232,30
223,50	196,00	237,80	210,00
228,80	215,00	218,00	204,80
196,50	214,80	236,80	213,50

Quelle: eigene Darstellung



Anlage 19: einfaktorielle Varianzanalyse Bestandesdichte

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	33,92	8,48	0,991133333	
200 K	4	33,26	8,315	1,922966667	
400 K	4	34,58	8,645	0,589633333	
200 + Mg	4	31,93	7,9825	0,880025	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	0,96031875	3	0,32010625	0,292083847	0,830349029
Innerhalb der Gruppen	13,151275	12	1,095939583		3,490299605
Gesamt	14,11159375	15			

Nullvariante	200 K	400 K	200 + Mg
9,31	8,65	9,31	7,32
7,98	7,98	9,31	7,98
9,31	6,65	7,98	9,31
7,32	9,98	7,98	7,32

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 20: Einfaktorielle Varianzanalyse Biomasse

ZUSAMMENFASSUNG					
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz	
Nullvariante	4	133,00	33,25	170,70	
200 K	4	131,85	32,96	39,23	
400 K	4	178,19	44,55	214,40	
200 + Mg	4	148,63	37,16	70,03	
ANOVA					
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	349,41	3	116,47	0,94	0,45
Innerhalb der Gruppen	1483,08	12	123,59		3,49
Gesamt	1832,49	15			


Nullvariante	200 K	400 K	200 + Mg
34,58	29,59	27,57	49,54
24,605	26,93	58,52	31,255
51,205	34,08	37,24	33,25
22,61	41,25	54,86	34,58

Quelle: eigene Darstellung

Anlage 21: Schlagkartei Agrar GbR Jähne/Marquardt

Schlagkarte 2		Erntejahr: 2008 / 107 - 0 11.1		Mandant		Agrar GbR Jähne/Marquardt		Erstelldatum: 13.06.2008			
Anbau		Vorruchte		Aussaat		Kostenverteilung		Eur/ha			
Größe	3,4493 ha	2007	3,4493 ha	MAIS	Sorte	Fläche	Menge/ha	Pflz./ha	Keimt. Beizmittel		
Fruchart	Mais	2006	3,4493 ha	MAIS	Fuxcol, Z	3,4493 ha	2.000 Pack	100000	100 %		
Saatedatum	23.04.2008	2005	3,4493 ha	MAIS							
<b>Ernte</b>		<b>Menge</b>		<b>Menge/ha</b>		<b>Feuchte</b>		<b>Bodenbearbeitung / Bestellung</b>			
Datum von ... bis		0	0 /ha		Arbeitsart	Datum von ... bis					
<b>Bodenuntersuchung (mg je 100g Boden)</b>											
Datum	ph-Wert	P	K	Mg	Düngenarbeiting	13.03.2008	13.03.2008	16.04.2008	16.04.2008		
					Gülleeinarbeiting	16.04.2008	16.04.2008	22.04.2008	22.04.2008		
					Saatbearbeitung	22.04.2008	22.04.2008				
<b>Düngung</b>											
Datum	EC	Fläche	Düngemittel	Menge/ha	Kosten/ha	N	P	K	Mg	Ca	S
27.10.2007	0	3,4493 ha	Stalldung - Rinder	4,200 t	0,00 Eur	29,0	3,4	23,1	3,4	0,0	0,0
16.04.2008	0	3,4493 ha	Gülle normal - Rinder	14,000 cbm	0,00 Eur	78,4	9,8	40,6	11,2	0,0	0,0
22.04.2008	0	3,4493 ha	Plagran	3,47 dt	114,52 Eur	159,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23.04.2008	0	3,4493 ha	DAP	1,00 dt	44,41 Eur	18,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Zufuhr						285,0	59,2	63,7	14,6	0,0	0,0
<b>Pflanzenschutz</b>											
Datum	EC	Fläche	Pflanzenschutzmittel	Menge/ha	Notiz zur Maßnahme						
21.05.2008	NA	3,4493 ha	Task 255 g   Gardo Gold 2.000 l		Kosten/ha 42,49 Eur						
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13	
										Ergebnis	
										-1973,44	
										572,13</	

Anlage 22: Schlagkartei Agrar GbR Jähne/Marquardt

 Agrar-Office AgroWIN		<b>Schlagkarte 2</b> Agrar GbR Jähne/Marquardt 107 - 0 11.1				Erntejahr: 2008  Datum : 13.06.2008	
<b>Anbau</b>							
Fruchtart	Mais			2004			
Sorte	Fuxxol, Z			2005	3,4493 ha MAIS		
Ernteprodukt				2006	3,4493 ha MAIS		
Erwartungsertrag	0,00 dt/ha			2007	3,4493 ha MAIS		
Bodenart				2008	3,4493 ha MAIS		
<b>Nmin Bodenuntersuchung (kg N/ha)</b>					<b>Kostenverteilung Eur/ha</b>		
Datum	0-30cm	30-60cm	60-90cm	gesamt	Saatgut	122,41	
	0,0	0,0	0,0	0,0	Düngung	158,91	
<b>Bodenuntersuchung (mg je 100g Boden)</b>					Pflanzenschutz	42,49	
Datum	pH-Wert	P	K	Mg	Herbizide	42,49	
	0,0	0,00	0,00	0,00			
<b>Nährstoffe kg/ha</b>							
	N	P	K	Mg	Ca	S	
Ernterückstände	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
mineralisch	177,6	46,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
organisch	107,4	13,2	63,7	14,6	0,0	0,0	
gesamt	285,0	59,2	63,7	14,6	0,0	0,0	
					alle Maschinen	230,72	
					Arbeit gesamt	17,60	
					sonstiges	0,00	
						572,13	
<b>Bestandesführung</b>							
Datum	EC	N-Düngung [kg N/ha]	Herbizide [EH/ha]				
27.10.2007	0	Stalldung - Rinder 29,0					
16.04.2008	0	Gülle normal - Rind 78,4					
22.04.2008	0	Piagran 159,6					
23.04.2008	0	DAP 18,0					
21.05.2008	NA		Gardo Gold 2,000				
21.05.2008	NA		Task 255				
Summe		285,0					
<b>Aussaat</b>							
23.04.2008	Einzelkornsaat	3,4493 ha		Fuxxol, Z	2,000 Pack/ha		
				Körneranzahl/Einh.	50000 Stück		
<b>Maßnahmenübersicht</b>							
Datum	Maßnahme	Bearbeitungsfläche	N	P	K	Kosten	
27.10.2007	Düngung	3,4493 ha	29,0	3,4	23,1	61,14 Eur/ha	
13.03.2008	Bodenbearbeitung	3,4493 ha				21,25 Eur/ha	
16.04.2008	Düngung	3,4493 ha	78,4	9,8	40,6	71,64 Eur/ha	
16.04.2008	Bodenbearbeitung	3,4493 ha				23,39 Eur/ha	
22.04.2008	Düngung	3,4493 ha	159,6	0,0	0,0	121,69 Eur/ha	
22.04.2008	Bodenbearbeitung	3,4493 ha				23,39 Eur/ha	
23.04.2008	Bestellung	3,4493 ha				154,40 Eur/ha	
12.05.2008	Düngung	3,4493 ha	18,0	46,0	0,0	44,40 Eur/ha	
21.05.2008	Pflanzenschutz	3,4493 ha				50,82 Eur/ha	

Quelle: Betriebsdokumentation

## Anlage 23: Schlagkartei Agrar GbR Jähne/Marquardt

**Pflanzenschutz zur Frucht 2008**

Ausdruck vom: 13.06.2008 Realisierungen und Planungen mit Anbau als H auf ausgewählten Schlägen Seite: 1

Schlagnummer	Schlagbezeichnung	Fläche	EC-Stadium	Menge / ha	Gesamtmenge	Karrenz
107 - 0	11.1	3,4493 ha	MAIS	Hauptfrucht		
21.05.2008	Task	3,4493 ha	NA	255 g	880 g	0 Tage
21.05.2008	Gardo Gold	3,4493 ha	NA	2,000 l	6,899 l	0 Tage

AgroWIN Agrar-Office AgroWIN

Quelle: Betriebsdokumentation

# Anlage 24: LUFA Prüfbericht Kalium und Magnesiumgehalte Blatt

Hochschule Neubrandenburg FB  
Agrarwirtschaft u. Lebens-  
mittelwissenschaften Prof. Dr. Seggewiß  
Brodaer Straße 02

17041 Neubrandenburg

Tel.: 0381 203070  
Fax: 0381 2030790  
E-Mail: jlorenz@lms-lufa.de



DAP-PL-2129.00

**AKS** Akkreditiertes Prüflaboratorium  
Registrier-Nr. AKS-P-21304-EU  
Staatliche Akkreditierungsstelle Hannover

## Prüfbericht

Auftragsnummer: 09-01649  
Probenehmer:  
Probenahme:  
Probeneingang: 12.03.2009  
Untersuchungsende: 17.03.09

Datum: 17.03.09

### Untersuchte Parameter:

Parameter	Extraktion	Methode
Kalium		VDLUFA III 10.8.3
Magnesium		VDLUFA III 10.8.3

\*) = Methode validiert, aber nicht im Umfang der Akkreditierung nach DIN ISO 17025 enthalten;

\*\*) = Untersuchung erfolgte durch Fremdlabor

Jens Lorenz

Anlage 25: LUFA Prüfbericht Kalium und Magnesiumgehalte Blatt

**Prüfbericht 09-01649**

Labornummer	Probennummer	K in TM % TM	Mg in TM % TM
09-01649-001	1	2,40	0,23
09-01649-002	2	2,38	0,23
09-01649-003	3	2,12	0,27
09-01649-004	4	2,37	0,26
09-01649-005	5	2,13	0,28
09-01649-006	6	2,17	0,24
09-01649-007	7	2,08	0,25
09-01649-008	8	1,95	0,28
09-01649-009	9	2,38	0,23
09-01649-010	10	2,28	0,27
09-01649-011	11	2,12	0,27
09-01649-012	12	2,04	0,25
09-01649-013	13	1,92	0,33
09-01649-014	14	2,14	0,29
09-01649-015	15	2,19	0,27
09-01649-016	16	2,01	0,30
09-01649-017	17	1,31	0,41
09-01649-018	18	0,99	0,41
09-01649-019	19	0,97	0,44
09-01649-020	20	1,65	0,32
09-01649-021	21	1,12	0,37
09-01649-022	22	1,73	0,32
09-01649-023	23	1,32	0,42
09-01649-024	24	0,71	0,52
09-01649-025	25	1,69	0,32
09-01649-026	26	1,41	0,41

Seite 2 von 3

Quelle: LUFA

Anlage 26: LUFA Prüfbericht Kalium und Magnesiumgehalte Blatt

**Prüfbericht 09-01649**

Labornummer	Probennummer	K in TM % TM	Mg in TM % TM
09-01649-027	27	1,32	0,42
09-01649-028	28	0,98	0,52
09-01649-029	29	1,04	0,44
09-01649-030	30	1,07	0,42
09-01649-031	31	0,87	0,35
09-01649-032	32	1,39	0,40



## Anlage 27: LUFA Prüfbericht Kaliumgehalte Boden

Hochschule Neubrandenburg FB  
Agrarwirtschaft u. Lebens-  
mittelwissenschaften Prof. Dr. Seggewiß  
Brodaer Straße 02

17041 Neubrandenburg

Tel.: 0381 203070  
Fax: 0381 2030790  
E-Mail: jlorenz@lms-lufa.de



DAP-PL-2129.00

**AKS** Akkreditiertes Prüfzentrum  
Registrier-Nr. 4454-P-21294-BU  
Staatliche Akkreditierungsstelle Hannover

Datum: 02.04.09 1

### Prüfbericht

Auftragsnummer: 09-01648  
Probenehmer:  
Probenahme:  
Probeneingang: 12.03.2009  
Untersuchungsende: 02.04.09

#### Untersuchte Parameter:

Parameter	Extraktion	Methode
K	DL	VDLUFA I A 6.2.1.2

\*) = Methode validiert, aber nicht im Umfang der Akkreditierung nach DIN ISO 17025 enthalten;  
\*\*) = Untersuchung erfolgte durch Fremdlabor

Quelle: LUFA

Anlage 28: LUFA Prüfbericht Kaliumgehalte Boden

**Prüfbericht 09-01648**

Labornummer	Probennummer	mg/100g	K
09-01648-001	1	16	16
09-01648-002	2	15	15
09-01648-003	3	9	9
09-01648-004	4	6	6
09-01648-005	5	8	8
09-01648-006	6	6	6
09-01648-007	7	9	9
09-01648-008	8	10	10
09-01648-009	9	6	6
09-01648-010	10	10	10
09-01648-011	11	8	8
09-01648-012	12	5	5
09-01648-013	13	7	7
09-01648-014	14	11	11
09-01648-015	15	7	7
09-01648-016	16	9	9

Quelle: LUFA

## 9 Eidesstattliche Erklärung

Wir, erklären hiermit an Eides Statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt haben, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Wir sind damit einverstanden, dass die Bachelorarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Neubrandenburg, den 11. September 2009

.....

Michael Guhl, Michael Marquardt