



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Masterarbeit

**Teilflächenspezifische Aussaatregulierung von Mais und
deren Auswirkung auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe**

eingereicht von

Jan Henning Beck

aus Wolfsburg

Matrikelnummer 21224960

Göttingen, Wintersemester 17/18

Referent: M. Eng. Sebastian Hartwig
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Agrartechnik

Korreferent: Prof. Dr. -Ing. Frank Beneke
Georg-August-Universität Göttingen



Georg-August-Universität
Göttingen

Department für
Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Agratechnik
Gutenbergstr. 33 37075 Göttingen

Bearbeiter: S. Hartwig Tel. +49 (0) 551 /
39-25589

Fax +49 (0) 551 / 39-25595
sebastian.hartwig@uni-goettingen.de

Aufgabenstellung

für eine Masterarbeit

Göttingen, 22.02.2018

für: Herrn Jan Henning Beck, Matrikelnummer: 21224960

Thema: Teilflächenspezifische Aussaatregulierung von Mais und deren
Auswirkung auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe

Bearbeitungszeit: 22 Wochen

Hintergrund der Arbeit:

Die Digitalisierung in Form von Precision Farming ist auch in der Landwirtschaft ein Thema was an Bedeutung gewinnt. Durch den Feldversuch wird untersucht, ob eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung im Mais Effekte auf den Ertrag und die Qualität hat. Außerdem kommt die Frage auf, ob diese teilflächenspezifische Aussaat technisch realisierbar ist und ob dadurch ökonomische Vorteile erzielt werden können.

Beschreibung der Aufgabe:

Es wird ein Feldversuch zur teilflächenspezifischen Maisaussaat angelegt, wobei die Aussaatstärke an die jeweilige Ertragspotenzialzone angepasst wird. Die Firma Agro-Sat erstellt aufgrund von Fernerkundungsdaten und der genauen Ansprache des Bodens auf dem jeweiligen Standort eine Applikationskarte nach der Mais in verschiedenen Aussaatstärken gelegt wird. Für diesen Versuch wird eine Fläche ausgewählt, die sich durch stark wechselnde Böden charakterisiert.

Während der Vegetation werden an den jeweiligen Standorten diverse Bonituren des Maisbestandes durchgeführt. Bei der Beemtung der Maisfläche wird der jeweilige Ertrag ermittelt und einige Qualitätsparameter des Mais untersucht. Dabei wird untersucht, ob eine teilflächenspezifische Aussaat von Mais einen Einfluss auf Ertrag und Qualität hat.

Zielsetzung der Arbeit ist

Das Ziel dieser Arbeit verfolgt die Fragestellung ob durch eine optimierte Verteilung der Betriebsmittel (Saatgut) eine Effizienzsteigerung dieser erreicht wird. Außerdem wird das Ziel verfolgt, auf einem heterogenen Standort einen gleichmäßigen Bestand zu etablieren und dadurch eine Ertragssicherheit und Ertragssteigerung, durch Vermeidung von Trockenstress zu erreichen.

erreichen.

Sebastian Hartwig

Prof. Dr.-Ing. Frank Beneke

Jan Henning Beck

DNPW — Abteilung Agrartechnik Gutenbergstraße 33 Tel. +49 (0)551 / 39-5592 uaat@uni-goettingen.de 37075 Göttingen
Fax +49 (0)551 / 39-5595 www.agrartechnik.uni-goettingen.de

Nachweis über die Prüfungsanmeldung in FlexNow

Name: Herr Jan Henning Beck

Matrikel-Nr.: 21224960

Semester: SoSe18

Studiengang: Agrarwissenschaften (Master of Science)

Modul: Nutzpflanzenwissenschaften

Prüfung: Agrar – Abschlussarbeit

Dozent: Sebastian Hartwig

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Die Richtlinien zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis an der Universität Göttingen wurden von mir beachtet.

Eine gegebenenfalls eingereichte digitale Version stimmt mit der schriftlichen Fassung überein.

Mir ist bewusst, dass bei Verstoß gegen diese Grundsätze die Prüfung mit nicht bestanden bewertet wird.

Göttingen, den 03.04.2018

Jan Henning Beck

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungen	1
2	Zusammenfassung	2
3	Einleitung	3
4	Technischer Hintergrund der teilflächenspezifischen Aussaat.....	4
4.1	Precision Farming.....	5
4.2	Teilflächenspezifische Bewirtschaftung.....	6
4.2.1	Reichsbodenschätzung.....	7
4.2.2	Elektrische Leitfähigkeit.....	8
4.2.3	Ertragskartierung	10
4.2.4	Fernerkundung.....	11
4.3	Einzelkornsaat	13
4.4	Bestandesdichte im Maisanbau	17
4.5	Teilflächenspezifische Aussaat und das Verfahren „Agro-Sat“	20
5	Material und Methoden	23
5.1	Standortbeschreibung	23
5.1.1	Geographische Lage der Versuchsschläge	23
5.1.2	Schlag Beschreibung „Kaltes Bruch“.....	24
5.1.3	Schlagbeschreibung “Kieskuhle Meinkot”.....	29
5.1.4	Witterungsverlauf der Versuchsstandorte	31
5.2	Versuchsplan	32
5.3	Eingesetzte Technik.....	35
5.4	Eingesetzte Maissorten	36
5.5	Aussaatkarten.....	38
5.6	Bonituren	41
5.6.1	Feldaufgang	41

5.6.2	Bestockungsneigung	42
5.6.3	Kolbenansatz	42
5.6.4	Maiszünsler und Maisbeulenbrand	43
5.6.5	Frischmasseertrag und Körner pro Kolben	43
5.6.6	Trockenmasseertrag	45
5.6.7	Qualitätsparameter Rohprotein, Stärke und Zucker	45
5.7	Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung	48
5.8	Verrechnung und Statistik	50
6	Ergebnisse	50
6.1	Feldaufgang und Kolbenansatz	50
6.2	Bestockungstriebe, Maiszünsler und Maisbeulenbrand	54
6.3	Ertragsparameter	56
6.4	Qualitätsparameter: Stärke und Rohprotein	60
6.5	Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung	62
7	Wirtschaftlichkeit des Verfahrens	66
8	Diskussion	69
9	Fazit	79
10	Tabellenverzeichnis	81
11	Abbildungsverzeichnis	82
12	Literaturverzeichnis	84
13	Anhang	89

1 Abkürzungen

°C	Grad Celsius
DGPS	Differential Global Positioning System
dt	dezitonne
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
ESA	Europäische Weltraumorganisation
FK	Feldkapazität
FM	Frischmasse
GIS	Geographische Informationssysteme
GPS	Global Positioning System
ha	Hektar
HCL	Salzsäure
HPLC	High performance liquid chromatography
k/m ²	Körner pro Quadratmeter
km/h	Kilometer pro Stunde
mm	Millimeter
N	Stickstoff
nFK	nutzbare Feldkapazität
P	Phosphor
PWC	Potential water capacity
Pwp	Permanenter Welkepunkt
S	Schwefel
SAR	Synthetic aperture radar
SSA	Schwefelsaures Ammoniak
TM-Ertrag	Trockenmasse Ertrag
TS-Gehalt	Trockensubstanz Gehalt
USDA	United States Department of Agriculture

2 Zusammenfassung

Die technischen Entwicklungen unterstützen den Fortschritt der modernen Landwirtschaft in allen Bereichen. Ein besonderes Potential bietet technische Entwicklung in Bezug auf den Ackerbau. Dabei wird eine technische Neuerung ergründet, welche durch die Verknüpfung von verschiedenen Parametern wie bodenkundlichen, pflanzenbaulichen und technischen Aspekten auf eine Ertragssteigerung sowie zeitgleich eine Einsparung von Ressourcen abzielt. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Bestimmung des Einflusses einer teilflächenspezifischen Aussaatstärkenregulierung von Mais auf den Ertrag und dessen Inhaltsstoffe. Dabei wurde in Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungsunternehmen „Agro-Sat“, dem pflanzenbaulichen Beratungsunternehmen „Hanse Agro“ und zwei landwirtschaftlichen Betrieben ein Feldversuch im östlichen Niedersachsen im Jahr 2017 angelegt. Für den Versuch wurden zwei Schläge ausgewählt, die durch heterogene Bodenverhältnisse charakterisiert sind. Der Mais wurde durch den Einsatz einer Einzelkornsähmaschine gelegt. Anhand von Fernerkundungsdaten wurden Ertragspotentialzonen innerhalb des jeweiligen Feldes ermittelt. Durch eine praktische Bodenansprache, in welcher der Wassergehalt sowie das Wasserhaltevermögen festgestellt wurden, wurde das Ertragspotential der einzelnen Ertragszonen ermittelt. Anhand der Ertragspotentialzonen wurde eine Aussaatkarte für Mais erstellt, welche durch eine Reduktion der Aussaatstärke in einer Ertragszone mit niedrigem Ertragspotential sowie mit einer Erhöhung der Aussaatstärke in einer Ertragszone mit einem hohen Ertragspotential charakterisiert ist. Diese Aufteilung des Schlages soll zum einen Trockenstress reduzieren und zum anderen ein höheres natürliches Ertragspotential durch einen höheren Ertrag generieren.

Im Vegetationsverlauf wurden Bonituren des Maisbestandes durchgeführt, welche hauptsächlich Parameter der Ertragsbildung beinhalteten. Zur Maisernte wurde auf Basis einer Handernte der Ertrag der jeweiligen Versuchsvariante bestimmt. Anhand von Ernteproben wurden anschließend die Inhaltsstoffe Stärke, Rohprotein und Zucker im Labor bestimmt. In Bezug auf den Ertrag zeigte sich in diesem Versuchsjahr, dass die Anpassung der Aussaatstärke an das jeweilige Ertragspotential des Versuchsfeldes zu einer Steigerung des Ertrages führt. Dieses Ergebnis konnte zusätzlich in ähnlichen Versuchen der Literatur bestätigt werden. Jedoch ist es zwingend notwendig aufbauende Versuche durchzuführen, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu stützen. Eine betriebswirtschaftliche Betrachtung am Ende der Arbeit zeigt, dass die Mehrkosten, die durch den technischen Aufwand und teilweise erhöhte Saatgutkosten entstehen, durch den Mehrerlös des entstandenen Mehrertrags aufgewogen werden und teilweise zu Erlössteigerungen führen.

3 Einleitung

Der Anbau von Mais hat sich in Deutschland seit einigen Jahren etabliert und verbreitet. Dies ist an den Zahlen des Anbauumfangs deutlich zu erkennen. Im Jahr 2000 betrug die Maisanbaufläche rund 1,5 mio ha in Deutschland [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Der Anbauumfang im Jahr 2017 beläuft sich dahingegen auf 2,5 mio ha [Statistisches Bundesamt 2018]. Mais ist damit nach dem Weizenanbau in Deutschland die bedeutendste Kultur. Dieser starke Zuwachs der Anbaufläche geht aus dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) aus dem Jahr 2000 hervor und der darauffolgenden Novellierung des Gesetzes im Jahre 2004. Seitdem wird Mais durch Fermentation in Biogasanlagen zur Energiegewinnung eingesetzt [Kruse 2006]. Die Nutzungsrichtung des Maises hat sich hierdurch neben Körnermais und Silomais um die Biogaserzeugung erweitert.

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft wird auch als Landwirtschaft 4.0 beschrieben. Landwirtschaft 4.0 verfolgt den Einsatz von Sensorik und Fernerkundung, wodurch Produktionsprozesse im Ackerbau und auch der Tierhaltung bei steigender Transparenz optimiert werden [Kunisch *et al.* 2017]. Das jährliche Wachstum des Marktes für Präzisionslandwirtschaft beläuft sich auf 12 % [DLG e.V. 2016]. Durch den Einsatz von Global Positioning Systems (GPS) werden Möglichkeiten für den modernen Ackerbau geschaffen, der auf eine positionsgenaue Bewirtschaftung abzielt. Der Precision Farming Ansatz erlaubt einen effizienten Einsatz von Betriebsmitteln in der landwirtschaftlichen Produktion. Wodurch auf heterogene Standorte, welche durch unterschiedliche natürliche Ertragsfähigkeiten charakterisiert sind, reagiert werden kann. Dies bringt viele Chancen mit sich, auch in Anbetracht der neuen Düngeverordnung, welche große Restriktionen in der Nährstoffbereitstellung enthält. Jedoch besteht bereits ein hohes Angebot an verschiedenen Bausteinen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Dies stellt den praktizierenden Landwirt und deren Berater vor die Herausforderung, für den jeweiligen Standort und Betrieb abzuwägen, welche Maßnahmen sinnvoll und effizienzsteigernd sind.

Aus dem großen Angebot an Precision Farming Maßnahmen wird in der vorliegenden Arbeit herausgearbeitet, welchen Beitrag Precision Farming im Maisanbau leisten kann und ob dies zu einer Effizienzsteigerung der Betriebsmittel führt. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt in der teilflächenspezifischen Regulierung der Aussaatstärke von Mais anhand von Applikationskarten, welche unter anderem auf Daten der Fernerkundung basieren. Als Stellschraube für eine Ertragssteigerung wird die Aussaatstärke und damit einhergehend die Bestandesdichte des Maises gewählt. Dazu wird ein Feldversuch auf zwei Standorten mit zwei

unterschiedlichen Maissorten angelegt, indem während der Vegetation und abschließend zur Ernte einige Beurteilungen durchgeführt werden, um den Einfluss der teilflächenspezifischen Aussaat von Mais auf Ertrag und Qualität des Erntegutes zu ermitteln. Neben der pflanzenbaulichen Eignung dieses Verfahrens wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dazu durchgeführt.

In dem Technischen Hintergrund der teilflächenspezifischen Aussaat wird ein Einblick in die Hintergründe des Precision Farming Ansatzes sowie zur Einzelkornsaat und der Bestandesdichte von Mais gegeben. Hierbei wird zunächst auf die verschiedenen Möglichkeiten der Identifizierung einer Teilfläche eingegangen. Anschließend wird die technische Entwicklung der Einzelkornsaat beschrieben, wodurch überhaupt die Möglichkeit einer optimalen Standraumverteilung gegeben ist. Des Weiteren wird der Einfluss der Bestandesdichte dargestellt. Abschließend werden erste Ansätze der teilflächenspezifischen Aussaat sowie das Verfahren zur Erstellung der Applikationskarte des Unternehmens „Agro-Sat“ beschrieben. Der Abschnitt Material und Methoden beschreibt den Standort, die Applikationskarte, den Versuchsaufbau und die gesamte Vorgehensweise dieser Versuchsanstellung. Der Ergebnisteil beinhaltet die ermittelten Versuchsparameter, welche unter verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert werden. Außerdem wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Verfahrens dargestellt. In einem Fazit wird die Eignung des Verfahrens für die Praxis und die Deutung der Ergebnisse beschrieben.

4 Technischer Hintergrund der teilflächenspezifischen Aussaat

In diesem Kapitel wird eine thematische Übersicht als Grundlage zur Behandlung des Themas der teilflächenspezifischen Aussaat von Mais erarbeitet. Darunter wird die Definition des „Precision Farming“ Ansatzes sowie die teilflächenspezifische Bewirtschaftung von Landwirtschaftlichen Flächen beleuchtet. Zu der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung werden unterschiedliche Verfahren der Identifizierung einer Teilfläche behandelt. Zur Identifizierung von Teilflächen werden die Reichsbodenschätzung, die Messung der elektrischen Leitfähigkeit, die Ertragskartierung sowie die Fernerkundung per Satellit vorgestellt. Außerdem werden produktionstechnische Verfahren des Maisanbaus erklärt, beispielsweise die Entwicklung der Einzelkornsaat sowie die Auswirkung der Bestandesdichte von Mais auf den Ertrag. Abschließend werden im technischen Hintergrund die Parameter zusammengeführt, die dazu dienen eine teilflächenspezifische Aussaat von Mais

durchzuführen. Dies wird am Beispiel des Dienstleistungsunternehmens „Agro-Sat“ durchgeführt, da dieses Unternehmen die Aussaatkarten für diesen Versuch erstellt hat.

4.1 Precision Farming

„Precision Farming“ beschreibt eine Wirtschaftsweise der ortsdifferenzierten und zielgerichteten Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Hierbei wird die pflanzenbauliche Produktion lokalen, ökologischen Standortbedingungen und nicht den durchschnittlichen Ertragserwartungen der gesamten Fläche angepasst. Es werden vielmehr teilflächenbezogene Nährstoffverfügbarkeiten, Bodeneigenschaften sowie Ertragserwartungen berücksichtigt. Bei der Umsetzung dieser Wirtschaftsweise sind neue Techniken erforderlich, wodurch dieses Verfahren sich erst entwickeln konnte. Beispielsweise werden mit „Precision Farming“ Maßnahmen einer kleinräumigen, standortbezogenen Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung oder auch der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln durchgeführt. Durch die Verfahrenstechnik werden Betriebsmittel, Maschinen und Arbeitszeiten ressourcenschonend eingesetzt. Durch die zielgenaue Verteilung der Betriebsmittel werden die ortsspezifischen Ertragsfähigkeiten und Produktqualitäten gesteigert [Universität Hohenheim 2017a]. Precision Farming wird durch das United States Department of Agriculture (USDA) auch als ein Managementsystem beschrieben, wodurch sich nachhaltig Erlöse steigern lassen. Dies basiert auf Informationen und Technologien in Verknüpfung mit der Datengrundlage des Bodens, des Pflanzenbestandes oder des Ertrages der Teilflächen [United States Department of Agriculture 2007]. Eine Kostenreduktion durch die effizientere Nutzung von Inputs wie Dünger, Saat oder Pflanzenschutzmitteln ist ein weiterer Vorteil vom Precision Farming. Dadurch kann die Arbeitsproduktivität gesteigert werden. Der Ansatz von Precision Farming zielt auf eine lückenlose, exakte Aufzeichnung der eingesetzten Betriebsmittel ab. Außerdem wird der Umweltschutz sowie die Lebensmittelsicherheit durch die genaue Rückverfolgbarkeit erhöht [Bongiovanni *et al.* 2004].

GANDORFER *et al.* stellen im Jahr 2004 eine Übersicht zum Precision Farming vor. Dabei werden die zur Verfügung stehenden Techniken aufgeführt. Diese Techniken beinhalten folgende pflanzenbaulichen Maßnahmen: Pflanzenschutz, Düngung, Saat und Bodenbearbeitung. Diese vier Maßnahmen werden in der Übersicht in den Kategorien Technik, Ökonomie, Ökologie sowie dem Verbraucher betrachtet. Dadurch wird deutlich, dass sich erhebliche Einsparpotentiale mit diesen Methoden ausschöpfen lassen, so wird angeführt, dass bei einer teilflächenspezifischen N-Düngung bis zu 80€/Hektar (ha) eingespart werden können. Außerdem können bei der teilflächenspezifischen Grundbodenbearbeitung bis zu 60% des

Kraftstoffs durch eine lokale Anpassung der Arbeitstiefe eingespart werden. Auch durch die Regulierung der Saatstärke lassen sich Saatgutkosten einsparen und teilweise höhere Erträge erzielen [Gandorfer *et al.* 2004]. Neben den ökonomischen Vorteilen werden auch ökologische Vorteile, wie zum Beispiel Erosionsschutz oder geringere Nitrat- und Phosphatbelastungen der Grund- und Oberflächengewässer angeführt. Schlussendlich wird mit diesen Maßnahmen auf eine gläserne Produktion, durch die Dokumentation der Produktionsprozesse, für den Verbraucher hingearbeitet [Gandorfer *et al.* 2004].

4.2 Teilflächenspezifische Bewirtschaftung

Die Voraussetzung für Precision Farming liegt in der Definition einer Teilfläche. Eine Teilfläche entsteht durch die Einteilung einer Gesamtfläche in mehrere Teilflächen, die sich untereinander in bestimmten Merkmalen unterscheiden. Folgende Faktoren können Gründe zur Einteilung einer Fläche in mehrere Teilflächen sein:

- Bodeneigenschaften (Sand, Schluff, Lehm und Ton) und pH-Werte
- Hangneigung
- Wasserführung
- Bodenbeschaffenheit
- Dichte und Morphologie des Pflanzenbestandes
- Unkraut und Schädlingsbefall [Heege 2013].

Damit Teilflächen identifiziert werden können, stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Diese Verfahren differenzieren sich in ihrer Genauigkeit sowie in deren Kosten. Das Ziel einer Identifizierung unterschiedlicher Teilflächen liegt darin, die Heterogenität eines Schlates ortsgenau zu charakterisieren. Dabei gibt es keine vorgeschriebenen Größen der einzelnen Teilflächen [Lorenz *et al.* 2015]. Allerdings sind kleinere Teilflächen mit höheren Kosten der Identifizierung und Untersuchung verbunden [Heege 2013]. Zu den Verfahren der Identifizierung von Teilflächen zählen solche der Ertragskartierung, der Reichsbodenschätzung sowie der Bodenleitfähigkeitsmessung und der Fernerkundung. Als weitere Möglichkeiten wurden auch Zugkraftmessungen und Spritverbrauchmessungen anhand von Bodenbearbeitung durchgeführt, diese Art der Identifizierung von Teilflächen findet allerdings nur noch eine geringe Anwendung. Am weitesten Verbreitet ist das Verfahren der Ertragskartierung durch die Ernte von Feldfrüchten. Auf die vier erstgenannten Verfahren wird aufgrund der größeren Relevanz im Folgenden genauer eingegangen [Schutte 2005].

4.2.1 Reichsbodenschätzung

In dem Zeitraum von 1934 bis 1955 wurde im Rahmen der Reichsbodenschätzung in Deutschland eine schematische Beurteilung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen durchgeführt. Diese Beurteilung wurde anhand des Gesetzes zur Schätzung von Kulturböden durchgeführt. Da diese Einteilung flächendeckend stattfand, nimmt die Reichsbodenschätzung eine große Bedeutung in der Einschätzung der Heterogenität von landwirtschaftlichen Nutzflächen ein. Die Karten dieser Reichsbodenschätzung liegen im Maßstab von 1:5000 vor. Dabei sind Parameter wie zum Beispiel Bodenart, Zustandsstufe und Entstehungsart vermerkt. Anhand dieser Kriterien und der Reichsbodenschätzung wurden die Böden nach dem Ackerschätzungsrahmen bewertet. Durch den Ackerschätzungsrahmen leitete sich eine Bodenzahl ab, welche einen Reinertragsunterschied des Bodens, um eine Vergleichbarkeit zu erstellen, wiedergibt. Zur Ermittlung der Bodenzahl wurden drei Kriterien herangezogen. Zum einen die Bodenart, das geologische Alter des Ausgangsmaterials und die Zustandsstufe des Bodens. Der beste Ackerboden ist eine Schwarzerde in der Magdeburger Börde, dieser erhielt eine Bodenzahl von 100, der schlechteste Ackerboden dahingegen erhielt eine Bodenzahl von 7. Weiterführend wird durch Zu- und Abschläge, die durch äußeren Einflüsse entstehen, wie der geographischen Lage, des Klimas und der Geländegestaltung, mit einbezogen. Aus dieser Bewertung entstand dann die Ackerzahl [Ahl *et al.* 2017] [Rösch *et al.* 2005]. Noch heute wird die Bedeutung und Verwendung der Schätzung im Bodenschätzungsgesetz festgehalten: „Zweck der Bodenschätzung ist es, für die Besteuerung der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen des Bundesgebietes einheitliche Bewertungsgrundlagen zu schaffen. Die Bodenschätzung dient auch nichtsteuerlichen Zwecken, insbesondere der Agrarordnung, dem Bodenschutz und Bodeninformationssystemen [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2007]“. Die Karten der Reichsbodenschätzung stehen in Niedersachsen Online auf dem Kartenserver des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie zur Verfügung. [Niedersächsisches Bodeninformationssystem 2018]. Außerdem können die Bodenkarten bei den jeweiligen Kataster- und Finanzämtern eingesehen werden. Im folgenden Text unter dem Abschnitt Material und Methoden ist eine Karte der Reichsbodenschätzung der beiden Versuchsschläge abgebildet, zum einen in Kapitel 5.1.2 und zum anderen in Kapitel 5.1.3.

Die Karten der Reichsbodenschätzung liefern eine umfassende Datengrundlage für die Bodeneigenschaften des Landes, da diese flächendeckend beprobt wurden. Jedoch geben diese Karten keine Informationen zu dem aktuellen Zustand des Bodens, beispielsweise der

Bodenfeuchte oder der Bodenbedeckung. Außerdem sind die Karten in einem größeren Rahmen entstanden, sodass Bereiche mit stark wechselnden Böden nicht genau erfasst werden konnten. Die ausschließliche Betrachtung der Karten der Reichsbodenschätzung genügt nicht, um Flächen teilflächenspezifisch zu bewirtschaften. Jedoch gibt die Reichsbodenschätzung eine gute Bewertungsgrundlage für landwirtschaftliche Flächen und ist in Kombination mit anderen Verfahren zur Identifizierung von Teilflächen ein hilfreiches Instrument, um die Heterogenität von Flächen zu ermitteln [Rösch *et al.* 2005].

4.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Zur Identifizierung von Teilflächen anhand des Bodens gibt es auch modernere Verfahren, welche über die elektrische Leitfähigkeit des Bodens Aufschlüsse über die Heterogenität eines Standortes geben. Dieses Verfahren wurde anhand von Sensorsystemen entwickelt und findet mittlerweile Anwendung in der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen. Als ein Verfahren für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens zählt das EM 38-System des kanadischen Herstellers Geonics. Durch die Entwicklung eines PVC-Schlittens der Firma AgriCon, auf dem der Bodensensor verbaut ist, ist eine schlagkräftige Identifizierung der Teilflächen möglich. Dabei wird der Schlitten mit dem Bodensensor beispielsweise in den Fahrgassen durch ein Fahrzeug gezogen, so entsteht aus arbeitswirtschaftlicher Sicht ein geringerer Aufwand gegenüber der kleinstrukturierten Bodenbeprobung der Reichsbodenschätzung [Reckleben 2007]. Abbildung 1 zeigt ein EM 38-System auf einem PVC-Schlitten. In dem blauen Behältnis befindet sich der Bodensensor. Davor ist zur Identifizierung der Position ein GPS-Empfänger verbaut.



Abbildung 1: EM 38-System auf einem Messchlitten, Quelle: [Reckleben 2007].

Allerdings muss zuerst festgelegt werden anhand welcher Parameter sich die Ertragsfähigkeit der Böden bestimmen lässt. Dabei kommt hervor, dass die Ertragsfähigkeit des Bodens primär von der Nährstoffhaltefähigkeit sowie dem Wasserspeichervermögen abhängig ist. Diese

beiden Faktoren werden hauptsächlich durch den Humusgehalt sowie den Tongehalt charakterisiert [Scheffer *et al.* 2010]. Die Bestimmung dieser Bodenphysikalischen Eigenschaften kann durch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens ermittelt werden. Das EM 38-System bietet eine Möglichkeit diese Messung kostengünstig und arbeitswirtschaftlich durchzuführen. Das Messgerät besitzt eine Sendespule, wodurch ein elektromagnetisches Wechselfeld in den Boden gesendet wird. An den Tonteilchen im Boden werden diese Magnetfelder induziert und eine ebenfalls am Messgerät befindliche Empfängerspule nimmt diese Magnetfelder auf. Aufgrund dieses Messsystems kann eine Aussage über den Feinerdeanteil getroffen werden. Ein hoher Feinerdeanteil geht einher mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit des Bodens und gibt daher Aufschluss über den Tongehalt des Bodens. Allerdings wird das Messergebnis der elektrischen Leitfähigkeit nicht ausschließlich durch den Tongehalt beeinflusst, auch der Wassergehalt nimmt darauf Einfluss. Die Daten der elektrischen Leitfähigkeit können somit zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von Flächen genutzt werden, für zum Beispiel Aussaat, Düngung, Bodenbearbeitung und Kalkung von Flächen [Reckleben 2007]. Durch die alleinige Betrachtung der Leitfähigkeit des Bodens lassen sich keine bodenkundlichen Parameter erschließen. Exakte Aussagen über unterschiedliche Bodenarten lassen sich erst treffen, wenn Untersuchungen in Zonen mit ähnlicher Leitfähigkeit stattfinden. Die Genauigkeit der Messungen weist eine große Spannbreite bei dem Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und den Korngrößen auf [Hinck *et al.* 2013].

Neben dem EM 38 Messsystem gibt es bereits ähnliche Verfahren, wie das Veris Messsystem und das Bos-1Ep-Messsystem der Fachhochschule Osnabrück. Diese Systeme arbeiten nach einem ähnlichen Verfahren wie das EM 38-System, denn diese unterscheiden sich hauptsächlich in der Messtiefe. Das EM 38-System arbeitet in einem Messbereich von 0-150 cm, woraus dann ein Mittelwert gebildet wird. Dahingegen lassen sich durch das Veris-Messsystem genauere Rückschlüsse auf den Unterboden und der Krume ziehen. Das System misst in den Tiefen von 0-30 und 0-90 cm [Hinck *et al.* 2009]. Die Messsysteme der elektrischen Leitfähigkeit liefern jedoch in Abhängigkeit der Bodenfeuchte und des Grundwasserspiegels unterschiedliche Ergebnisse. Dies hat zur Konsequenz, dass die äußeren Bedingungen bei der Messung beachtet werden müssen [Johnson *et al.* 2003]. Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens gibt einen Hinweis über die Bodeneigenschaften, jedoch ist es zielführend diese Daten mit Daten der Ertragskartierung oder Satellitenbildern zu

kombinieren um auf eine erfolgreiche teilflächenspezifische Zonierung schließen zu können [Johnson *et al.* 2003].

4.2.3 Ertragskartierung

Die zuvor betrachteten Möglichkeiten der Identifizierung von Teilflächen beruhen ausschließlich auf den Bodeneigenschaft des jeweiligen Standortes. Die Ertragskartierung dahingegen ermittelt den ortsspezifischen Ertrag bei der Beerntung von landwirtschaftlichen Flächen. Dadurch wird eine positionsgenaue Erfassung der Erntemenge von Körnerfrüchten realisiert. Dies hat zur Folge, dass die Ertragsfähigkeit eines Bodens anhand eines tatsächlichen Ertrages von Pflanzen bestimmt wird. Die Ertragskartierung gehört mittlerweile zum Stand der Technik eines modernen Mähdeschers [Noack 2007]. Durch die Ertragskartierung werden verschiedene Parameter kontinuierlich dokumentiert. Dazu gehört auch die aktuelle Position der Erntemaschine, welche durch Differential Global Positioning System (DGPS) ermittelt wird. Zur Ermittlung des Kornertrags wird der Massenstrom des Erntegutes sowie die Fahrgeschwindigkeit während des Druschprozesses und die Schnittbreite des Schneidwerks dokumentiert. Damit die Ertragskarten untereinander vergleichbar sind, ist es nötig, auch den Feuchtegehalt des Erntegutes zu bestimmen. Zur Messung des Ertrages wird ein Volumetrisches Lichtschranken-Messverfahren eingesetzt, welches aus der Kombination von Kornmassenstrommesseinrichtung, Korndichtemesseinrichtung sowie der Kornfeuchtemesseinrichtung besteht. Durch die Kombination der Messeinrichtungen betragen die Messabweichungen weniger als 5% [Reitz 1997]. Die Lichtschranke befindet sich in dem Körnerelevator des Mähdeschers, bestehend aus einem Lichtsender und einem Lichtempfänger. Die Lichtschranke bestimmt die Auflagehöhe des Druschgutes auf den Elevatorpaddeln. Das System kann durch seitliche Hangneigung gestört werden, zur Kompensation dieser möglichen Messungenauigkeiten sind Sensoren im Mähdescher verbaut, welche die aktuelle Hangneigung bestimmen. Es gibt eine Vielzahl an Parametern, welche das Messergebnis mit Fehlern behaften. Damit die Messungenauigkeiten so gering wie möglich gehalten werden, ist beispielsweise eine exakte Kalibrierung der Parameter notwendig. Zu diesen Parametern zählen neben der Fahrgeschwindigkeit und der Schnittbreite auch die genaue Positionsbestimmung und die Feuchtebestimmung. Als Fehlerquelle der ermittelten Fläche ist oftmals eine ungenaue Fahrgeschwindigkeit und vielmehr die Abweichung der Schnittbreite zu der tatsächlichen Schnittbreite zu nennen. Die eingegebene Schnittbreite entspricht oftmals nicht der tatsächlichen Schnittbreite beim Druschprozess, um diese Fehlerquelle zu minimieren, können bei modernen Mähdeschern manuell Teilbreiten zu oder abgeschaltet werden.

[Griepentrog 1998]. Neben der Ertragskartierung eines Mähdreschers ist dies auch mittlerweile bei anderen Erntemaschinen wie zum Beispiel am Feldhäcksler möglich. Die Erntemenge wird georeferenziert durch die Messung des Abstands zwischen der Press- und Glattwalze erfasst. Diese Bauelemente sind noch vor der Schneidtrommel verbaut. Der gemessene Abstand zwischen diesen Bauelementen wird dann analog zur Ertragskartierung eines Mähdreschers mit weiteren Daten wie Fahrgeschwindigkeit, Feuchtegehalt und Schnittbreite verknüpft [Ehlert 1999].

Die Verarbeitung der Daten wird durch geographische Informationssysteme (GIS) vorgenommen. Durch GIS lassen sich Ertragsdaten mit anderen ortspezifischen Daten wie Bodenprobenergebnissen kombinieren und zu Karten verarbeiten. Diese Karten können dann bei Applikationsmaßnahmen wie der Düngung genutzt werden. Die Verbindung des Schleppers mit einem Ortungssystem und dem Bordcomputer der Maschine ist dafür die Voraussetzung [Reitz 1997]. Die Vorteile der Ertragskartierung für den Ansatz der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung liegen darin, dass ortspezifische Schwachstellen auch als solche identifiziert werden können. Außerdem lassen sich durch die genaue Erfassung der Erntemengen Rückschlüsse auf die Nährstoffentzüge ziehen [CLAAS KgaA mbH o.J.].

4.2.4 Fernerkundung

Die Fernerkundung per Satellit betrachtet im Gegensatz zur Reichsbodenschätzung und der Messung der elektrischen Leitfähigkeit keine bodenphysikalischen Parameter, liefert allerdings trotzdem Hinweise zu teilflächenspezifischen Eigenschaften des Standorts. Hierbei findet ausschließlich eine optische Begutachtung statt. Fernerkundungsverfahren nutzen elektromagnetische Strahlung um Objekte aus der Ferne, d. h. ohne direkten Kontakt zu diesem, aufzunehmen [Schmidt 2009]. Die Fernerkundung hat den Vorteil, dass eine flächendeckende Erfassung von Zuständen stattfindet. Die erfassten Daten beinhalten Informationen über den derzeitigen Pflanzenstatus, was Aufschluss über den Ernährungszustand und das Entwicklungsstadium gibt, sowie die lokalen Eigenschaften des Bodens. Durch die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen dem Fernerkundungssignal und Vegetationsparametern kann diese Methode hilfreich sein, um Rückschlüsse auf die ortsgebundene benötigte Düngermenge oder Pflanzenschutzmenge zu ziehen [Kurz 2003]. Die Fernerkundung bietet das Potential positionsgenaue Daten bezüglich des Bodenwassergehaltes, des Entwicklungsstadiums der Pflanze, der Evapotranspiration¹, des Ernährungszustandes, des Krankheits- sowie

¹ Verdunstung von Wasser des Bodens und der Pflanze (Ahl *et al.* (2017))

Schädlingsbefalls und des Unkrautauftkommens zu liefern. Aus diesen Daten können unabhängige Informationen über die räumlichen Schwankungen des Bodens und des Ertrags innerhalb eines Schlages gewonnen werden. Die räumlichen Informationen können eine Grundlage zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von Ackerflächen bilden [Moran *et al.* 1997].

Seit ungefähr 45 Jahren umkreisen Satelliten die Erde und liefern ein hohes Maß an Informationen durch Satellitenbilder, wodurch Rückschlüsse auf bestimmte Eigenschaften aus der Vergangenheit gezogen werden können. Die Fernerkundung bringt ein hohes Potential mit sich, um Aussagen über den aktuellen Zustand eines Feldes zu treffen, jedoch finden diese Aussagen in der Praxis selten Anwendung. Gründe dafür sind die Komplexität der Daten und die damit verbundenen hohen Kosten für Fachpersonal. Damit die vorhandenen Daten auch für die landwirtschaftliche Praxis nutzbar gemacht werden können, um Betriebsmittel effizient einzusetzen, wurde im Jahr 2016 das Projekt „AGRO-DE“ gestartet. Dies zielt darauf ab, eine Schnittstelle zwischen der Verarbeitung und Speicherung von Daten zur praktischen Anwendung zu erstellen. Gefördert wird dieses Projekt durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Mitwirkende Körperschaften für dieses Projekt sind das Julius Kühn-Institut, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die EOMAP sowie die Hanse Agro Beratung und Entwicklung [Hartmann 2017].

In der Fernerkundung eingesetzte Techniken sind beispielsweise Luftbilder, Multi- bzw. Hyperspektralsensoren, die auf Flugzeugen oder Satelliten installiert sind sowie synthetic aperture radar (SAR), also Radarsysteme. In dem Projekt AGRO-DE werden sowohl Radarsysteme sowie Multispektralsysteme genutzt. Die Satelliten sind im Rahmen des Copernicus Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) gestartet, welches der Erdbeobachtung dienlich ist. Dabei werden 12 Sentinels im Zeitraum von 2013 bis 2020 installiert. Unter den 12 Sentinels sind 5-6 verschiedene technische Bauarten, um ein breites Aufgabengebiet zu erschließen. Für die Landwirtschaft und das Projekt AGRO-DE sind ein Radarsystem „Sentinel 1“ und ein Multispektralsystem „Sentinel 2“ vorgesehen. Von den jeweiligen Sentinels 1 und 2 sind je zwei installiert, welche gegenüberliegend in einem Flugorbit eingesetzt sind, um eine geringe zeitliche Wiederholung zu erzielen. Das Radarsystem mit den Sentinels 1 A und B arbeitet im Mikrowellenbereich und erzielt eine Auflösung von 10m bei einer Wiederholungsrate von 1-3 Tagen in Deutschland [Lilienthal *et al.* 2017]. Das Radarsystem funktioniert unabhängig von Witterung und Tageszeit [Kurz 2003]. Dahingegen ist das Multispektralsystem „Sentinel 2“ abhängig von der Witterung, Bewölkung

und der Tageszeit. Dieses System arbeitet optisch, indem es die Reflexion des Sonnenlichtes durch die Erdoberfläche misst. Dabei werden 12 Kanäle genutzt, die einen Wellenlängenbereich von 443nm bis 2190nm abdecken. Damit die Wiederholungsrate verdoppelt wird, um fehlerfreie Aufnahmen zu erhalten, wird ein zweiter Sentinel 2 installiert, der gegenüber von „Sentinel 2 A“ auf der gleichen Flugbahn eingesetzt wird. Das Ziel liegt darin, verlässliche Daten in einem kleinen zeitlichen Abstand, unabhängig von der Witterung zu erhalten, um eine kontinuierliche Aufzeichnung des Zustands von landwirtschaftlichen Flächen und dessen Kultur zu erhalten. Hierbei ist die Kombination aus Radar- und optischen Systemen unerlässlich. Bereits jetzt kann aus den Daten die Biomasse, der Bedeckungsgrad einer Fläche und die Fruchtart bestimmt werden [Lilienthal *et al.* 2017].

Neben den pflanzenbaulichen Parametern soll das Projekt planerische Vorteile mit sich bringen, indem Erträge schon vor der Ernte abgeschätzt werden können, was einen Vorteil für den Landwirt bringt und ebenfalls dem Staat, da dieser Steuern kann welche Erntemengen exportiert werden können bzw. bei einer vorhersagbaren Missernte Importe von Erntemengen handeln kann [NDR 2017]. Neben dem Precision Farming kann die Fernerkundung auch in Zukunft für Kontrollzwecke der EU-Agrarsubventionen eingesetzt werden. Sodass beispielsweise die Kontrolle von Dauergrünlanderhaltung und ökologischen Vorrangflächen, wie Landschaftselementen, darüber stattfinden kann. Außerdem kann die im Antragsjahr angebaute Kultur durch die Fernerkundung erfasst werden. Darüber können die Vor-Ort Kontrollen reduziert werden. Derzeit werden bereits die Flächenanträge für Agrarsubventionen mithilfe von Luftbildern erstellt [Völker *et al.* 2013].

Die Ertragskartierung ist laut Dohmen und Reh mit systematischen Fehlern behaftet, welche zu Fehlinformationen führen können, dahingegen bietet die Fernerkundung die Möglichkeit unabhängige, kontinuierliche Daten über eine Fläche zu erhalten. Eine Kombination aus der Ertragskartierung, der Reichsbodenschätzung und Fernerkundung liefert aussagekräftige Informationen über eine Teilfläche. Diese können als Entscheidungsgrundlage für pflanzenbauliche Produktionsverfahren verwendet werden [Dohmen *et al.* 2006].

4.3 Einzelkornsaat

Die Einzelkornsaat ist ein Aussaatverfahren, welches eine genaue Vereinzelung in Anbetracht der Optimierung der Standraumverteilung von Pflanzen verfolgt. Neben den damit verbesserten Wachstumsbedingungen kann dadurch kostspieliges Saatgut eingespart werden [Soucek *et al.* 1990], [Eichhorn *et al.* 1999]. Außerdem hat eine präzise Aussaat einen bedeutenden Einfluss

auf den Ertrag und die Qualität des Maises [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Der Ursprung dieser Aussaattechnik liegt vor der Wende zum 20. Jahrhundert. Zu dem Zeitpunkt wurde ein Trägerband aus Papier oder Stoff genutzt, woran dann das Saatkorn im gewünschten Abstand fixiert wurde. Diese Bänder wurden auf Trommeln gewickelt und bei der Aussaat dann in den Boden gelegt. Dieses Verfahren wurde als Bandsaat bezeichnet und brachte viele Vorteile, die man sich durch eine Einzelkornsaat versprach, mit sich. Zum Beispiel war es hiermit möglich, eine vernünftige Korneinzelung zu realisieren, bei der keine Doppelbelegungen und keine Fehlstellen in der Reihe entstanden [Benninger 2013]. Das Saatband wurde maschinell in ausreichender Tiefe abgelegt und anschließend mit Erde bedeckt. Die Bandsaat konnte also schon vor 100 Jahren die noch heute geltenden Anforderungen an die Einzelkornsaat erfüllen [Eichhorn *et al.* 1999]. In der Praxis hingegen konnte sich die Bandsaat aufgrund von verschiedenen Faktoren allerdings nicht durchsetzen. Da die Bandsaat weitere Anforderungen an die damit verbundene Infrastruktur stellte. Diese Herausforderungen beschränkten die Aussaattechnik, beginnend bei der Herstellung der Samenbänder sowie deren Verteilungslogistik und der Ausbringtechnik. Ein weiterer Nachteil der Bandsaat war geprägt durch den im Boden zurückbleibenden Trägerstoff des Bandes, der aus Stoff wie Baumwolle oder Papier bestand. Diese Stoffe verrotteten oftmals nicht in gewünschter Geschwindigkeit, sodass dieses Band die Keimung und das Wachstum der Pflanzen behinderte [Soucek *et al.* 1990].

Im selben Zeitraum, kurz vor der Wende zum 20. Jahrhundert kam erstmals die Idee auf, die Vereinzelnung der Saatkörner mit pneumatischem Unterdruck, durch Ansaugen an eine Trommel zu realisieren. Diese Idee wurde weiterverfolgt und im Zeitraum um 1920 kam es zu einer weiteren Basiserfindung. Diese pneumatische Korneinzelung, erfolgte mithilfe einer rotierenden Lochscheibe, welche durch Unterdruck die Saatkörner aus dem Saattank ansaugt und an der gewünschten Stelle durch einen Luftdruckstoß in das Saatrohr abgibt [Benninger 2013]. Diese Technik ähnelt den heutigen Einzelkornsäegeräten deutlich mehr als die der Bandsaat, jedoch fand diese Technik trotzdem nur geringe Anwendung. Es wurde deutlich, dass es nicht ausreichend ist, die Saatkörner anzusaugen und an der gewünschten Stelle der Lochscheibe loszulassen, da es häufig zu Doppelbelegungen der einzelnen Löcher kam. Daraufhin wurde dieses System mit einem in Frankreich entwickelten Abstreifer an der Oberseite der Lochscheibe ergänzt. Dieser Abstreifer ist an der Lochscheibe angebracht und in der Höhe verstellbar, damit die Maschine an unterschiedliche Saatgutformen angepasst werden konnte. Durch diesen Abstreifer werden zwei Saatkörner, die an einem Loch der Lochscheibe

hängen, abgestreift. Die Entwicklung des Abstreifers bis zur zufriedenstellenden Arbeit erstreckte sich bis zum Jahr 1971. Ab dem Zeitpunkt fand die Einzelkornsaat in der Praxis Anwendung und es bestand die Möglichkeit unpilliertes und weniger genau geformtes Saatgut zu verwenden. Dieses pneumatische Lochscheibensystem der Vereinzelung mithilfe des Abstreifers konnte sich bis heute am Markt in großer Zahl etablieren und gegenüber mechanischen und anderen pneumatischen Systemen behaupten [Benninger 2013]. Abbildung 2 zeigt den Aufbau eines Säaggregats einer Einzelkornsähmaschine. Auf der Abbildung sind die verschiedenen Bauteile des Säaggregats, wie zum Beispiel der zuvor beschriebene Abstreifer, das Säherz sowie der Saatgutbehälter beschriftet. Das Säaggregat ist von einer Einzelkornsähmaschine der Firma Kverneland. Diese Einzelkornsähmaschine wurde in diesem Versuch eingesetzt.

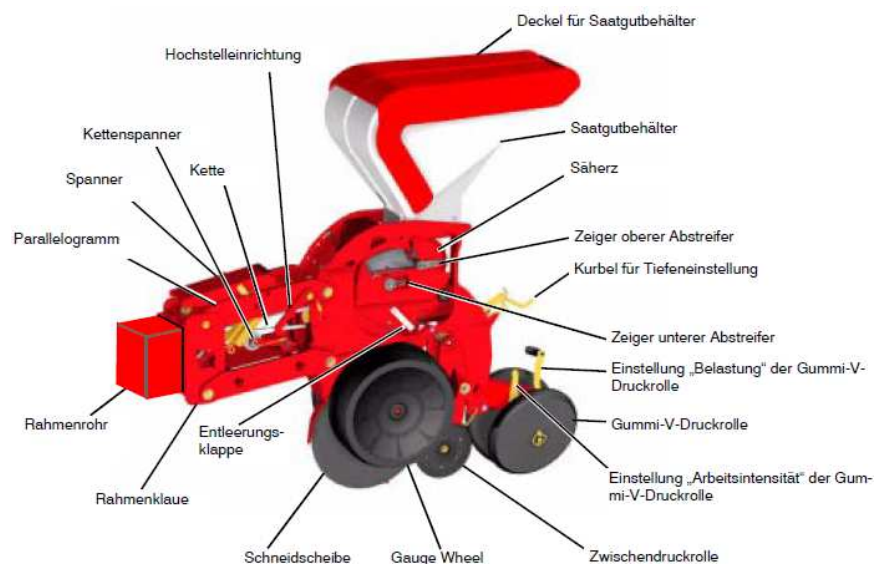


Abbildung 2: Säaggregat der Einzelkornsähmaschine Optima HD von Kverneland [Kverneland group Soest GmbH 2008].

Die Bedeutung der Einzelkornsaat ging auch mit den zur Verfügung stehenden Herbiziden zur Unkrautbekämpfung und der Mechanisierung der Maisernte einher. Dadurch war es nicht mehr nötig die Unkräuter mit der Handhacke zu entfernen. Außerdem war das Ziel, die Ablage der Saatkörner auch bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten zu gewährleisten. Dazu wurden Untersuchungen mit zwei Maislegemaschinen mit Kornvereinzelung geprüft. Dabei handelte es sich um einen amerikanischen Typ „MC-444“ und einen sowjetischen Typ „SzKGN-6“. Laut BÖLÖNI konnten diese beiden Maislegemaschinen die Anforderungen der exakten Einzelkornsaat nicht erfüllen. Die untersuchten Geschwindigkeiten lagen im Bereich von 3 bis 16 Kilometer pro Stunde (km/h), die gewünschte Aussaatstärke wurde zum einen bei 28.000

Körner/ha und zum anderen bei 82.000 Körner/ha gewählt. Das Ergebnis dieser Untersuchung aus dem Jahr 1963 zeigte, dass sich die ausgebrachte Pflanzenzahl mit steigender Fahrgeschwindigkeit etwa im gleichen Verhältnis verringert. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h wurden etwa 80% der eingestellten Saatkörner ausgebracht. Mit der Erhöhung der Geschwindigkeit auf 10 km/h, verringerte sich die ausgebrachte Kornzahl auf 60% der gewünschten Menge. Durch eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit auf 16 km/h konnten die Maislegemaschinen eine Kornzahl von 45 % ausbringen [Bölöni 1963].

Die Vereinzelung der pneumatisch arbeitenden Systeme hat mittlerweile ein hohes Maß an Präzision erreicht, jedoch sind diese nicht ausschließlich für eine präzise Ablage verantwortlich. Mit dem Lösen des Saatkorns von der Lochscheibe bis zur Ablage des Saatkorns an dem gewünschten Ort am Boden entstehen weitere Faktoren, welche die Ablagegenauigkeit negativ beeinflussen, wie zum Beispiel Abpralleffekte der Körner in den Saatileitungen. Daraufhin entwickelte die Firma Amazone eine pneumatische Förderung des Saatkorns nachdem dieses von der Lochscheibe gelöst wurde, welches bereits Anwendung in der Praxis findet [Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG 2011]. Die größer werdenden Transportwege des Saatkorns zum Boden werden durch Zentrale Saattanks bei steigenden Arbeitsbreiten und der Mulchsaattauglichkeit einer Sämaschine verursacht. Die Mulchsaateignung einer Sämaschine wird meistens durch Schneidscheiben an den Säagregaten realisiert. Diese haben häufig einen großen Durchmesser, woraufhin das Säherz höher angeordnet werden musste. Daraus resultiert eine Fallhöhe des Saatkorns bis zu 30cm. Eine weitere Herausforderung der exakten Ablage des Saatkorns liegt bei einer hohen Fahrgeschwindigkeit, die ein Verrollen der Saatkörner zur Folge haben kann [Benninger 2013];[Eikel 2007].

Um Kosten und Zeit einzusparen werden alternative Maissaatverfahren zur Einzelkornsaat gesucht. Dabei gilt es die gleichen Feldaufgänge sowie Trockenmasseerträge zu realisieren. In der heutigen Zeit sind die Anforderungen an eine Maschine, insbesondere im Hinblick auf die Flächenleistung und die Zusammenfassung von Arbeitsschritten, gewachsen. KIRCHMEIER *et al.* untersuchten in den Jahren 2007 und 2008 in einem Versuch, welche Verfahren die Feldaufgänge sowie die Trockenmasseerträge der Einzelkornsaat erzielen können. Dabei wurde die normale Drillsaat mit Scheibenscharen und eine Grubbersaat der Einzelkornsaat gegenüber gestellt [Kirchmeier *et al.* 2009]. Die Grundlage für einen optimalen Bestand und Ertrag ist ein homogener, hoher Feldaufgang mit einer gleichmäßigen Standraumverteilung [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Die Bonituren in diesem Versuch ergaben, dass der Feldaufgang bei der Einzelkornsaat in mehr als der Hälfte der Varianten über 90 % lag. Dahingegen konnte die

Drillsaat sowie die Grubbersaat nur in einer Variante einen Feldaufgang von über 90 % erreichen. Somit erzielte die Einzelkornsaat im Wesentlichen die höchsten Trockenmasseerträge. Die Grubbersaat erzielte in einem trockenen Jahr den gleichen Trockenmasseertrag. Dies geht allerdings nicht mit dem Verfahren der Aussaat einher, sondern durch einen verringerten Feldaufgang. Dieser geringe Feldaufgang hat eine geringere Pflanzenzahl zur Folge. Durch diese niedrige Pflanzenzahl konnte Trockenstress der Maispflanzen reduziert werden, woraus der gleich hohe Ertrag wie bei der Einzelkornsaat resultiert [Kirchmeier *et al.* 2009].

4.4 Bestandesdichte im Maisanbau

Die Bestandesdichte von Mais ist ein entscheidender Produktionsfaktor für die Ausnutzung des Ertragsvermögens im Maisanbau. Die Bestandesdichte kann der Landwirt bei der Aussaat direkt über die Wahl der Aussaatstärke beeinflussen. Die optimale Bestandesdichte ist unter anderem abhängig von der Wasserversorgung des Standortes, der jeweiligen Sorte sowie der Nutzungsrichtung. Mais besitzt im Gegensatz zu anderen Kulturen ein Bestandesdichte-Optimum, um gewünschte Inhaltsstoffe und Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) zu erzielen [Landwirtschaftskammer 2015]. Anders als im Getreideanbau, besitzt der Mais kein ordentliches Bestockungsvermögen, um eine geringe Bestandesdichte zu kompensieren [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Die praxisüblichen Bestandesdichten belaufen sich auf 6-12 Pflanzen/m². Dabei hat die Einstufung der Reifegruppe einen erheblichen Einfluss auf die optimale Bestandesdichte. Je spätreifer die Maissorte ist, desto geringer sollte die Bestandesdichte gewählt werden [Lütke Entrup *et al.* 2000]. In Tabelle 1 ist die anzustrebende Bestandesdichte in Pflanzen/m² in Abhängigkeit von Reifegruppe und Anbaulage dargestellt. Die Reifegruppen werden differenziert in früh, mittelfrüh und mittelspät. Die Anbaulage beschreibt den Standort, je nach Wasserversorgung. Eine gute Wasserversorgung des Standorts wird als günstig beschrieben. Bei der Nutzungsrichtung Silomais wird ein Zuschlag von 1 Pflanze/m² empfohlen.

Reifegruppe	Anbaulage	
	Günstig	ungünstig
früh	10-12	7-9
mittelfrüh	9-10	6-8
mittelspät	8-9	6-7

Tabelle 1: Anzustrebende Bestandesdichte in Pflanzen/m² in Abhängigkeit von Reifegruppe und Anbaulage nach Zscheischler. Quelle: [Lütke Entrup et al. 2000]

Die Wahl einer überhöhten Bestandesdichte auf einem Standort mit Wassermangel kann eine zunehmende Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe zwischen den Pflanzen haben, sowie ein vermindertes Längenwachstum, eine reduzierte Kolbenentwicklung und eine reduzierte Abreife zur Folge haben. Diese Faktoren haben Einfluss auf den TM-Ertrag und auf die Qualität des Maises. Selbst bei guter Wasserversorgung hat eine überhöhte Bestandesdichte negative Auswirkungen auf Ertrag und Qualität des Erntegutes. Bei guter Wasserversorgung wächst die Konkurrenz um Lichtenergie, was ein stärkeres vegetatives Wachstum zur Folge hat. Außerdem wird die Kolbenentwicklung reduziert und die Abreife verzögert. [Lütke Entrup et al. 2000]. Aufgrund von Trockenstress, bedingt durch eine zu hohe Bestandesdichte, wird der Futterwert negativ beeinflusst, das bedeutet einen sinkenden Stärkegehalt aufgrund von geringerer Ausbildung von Körnern pro Kolben. Die Nachteile der überhöhten Bestandesdichten lassen sich nicht mit den Zielen des Maisanbaus wie Ertragssicherheit und hoher Futterqualität vereinen [Landwirtschaftskammer 2015]. Durch eine überhöhte Bestandesdichte besteht die Gefahr von Lagerbildung [Hertwig et al. o.J.]. Eine zu geringe Bestandesdichte dahingegen schöpft das Leistungspotential einer Sorte und des Standortes nicht optimal aus. Die Wahl der Bestandesdichte ist somit ein Kompromiss aus Beachtung des Ertragsrisikos in Trockenzeiten und der Ausschöpfung des Ertrags- und Qualitätspotentials. Außerdem kann eine überhöhte Bestandesdichte zu einer verzögerten Ernte führen, das kann eine verspätete Aussaat der Folgefrucht zur Folge haben [Landwirtschaftskammer 2015].

Im Rahmen eines Versuchs der Lehr- und Versuchsanstalt für Acker- und Pflanzenbau in Bernburg wurde in den Jahren von 1993-1996 unter anderem die Auswirkung der Bestandesdichte auf den Körnermais und Silomaisertrag untersucht. Dabei wurden für jede Nutzungsrichtung zwei Sorten untersucht. Außerdem wurde durch den Einsatz von Beregnung eine unterschiedliche Wasserversorgung simuliert. Die gewählten Bestandesdichten für Silomais sind 8, 10 und 12 Pflanzen/m². Bei den Körnermaissorten wurde eine Bestandesdichte von 7, 9 und 11 Pflanzen/m² untersucht. Der Silomaisertrag reagierte positiv auf die Steigerung

der Bestandesdichte, bis zu 12 Pflanzen/m². Der Kolbenanteil bzw. der Kolbenertrag stagnierte oder entwickelte sich rückläufig bei steigender Bestandesdichte. Der Körnermaisenertrag reagierte je nach Witterung unterschiedlich. In einem trockenen Jahr wie zum Beispiel 1993 und 1994, ohne den Einsatz einer Beregnung, entwickelte sich der Ertrag negativ ab einer Bestandesdichte über 8 Pflanzen/m². Der maximale Kernertrag lag bei 100 Dezitonnen/ha (dt/ha). Durch den Einsatz von Beregnung oder in einem Jahr mit ausreichend Niederschlag während der Vegetationszeit zeichnete sich eine stetige Steigerung des Körnermaisenertrags bei Steigerung der Bestandesdichte ab. So konnte beispielsweise die Sorte „Aviso“ den höchsten Ertrag mit 130dt/ha im Jahr 1995 mit Beregnung erbringen [Boese 1997].

Vor dem Hintergrund, dass ein hoher Kornanteil hohe Energie- und Stärkekonzentrationen mit sich bringt, ist es wichtig, den Standort langjährig einzuschätzen. Darüberhinaus muss die optimale Ablage bei der Aussaat kontrolliert werden. Damit wird der Grundstein für eine gleichmäßige Standraumverteilung gelegt. Daher ist nicht die optimale Pflanzenzahl pro ha zielführend, sondern die gleichmäßige Verteilung der Einzelpflanzen [Landwirtschaftskammer 2015]. Eine Verengung der typischen Reihenweite von 75cm ist eine Möglichkeit der besseren Standraumausnutzung, dies bringt jedoch auch Nachteile, die beispielsweise in der verringerten Düngerkonzentration bei gleicher Düngermenge des Düngerbandes liegen. Diese verringerte Düngerkonzentration ist vor allem bei einer verzögerten Jugendentwicklung des Mais, verursacht durch beispielsweise niedrige Temperaturen während der Vegetation, ein Nachteil [Albert 2010].

Einhergehend mit steigender Bestandesdichte, steigt die Konkurrenz zwischen den Einzelpflanzen um die Ressourcen Wasser, Nährstoffe und Licht. [Wang 2001] Wasserstress hat einen entscheidenden Einfluss auf den Kernertrag. Dabei ist von großer Bedeutung die Dauer, Intensität und der Zeitpunkt, an dem der Wasserstress auftritt. 50% des Wasserbedarfs von Mais benötigt dieser innerhalb von 5 Wochen, vor, während und nach der Blüte [Schreiber 1992]. Der Zeitpunkt an dem Wasser knapp wird, hat unterschiedliche Folgen auf die Ertragsleistung des Mais. Tritt Wasserstress vor der Blüte auf, so wird die Kornzahl/Kolben reduziert [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Bei einem Wassermangel nach der Blüte, in der Kornfüllungsphase, kommt es zur Reduktion des Korngewichts. Den größten negativen Einfluss hat Wassermangel während der Blüte. Durch Stress während der Blüte aufgrund von fehlendem Wasser, kommt es zur verlangsamten Entwicklung der Narbenfäden, jedoch entwickeln sich die Pollenkörner in normaler Geschwindigkeit. Somit sind die beiden Pflanzenorgane zeitlich versetzt dazu in der Lage, sich zu befruchten. Durch den zu großen

Zeitabstand zwischen männlicher und weiblicher Blüte kann Wassermangel dazu führen, dass keine Befruchtung stattfindet. Ist genügend Wasser während dieser Phasen vorhanden, hat dies einen signifikant positiven Einfluss auf die Kolbenlänge, die Größe der Körner und den Abschnitt mit Körnern besetzten Kolben. Daraus resultiert ein erhöhter Kornertrag. Durch eine erhöhte Bestandesdichte nimmt die innerartliche Konkurrenz zu, was eine Reduzierung der Anzahl Kolben/Pflanze und der Körner/Kolben zur Folge hat. Nachdem die optimale Bestandesdichte überschritten wird, nimmt der Kornertrag/Fläche ab, wobei der gesamt Biomassertrag steigt [Schreiber 1992].

Durch steigende Bestandesdichten steigt auch die Beschattung in einem Bestand, wodurch die Photosyntheseleistung der Einzelpflanze reduziert wird. Junge Kornanlagen sowie die Blüten werden dadurch ungenügend mit Assimilaten versorgt. Durch gegenseitige Beschattung verändert sich nachweislich die Lichtverteilung innerhalb des Maisbestandes. Die oberen Blätter sowie die Fahne absorbieren somit mehr Licht, wodurch weniger Licht an untere Blätter in dem Bestand einfällt [Schreiber 1992]. Das Eindringen von mehr Licht in den inneren Bestand, führt zur erhöhten Stoffproduktion der Gesamtpflanze und speziell des Kolbens. Der Lichteinfall in einen Bestand ist von der Blattstellung und der Pflanzenarchitektur abhängig, wobei eine steile Blattstellung der oberen Blätter vorteilhaft ist. Diese Eigenschaften sind Sorten- und Bestandesabhängig und können somit vom Anbauer beeinflusst werden. [Wang 2001].

4.5 Teilflächenspezifische Aussaat und das Verfahren „Agro-Sat“

Im folgenden Kapitel wird der technische Hintergrund zur teilflächenspezifischen Aussaat von Mais dargestellt. Außerdem wird das Verfahren zur teilflächenspezifischen Aussaat des Unternehmens „Agro-Sat“, auf dessen Basis dieser Versuch beruht, erläutert. Neben Mais werden auch Versuche der teilflächenspezifischen Aussaat von Getreide beleuchtet. Aus vorherigen Kapiteln geht hervor, dass es zur Wahl der optimalen Aussaatstärke, die Betrachtung verschiedener Einflussgrößen erfordert.

Die teilflächenspezifische Aussaat hat das Ziel auf heterogenen Böden möglichst homogene Erträge auf hohem Niveau zu generieren [Obenauf *et al.* 2013], durch Ertragssicherung auf schwachen Standorten sowie durch Ertragssteigerung auf Standorten mit einem hohen Ertragspotential [Jürschik *et al.* 1996]. Dies zeigt eine 10-jährig angelegte Untersuchung im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins. Diese Region ist geprägt durch ertragsschwache Tonkuppen und ertragreiche humose Senken. Die teilflächenspezifische Aussaat wird in den

Kulturen Raps, Weizen und Gerste untersucht. Dabei werden die Versuchsschläge (insgesamt 300ha) in drei Zonen durch eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit mithilfe eines EM-38 Sensors eingeteilt [Obenauf *et al.* 2013]. Neben der Einteilung einer Teilfläche durch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit, werden in Praxisversuchen der Universität Hohenheim auch Biomassekarten, Geländemodelle oder auch Ertragskarten verwendet [Universität Hohenheim 2017b]. Die Saatstärke in dem Versuch aus Schleswig-Holstein wird drei Zonen zugeordnet. In der als leicht identifizierten Zone werden 100% der Grundsaaatmenge des entsprechenden Saattermins gesät. In der schweren Zone werden 200% und in der mittleren Zone 150% ausgesät. Das Ziel ist es, auf den Tonkuppen eine ausreichende Bestandesdichte zu erreichen. Die entstehenden Mehrkosten von 5-30€/ha werden durch den Mehrertrag in den jeweiligen Kulturen auf den Tonkuppen mehr als aufgewogen. Für leichte Sand Standorte wird empfohlen die Saatstärke anzupassen, um den Stress durch Frühjahrstrockenheit zu entkräften. [Obenauf *et al.* 2013] Die Anwendung der teilflächenspezifischen Aussaat verspricht eine Einsparung von Kosten [Universität Hohenheim 2017b]. Saatgut kann in dem Fall eingespart werden, wenn Schläge einen hohen Anteil von leichtem Boden vorweisen [Jürschik *et al.* 1996]. Jedoch wird deutlich, dass eine kostendeckende Anwendung der teilflächenspezifischen Aussaat auf sehr heterogenen Böden realisierbar ist [Lowenberg-DeBoer 1998].

In einem Versuch diesbezüglich im östlichen Brandenburg im Jahr 1996 hat eine erste technische Realisierung stattgefunden und zwar mit dem Ziel, die Saatstärke der Bodenfruchtbarkeit unter Berücksichtigung der Wasserverfügbarkeit anzupassen. Der Hintergrund dieser Überlegung lag darin, die Aussaatstärke an den Orten minderer Fruchtbarkeit zu reduzieren, da die Nährstoffzufuhr und Wasserverfügbarkeit nicht ausreichend für einen hohen Pflanzenbestand sind. Die Wahl der optimalen Saatstärke der jeweiligen Position beruht auf einer Verknüpfung zwischen Bodenkarten, Ergänzungen durch langjährige Erfahrung am Standort und dessen Wasserverhältnissen [Jürschik *et al.* 1996]. Der Versuch verfolgt einen einfachen Ansatz, indem der Schlag in drei Teilflächen je nach Bodengüte eingeteilt wurde. In den Bereichen mit einer Ackerzahl bis zu 42 wurden sieben Körner pro m² ausgesät. Bei Ackerzahlen zwischen 43 und 55 wurden neun Körner/m² ausgesät und in Bereichen mit einer Ackerzahl größer 55 wurden 11 Körner/m² eingesetzt [Jürschik *et al.* 1996]. Anhand dieses Versuches wurde durch [Schmerler 1999] ein Einsparpotential festgestellt und eine zusätzliche positive Auswirkung auf den Ertrag ermittelt. Die relativen Mehrerträge durch eine teilflächenspezifische Aussaat liegen im Maisanbau zwischen 5 und 7% [Schmerler 1999].

Im Folgenden wird beispielhaft das Verfahren zur teilflächenspezifischen Aussaat von Mais des Unternehmens „Agro-Sat“ erläutert.

Das Unternehmen „Agro-Sat“ hat ein Verfahren entwickelt, worauf mehrere Faktoren Einfluss nehmen, um die optimale Aussaatstärke von Mais für den jeweiligen Standort zu ermitteln. Dafür müssen zuerst Zonenkarten eines Schlages erstellt werden. Die grundlegenden Informationen für die Erstellung von Zonenkarten basieren auf Satellitendaten. Dafür nutzt das Unternehmen „Agro-Sat“ Aufnahmen der Systeme von Landsat und Rapid Eye. Diese Satelliten haben Kamerasysteme mit unterschiedlichen Wellenlängenbereichen. Dadurch werden Unterschiede in der Biomasse in Form der Chlorophyllverteilung im Feld sichtbar. Diese hierfür genutzten Aufnahmen werden zum Zeitpunkt der Abreife des Getreides erstellt, da zu diesem Zeitpunkt die Unterschiede im Feld am deutlichsten sind. Das Unternehmen „Agro-Sat“ erhält von den Satellitenbetreibern Aufnahmen in einer Vielzahl von Rot-Tönen. Diese werden dann durch das Portal FarmINFO in eine Karte mit fünf Zonen aufgearbeitet [Rose 2017].

In der, laut der Biomasseermittlung mittels Satellitendaten, ertragsärmsten sowie der ertragsreichsten Zone wird vor der Maisaussaat eine Bodenfeuchteermittlung durchgeführt. Dabei wird das zur Verfügung stehende Bodenwasser im Wurzelraum von einem Meter bestimmt. Außerdem wird ein PWC Wert ermittelt, dieser PWC-Wert bedeutet „potential water capacity“ und beschreibt das mögliche Wasserspeichervermögen des Bodenprofils. Dieses Wasserspeichervermögen ist auch abhängig von der Bodenart, die bei einer Bodenansprache ermittelt wurde. Neben dem vorhandenen Wasser, welches über die vegetationslose Zeit gefallen ist, wird auch der voraussichtliche Niederschlag der zwischen Mai und August fällt, berücksichtigt. Dieser voraussichtliche Niederschlag basiert auf dem durchschnittlichen Niederschlag der letzten Jahre in diesem Zeitraum, für den jeweiligen Standort. Außerdem wird Rücksprache mit dem Betriebsleiter gehalten, indem besondere Eigenschaften des Standorts wie zum Beispiel die Möglichkeit der Beregnung besprochen werden. Bei der Möglichkeit der Beregnung von Flächen wird eine Anpassung der Aussaatstärke von Mais um plus 10% durchgeführt [Rose 2017].

Neben den zuvor beschriebenen Standortfaktoren nimmt die Einstufung der Maissortentypen, welche auf der Züchtung basieren, einen hohen Einfluss auf die Ermittlung der optimalen Aussaatstärke des Maises für die jeweilige Zone ein. Dabei wird zwischen drei Sortentypen unterschieden. Diese sind Hartmais, Zahnmais und eine Kreuzung der beiden, welcher als

Zwischentyp bezeichnet wird. Die Sortentypen unterscheiden sich dahingehend maßgeblich in deren Anspruch an dem zur Verfügung stehenden Wasser. Dabei liegt der Anspruch an Wasser des Hartmaistyps bei 35 Liter Wasser pro Pflanze innerhalb der Vegetationszeit. Der Anspruch des Zahnmaises liegt bei 55 Liter Wasser pro Pflanze innerhalb der Vegetationszeit. Folglich wird für den Zwischentyp eine Wassermenge von 44 Liter angenommen. Diese Angaben über den Wasserverbrauch der Maissortentypen stammen von Züchterhäusern. Die Angabe über die jeweiligen Sortentypen der unterschiedlichen Sorten sind in den beschreibenden Sortenlisten des Bundessortenamtes sowie beim Deutschen Maiskomitee zu finden [Rose 2017].

Die entwickelte Aussaatkarte entsteht somit aus dem Zusammenführen unterschiedlicher Parameter die sowohl Standortbedingungen und Wasserversorgung als auch Eigenschaften der Maissorten berücksichtigen [Rose 2017].

5 Material und Methoden

Das Kapitel Material und Methoden stellt die Vorgehensweise des Versuches dar. Dabei werden zuerst die beiden Versuchsstandorte beschrieben. Anschließend werden der Versuchsplan, die eingesetzte Technik sowie die eingesetzten Maissorten und die verwendeten Aussaatkarten vorgestellt. Weiterführend wird die Vorgehensweise der Bonituren im Feld zur Datenerhebung aufgeführt. Anschließend werden die Analyseverfahren aus dem Labor der Qualitätsparameter Stärke, Rohprotein und Zucker vorgestellt. Am Ende des Kapitels wird das Verfahren der Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung sowie die Durchführung auf dem Versuchsschlag „Kaltes Bruch“ dargestellt.

5.1 Standortbeschreibung

In der Standortbeschreibung werden die Versuchsschläge „Kaltes Bruch“ und „Kieskuhle Meinkot“ vorgestellt. Dabei wird zuerst die geographische Lage beschrieben. Anschließend wird jeder Versuchsschlag anhand von Bodenkarten der Reichsbodenschätzung eingeordnet. Außerdem werden ackerbauliche Maßnahmen und Hinweise wie zum Beispiel der Vorfrucht, Düngung, Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz der jeweiligen Schläge aufgeführt. Um die Standortbeschreibung abzurunden, wird der Witterungsverlauf der beiden Versuchsschläge anhand eines Diagramms dargestellt.

5.1.1 Geographische Lage der Versuchsschläge

Die beiden Versuchsstandorte, die im Rahmen dieses Versuchs betrachtet werden, liegen im östlichen Niedersachsen, im Landkreis Helmstedt. Die 18ha große Fläche „Kaltes Bruch“, liegt

in der Ortschaft Bahrdorf und wird von der Domäne Bahrdorf bewirtschaftet. Für diesen Versuch wurde allerdings nur eine Teilfläche von 12,31 ha aufgrund des Zuschnitts dieser Fläche ausgewählt. Die Domäne Bahrdorf ist ein Marktfruchtbetrieb ohne Tierhaltung. Die Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“ liegt in dem Ort Meinkot und wird von dem Betrieb Hendrik Schünemann bewirtschaftet. Der landwirtschaftliche Betrieb von Hendrik Schünemann ist ebenfalls ein reiner Marktfruchtbetrieb. Die Flächengröße beträgt 5 ha. Ursprünglich war eine dritte Versuchsfläche in dem Ort Querenhorst eingeplant. Hierbei hat sich allerdings bei der Erstellung der Aussaatkarte eine sehr geringe Schwankung der Aussaatstärke herausgestellt, woraufhin die Fläche außer Betracht gelassen wurde.

5.1.2 Schlag Beschreibung „Kaltes Bruch“

Auf der Abbildung 3 ist eine Bodenkarte der Reichsbodenschätzung, von der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“, in nördlicher Richtung abgebildet. Die Feldgrenzen der Fläche sind rot markiert. Die Abbildung beinhaltet die jeweiligen Bodenarten mit den zugehörigen Bodenzahlen. Die Bewirtschaftungsrichtung der Fläche entspricht der Richtung der Landesstraße 648. Die unterschiedlichen Bereiche innerhalb der Fläche weisen jeweils verschiedene Bodenarten auf. In Tabelle 2 werden die Bodenarten mit den zugehörigen Abkürzungen, welche in Abbildung 3 dargestellt sind, aufgelistet. Anhand der Tabelle sowie der Abbildung und A1 wird deutlich, dass die Fläche heterogene Bodenarten aufweist, die innerhalb der Fläche variieren. Die Bodenzahlen verhalten sich in dem Bereich von 22 bis 55. Dies ist der Grund für die Auswahl des Versuchsschlages für die Anlage des Versuches. Die Fläche weist einen leichten Hang im Bereich S22 auf. Dieser Punkt ist mit 78 m über Normalnull der höchste Punkt dieser Fläche laut [Niedersächsisches Bodeninformationssystem 2018]. Der niedrigste Punkt hat eine Höhe von 72 m über Normalnull [Niedersächsisches Bodeninformationssystem 2018]. Die Fläche ist zur Entwässerung mit einer Dränage ausgestattet. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Fläche maschinell zu bewässern. Die Ergebnisse der letzten Bodenuntersuchungen ergaben folgende Werte:

pH-Wert: 5,7

Phosphor: 4,8 mg/100g Boden, Gehaltsklasse C

Kalium: 10,6 mg/100g Boden, Gehaltsklasse C

Magnesium: 10 mg/100g Boden, Gehaltsklasse B

Abkürzung	Bodenart	Bodenzahl
S	Sand	22
SI	Lehmiger Sand	30
IS/Mo	Anmoorig lehmiger Sand	38
IS	Lehmiger Sand	41
LT	Schwerer Lehm	55

Tabelle 2: Bodenarten mit den jeweiligen Bodenzahlen des Versuchsschlages „Kaltes Bruch“ [Ahl et al. 2017].

Damit die Fläche bewässert werden kann, werden dafür vorgesehene Beregnungsgassen angelegt. Diese werden jeweils im Abstand von 72 m durch das Abschalten von drei Sähreihen angelegt. Somit entsteht eine Gasse, in der kein Bewuchs vorhanden ist. Aufgrund der Pflegegassenbreite von 36 m kann diese Beregnungsgasse ebenfalls als Pflegegasse genutzt werden.

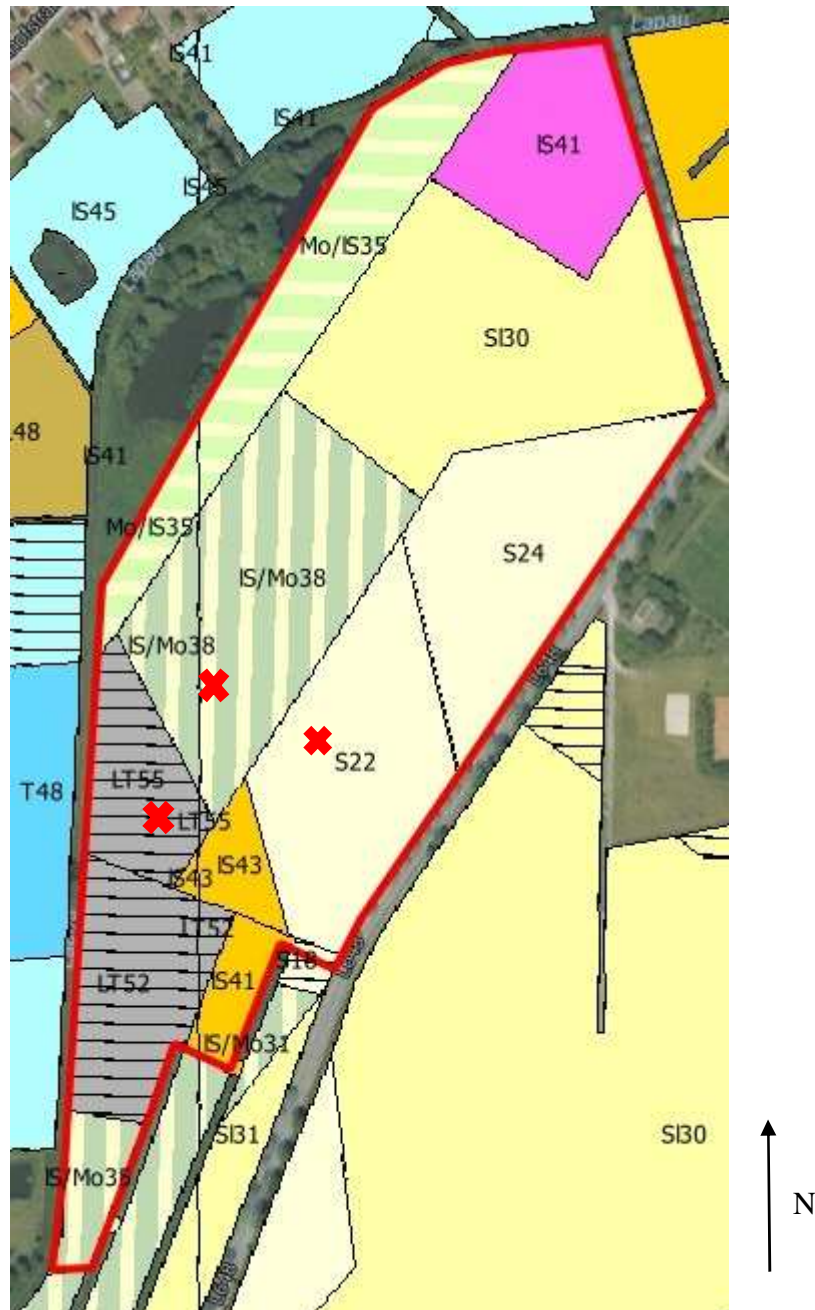


Abbildung 3: Bodenkarte der Reichsbodenschätzung der Fläche „Kaltes Bruch“ in Bahrdorf. Die roten Kreuze zeigen die Bodenprobennahmestelle für die Bodenfeuchtemessungen. Quelle: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

Die Abbildungen 4, 5 und 6 zeigen die unterschiedlichen Bodenarten anhand von Bodengruben beziehungsweise Bodenprofilen. Abbildung 4 zeigt eine Bodengrube am 27.06.2017 in dem Bereich der Bodenart Moor. Dabei wird die Nähe zum Grundwasser deutlich, da die Bodengrube ab einer Tiefe von 45 cm mit Wasser gefüllt ist. Der Oberboden ist reich an organischem Material und durch eine schwarze Farbe geprägt. Im unteren Bereich des Bodens zeigt sich ein sandiger Anteil, welcher ebenfalls humusreich ist. Durch den hohen Humusanteil weist der Boden eine sehr gute Durchwurzelung auf. Der moorige Bereich des Schlages wurde

bis zum Jahr 1980 als Dauergrünland genutzt. Das Bodenprofil der Abbildung 5 ist im Bereich der Bodenart „Schwerer Lehm“ aufgenommen. Dieser Bereich ist sowohl im oberen als auch im unteren Bereich durch einen hohen Tongehalt charakterisiert. Die Durchwurzelung der Maispflanze zeigt, dass der Schwere Lehm deutlich schwieriger zu erschließen ist, als der Moor Boden.



Abbildung 4: Bodengrube „Kaltes Bruch“, Bodenart: Moor



Abbildung 5: Bodenprofil „Kaltes Bruch“, Bodenart: Schwerer Lehm

In der Abbildung 6 ist eine Bodengrube in dem sandigen Bereich des Schlages „Kaltes Bruch“ dargestellt. Das Bodenprofil weist einen 30 cm mächtigen Oberboden mit der Bodenart Sand auf. Unter der 30 cm mächtigen Bodenschicht mit dunklem Sand befindet sich eine Schicht mit weißem Sand, welche für die Pflanzen nicht attraktiv scheint. Denn das Wurzelwachstum ist deutlich reduziert ab der weißen Bodenschicht.



Abbildung 6: Bodenprofil „Kaltes Bruch“, Bodenart: Sand

Die Vorfrucht auf dem Versuchsfeld Kaltes Bruch ist ein im August 2015 ausgesätes Welsches Weidelgras. Das Welsche Weidelgras wurde zur Grassamenvermehrung angebaut. Dieses Weidelgras diente im Winter 2016 als Begrünung. Am 01.03.2017 wurde auf das Weidelgras 5kg/ha Schwefelsaures Ammoniak (SSA), 1 kg/ha Glyphos Dakar und 1,5 kg/ha Glyphosat flüssig mit einer Pflanzenschutzspritze appliziert. Diese Maßnahme war notwendig um das Weidelgras abzutöten, da auf den Einsatz eines Pfluges zur Bodenbearbeitung verzichtet wurde. Am 15.03.2016 wurden 20 t/ha abgepresstes Gärrest (0,68% Gesamtstickstoff (N); 0,40% Gesamtphosphat (P); 0,63% Gesamtkalium) mit einem Tebbe Großflächenstreuer ausgebracht. Unmittelbar nach der Ausbringung des Gärrests wurde eine Bodenbearbeitung mit einer Amazone Catros Kurzscheibenegge (6 m Arbeitsbreite) in einer Bearbeitungstiefe von 10 cm durchgeführt. Am 01.04.2017 wurde die Kurzscheibenegge wiederholt eingesetzt, um die zurückgebliebene Grasnarbe vom Weidelgras zu zerkleinern. Bei diesem Arbeitsgang wurde eine Bearbeitungstiefe von 15 cm gewählt. Die Grundbodenbearbeitung fand am 10.04.2017 mit einem Mulchsaatgrubber der Firma Köckerling statt. Der Mulchsaatgrubber ist 4-balkig mit einer Arbeitsbreite von 4,60 m und 17 Zinken. Die Bearbeitungstiefe lag bei 25 cm. Die Maßnahmen auf der Fläche wurden in allen Bereichen identisch durchgeführt. Nach der Grundbodenbearbeitung wurde allerdings der Bereich „LT“, wie aus Abbildung 3 entnommen werden kann, zusätzlich mit einer Lemken Kreiselegge bearbeitet, damit ein feines Saatbett entsteht. Dieser Bereich wird allerdings bei den Bonituren außer Acht gelassen. Am 27.04.2017 fand die Maisaussaat mit einer Kverneland Optima HD Einzelkorndrillmaschine statt. Die Aussaatstärke richtete sich nach der teilflächenspezifischen Aussaatkarte. Bei der Aussaat wurden mit der Einzelkorndrillmaschine 1 dt/ha Diammonphosphat (18 kg N/ha, 46 kg P/ha) und 150 l/ha Nitrofert (Flüssigdüngerlösung 17 N und 7 Schwefel (S)) als Unterfußdüngung ausgebracht. Die Ablagetiefe wurde bei 4 cm gewählt, der Unterfußdünger wurde in einer Tiefe

von 8 cm, 5 cm neben dem Maissaatkorn platziert. Der Bereich „LT“ wurde nach der Aussaat, um Bodenschluss herzustellen, mit einer Cambridgewalze angewalzt. Am 07.05.2017 wurden 2dt/ha 60er Korn Kali (60% Kalium) und 1,5 dt/ha Harnstoff (46% N) mit einem Accord Schleuderstreuer (36 m) ausgebracht. Die Herbizidmaßnahme wurde in 2 Splittings aufgeteilt. Das erste Splitting wurde am 09.05.2017 mit 0,8 l/ha Calaris (Mesotrione, Terbutylazin), 0,7 l/ha Dual Gold (S-Metolochlor) und 0,2 l/ha Motivell (Nicosulfuron) bei einer Wasseraufwandmenge von 220 l/ha ausgebracht. Das zweite Splitting wurde am 20.05.17 durchgeführt. Eine Applikation von Mikro- sowie Makronährstoffen wurde am 08.06.2017 mit einer Dammann Pflanzenschutzspritze durchgeführt. Hierbei wurden folgende Nährstoffkomponenten mit 170 l/ha H₂O appliziert:

30 l/ha Nitrofert (15 N, 5 S)

1,5 l/ha Mangan flüssig

0,5 kg/ha Managan Sulfat

5 kg/ha Bittersalz

1 kg/ha Bor

0,3 l/ha Kupfer flüssig

0,15 l/ha Lebusol Zink

0,5 kg/ha Agriklin Blatt [Bertram 2017]

Das Beregnen der Fläche war aufgrund des hohen Niederschlags während der Vegetationsperiode nicht notwendig. Die Ernte der gesamten Fläche wurde am 15.10.2017 durch einen Lohnunternehmer durchgeführt.

5.1.3 Schlagbeschreibung “Kieskuhle Meinkot”

Der Schlag “Kieskuhle Meinkot” ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Fläche ist in nördlicher Richtung abgebildet und zeigt die unterschiedlichen Bodenarten, die anhand des Anhang A1 definiert sind. Die Versuchsfläche ist in der Farbe Rot umrandet und hat eine Flächengröße von 5 ha. Der südliche Bereich der Fläche ist durch einen homogenen Sand gekennzeichnet, der eine Bodenzahl von 19 aufweist. Des Weiteren erstreckt sich der Boden über lehmigen Sand mit einer Bodenzahl von 38 und im nord-westlichen Bereich bis zu 41. Die Bodenkarte zeigt, dass die Fläche heterogene Eigenschaften aufweist. Die Bewirtschaftungsrichtung der Fläche

wird in Nord-Süd-Richtung, entlang der „Kirchstraße“, die in östlicher Richtung der Abbildung enthalten ist. Die Pflegegassenbreite beträgt ebenfalls 36 m. Außerdem kann die Fläche beregnet werden. Dazu werden wie auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ Beregnungsgassen im Abstand von 72 m angelegt. Die Anlage der Beregnungsgassen ist auf der Luftaufnahme vom 28.06.2017 im Anhang A2 zu erkennen.

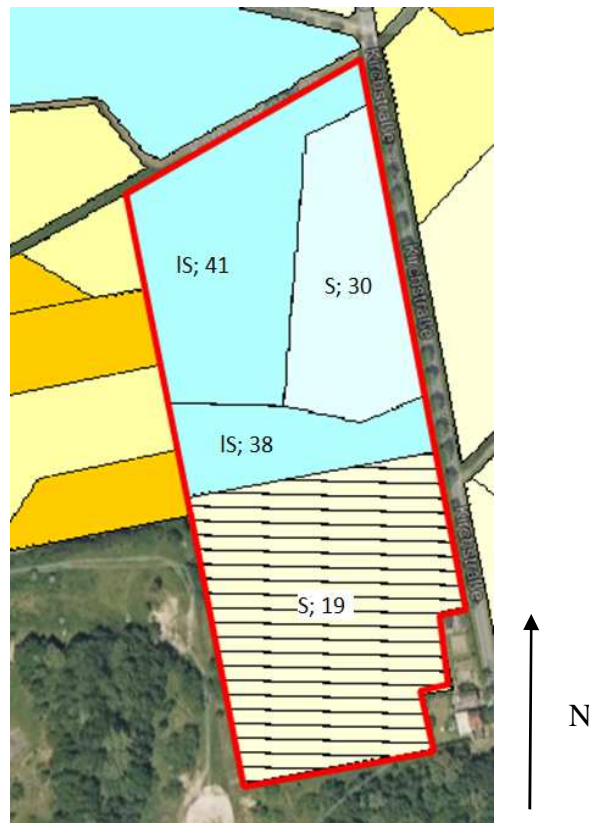


Abbildung 7: Bodenkarte der Reichsbodenschätzung der Fläche „Kieskuhle Meinkot“. Quelle: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.

Aufgrund der Vorfrucht Silomais aus dem Erntejahr 2016, umfasste die erste Bearbeitung der Fläche „Kieskuhle Meinkot“ das Mulchen der Maisstoppeln am 28.09.2016. Die darauffolgende Maßnahme fand am 07.04.2017 statt. Hierbei wurden 3 l/ha des Totalherbizids Taifun forte mit einer Pflanzenschutzspritze appliziert, um den Unkrautbewuchs zu reduzieren. Durch die anschließende Aufbringung von Klärschlamm am 12.04.2017 wurden Nährstoffe in Höhe von 140 kg N/ha, wovon 60% im Anwendungsjahr anrechenbar sind, sowie 198 kg P/ha ausgebracht. Zur zeitnahen Einarbeitung des organischen Düngers wurde ein Unia Grubber in einer Arbeitstiefe von 10 cm eingesetzt. Am 19.04.2017 wurden 50 kg N/ha über Harnstoff (46%N) mit einem Rauch Schleuderstreuer ausgebracht. Am 25.04.2017 wurde die Fläche in einer Tiefe von 25 cm mit dem Unia Grubber gelockert [Schünemann 2017]. Am 27.04.2017

fand die Maisaussaat mit einer Kverneland Optima HD Einzelkorndrillmaschine statt. Die Aussaatstärke richtete sich nach der teilflächenspezifischen Aussaatkarte. Bei der Aussaat wurden mit der Einzelkorndrillmaschine 1,66 dt/ha Diammonphosphat (30 kg N/ha, 77 kg P/ha) als Unterfußdüngung ausgebracht. Am 08.05.2017 wurden 100 kg/ha Kalium durch 40er Kornkali ausgebracht. Eine Herbizidbehandlung des Maises fand am 23.05.2017 statt. Hierbei wurden 1,26 l/ha MaisTer Power (Foramsulfuron, Thiencarbazone, Iodosulfuron) und 1,26 l/ha Aspect (Terbuthylazin, Flufenacet) appliziert. Aufgrund des ausreichenden Niederschlags während der Vegetation bestand keine Notwendigkeit, den Mais zu beregnen. Die Ernte der gesamten Fläche wurde am 11.10.2017 durch einen Lohnunternehmer durchgeführt [Schünemann 2017].

5.1.4 Witterungsverlauf der Versuchsstandorte

In Abbildung 8 ist der Witterungsverlauf für den Versuchsstandort in Bahrndorf dargestellt. Die Wetterstation von „Fieldclimate“ steht in einer Entfernung von 1km von der Versuchsfläche in Bahrndorf. Die Entfernung zu der Versuchsfläche in Meinkot beträgt 2km, sodass der Witterungsverlauf für beide Standorte angenommen werden kann. Die Wetterstation ist in einer Höhe von 2m über dem Boden aufgestellt. Der Witterungsverlauf ist für den Zeitraum vom 01.10.2016 bis zum 30.09.2017 dargestellt. Die Daten sind auf der horizontalen Koordinatenachse aufgeführt. Auf der vertikalen Primärachse ist die Temperatur von -10 bis +40 Grad Celsius (°C) dargestellt. Auf der vertikalen Sekundärachse ist die Niederschlagsmenge in der Einheit mm abgebildet. Die mit den Ziffern 1. bzw. 2. gekennzeichneten grünen Pfeile zeigen den Zeitpunkt der Aussaat am 27.04.2017 sowie der Ernte des Maises am 17.09.2017.

Die blauen Säulen stellen die täglichen Niederschlagsmengen in Millimeter (mm) dar. Der Gesamtniederschlag in dem Zeitverlauf vom 01.10.2016 bis zum 30.09.2017 ergibt summiert einen Niederschlag von 809 mm. Diese Niederschlagsmenge ist im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt im Zeitverlauf von 1981 bis 2010 mit 608mm am Standort Helmstedt, was 20km entfernt ist von den Versuchsflächen, überdurchschnittlich hoch [Deutscher Wetterdienst 2015]. Die Niederschlagsmenge in der Zeit von 01.10.2016 bis zur Aussaat des Maises am 27.04.2017 beträgt 360mm. Die Niederschlagsmenge zwischen der Maisaussaat am 27.04.2017 und der Ernte am 16.09.2017 beträgt 424mm. Der Niederschlagsreichste Monat ist der Juli mit 139mm Niederschlag in Form von Regen.

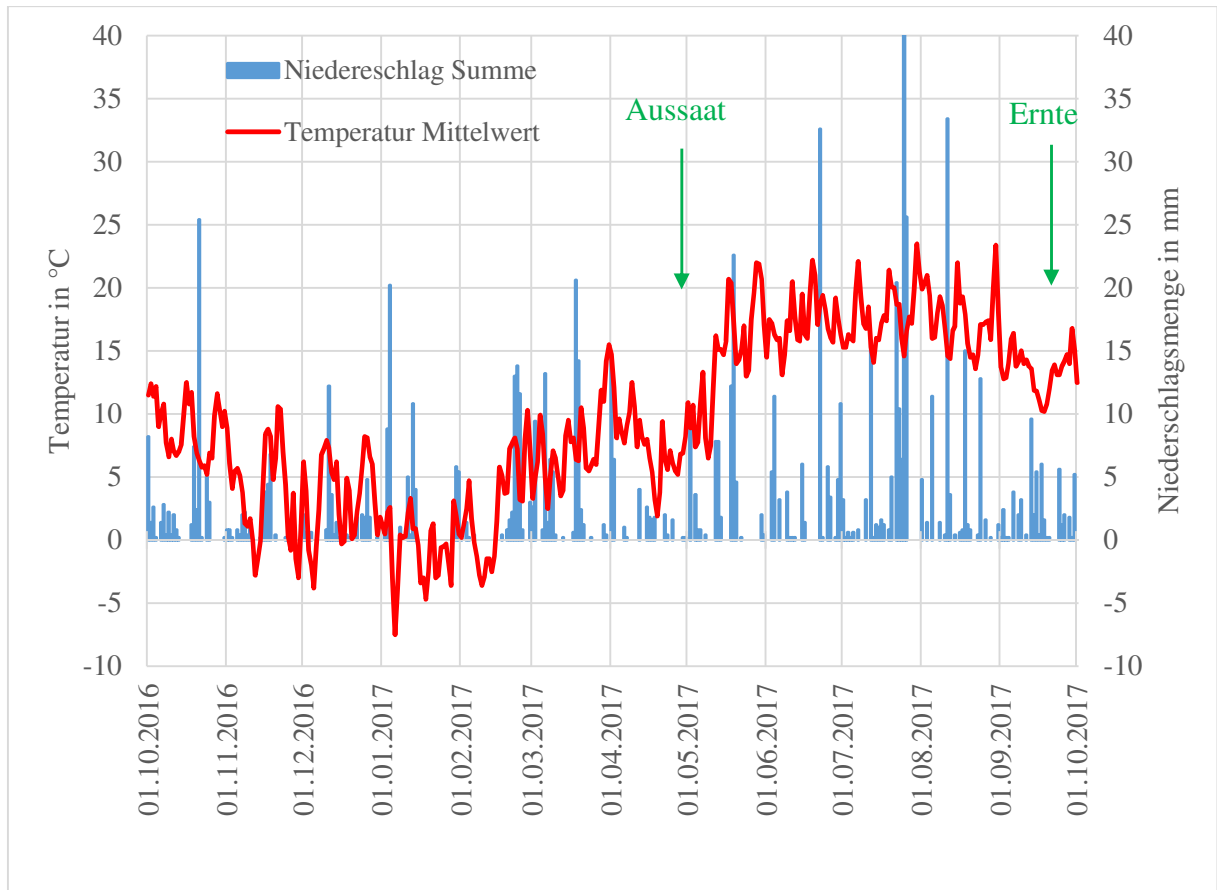


Abbildung 8: Witterungsverlauf für den Zeitraum vom 01.10.2016 bis zum 30.09.2017 der Versuchsstandorte [Fieldclimate 2017].

Die rote Linie zeigt in dem Witterungsverlauf die Durchschnittstemperatur in °C. Die Jahresdurchschnittstemperatur in dem oben genannten Zeitraum beträgt 9,5°C. Die niedrigste mittlere Temperatur wurde am 06.01.2017 mit -7,5°C gemessen. Der höchste Wert wurde am 30.07.2017 mit einer mittleren Temperatur von 23,5°C gemessen.

5.2 Versuchsplan

Der Versuchsplan ist in Abbildung 9 anhand einer Luftaufnahme erstellt worden. Unter Zuhilfenahme eines iPads mit der App „Pocket Earth Pro“ [LLC o.J.] sind die einzelnen Zählstrecken mittels GPS eingemessen worden. Diese georeferenzierten Daten wurden anschließend in das Programm „QGIS“ [QGIS 2018] eingepflegt und mit der Luftaufnahme verknüpft. Die Zählstrecken wurden aufgrund der besseren Wiederauffindbarkeit der Zählstrecken zur Maisernte mithilfe von GPS eingemessen. In Abbildung 9 ist der Plan des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in Bahrdorf dargestellt. Die Zählstrecken verlaufen parallel der Bewirtschaftungsrichtung. Die farbige eingezeichneten Strecken haben jeweils eine Länge von 13,33m. Das entspricht bei der eingesetzten Drilltechnik mit einem Reihenabstand von 0,75m

einer Fläche in der laufenden Reihe von 10m². Bei den Bonituren sind jeweils zwei nebeneinanderliegende Reihen auf dieser Länge berücksichtigt worden, sodass eine Zählstrecke eine Größe von 20m² repräsentiert. Die Farben der Markierungen entsprechen den Ertragspotentialzonen, worauf die variable Aussaatkarte basiert. Auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ sind vier der fünf Ertragspotentialzonen für die Bonituren berücksichtigt worden aufgrund des geringen Flächenanteils der hellblauen Zone von 7,41%, wie in Abbildung 11 zu entnehmen ist. Zu den Zählstrecken mit der variablen Aussaatstärke wurde jeweils eine konstante, „betriebsübliche“ Aussaatstärke von 8,5 K/m² angelegt.

Sowohl die Zählstrecken mit der variablen Aussaatstärke als auch mit der konstanten Aussaatstärke von 8,5K/m² wiederholen sich dreimal innerhalb der jeweiligen Ertragspotentialzone. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass beispielsweise in der blauen Zone die variable Aussaatstärke mit der konstanten Aussaatstärke an drei unterschiedlichen Stellen miteinander verglichen werden kann. Das Bild in Anlage A3 zeigt die originale Luftaufnahme mit einer Drohne. Die entsprechenden Aussaatstärken zu den Farben der Zählstrecken sind in Kapitel 5.5 Aussaatkarten definiert.



Abbildung 9: Versuchsplan des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“, mit eingezeichneten Zählstrecken der jeweiligen Ertragszone.



Abbildung 10: Versuchsplan des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“, mit eingezeichneten Zählstrecken der jeweiligen Ertragszone.

In Abbildung 10 ist der Versuchsplan des Schlages „Kieskuhle Meinkot“ dargestellt. Diese Abbildung wurde nach dem gleichen Schema erstellt wie der Versuchsplan des Schlages „Kalttes Bruch“. Die eingezeichneten Zählstrecken sind farbig markiert. Die jeweilige Farbe entspricht der Aussaatstärke der Aussaatkarte für diesen Schlag. Aufgrund der räumlichen Lage, die den Randbereich sowie den Vorgewenden entsprechen, sind die Aussatzonen der hellblauen und blauen Zone für die Bonituren vernachlässigt worden. Die gewählte Aussaatstärke in den jeweiligen Zonen entspricht der Aussaatkarte multipliziert mit dem Faktor 1,1. Diese Funktion bietet die Maschine, wodurch die Saatstärke bei der Aussaat prozentual verändert werden kann. Auf diesem Schlag wurden somit die drei Zonen grün, orange und rot für die Bonituren und die abschließende Beerntung berücksichtigt. In jeder Zone ist eine Zählstrecke mit einer Länge von 13,33m über zwei Reihen mit dem Abstand von 0,75m angelegt. Das ergibt 20m². Diese Zählstrecken sind in dreifacher Ausführung in den einzelnen Zonen auf dem Schlag wiederholt.

Die jeweiligen Zählstrecken mit einer konstanten, für diesen Betrieb üblichen Aussaatstärke von 9,0 K/m², sind als Vergleich zu der variablen Aussaatstärke angelegt. Diese konstanten

Zählstrecken sind ebenfalls in dreifacher Form in den drei betrachteten Zonen angelegt. Die konstanten Zählstrecken wurden an drei unterschiedlichen Stellen auf dem Schlag mit einer Breite von jeweils 16 Reihen, im 90° Winkel zur Bearbeitungsrichtung angelegt. Die Anlage in dieser Richtung soll bei der Beerntung eine bessere Wiederauffindbarkeit ermöglichen. Dieses Schema wird in Abbildung 10 durch die eingezeichneten Zählstrecken in den unterschiedlichen Farben deutlich. Deutlicher zu erkennen ist die Anlage der konstanten Drillspuren auf dem Luftbild des A2, diese Luftaufnahme vom 28.06.2017 ist die Grundlage für den georeferenzierten Versuchsplan in Abbildung 10.

5.3 Eingesetzte Technik

Zur Maisaussaat wurde eine Kverneland Optima HD eDrive mit ISOBUS eingesetzt. Die 8-reihige Maschine ist in Abbildung 11 zu sehen. Die pneumatische Maisdrillmaschine hat einen Reihenabstand von 75 cm. Außerdem kann Mineraldünger als Unterfußdüngung mit einem Doppelscheibenschaar ausgebracht werden. Auf der Maschine ist dafür ein 1.200 l Düngerbehälter angebracht [Kverneland group Soest GmbH 2008]. Eigens wurde zusätzlich vom Betrieb Bertram eine Unterfußdüngung für flüssige Düngemittel nachgerüstet. Dafür ist das auf der Abbildung 11 zu erkennende Frontfass mit einem Fassungsvermögen von 1.100 l angebracht. Der flüssige sowie der granulierten Dünger wird in einem Düngerschaar im Boden platziert. Der Flüssigdünger wird über eine Zapfwellenangetriebene Pumpe aus dem Fass nach hinten zu den Düngerschaaren transportiert. Als Schlepper wird ein Fendt 515 mit 150 PS Zugleistung eingesetzt. Der Schlepper ist mit Zwillingsbereifung auf beiden Achsen ausgerüstet. Der Schlepper ist zusätzlich mit einem Trimble Lenksystem (CFX-750) ausgerüstet.

Gesteuert wird die Maschine über ein ISOBUS Terminal von Kverneland, dieses wird als „IsoMatch Tellus“ bezeichnet (Siehe Anhang A4). Über dieses Terminal lassen sich einige Funktionen der Maisdrillmaschine steuern [Kverneland group Soest GmbH 2015]. Außerdem ist das Terminal mit dem Trimble Lenksystem gekoppelt, damit eine GPS-Position für die Funktion GEOcontrol vorhanden ist. Die Funktion GEOcontrol ist notwendig für eine Mengensteuerung der Saat sowie für eine automatische Teilbreitenschaltung der einzelnen Säheneinheiten [Kverneland group Soest GmbH 2015]. Das Terminal ist horizontal geteilt und zeigt zeitgleich zwei unterschiedliche Bilder an. So wird beispielsweise im oberen Bereich des Terminals die Funktion der Maisdrillmaschine angezeigt und im unteren Bereich die Aussaatmengenkarte, die in diesem Versuch eingesetzt wurde. In dem oberen Bereich des Terminals werden im Hauptbildschirm die gefahrene Geschwindigkeit in km/h, die gedrillte

Fläche in Hektar, die gewählte Aussaatstärke sowie die tatsächlich ausgebrachte Saat jedes einzelnen Sähaggregats angezeigt. Die gewählte Saatstärke wird in Körner/10m² eingestellt. Die tatsächlich ausgebrachte Saatmenge wird mittels Photozellen an jeder einzelnen Säheinheit ermittelt, dies dient ebenfalls als Überwachung, um Fehlstellen zu vermeiden [Kverneland group Soest GmbH 2015]. Durch die elektrisch angetriebenen Säheinheiten ist es möglich während des Drillbetriebs die Saatstärke zu verändern [Kverneland group Soest GmbH 2008]. In diesem Versuch wurden Aussaatkarten eingesetzt, wodurch die Maschine die Aussaatstärke automatisch aus der Aussaatkarte übernimmt und durch die Kopplung mit dem Lenksystem die genaue GPS-Position der Aussaatmenge zuordnet.



Abbildung 11: Maisdrillmaschine Optima HD eDrive mit ISOBus der Firma Kverneland.

5.4 Eingesetzte Maissorten

Auf der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“ wurde die Maissorte „Metronom“ des Züchterhauses Euralis eingesetzt. Die Reifezahl einer Maissorte gibt die Einstufung der Nutzungsrichtung in Abhängigkeit des Trockensubstanz-Gehalts (TS-Gehalt) wieder. Bis zum Jahr 1998 dienten FAO-Zahlen für eine Einstufung in Abreifegruppen. Die derzeit genutzten Reifezahlen bewegen sich in einem ähnlichen Spektrum wie die vorher geltenden FAO-Zahlen. Das weltweite Maissortiment erstreckt sich über einen Bereich von 100 bis 900. Wobei in Deutschland hauptsächlich Sorten mit einer Reifezahl zwischen 180 und 300 eingesetzt werden [Deutsches Maiskomitee e. V 2009]. Die Reifezahlen spiegeln die möglichen TS-Gehalte einer Maissorte wieder, die im Laufe der Vegetation bis zur Ernte erreicht werden können. Unterschieden wird zwischen Siloreifezahl und Körnerreifezahl. Die Siloreifezahl berücksichtigt den TS-Gehalt der Ganzpflanze, wohingegen bei der Körnerreifezahl

ausschließlich der TS-Gehalt des Korns betrachtet wird. Die Differenz der jeweiligen TS-Gehalte zu den Vergleichssorten der Prüfung wird genutzt, um die Körner- bzw. Siloreifezahl zu errechnen. Der Unterschied eines Prozentpunktes des TS-Gehalts entspricht einem Unterschied von 10 Reifeeinheiten und einer Abreifedifferenz von ein bis drei Tagen. Die Reifegruppen werden in frühe, mittelfrühe und mittelspäte eingeteilt. Dabei entsprechen Maissorten mit Reifezahlen bis 220 der frühen Reifegruppe, Reifezahlen zwischen 230 und 250 der mittelfrühen sowie Reifezahlen größer 260 der mittelspäten Reifegruppe. Dabei entsprechen die Abkürzungen „S“ und „K“ zum einen der Siloreifezahl und zum anderen der Körnerreifezahl. Der Vorteil dieser Reifegruppen gegenüber der FAO-Zahl liegt unter anderem darin, dass eine Maissorte je nach Nutzungsrichtung in zwei unterschiedliche Reifegruppen eingeteilt werden kann [Deutsches Maiskomitee e. V 2009]. Beispielsweise hat die Sorte „LG 32.16“ eine Siloreifezahl von 260 und eine Kornreifezahl von 240 [LG Seeds 2018]. Diese Angabe bedeutet, dass die Abreife des Korn schneller ist als die der Restpflanze. Der Erntetermin zur Silonutzung von Mais wird hauptsächlich vom TS-Gehalt bestimmt, der optimaler Weise zwischen 30 und 35 % liegt. Dieser TS-Gehalt wird von unterschiedlichen Sorten auf verschiedene Weise erreicht [Bayer Cropscience 2010]. Wie am Beispiel der Maissorten „LG 32.16“ beschrieben.

Die auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ eingesetzte Maissorte ES Metronom hat eine Silo- sowie Körnerreifezahl von 240. Somit wird diese Sorte der mittelfrühen Reifegruppe zugeordnet. Die Sorte wird in einer Liste des Bundessortenamtes in verschiedene Kriterien eingestuft, diese beschreiben Wachstumsverhalten, Reaktion der Sorte auf äußere Einflüsse sowie Qualitätsparameter der Silo- sowie der Körnernutzung. Die Bewertungsskala erstreckt sich über einen Bereich von eins bis neun, dabei bedeutet eine hohe Zahl immer eine höhere Ausprägung des Merkmals. ES Metronom wird wie folgt eingestuft: Zeitpunkt weibliche Blüte 6, Pflanzenlänge 8, Kälteempfindlichkeit in der Jugend 5, Neigung zu Lager 3, Neigung zu Bestockung 2, Abreifeegrad der Blätter 3, Gesamttrockenmasse 8, Stärkegehalt 4, Verdaulichkeit 5, Kornertrag 8 und Anfälligkeit für Stängelfäule 2. ES Metronom ist ein Einfachhybrid mit einem Hartmaisähnlichen Korntyp und ist seit 2014 zugelassen [Bundessortenamt 2017].

Auf dem Schlag „Kieskuhle Meinkot“ wurde die Sorte „Agro Vitallo“ des Züchterhauses Agromais angebaut. Diese Sorte hat eine Siloreifezahl von 270 und ist somit der mittelspäten Reifegruppe zuzuordnen. Laut der Sortenbeschreibenden Liste des Bundessortenamtes wird diese Sorte folgendermaßen eingestuft: Zeitpunkt weibliche Blüte 6, Pflanzenlänge 8,

Kälteempfindlichkeit in der Jugend 5, Neigung zu Lager 5, Neigung zu Bestockung 2 Abreifegrad der Blätter 2, Gesamttrockenmasse 8, Stärkegehalt 3 und Verdaulichkeit 4. Agro Vitallo ist ein Einfachhybride mit dem Korntyp „Zwischentyp“ der seit dem Jahr 2013 zugelassen ist [Bundessortenamt 2017].

5.5 Aussaatkarten

Die für diesen Versuch verwendeten Aussaatkarten wurden von der Firma „Agro-Sat“ erstellt. Die Aussaat des Maises fand am 27.04.2017 auf beiden Versuchsflächen statt. Der Ursprung dieser Karten, wurde mittels Biomasse über Fernerkundungsdaten erstellt [Rose 2017]. Durch die Einteilung in Managementzonen innerhalb der Schläge kann eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung erfolgen. Das genaue Verfahren um diese Karten zu erstellen ist im Technischen Hintergrund in Kapitel 4.5 beschrieben. In *Abbildung 1212* ist die Aussaatkarte der Versuchsfläche „Kaltel Bruch“ dargestellt. Die Fläche ist in fünf unterschiedliche Managementzonen eingeteilt. Die Zonen werden von Zone 1 in rot, von einem sehr hohen Ertragspotential, bis Zone 5 in dunkelblau, sehr niedriges Ertragspotential eingeteilt. Das relative Ertragspotential erstreckt sich innerhalb der Fläche von 70-130 %. Die Aussaatstärken zu den jeweiligen Managementzonen ergeben sich zum einen durch die ausgewählten Maissorten und zum anderen durch eine Bodenansprache des Schlages vor der Aussaat. Bei dieser Bodenansprache wird die Bodenfeuchte in unterschiedlichen Tiefen in den Managementzonen bestimmt, wie in Anlage A5 zu erkennen ist.



Abbildung 12: Die Aussaatkarte der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“ mit den zugehörigen Aussaatstärke in K/m².
Quelle: Agro-Sat, 2017.

Die Aussaatstärken der einzelnen Managementzonen sind in Abbildung 12 in der rechten Bildhälfte in der Einheit Körner/m² dargestellt. Für Zone 1 (rot) ist somit eine Aussaatstärke von 11,06 Körner/m² vorgesehen. Der Flächenanteil dieser Zone mit einem sehr hohen Ertragspotential beträgt 20,86 %. Der Flächenanteil für Zone 2 (gelb) beträgt 21,81 % und die dazugehörige Aussaatstärke liegt bei 10,30 Körner/m². Die grüne Zone 3 mit einem mittleren Ertragspotential bedeckt den größten Flächenanteil mit 32 %. Die Aussaatstärke liegt bei 9,54 Körner/m². Den geringsten Flächenanteil mit 7,41 % besitzt Zone 4 (hellblau), aufgrund dessen wurde diese Zone aus den Bonituren ausgenommen. Die Aussaatstärke liegt bei 8,78 Körner/m². Die blaue Zone 5 spiegelt die Zone mit dem geringsten Ertragspotential wieder und hat einen Flächenanteil von 17,93 %. Die vorgesehene Aussaatstärke liegt bei 8,03 Körner/m². Die Aussaatkarten sind in einem ISO-XML Format vorhanden und werden mit einem USB-Stick auf das Terminal „Isomatch Tellus“ übertragen. Dieses Format kann von dem Terminal verarbeitet werden und ist dann wie in Anlage A4 im unteren Bereich des Terminals zu erkennen. Zum Vergleich wurden konstante Bahnen gedreht. Davon wurden auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ vier gedreht. Für diese Konstanten Drillbahnen wurde eine betriebsübliche Aussaatstärke von 8,50 Körner/m² ausgewählt.



Abbildung 13: Aussaatkarte des Versuchsschlages „Kieskuhle Meinkot“ mit zugehöriger Aussaatstärke in K/m^2 . Diese Aussaatstärken wurden für diesen Versuch mit dem Faktor 1,1 multipliziert und so ausgesät, Quelle, Agro-Sat, 2017.

Auf der Abbildung 13 ist die Aussaatkarte der Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“ dargestellt. Die fünf verschiedenen Farben stellen die unterschiedlichen Managementzonen dar. Die Fläche ist rot eingerahmt und in fünf Managementzonen eingeteilt. Der linke Teil der Fläche, der auf diesem Bild mit eingerahmt ist, gehört nicht mehr zu dem Versuchsschlag. Diese Karte wurde versehentlich durch die Firma Agro-Sat mit erfasst. Diese Einteilung von rot, „sehr gut“ bis dunkelblau, „schlecht“ ist nach dem gleichen Schema wie die Aussaatkarte der Fläche „Kaltes Bruch“ erstellt worden. Die Zahlen in den jeweiligen Zonen geben die Aussaatstärke in Körner/ m^2 an. Anhand von Erfahrungswerten des Betriebsleiters Hendrik Schünemann wurde die Aussaatstärke der jeweiligen Zone angepasst. Die Anpassung konnte im Terminal der Drillmaschine eingestellt werden. Dabei wurde die Aussaatkarte mit einem Faktor von 1,1 multipliziert, woraufhin sich folgende Aussaatstärken ergaben:

Zone 1: 9,05 Körner/ m^2

Zone 2: 8,68 Körner/ m^2

Zone 3: 8,29 Körner/ m^2

Zone 4: 7,92 Körner/m²

Zone 5: 7,55 Körner/m²

Die konstante Vergleichsvariante wurde auf diesem Schlag mit 9,0 Körner/m² angelegt. Diese Aussaatstärke ist auf dem Betrieb von Hendrik Schünemann aufgrund der Berechnungsmöglichkeit der Flächen seit einem längeren Zeitraum etabliert.

Für die Bonituren und die Beerntung sind die Zonen 4 und 5 nicht berücksichtigt worden. Diese Entscheidung wurde getroffen, da diese Zonen nur einen geringen Flächenanteil der Fläche haben und deren Lage im Rand- und Vorgewendebereich ist. Die Randbereiche entlang der „Kirchstraße“ sind durch Baumschatten beeinträchtigt.

5.6 Bonituren

Damit die Bonituren in den jeweiligen Managementzonen erfolgen können, wurden diese mithilfe eines GPS-Empfängers und einem Panasonic Toughbook, was auf einer VW T5 Pritsche montiert wurde, gesucht. Anschließend wurden jeweils Zählstrecken von 20 m² festgelegt, wie in dem Versuchsplan zu erkennen ist. Die Zählstrecken wurden durch entfernen von Pflanzen am Beginn sowie am Ende der Strecken markiert. Außerdem wurden weiße Markierungsstangen gesteckt. Die Länge der Zählstrecken beträgt 13,33 m, was durch ein Maßband bestimmt wurde. Da der Reihenabstand des Maises bei 0,75 m liegt, ergibt sich bei der Bonitur von jeweils zwei Reihen auf einer Länge von 13,33 m die Fläche von 20 m². Zusätzlich wurden die Zählstrecken mithilfe eines iPad und der App „Pocket Earth Pro“ [LLC o.J.] auf der Fläche eingezeichnet, sodass die Parzellen mittels GPS zur Ernte wiederzufinden sind.

5.6.1 Feldaufgang

Der Feldaufgang wurde in den beschriebenen Zählstrecken auf jeweils 20 m² gezählt. Der Feldaufgang wurde am 27.05.2017 gezählt. Dies wurde auf der Fläche „Kaltes Bruch“ in den Managementzone eins, zwei, drei und fünf an drei unterschiedlichen Punkten zur Wiederholung betrieben. Außerdem wurde der Feldaufgang als Vergleich in den konstanten Spuren ebenfalls in dreifacher Wiederholung auf 20 m² gezählt. Somit ergeben sich auf der Fläche „Kaltes Bruch“ 24 Zählstrecken mit jeweils einer Größe von 20 m².

Auf der Fläche „Kieskuhle Meinkot“ wurden ebenfalls 20 m² große Zählstrecken mithilfe der oben genannten Technik eingemessen. Dabei wurden die Managementzonen eins, zwei und

drei betrachtet. Es wurden für jede dieser Managementzonen drei Wiederholungen in der variablen Aussaatstärke sowie drei Wiederholungen in der konstanten Aussaatstärke angelegt. Somit ergeben sich für die Fläche „Kieskuhle Meinkot“ 18 Zählstrecken mit der jeweiligen Größe von 20 m².

5.6.2 Bestockungsneigung

Damit die Bestockungsneigung der Maispflanzen bestimmt werden konnte, wurden die Bestockungstriebe gezählt. Dabei wurde am 17.06.2017 auf das Vorhandensein von Bestockungstrieben geprüft. Die Bestockungstriebe wurden in den jeweiligen Zählstrecken auf einer Fläche von 20 m² gezählt. Die Länge der jeweiligen Bestockungstriebe wurde nicht berücksichtigt. Im weiteren Verlauf der Vegetation wurden am 10.09.2017 die Bestockungstriebe erneut gezählt. An dem zweiten Boniturtermin wurde allerdings festgestellt, dass die Bestockungstriebe nicht vorhanden waren.

5.6.3 Kolbenansatz

Als ein Ertragsparameter für den Gesamtpflanzenenertrag gilt der Kolben. Daher wurde der Kolbenansatz am 10.09.2017 gezählt. Dabei wurde der Kolbenansatz in den jeweiligen Zählstrecken auf 20m² gezählt. Dies wurde auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ in den Zonen 1,2,3 und 5 zum einen in dem Bereich der variablen Aussaatstärke und zum anderen in dem Bereich mit konstanter Aussaatstärke durchgeführt. Auf dem Schlag „Kieskuhle Meinkot“ wurden die Kolben in den Zonen 3,4 und 5 auf einer Fläche von 20m² erfasst.

5.6.4 Maiszünsler und Maisbeulenbrand



Abbildung 14: Ausprägungen des Maisbeulenbrands an einem Maiskolben.

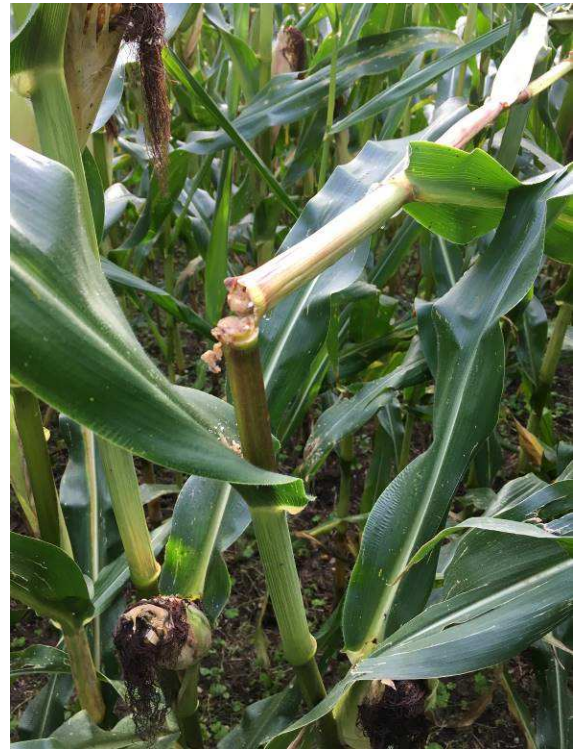


Abbildung 15: Maisstängel der durch ein Bohrloch des Maiszünslers abgeknickt ist

Im Zuge der Bonitur des Kolbenansatzes in den beschriebenen Zählstrecken wurden die Schäden des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) bonitiert. Dabei wurden alle Stängel, welche durch ein Bohrloch abgeknickt sind, quantifiziert. Außerdem wurden die Ausprägungen des durch den Pilz *Ustilago maydis* verursachten Maisbeulenbrand erfasst. Dabei wurden die befallenen Kolben der Maispflanze gezählt. Als Veranschaulichung dient die am 10.09.2017 aufgenommene Abbildung 14, dort ist eine Ausprägung des Maisbeulenbrands an einem Maiskolben abgebildet. Abbildung 15 zeigt ein Bohrloch des Maiszünslers, was ein abknicken des Stängels zur Folge hatte. Abbildung 15 wurde am 10.09.2017 aufgenommen.

5.6.5 Frischmasseertrag und Körner pro Kolben

Bevor die Handernte am 16.09 und 17.09.2017 durchgeführt wurde, sind auf dem Versuchsschlag „Kaltes Bruch“ zwei Schneisen in einem Abstand von 72m und einer Breite von neun Metern gehäckselt worden. Dies diente zur besseren Orientierung und ersparte Transportwege zwischen Parzelle, Waage und Holzhäcksler. Der Frischmasseertrag wurde in den beschriebenen Zählstrecken durch eine Handernte mit anschließender Verwiegung ermittelt. Dabei wurden in den Zählstrecken von jeweils 20m² zwei nebeneinander liegende

Reihen auf einer Länge von zwei Metern beerntet. Das ergibt bei einem Reihenabstand von 0,75m eine Fläche von 3m² pro Zählstrecke, die von Hand geerntet wurde. Die 3m² Erntefläche wurde willkürlich innerhalb der Zählstrecken bestimmt. In Abbildung 16 ist eine bereits abgeerntete Parzelle vom 16.09.2017 abgebildet. Die Länge dieser Parzelle wurde mithilfe eines Zollstocks bestimmt. Die Ernte wurde mithilfe einer Machete der Firma „Fiskars“ durchgeführt, die ebenfalls auf der Abbildung 16 zu sehen ist. Die Stoppellänge wurde zwischen 22 und 23cm gewählt. Bevor die Pflanze abgeschlagen wurde, sind die Kolben der Pflanzen von den 3m² entnommen worden. Die Kolben wurden, frisch, komplett mit Lieschblatt mithilfe einer Zugwaage gewogen. Dadurch wurde das Kolbengewicht pro 3m² bestimmt.



Abbildung 16: Geerntete 3m² Versuchsparzelle des Schlages „Kaltes Bruch“.



Abbildung 17: Holzhäcksler, der zur Zerkleinerung des Maises nach der Ernte genutzt wurde.

Die Restpflanze wurde nach dem Abschlagen gebündelt und ebenfalls frisch gewogen. Damit der Trockenmassegehalt sowie weitere inhaltliche Parameter bestimmt werden können, wurde die Restpflanze sowie der Kolben mit einem zapfwellenbetriebenen Holzhäcksler der Firma „Jansen“ zerkleinert. Der hierfür eingesetzte Holzhäcksler ist auf der Abbildung 17 dargestellt.

Mit diesem Holzhäcksler konnte in die Nähe der jeweiligen Parzelle gefahren werden. Das Häckselgut wurde anschließend gewogen und in Papiertüten gelagert.

Als ein weiterer ertragsbestimmender Parameter wurde die Anzahl der Körner pro Kolben von den geernteten Kolben bestimmt. Dies wurde pro abgeernteter Parzelle bei fünf Kolben durchgeführt.

5.6.6 Trockenmasseertrag

Der Trockenmassegehalt der Maisproben wurde anhand von 1500g Frischmasse (FM) bestimmt. Dies wurde mithilfe eines Trockenschrankes bei einer Temperatur von 60°C durchgeführt. Die Trockenmasse wurde mittels Verwiegung bestimmt. Der absolute Trockenmassegehalt ist dann erreicht, wenn das Gewicht der Masse sich nicht mehr verändert. Die Dauer der Trocknung in einem Trockenschrank dauerte von zwei bis vier Tage. Ein Teil der Proben wurde in Göttingen an dem Institut für Agrartechnik getrocknet. Dies fand in vier unterschiedlichen Schränken statt, wobei zwei Klimaschränke mit Umluft eine maximale Temperatur von 45°C erreichten. Außerdem wurde ein Schrank bis 60°C ohne Umluft und ein Schrank mit Umluft bei einer Temperatur von 60°C genutzt. 25 der 42 Proben wurden in diesen Schränken etappenweise getrocknet. Sodass beispielsweise eine Probe zwei Tage in einem Klimaschrank vorgetrocknet wurde und anschließend in dem Trockenschrank bei 60°C mit Umluft vollständig getrocknet wurde. Die restlichen 17 Proben wurden tiefgefroren zum vorübergehenden Konservieren und danach in einem Trockenschrank bei 60°C getrocknet.

5.6.7 Qualitätsparameter Rohprotein, Stärke und Zucker

Damit ausgewählte Qualitätsparameter des Mais-Häckselgutes bestimmt werden können, muss das Material zerkleinert werden. Damit das Grobmaterial ordnungsgemäß zerkleinert werden kann, wurden die Proben direkt vor dem Zerkleinern in einem Trockenschrank erneut bei 60°C getrocknet. Anschließend wurde das Material mit einer Schneidmühle der Firma Retsch zerkleinert. Die Schneidmühle ist in Abbildung 18 abgebildet. Das Modell „Retsch 300“ verfügt über eine variable Drehzahlverstellung im Bereich von 700 bis 3000 Umdrehungen pro Minute. Für den Mais wurde eine Drehzahl von 3000 Umdrehungen gewählt, um die größtmögliche Zerkleinerung zu erreichen. Das Häckselgut wurde somit auf eine Größe von 0,3 bis 0,5mm zerkleinert. Anschließend wurde das zerkleinerte Material zur Lagerung in 2l Laborflaschen abgefüllt. Zwischen den 42 Proben wurde jeweils die Mühle mithilfe von Druckluft gesäubert, um eine Vermischung der Proben zu verhindern.

Für eine genaue Bestimmung der Inhaltsstoffe war eine weitere Zerkleinerung mit einer Schwingmühle notwendig. Der Hersteller der eingesetzten Schwingmühle war ebenfalls Retsch, die Bezeichnung des Modells lautet „MM400“. Die Schwingmühle ist in Abbildung 19 abgebildet. Die Zerkleinerungsleistung einer Schwingmühle wird durch Aufprall und Reibung erzielt. Besonders für die Bestimmung des Rohproteins ist eine maximale Zerkleinerung Voraussetzung. Die Schwingmühle kann zeitgleich zwei Proben vermahlen. Jede Probe wird zusammen mit einer Mahlkugel in einen Mahlbecher gefüllt. Die eingesetzte Mahlkugel hat eine Größe von 20mm. Die Mahlbecher wurden jeweils bei einer Frequenz von 30 Schwingungen pro Sekunde für eine Zeit von 30 Sekunden geschwungen. Hierdurch wurde eine Endfeinheit von ungefähr 10µm erreicht. Die Mahlbecher sowie die Mahlkugeln wurden zwischen allen Proben mit Wasser gesäubert.



Abbildung 18: Schneidmühle „Retsch 300“



Abbildung 19: Schwingmühle „Retsch MM400“

Die einzelnen Proben wurden in Papiertüten gefüllt und in einem Exsikkator gelagert, damit eine Befeuchtung der Proben ausgeschlossen ist.

Die Inhaltsstoffe Rohprotein, Zucker und Stärke werden jeweils untersucht. Für die jeweilige Untersuchung werden unterschiedliche Mengen des zerkleinerten Materials benötigt, sowie verschiedene Methoden angewandt.

Rohprotein

Zur Bestimmung von Rohprotein wird eine Menge des zerkleinerten Materials von 3,5 bis 4 mg benötigt. Dies wird mit einer modernen Feinwaage der Firma Sartorius unter Luftabschluss bestimmt. Die Waage überträgt die Gewichte der Einwaage direkt in eine Exceltabelle auf einem damit verbundenen Rechner. Die Bestimmung des Rohproteins wird durch eine C-N-Analyse ermittelt. Dafür wird das vermahlene Material in ein Zinnhütchen gewickelt und anschließend mithilfe einer optischen Emissionsspektroskopie analysiert. Dabei wird das C-N-Verhältnis des Maises bestimmt. Multipliziert wird der erhaltene Wert mit 6,25 [Gaza 2016a], damit der Rohproteingehalt errechnet wird.

Stärke

Für die Bestimmung des Stärkegehaltes wurde das Material verwendet, welches nur durch die Schneidmühle zerkleinert wurde. Dafür wurden je Probe 2,5g abgewogen und in einen 100ml Messkolben gefüllt. Nach der Einwaage des Materials wurden 25 ml der 1,124% iger Salzsäure (HCL) hinzugeführt. Die Probe wurde geschüttelt, bis diese klumpfrei und gut durchmischt war. Anschließend wurden nochmals 25 ml von HCL zugegeben. Der Messkolben wurde anschließend für 15 Minuten in ein siedendes Wasserbad gestellt. Während der ersten 8 Minuten wurden die Proben in dem Wasserbad geschwenkt. Nachdem die Proben in dem Wasserbad waren, wurden diese mit destillierten Wasser auf ein Volumen von 90 ml aufgefüllt und wurden auf Zimmertemperatur abgekühlt. Nach dem Abkühlen der Proben wurden 5 ml von 10% iger Wolframatophosphorsäure zupipettiert und die Proben wurden kräftig geschwenkt. Die Messkolben wurden daraufhin mit destillierten Wasser bis zum Eichstrich aufgefüllt. Danach wurde die Flüssigkeit aus den Messkolben in einen Erlenmeyerkolben filtriert. Das Filtrat wurde dann an einem Polarimeter bei 589 nm gemessen. Bei dieser Messung erhält man einen Winkel, der notwendig für die Berechnung des Stärkegehaltes ist. Die Berechnung des Stärkegehaltes wird durch folgende Formeln ermittelt [Gaza 2016b].

$$c = \frac{\alpha}{([\alpha]_D^{20} * l)}$$

c= Konzentration in g/ml

α = gemessener Winkel in Grad

$[\alpha]_D^{20}$ = spezielles Drehvermögen

l= Länge der Polarimeterröhre in dm

$$\text{Gehalt [\%i.TM]} = (c * \text{ExVol} * \frac{100}{\text{Einw}}) / \frac{\text{TM}}{100}$$

ExVol: Extraktionsvolumen in ml

Einw: Einwaage in g

Zucker

Die Ermittlung des Zuckergehaltes der Maisproben wurde mithilfe eines Hochleistungsflüssigkeitschromatographen (HPLC, high performance liquid chromatography) durchgeführt. Dafür wurde eine Menge von 0,5g des mit der Schwingmühle vermahlenden Materials benötigt. Die Menge wurde mit einer Waage eingewogen und auf einen Rechner übertragen. Die abgewogene Menge des Materials wurde in ein Röhrchen gefüllt. Anschließend wurde dem Material eine Menge von 7ml Wasser zugesetzt. Die Röhrchen wurden eine Stunde lang geschüttelt. Danach wurde dem Gemisch jeweils 0,5ml Carrez I und Carrez II zugesetzt. Das Röhrchen wurde danach in einer Zentrifuge bei 10.000 Umdrehungen pro Minute 15 Minuten lang zentrifugiert. Die Flüssigkeit wurde anschließend aus dem Röhrchen pipettiert und durch einen Filter in eine Ampulle gefüllt. Die Ampulle wurde abschließend in einen HPLC gestellt, worin dann der Zuckergehalt ermittelt wird. Dadurch werden die drei Zuckerformen Saccharose, Fruktose und Maltose bestimmt [Jansen 2018].

5.7 Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung

Der Bodenwassergehalt wurde auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ mit dem Einsatz von Stechzylindern ermittelt. Dabei wurde das Frischgewicht sowie das Trockengewicht nach dem Einsatz eines Trockenschrankes bei 105 °C ermittelt. Die Probenahme fand an drei unterschiedlichen Stellen des Schlages, am 17.05.2017 statt. Diese Punkte sind in Abbildung 3 mit einem roten Kreuz markiert. Die Punkte sind in den Bodenarten S 22, IS/Mo 38 und LT 55 gewählt. An jedem der drei Punkte wurden in zwei verschiedenen Tiefen vier Proben

genommen. Die eingesetzten Stechzylinder haben eine Höhe von 5 cm und ein Volumen von 100 cm³. Für die Probenahme wurde ein Bodenabtrag mit einem Spaten durchgeführt. Anschließend wurden die vier Stechzylinder mit Hammer und Schlägeisen in den Boden geschlagen. Die Stechzylindern wurden dann mit einem Spachtel und einem Messer freigelegt und sauber aus dem Boden entfernt. Die erste Tiefe der Beprobung liegt wie in Abbildung 20 zu sehen ist zwischen 10 und 15 cm, dabei wurden also 10 cm Boden von der Oberfläche entfernt. Die zweite Tiefe der Beprobung wurde wie auf der Abbildung im Anhang A6 zu erkennen ist, zwischen 35 und 40 cm durchgeführt. Anschließend wurden die Bodenproben in den Stechzylindern nach Göttingen transportiert und dort frisch gewogen und für eine Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung vorbereitet.



Abbildung 20: Schlageisen mit vier in den Boden eingesetzten Stechzylindern



Abbildung 21: 24 mit Boden gefüllte Stechzylinder zur Analyse der Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung.

In der Abbildung 21 sind 24 mit Boden gefüllte Stechzylinder abgebildet. Die Stechzylinder wurden an der Unterseite mit Filterpapier geschlossen. Diese sind auf Keramikplatten platziert, die anschließend in den Drucktopf gestellt worden. Die Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung wurde mit der Drucktopf-Methode ermittelt. Die Bestimmung dieser Beziehung dient zur Feststellung des Wasserspeichervermögens des Bodens. Dabei besteht das Ziel darin, zu ermitteln, welche Wassermengen bei einer bestimmten Saugspannung im Boden gehalten werden können. Bei der hier eingesetzten Drucktopfmethode werden die zuvor genommenen Stechzylinderproben unter Vakuum mit Wasser gesättigt. Diese Proben werden anschließend auf einer keramischen Platte in einen Drucktopf gestellt. Es werden schrittweise steigende Drucke in den Drucktopf gegeben. Ein Teil des Wassers wird somit bei den unterschiedlichen Druckstufen aus den Bodenproben herausgedrückt. Das Ergebnis dieser Messung sagt aus, mit welcher Saugspannung wieviel Wasser in dem Boden gehalten werden kann [Ahl *et al.* 2017].

5.8 Verrechnung und Statistik

Die statistische Verrechnung der Versuchsdaten wurde mittels der Statistik-Software SAS durchgeführt. Einige erhobene Parameter zeigen in den dargestellten Abbildungen als Streuungsmaß der jeweiligen Wiederholungen um den Mittelwert den Standardfehler, der durch einen Fehlerbalken dargestellt ist. Für die multiplen Vergleiche der Mittelwerte wurde der Tuckey-Test mit einem Signifikanzniveau von 0,05 verwendet. Enthalten die Säulen innerhalb der Abbildungen eine Kennzeichnung mit unterschiedlichen Buchstaben (a, b, c bzw. A, B, C), konnten mittels Tuckey-Test signifikante Unterschiede festgestellt und in den Abbildungen dargestellt werden.

6 Ergebnisse

Der Ergebnisteil veranschaulicht die im Versuch gewonnenen Ergebnisse in unterschiedlichen Formen. Die Ergebnisse werden für die beiden Versuchsschläge „Kaltes Bruch“ und „Kieskuhle Meinkot“ dargestellt. Die Beschreibungen rot, gelb, grün und blau bedeuten jeweils die Ertragspotentialzone des jeweiligen Schlages. Verglichen werden jeweils die variablen Aussaatstärken mit den konstanten Aussaatstärken. Auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ bedeutet eine konstante Aussaatstärke 8,5K/m². Die konstante Aussaatstärke auf dem Schlag „Kieskuhle Meinkot“ umfasst 9,0K/m².

6.1 Feldaufgang und Kolbenansatz

Kaltes Bruch

Der Feldaufgang des Versuchsschlages „Kaltes Bruch“ wurde in der Abbildung 22 durch ein Balkendiagramm dargestellt. Dabei wurden die Ertragspotentialzonen rot, gelb, grün sowie blau berücksichtigt. In dieser Abbildung handelt es sich um die Vergleichsvariante mit einer konstanten Aussaatstärke. Die konstante Aussaatstärke ist mit 85.000 Körnern/ha durchgeführt worden. Diese geplante Aussaatstärke ist durch die roten Punkte als Zielpflanzen in dem Diagramm dargestellt. Die blauen Balken zeigen die gezählten Pflanzenzahlen am 27.05.2017. Die dargestellten Werte zeigen einen Mittelwert aus n=6 Werten. Die Fehlerbalken an der oberen Kante der blauen Balken stellen den Standardfehler dar. Die geringsten Pflanzenzahlen wurden in der roten Zone mit 78.333 Pflanzen/ha ermittelt. Das entspricht einem Feldaufgang von 92%. Dahingegen wurden in der grünen Zone 82.500 Pflanzen/ha gezählt. Diese Pflanzenzahl entspricht einem Feldaufgang von 97 %. Der Feldaufgang der blauen und gelben Ertragszone liegt bei 80.833 bzw. 80.666 Pflanzen/ha.

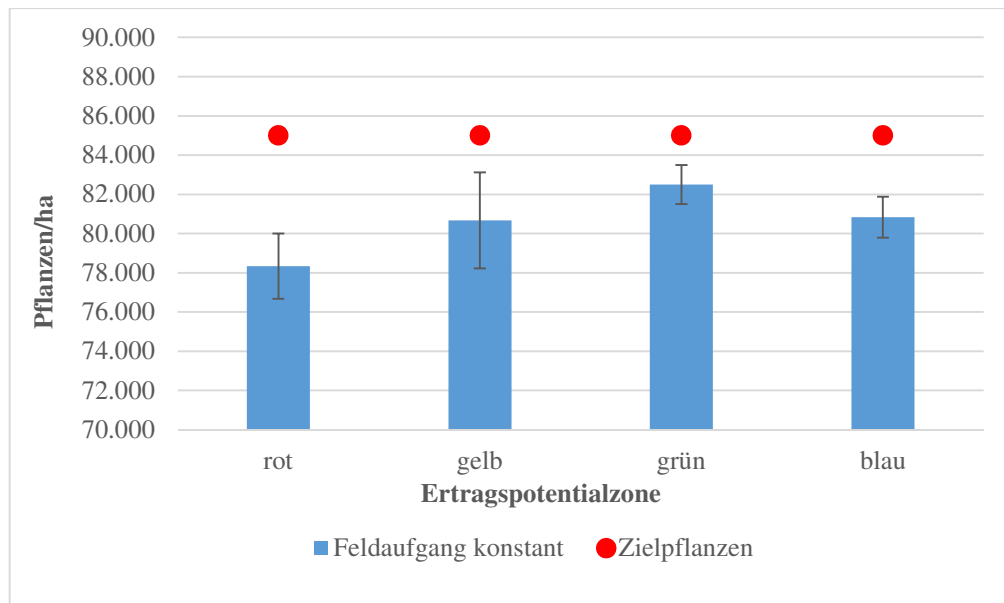


Abbildung 22: Feldaufgang auf dem Versuchsfeld „Kaltel Bruch“ in den vier beobachteten Ertragspotentialzonen, der konstanten Aussaatstärke mit 85.000 Zielpflanzen/ha.

Der Feldaufgang der variablen Aussaatstärke auf dem Schlag „Kaltel Bruch“ ist in Abbildung 23 veranschaulicht. Die Pflanzen/ha sind auf der Ordinate aufgetragen. Die blauen Balken zeigen den jeweils ermittelten Feldaufgang in den Zonen rot, gelb, grün und blau. Die darüber liegenden roten Punkte „Zielpflanzen“ zeigen die geplante Aussaatstärke für die jeweilige Zone. An den blauen Balken sind Fehlerbalken dargestellt, diese zeigen den Standardfehler an. Die blauen Balken zeigen die Mittelwerte aus $n=6$.

Werte mit den gleichen Kleinbuchstaben sind nicht signifikant verschieden, bei einem Signifikanzniveau von 0,05. Der Feldaufgang in der roten Zone ist signifikant höher als in der gelben, grünen und blauen Zone. Der Feldaufgang liegt im Bereich von 90,7% in der roten Zone mit 100.333 Pflanzen/ha und in der gelben Zone mit 93,500 Pflanzen/ha bei 95,7% mit 91.333 in der grünen Zone. In der blauen Zone wurde ein Feldaufgang von 94,2% mit 75.666 Pflanzen/ha ermittelt.

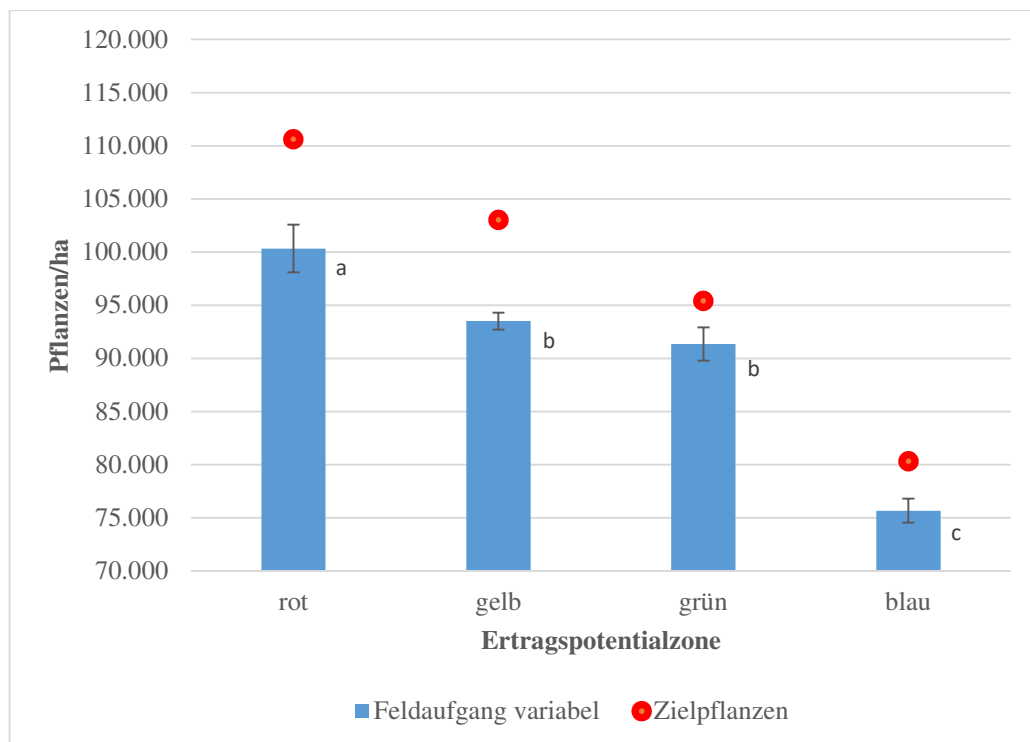


Abbildung 23: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in den vier Ertragspotentialzonen. Bei variabler Aussaatstärke. Werte mit gleichen Buchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test).

In Tabelle 3 ist der Kolbenansatz des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in Kolben/ha dargestellt. Dabei werden die vier Ertragspotentialzonen bei konstanter sowie variabler Aussaatstärke aufgelistet. In der roten Zone wurden bei variabler Aussaatstärke 96.166 Kolben/ha ausgebildet. Bei konstanter Aussaatstärke wurden in gleicher Zone 84.666 Kolben/ha gebildet. In der gelben Zone wurden ebenfalls bei variabler Aussaatstärke mit 93.333 mehr Kolben/ha ausgebildet als bei konstanter Aussaatstärke, wobei 90.166 Kolben/ha ausgebildet wurden. In der grünen und blauen Ertragspotentialzone sind bei variabler Aussaatstärke jeweils weniger Kolben/ha ausgebildet worden als durch eine konstante Aussaatstärke. In der blauen Ertragspotentialzone wurden die wenigsten Kolben bei variabler Aussaatstärke mit 79.166 Kolben/ha ausgebildet.

Ertragszone	rot		gelb		grün		blau	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Kolbenansatz	84.666	96.166	90.166	93.333	92.000	91.500	82.666	79.166

Tabelle 3: Kolbenansatz in Kolben/ha auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ in den vier Ertragspotentialzonen, bei variabler und konstanter Aussaatstärke.

Kieskuhle Meinkot

Abbildung 24 zeigt den Feldaufgang des Versuchsschlages „Kieskuhle Meinkot“ in der Vergleichsvariante mit konstanter Aussaatstärke. Dabei sind die Ertragszonen rot, gelb und

grün berücksichtigt. Die Abbildung zeigt den absoluten Feldaufgang, die Zielpflanzen und den Standardfehler als Fehlerbalken. Die Zielpflanzen der konstanten Aussaatstärke in den drei Ertragszonen liegt bei 90.000 Pflanzen. Die Zielpflanzen sind in dem Diagramm durch einen roten Punkt gekennzeichnet. In der roten Ertragszone sind davon am 27.05.2017 87.500 Pflanzen aufgelaufen, was einem prozentualen Feldaufgang von 97,22% entspricht. Der Feldaufgang der gelben Ertragszone liegt bei 86.000 Pflanzen/ha, was einem prozentualen Feldaufgang von 95,56% entspricht. In der grünen Ertragszone wurde der höchste Feldaufgang mit 88.000 Pflanzen/ha erzielt.

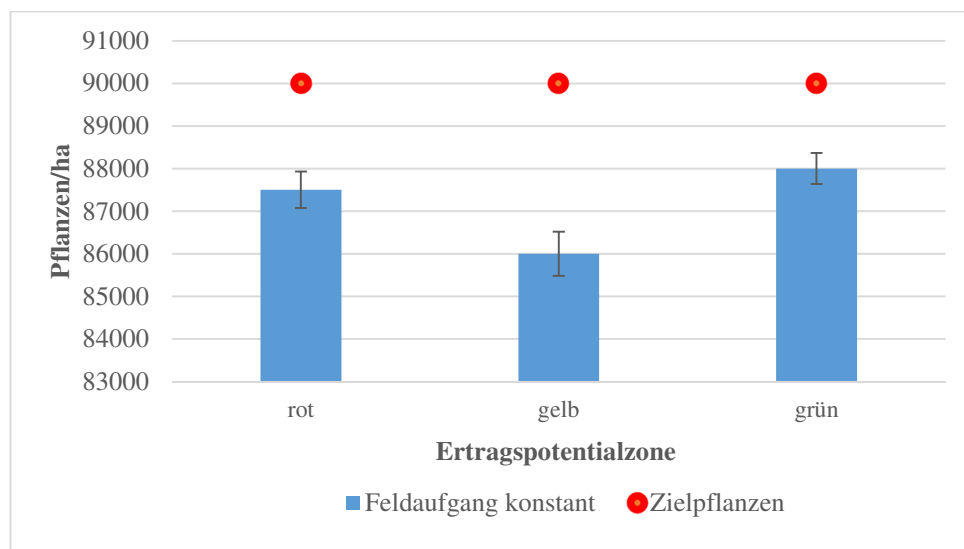


Abbildung 24: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen der konstanten Aussaatstärke mit 90.000 Zielpflanzen/ha.

In Abbildung 25 ist der Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragszonen rot, gelb und grün dargestellt, bei variabler Aussaatstärke durch die Aussaatkarte. An den Balkendiagrammen ist der Standardfehler dargestellt. Die Feldaufgänge sind wie durch die Kennzeichnung mit Kleinbuchstaben angegeben, signifikant verschieden. In der roten Zone sind signifikant mehr Pflanzen aufgelaufen als in der gelben und grünen Ertragszone. In der roten Ertragszone sind am 27.05.2017 86.833 Pflanzen/ha aufgelaufen, was einem Feldaufgang von 95,95% entspricht. In der gelben Ertragszone sind 82.333 Pflanzen/ha von geplanten 86.800 Pflanzen aufgelaufen. Der höchste Feldaufgang wurde in der grünen Ertragszone mit 97,10% festgestellt, hier sind 80.500 Pflanzen/ha aufgelaufen.

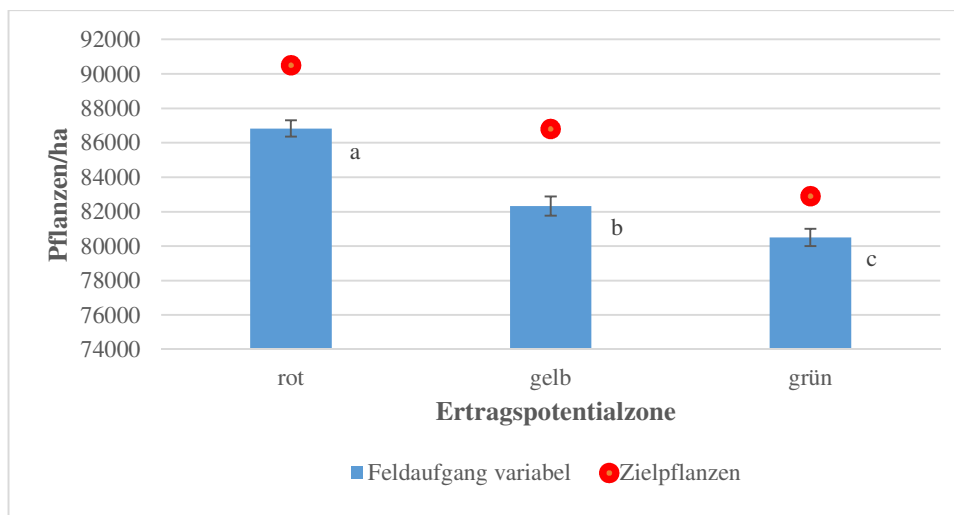


Abbildung 25: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen der variablen Aussaatstärke. Werte mit gleichen Buchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test).

In Tabelle 4 ist der Kolbenansatz pro ha angegeben. Die wenigsten Kolben bildeten die Pflanzen in der roten und grünen Ertragszone bei variabler Aussaatstärke aus. Hier bildeten die Pflanzen jeweils 76.666 Kolben pro ha aus. Die meisten Kolben bildeten die Pflanzen in der roten Ertragszone bei konstanter Aussaatstärke mit 79.166 und der gelben Ertragszone bei variabler Aussaatstärke mit 80.500 Kolben pro ha. In keiner der Ertragszonen bei konstanter sowie variabler Aussaatstärke bildeten die Pflanzen mehr als einen Kolben pro Pflanze aus. Dahingegen bildeten einige Pflanzen keinen Kolben aus.

Ertragszone	rot		gelb		grün	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Kolbenansatz	79.166	76.666	77.300	80.500	78.166	76.666

Tabelle 4: Kolbenansatz in Kolben/ha auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen, bei variabler und konstanter Aussaatstärke.

6.2 Bestockungstriebe, Maiszünsler und Maisbeulenbrand

Kaltes Bruch

In der Tabelle 5 ist die Bildung von Bestockungstrieben der Maispflanzen zum Zeitpunkt 17.06.2017 auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ aufgeführt. Die Ausprägung der Bestockungstriebe ist pro ha aufgelistet. Weiterhin ist der Befall von Maispflanzen durch den Maiszünsler sowie der Befall von Maisbeulenbrand aufgeführt. Die genannten Ausprägungen sind in Abhängigkeit von der Ertragspotentialzone sowie der Saatstärke, die in konstant und variabel unterteilt ist, dargestellt. Die Ausprägungen des Maiszünslers sowie des Maisbeulenbrandes wurden am 10.09.2017 bonitiert. In der Ertragspotentialzone rot bildeten in

der konstanten Aussaatstärke 59.333 Pflanzen einen Bestockungstrieb pro ha, wohingegen die Pflanzen mit variabler Aussaatstärke, die deutlich höher lag, 8.000 Pflanzen Bestockungstriebe pro ha ausbildeten. In der Niedrigertragszone blau haben die Pflanzen mit der konstanten Aussaatstärke 39.167 Bestockungstriebe pro ha gebildet.

Durch den Maiszünsler sind am wenigsten Pflanzen in der Ertragszone gelb mit 833 Pflanzen/ha bei der konstanten Aussaatstärke befallen. In der variablen Aussaatstärke sind dahingegen 1.500 Pflanzen befallen. Der höchste Befall ist in der Ertragszone blau, bei konstanter Aussaatstärke, mit 2.500 Pflanzen pro ha aufgetreten. In der grünen Ertragszone ist zwischen der konstanten und der variablen Aussaatstärke kein Unterschied zu erkennen. Dabei sind jeweils 1.167 Pflanzen pro ha durch den Maiszünsler befallen. In der Ertragszone blau ist ein Befall von 1.833 Pflanzen pro ha des Maisbeulenbrands in der konstanten sowie der variablen Aussaatstärke ermittelt worden. Die meisten Ausprägungen des Maisbeulenbrandes wurden in der grünen Ertragszone bei variabler Aussaatstärke mit 2.667 Pflanzen pro ha festgestellt. Die geringsten Ausprägungen des Maisbeulenbrandes wurden in der roten Ertragszone bei variabler Aussaatstärke mit 1.667 Pflanzen pro ha ermittelt. Die Ergebnisse aus der Tabelle 5 sind durch die Signifikanzanalyse allerdings nicht als signifikant abhängig von den Parametern Aussaatstärke und Ertragspotentialzone bestimmt worden.

Ertragszone	rot		gelb		grün		blau	
	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>
Saatstärke	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>
Best. Triebe	59.333	8.000	22.000	12.333	29.000	21.833	39.167	51.167
Zünsler	1.333	1.833	833	1.500	1.167	1.167	2.500	2.000
Beulenbrand	1.833	1.667	2.500	2.333	2.167	2.667	1.833	1.833

Tabelle 5 Bildung von Bestockungstrieben, Befall des Maiszünslers und Ausprägung des Maisbeulenbrands auf dem Versuchsschlag „Kalttes Bruch“ pro ha.

Kieskuhle Meinkot

Tabelle 6 zeigt die Bildung von Bestockungstrieben der Maispflanzen, den Befall vom Maiszünsler sowie den Befall von Maisbeulenbrand in Abhängigkeit der Ertragszonen rot, gelb und grün sowie der Saatstärken konstant und variabel. Die Ergebnisse sind von dem Schlag „Kieskuhle Meinkot“ jeweils pro ha. Die meisten Bestockungstriebe bildeten die Pflanzen in den Zonen rot mit 4.666, gelb mit 5.166 und grün mit 6.500 pro ha bei variabler Aussaatstärke aus. Dahingegen sind bei konstanter Saatstärke in der roten Ertragszone 2.333, in der gelben Ertragszone 2.166 und in der grünen Ertragszone 1.833 Bestockungstriebe je ha ausgebildet worden. Der Befall durch den Maiszünsler beläuft sich auf Werte zwischen 4.833 in der roten

Ertragszone bei konstanter Saatstärke sowie bis zu 6.833 Pflanzen/ha in der grünen Ertragszone bei konstanter Saatstärke. Mit Maisbeulenbrand sind die meisten Pflanzen in der gelben Ertragszone bei konstanter Saatstärke mit 2.333 Pflanzen pro ha befallen. Der geringste Befall mit Maisbeulenbrand ist in der roten sowie der gelben Ertragszone bei variabler Saatstärke mit 333 Pflanzen/ha zu finden.

Ertragszone	rot		gelb		grün	
	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>
Saatstärke						
Best. Triebe	2.333	4.666	2.166	5.166	1.833	6.500
Zünsler	4.833	5.500	5.166	6.666	6.833	5.166
Beulenbrand	1.000	333	2.333	333	1.000	1.166

Tabelle 6: Bestockungstriebe, Zünslerbefall und Befall mit Maisbeulenbrand in Abhängigkeit der Ertragszone und Saatstärke des Versuchsfeldes "Kieskuhle Meinkot" pro ha

6.3 Ertragsparameter

Kaltes Bruch

In Tabelle 7 sind die mittleren Frischmasseerträge der Pflanzen und Kolben in t/ha auf dem Versuchsschlag „Kaltes Bruch“ dargestellt. Die Ertragsparameter sind in den Ertragszonen rot, gelb, grün und blau aufgelistet. Die Frischmassegewichte der Restpflanze konnten Erträge im Bereich von 47,25 t/ha in der blauen Ertragszone bei konstanter Aussaatstärke und bis zu 55,44 t/ha in der gelben Zone bei variabler Aussaatstärke erzielen. In der roten, gelben und blauen Ertragszone konnten in den Bereichen der variablen Aussaatstärke höhere Erträge erzielt werden, als in den Bereichen der konstanten Aussaatstärke. Die höchsten Kolbengewichte sind in der roten Ertragszone bei variabler Aussaatstärke mit 26,16 t/ha erzielt worden. Den geringsten Kolbenertrag dahingegen erzielte die rote Ertragszone mit 22,72 t/ha bei konstanter Aussaatstärke. Die Kolbengewichte in der blauen Ertragszone erbrachten einen Ertrag von 23,67 t/ha mit der variablen sowie der konstanten Aussaatstärke. Die Mittelwerte der Kornanlage des Kolbens sind ebenfalls in Tabelle 7 aufgelistet. Dabei haben die Kolben unterschiedlich viele Körner ausgebildet. Die Körner pro Kolben liegen im Bereich von 411,94 in der blauen Ertragszone bei konstanter Aussaatstärke bis zu 483,33 Körnern pro Kolben in der roten Ertragszone bei konstanter Aussaatstärke. Die Kornzahlen je Kolben sind bei der konstanten Aussaatstärke in den Ertragszonen rot und grün höher als bei der variablen Aussaatstärke. In den Ertragszonen gelb und blau dahingegen ist dies genau umgekehrt.

Ertragszone	rot		gelb		grün		blau	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Aussaatstärke								
FM Pflanze in t/ha	48,41	51,93	48,79	55,44	50,94	49,44	47,25	51,22
FM Kolben in t/ha	22,72	26,16	22,94	25,62	25,52	23,1	23,67	23,67
FM Gesamt in t/ha	71,13	78,1	71,73	81,06	76,46	72,54	70,93	74,9
Körner/Kolben	483,33	428,4	430,67	458,47	456	444,2	411,93	477,67

Tabelle 7: Frischmasseerträge der Pflanze sowie des Kolbens in den jeweiligen Ertragszonen in t/ha des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“. Außerdem sind Körner/Kolben angegeben. Diese Ertragsparameter sind jeweils in der konstanten sowie der variablen Aussaatstärke dargestellt.

Abbildung 26 zeigt den Frischmasseertrag des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in t/ha bereinigt auf einen TS-Gehalt von 33%, der Sorte ES Metronom. Es sind die Ertragszonen rot, gelb, grün und blau betrachtet worden. Dabei wird durch die grauen Balken die Erntemenge der konstanten Aussaatstärke dargestellt. Am oberen Ende des Balkendiagramms sind die jeweiligen Standardfehler abgebildet. Die Erntemenge der variablen Aussaatstärke ist durch die grünen Balken dargestellt. Die Erträge der konstanten Aussaatstärke liegen im Bereich von 60,19 t/ha in der blauen Ertragszone bis 64,88 t/ha in der grünen Ertragszone. Durch die variable Aussaatstärke konnten Erträge im Bereich von 61,55 t/ha in der grünen Ertragszone, bis zu 68,78 t/ha in der gelben Ertragszone erzielt werden. In den Ertragszonen rot, gelb und blau konnten durch die variable Aussaatstärke im Mittel Mehrerträge realisiert werden. In der grünen Ertragszone dahingegen erzielte die konstante Aussaatstärke einen Mehrertrag gegenüber der variablen Aussaatstärke. In der roten Ertragszone erzielte die variable Saatstärke einen Mehrertrag gegenüber der konstanten Saatstärke von 9,7%. Die variable Saatstärke der gelben Ertragszone erzielte einen Mehrertrag von 13% gegenüber der konstanten Saatstärke.

Die Erntemenge in der Abbildung 26 ist nicht genau identisch mit denen der Tabelle 7, da die Erntemengen in Abbildung 26 auf einen TS-Gehalt von 33% bereinigt wurden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen.

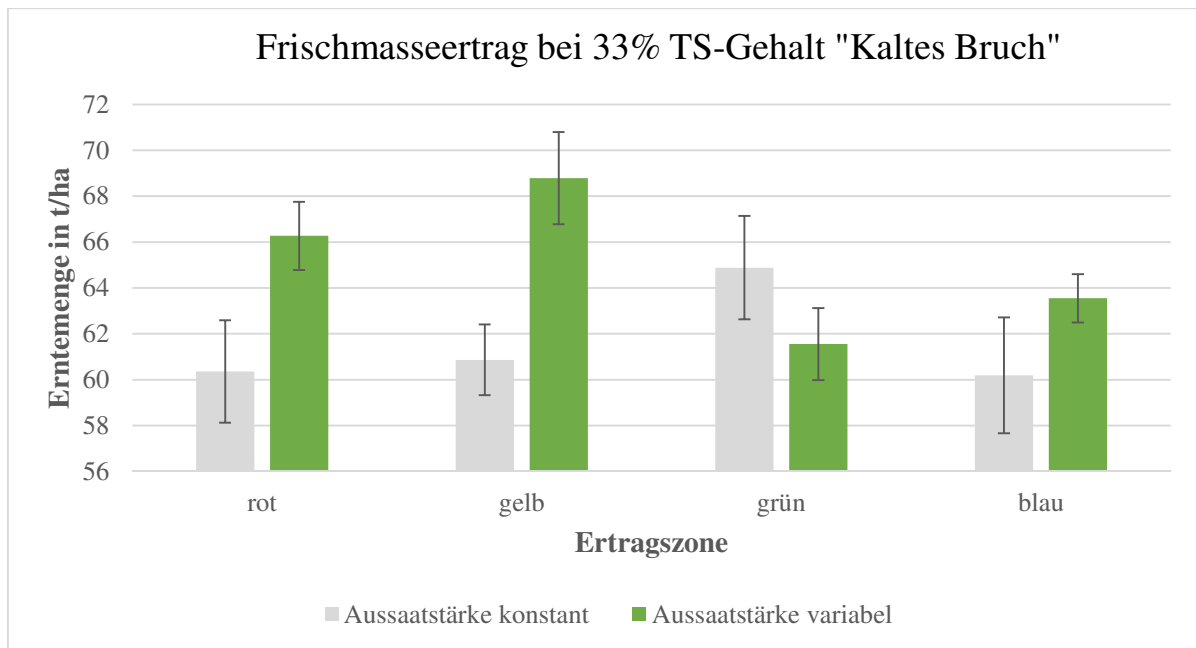


Abbildung 26: Frischmasseertrag in t/ha des Versuchsschlags „Kaltes Bruch“ bereinigt auf 33%TS.. Die grauen Balken geben den Ertrag der konstanten Aussaatstärke wieder. Die grünen Balken zeigen den Ertrag der variablen Aussaatstärke an. Am Ende der Balken sind die jeweiligen Standardfehler aufgeführt.

Kieskuhle Meinkot

Die Tabelle 8 zeigt die Erntemenge des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ aufgeteilt in die Ertragsparameter Frischmasse der Restpflanze in t/ha sowie Frischmasse des Kolbens in t/ha und der Anzahl Körner pro Kolben. Die Frischmasseerträge entsprechen dem jeweiligen TS-Gehalt, den die Pflanze bei der Ernte erreicht hat. Die Erntemengen sind in Abhängigkeit der Ertragszonen rot, gelb und grün sowie der Saatstärke konstant und variabel aufgelistet. Die Frischmasseerträge der Restpflanze erzielten einen Ertrag im Bereich von 45,99 bis 49,65 t/ha. In den jeweiligen Ertragszonen erzielten die Pflanzen der Parzelle mit variabler Saatstärke einen höheren Ertrag als die der konstanten Saatstärke. Ähnlich verhält sich der Frischmasseertrag des Kolbens. Dabei erzielten die Kolben der roten Ertragszone bei konstanter Saatstärke den geringsten Ertrag mit 20,91 t/ha, wohingegen die Kolben der gelben Ertragszone den höchsten Ertrag bei variabler Saatstärke mit 25,72 t/ha erzielten. Die Erträge der Kolben erzielten in jeder der drei Ertragszonen bei variabler Saatstärke einen Mehrertrag gegenüber der konstanten Saatstärke. Der Gesamtfrischmasseertrag der jeweiligen Ertragszone ergibt sich aus der Addition des Frischmasseertrags der Restpflanze und des Kolbens.

Die Anzahl der Körner pro Kolben liegt im Bereich von 514,4 in der roten Ertragszone bei konstanter Saatstärke bis zu 565,07 Körner pro Kolben in der gelben Ertragszone bei konstanter Saatstärke. Daher lässt sich keine genaue Aussage darüber treffen, ob die standortangepasste

Saatstärke einen Einfluss auf den Ertragsparameter Körner pro Kolben hat. Die Erntemenge in der Abbildung 27 ist nicht genau identisch mit denen der Tabelle 8, da die Erntemengen in Abbildung 27 auf einen TS-Gehalt von 33% bereinigt wurden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen.

Ertragszone	rot		gelb		grün	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Aussaatzstärke						
FM Pflanze in t/ha	46,44	49,65	46,4	49,5	45,99	46,7
FM Kolben in t/ha	20,91	23,75	23,52	25,72	22,01	23,3
FM Gesamt in t/ha	67,35	70	69,92	75,22	68	70
Körner/Kolben	514,4	551,8	565,07	550,81	538,53	551,8

Tabelle 8: Frischmasseerträge der Pflanze sowie des Kolbens in den jeweiligen Ertragszonen in t/ha des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“. Außerdem sind Körner/Kolben angegeben. Diese Ertragsparameter sind jeweils in der konstanten sowie der variablen Aussaatstärke dargestellt.

In der Abbildung 27 ist der Frischmasseertrag bereinigt auf einen TS-Gehalt von 33% des Versuchsschlages „Kieskuhle Meinkot“ dargestellt. Die Beerntung der Versuchspartellen mit der Sorte Agrovitallo fand am 17.09.2017 statt. Es sind die drei Ertragszonen rot, gelb und grün dargestellt. Die Erntemenge der konstanten Saatstärke ist jeweils durch die grauen Balken abgebildet. Die grünen Balken zeigen den Frischmasseertrag der variablen Saatstärke. Die Fehlerindikatoren der jeweiligen Balkendiagramme entsprechen dem Standardfehler, der aus $n=3$ entstanden ist. Der höchste Ertrag wurde in der gelben Ertragszone bei variabler Saatstärke mit 67,62 t/ha erzielt. Dahingegen erzielte in gleicher Ertragszone die konstante Saatstärke 62,93 t/ha. Das entspricht einem Mehrertrag der variablen Saatstärke gegenüber der konstanten von 7,5% in der gelben Ertragszone. Der geringste Ertrag wurde bei konstanter Saatstärke in den Ertragszonen rot und grün mit 57,36 t/ha und 57,72 t/ha erbracht. Die Erträge der variablen Saatstärke dahingegen erbrachten in der roten Ertragszone 60,58 t/ha und in der grünen Ertragszone 64,22 t/ha. Das entspricht in der roten Ertragszone einem Mehrertrag der variablen Saatstärke von 5,6% gegenüber der konstanten Saatstärke. In der grünen Ertragszone entspricht dieser Mehrertrag 11,3%. Somit erzielten auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ die Partellen mit variabler Saatstärke in allen drei Ertragszonen einen Mehrertrag im Bereich von 5,6 bis 11,3% gegenüber der konstanten Saatstärke.

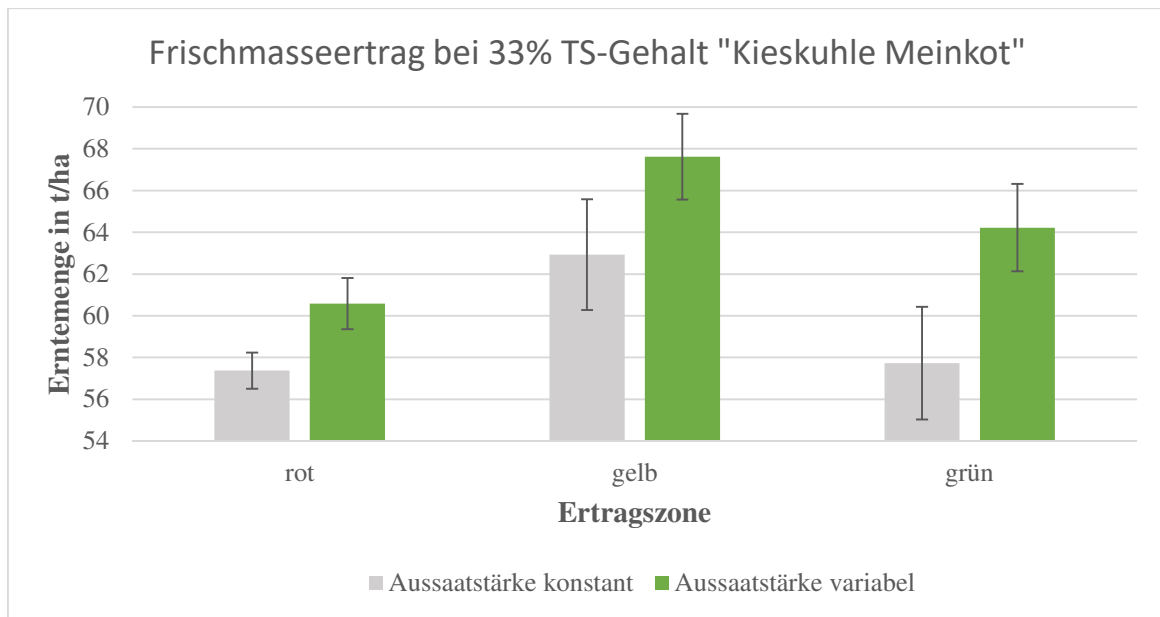


Abbildung 27: Frischmasseertrag in t/ha des Versuchsschlags „Kieskuhle Meinkot“ bereinigt auf 33%TS. Die grauen Balken geben den Ertrag der konstanten Aussaatstärke wieder. Die grünen Balken zeigen den Ertrag der variablen Aussaatstärke an. Am Ende der Balken sind die jeweiligen Standardfehler aufgeführt.

Die Ernte des Schlags wurde durch einen Lohnunternehmer durchgeführt, wobei eine durch die Biogasanlage Oebisfelde erfasste Erntemenge von 42 t/ha bei 33% TS-Gehalt erzielt wurde. Vor dem Zeitpunkt der Ernte mit dem Häcksler erreichte ein Sturmereignis die Maisflächen, wodurch ein für diesen Schlag durch eine Versicherung ermittelter Ertragsausfall von 15 % geschätzt wurde. Somit erbrachte die Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“ einen durchschnittlichen Ertrag von 48,3 t/ha bei einem TS-Gehalt von 33%.

6.4 Qualitätsparameter: Stärke und Rohprotein

Kaltes Bruch

In Tabelle 9 ist der Stärkegehalt sowie der Stärkeertrag der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“ dargestellt. Dabei werden die Ertragszonen rot, gelb, grün und blau der beiden Aussaatstärken konstant und variabel betrachtet. Der Stärkegehalt ist in % der Trockenmasse angegeben. Der Stärkeertrag wird in t/ha angegeben. Der Stärkeertrag wird durch die Multiplikation des Stärkegehaltes mit dem TM-Ertrag ermittelt. Der Stärkegehalt ist in der roten Ertragszone bei variabler Aussaatstärke mit 34,12% am höchsten. Bei konstanter Aussaatstärke beträgt dieser 25,11% der TM in der gleichen Ertragspotentialzone. Der Stärkeertrag erbringt 4,82 t/ha bei konstanter Aussaatstärke in der roten Ertragszone. In der variablen Aussaatstärke werden 7,49 t/ha Stärke produziert. In der gelben Ertragszone beträgt der Stärkegehalt bei variabler Aussaatstärke 25,31% und erzielte dadurch einen Stärkeertrag von 5,75 t/ha. Dahingegen lag

der Stärkegehalt bei konstanter Aussaatstärke bei 26,70%, was einem Stärkeertrag von 5,03 t/ha entspricht. In der grünen Ertragszone bei konstanter Aussaatstärke ist ein Stärkegehalt von 33,52% entstanden. Dementsprechend wird ein Stärkeertrag von 8,15 t/ha erbracht. Der Stärkegehalt der variablen Aussaatstärke liegt bei 21,74% und erbringt einen Stärkeertrag von 4,27t/ha. In der blauen Ertragszone liegt der Stärkegehalt in der konstanten und variablen Aussaatstärke mit 18,70% und 18,06% eng beieinander. Bei konstanter Aussaatstärke wurde ein Stärkeertrag von 3,77 t/ha erbracht. Der Stärkeertrag der variablen Aussaatstärke erbrachte 3,60t/ha.

Ertragszone	rot		gelb		grün		blau	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Aussaatstärke								
Stärkegehalt % der TM	25,11	34,12	26,70	25,31	33,52	21,74	18,70	18,06
Stärkeertrag t/ha	4,82	7,49	5,03	5,75	8,15	4,27	3,77	3,60
Rohproteingehalt % der TM	8,18	7,97	8,22	8,07	7,62	7,42	7,01	7,29
Rohproteinertrag t/ha	1,56	1,75	1,55	1,72	1,85	1,45	1,35	1,44

*Tabelle 9: Stärkegehalt in % der TM und Stärkeertrag in t/ha der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“
Rohproteingehalt in % der TM sowie der Rohproteinertrag in t/ha.*

In Tabelle 9 ist außerdem der Rohproteingehalt in % der TM sowie der Rohproteinertrag in t/ha aufgelistet. Der Rohproteingehalt der TM erzielt Werte im Bereich von 7,01% bis 8,22%. Der Rohproteingehalt in der roten Ertragszone ist mit 8,18% bei konstanter Aussaatstärke höher als bei variabler Aussaatstärke, da beträgt der Rohproteingehalt 7,97%. Betrachtet man jedoch den Rohproteinertrag, so ist dieser bei variabler Aussaatstärke mit 1,75 t/ha höher als bei konstanter Aussaatstärke, mit 1,56t/ha. In der gelben Ertragszone beträgt der Rohproteingehalt 8,22% bei konstanter und 8,07% bei variabler Aussaatstärke. Der Rohproteinertrag liegt bei 1,55 bzw. 1,72 t/ha. In der grünen Ertragszone ist der Rohproteinertrag und Rohproteingehalt bei konstanter Aussaatstärke höher als bei variabler Aussaatstärke. Der Rohproteingehalt beträgt 7,62% bei konstanter Aussaatstärke und 7,42% bei variabler Aussaatstärke. Der Rohproteinertrag liegt bei 1,85 und 1,45t/ha bei variabler Aussaatstärke. In der blauen Ertragszone liegt der Rohproteingehalt bei konstanter Aussaatstärke bei 7,01% und bei variabler Aussaatstärke liegt der Rohproteingehalt bei 7,29%. Der Rohproteinertrag erbringt bei variabler Aussaatstärke mit 1,44t/ha einen höheren Rohproteinertrag als bei konstanter Aussaatstärke mit 1,35t/ha.

Kieskuhle Meinkot

Tabelle 10 zeigt den Stärke- und Rohproteingehalt in % der TM sowie den Stärke- und Rohproteinertrag in t/ha der Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“ in den Ertragszonen rot, gelb

und grün, bei den Aussaatstärken konstant und variabel. Der Stärkegehalt ist in der grünen Ertragszone, bei variabler Aussaatstärke mit 29,23% am höchsten. Die konstante Saatstärke in gleicher Ertragszone erreichte dahingegen 23,00%. In der gelben Ertragszone erreichte die variable Aussaatstärke mit 22,29% einen geringeren Wert gegenüber der konstanten Aussaatstärke mit 26,82% der TM. In der roten Ertragszone beträgt der Stärkegehalt bei variabler Saatstärke 27,09% und bei konstanter Saatstärke 21,81%. Der höchste Stärkeertrag wird in der grünen Ertragszone bei variabler Saatstärke mit 6,14t/ha erbracht. Die Vergleichsvariante mit konstanter Saatstärke erbringt dahingegen 4,37t/ha Stärke. In der roten Ertragszone erbrachte die variable Saatstärke mit 5,41t/ha einen höheren Stärkeertrag gegenüber der konstanten Saatstärke mit 4,23 t/ha. Umgekehrt verhält sich dies in der gelben Saatstärke, dort erbrachte die Vergleichsvariante 5,57t/ha und die variable Saatstärke 4,97t/ha Stärke.

Ertragszone	rot		gelb		grün	
	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>	<i>kons.</i>	<i>var.</i>
Aussaatstärke						
Stärkegehalt % der TM	21,81	27,09	26,82	22,29	23,00	29,23
Stärkeertrag t/ha	4,23	5,41	5,57	4,97	4,37	6,14
Rohproteingehalt % der TM	7,1	7,14	6,62	6,16	7,04	7,17
Rohproteinерtrag t/ha	1,33	1,42	1,37	1,37	1,32	1,51

*Tabelle 10: Stärkegehalt in % der TM und Stärkeertrag in t/ha der Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“
Rohproteingehalt in % der TM sowie der Rohproteinерtrag in t/ha.*

Der Rohproteingehalt ist in der roten Ertragszone bei beiden Saatstärken mit 7,1% und 7,14% fast identisch. Jedoch unterscheidet sich der Rohproteinерtrag der beiden Saatstärken in dieser Ertragszone um 0,09t/ha zugunsten der variablen Saatstärke. In der gelben Ertragszone ist der Rohproteinерtrag in beiden Saatstärken mit 1,37t/ha identisch. Wobei der Rohproteingehalt in der konstanten Saatstärke mit 6,62% höher ist als der Rohproteingehalt der variablen Saatstärke. In der grünen Ertragszone bei variabler Saatstärke wird durch einen Rohproteingehalt von 7,17% ein Rohproteinерtrag von 1,51t/ha erreicht. Bei der Vergleichsvariante mit konstanter Saatstärke wird mit einem Rohproteingehalt von 7,04% ein Rohproteinерtrag von 1,32t/ha erzielt.

6.5 Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung

Der Zusammenhang zwischen der Saugspannung und den Wassergehalten im Boden wird als pF-Kurve dargestellt. Das p dieser Abkürzung bedeutet Potential und das F steht für die freie

Energie des Wassers. „Der pF-Wert ist der dekadische Logarithmus der negativen Saugspannung bzw. die Druckhöhe des Bodenwassers in cm Wassersäule“ [Ahl *et al.* 2017]. In Abbildung 28 ist eine pF-Kurve des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in dem Bereich der Bodenart Sand in den Bodenschichten 10-15cm in blau und 35-40cm in rot dargestellt. Auf der Abszisse ist der Wassergehalt in Vol. % abgetragen, der Schnittpunkt des Graphen mit der Abszisse gibt das Gesamtporenvolumen des Bodens an. Auf der Ordinate ist der pF-Wert abgetragen. Die pF-Werte 1,8 und 4,2 haben eine besondere Bedeutung für die Nutzung des Bodenwassers für Pflanzen. Wasser, ab einem pF-Wert von 1,8 wird zur Feldkapazität (FK) gezählt. Die FK ist die untere Porengrenze, bis zu der der Boden maximal Wasser gegen die Schwerkraft speichern kann. Das Wasser unter einem pF-Wert von 1,8 wird also nicht im Boden durch Saugspannung gehalten, dieser Teil des im Boden vorliegenden Wassers wird als Sickerwasser bezeichnet und wird nicht gespeichert. Der pF-Wert von 4,2 wird als permanenter Welkepunkt (PWP) bezeichnet. Die Wurzeln der ortsüblichen Pflanzen entwickeln maximal eine Saugspannung von 16 bar, was einem pF-Wert von 4,2 entspricht. Wasser, welches mit höheren Saugspannungen als pF 4,2 im Boden gebunden ist, kann durch Pflanzen nicht genutzt werden. Das im Boden vorhandene Wasser über einem pF-Wert von 4,2 wird auch als Totwasser bezeichnet, da es nicht pflanzenverfügbar ist. Wasser, welches mit Saugspannungen zwischen pF 1,8 und 4,2 im Boden gebunden ist, wird auch als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet.

Das Gesamtporenvolumen in Abbildung 28 liegt in der Bodenschicht zwischen 10-15cm bei 50 Vol. % Wasser, in der tieferen Bodenschicht zwischen 35 und 40cm beträgt das Gesamtporenvolumen 30%. 1 Vol.% entspricht 1mm je dm Bodentiefe. Die FK liegt in der Bodenschicht zwischen 10 und 15cm bei 23 Vol.%, davon nutzbar sind 19 Vol.%. Der Totwasseranteil beträgt dabei 4 Vol.%. In der Bodenschicht zwischen 35 und 40cm beträgt die FK 19,5 Vol.%. Aufgrund des Totwasseranteils von 2,3 Vol.% besteht eine nFK von 17,2 Vol.%.

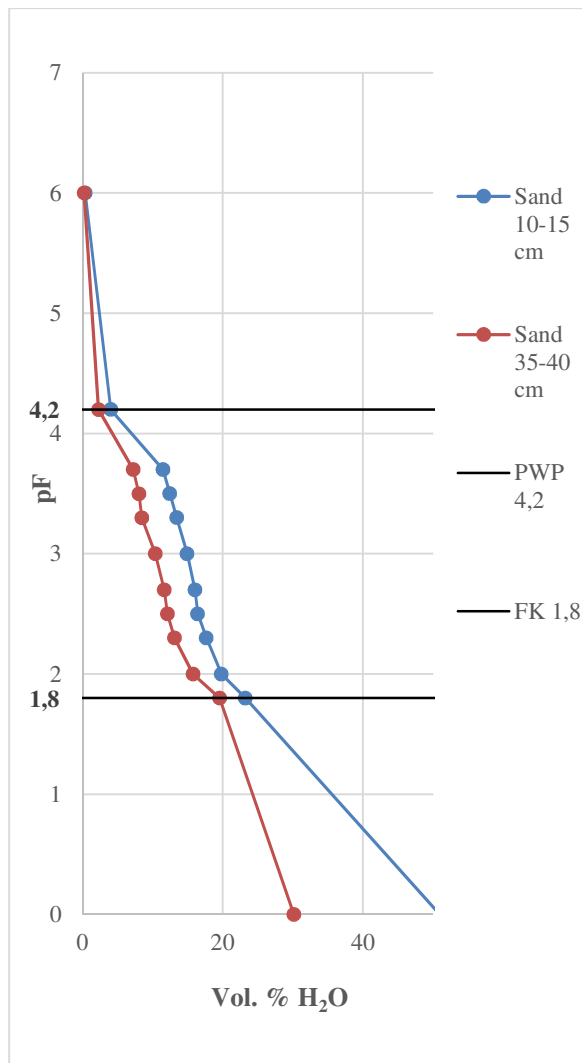


Abbildung 28: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart Sand in den tiefen 10-15 und 35-40cm.

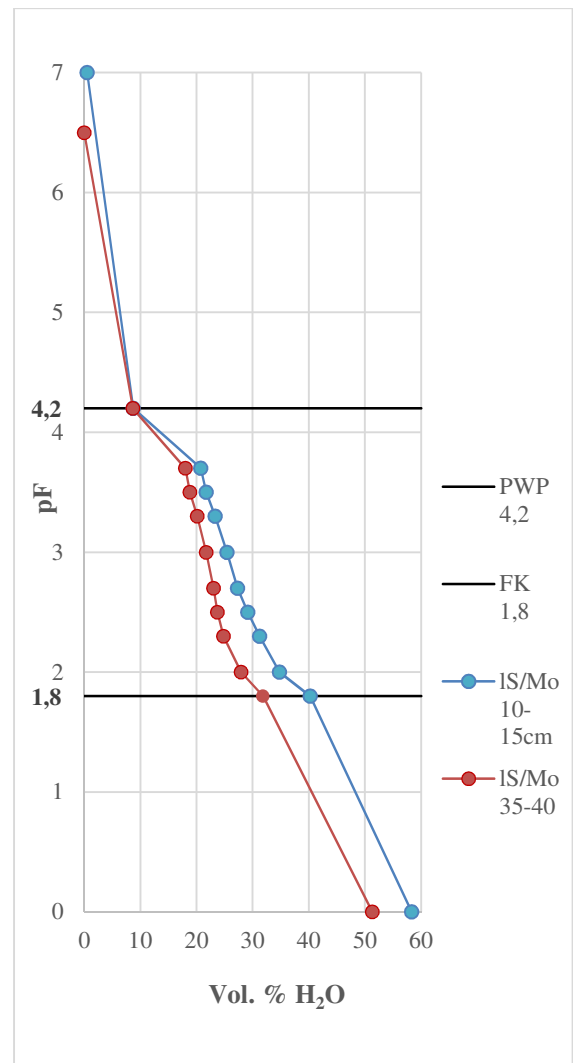


Abbildung 29: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart lehmiger Sand/ Moor in den tiefen 10-15 und 35-40cm.

In Abbildung 29 ist eine pF-Kurve des Versuchsschlages „Kaltes Bruch“ der Bodenart lehmiger Sand/Moor in den Bodenschichten von 10-15cm und 35-40cm dargestellt. Die blaue Kure zeigt den pF-Verlauf der oberen Bodenschicht, die rote Kurve charakterisiert die Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung in der Bodentiefe zwischen 35 und 40cm. Das Gesamtporenvolumen beträgt in der oberen Bodenschicht 58 Vol.%, in der unteren Bodenschicht beträgt diese 51 Vol.%. Der Sickerwasseranteil dieser Proben ist deutlich geringer, gegenüber den Proben der Bodenart Sand aus Abbildung 28. Die FK in Abbildung 28 liegt bei 40 Vol.% in der oberen Bodenschicht. Die nFK liegt aufgrund des Totwasseranteils von 8,5 Vol.% bei 31,5 Vol.% und ist somit auch deutlich höher als in Abbildung 28. In der tieferen Bodenschicht der Bodenart lehmiger Sand/Moor beträgt die FK 31 Vol.%, der Totwasseranteil liegt bei 8,5 Vol.%. Daraus resultiert eine nFK von 22,5 Vol.%.

In Abbildung 30 sind zwei pF-Kurven der Bodenart schwerer Lehm in den Bodenschichten 10-15cm und 35-40cm abgebildet. Die blaue Kurve stellt die pF-Charakteristik für den oberen Bereich zwischen 10 und 15cm dar. Die rote Kurve zeigt den pF-Verlauf der Bodenschicht zwischen 35 und 40cm. Da beide Kurven einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen, entsteht eine nahezu identische pF-Kurve in beiden Bodenschichten. Das Gesamtporenvolumen beträgt in der oberen Bodenschicht 55 Vol.% und in der Bodenschicht zwischen 35 und 40cm 56 Vol.%. Aufgrund des sehr geringen Sickerwasseranteils beträgt die Feldkapazität 54,8 in der oberen Bodenschicht sowie in der unteren 54,9 Vol.%. In der oberen Bodenschicht beträgt der Totwasseranteil 31,5 Vol.%, woraus eine nFK von 23,3 Vol.% resultiert. Die Bodenschicht zwischen 35 und 40cm ist durch einen noch höheren Totwasseranteil von 32,6 Vol.% charakterisiert. Die FK beträgt 54,9 Vol.%, jedoch beträgt die effektiv für Pflanzen verfügbare Wassermenge 22,3 Vol.%.

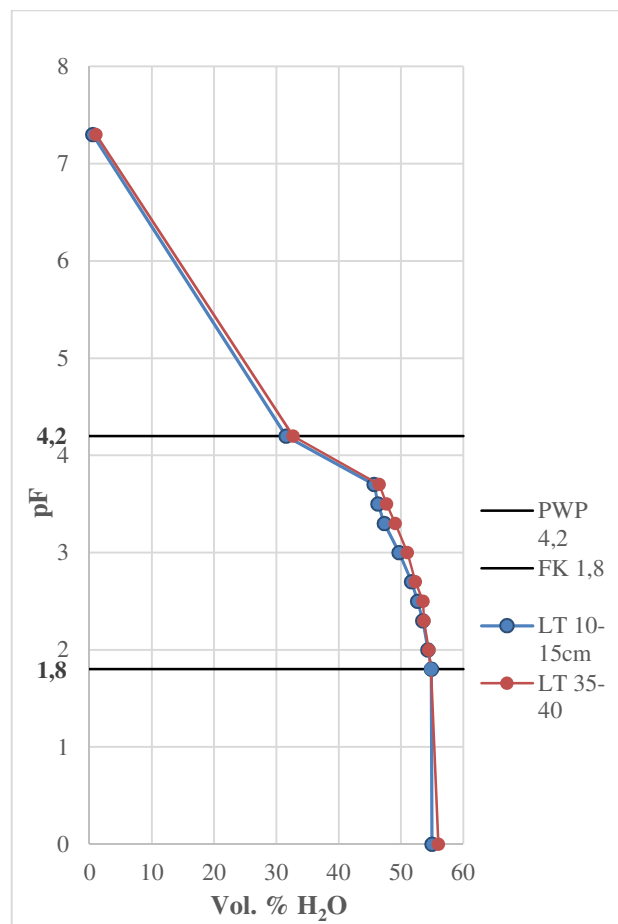


Abbildung 30: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart: schwerer Lehm in den tiefen 10-15 und 35-40cm.

7 Wirtschaftlichkeit des Verfahrens

Neben der pflanzenbaulichen Betrachtung und Eignung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaatregulierung von Mais ist es auch notwendig die Wirtschaftlichkeit hiervon zu beleuchten. Die wirtschaftliche Betrachtung findet unter Berücksichtigung der Kosten für die technischen Voraussetzungen, die Erstellung der Aussaatkarte und den Saatgutverbrauch anhand dieser Versuchsfelder statt. Damit die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung exakt durchgeführt werden kann, müssen zuerst alle Kosten die bei der Durchführung der teilflächenspezifischen Aussaat entstehen, erfasst werden. In der Berechnung wird sich explizit an den beiden Beispielbetrieben, auf denen die Versuchsfelder angebaut waren, orientiert. Da beide Betriebe die gleiche Drillmaschine benutzen, werden die Kosten der Drillmaschine auf beide Betriebe und einen jährlichen Einsatzumfang mit Benutzung der teilflächenspezifischen Aussaat auf 100ha und eine Nutzungsdauer von 5 Jahren aufgeteilt. Jeder Betrieb plant in den nächsten 5 Jahren 50ha der Maisanbaufläche teilflächenspezifisch auszusäen. Damit die Drillmaschine technisch dazu in der Lage ist, diese Art von Aussaat zu realisieren, war es nötig jeweils einen Lizenzschlüssel für die Drillmaschine (Kverneland Optima HD) und das Terminal (Isomatch Tellus) zu erwerben. Die Kosten für die Lizenzschlüssel fallen einmalig an. Alle Beträge werden ohne gesetzliche Mehrwertsteuer verwendet.

Isomatch Geocontrol Lizenzschlüssel [IsoMatchShop 2018a]	1.500€
<u>SEEDERcontrol Lizenzschlüssel [IsoMatchShop 2018b]</u>	<u>500€</u>
Gesamtkosten Lizenzschlüssel	2.000€
<u>Einsatzumfang x Nutzungsdauer (100ha x 5 Jahre)</u>	<u>500ha</u>
Maschinenbezogene Kosten pro ha	4€/ha

In dieser Kostenaufstellung sind alle Kosten berücksichtigt, die mit der Aktualisierung der Technik entstehen. Dabei entstehen Mehrkosten von 4€/ha bei der Anwendung des teilflächenspezifischen Aussaatverfahrens. Weitere Kosten entstehen durch die Anfertigung einer Aussaatkarte nach den oben genannten Prinzipien durch das Dienstleistungsunternehmen „Agro-Sat“. Diese Kosten beziehen sich teilweise auf eine gesamte Fläche und teilweise auf einen ha. Für die Berechnung dieser beiden Betriebe wird angenommen, dass diese eine durchschnittliche Flächengröße von 7,15ha vorweisen. Das ergibt 14 Flächen für den Einsatzumfang von 100ha.

Managementzonenkartenerstellung [Rose 2017]	80€/Fläche
PWC-Ermittlung nach Kartenmaterial [Rose 2017]	60€/Fläche
<u>Gesamtkosten bei 14 Flächen</u>	<u>1.960€</u>
Kosten pro ha bei 100ha Einsatzumfang	19,60€/ha
<u>Applikationskarte Mais [Rose 2017]</u>	<u>20,00€/ha</u>
Flächenbezogene Gesamtkosten	39,60€/ha

Die flächenbezogenen Gesamtkosten für die Erstellung der fertigen Applikationskarten des Dienstleistungsunternehmens „Agro-Sat“ betragen 39,60€/ha. Die flächenbezogenen Kosten müssen mit den maschinenbezogenen Kosten von 4€/ha addiert werden. In dieser Beispielrechnung für die Betriebe Domäne Bahrdorf und Betrieb Hendrik Schünemann entstehen zusätzliche Kosten im Maisanbau, bei teilflächenspezifischer Aussaatregulierung, von **43,60€/ha**.

Durch die entstehenden Mehrkosten aufgrund des beschriebenen Verfahrens erhofft man sich als unternehmerischer Landwirt einen Mehrertrag, der die Mehrkosten trägt und eine zusätzliche Einnahme generiert. Dafür wird anhand der Erntemengen aus diesem Versuch der beiden Flächen ein durchschnittlicher Ertragszuwachs ermittelt. Als Verkaufspreis wird der aktuelle Preis der Biogasanlage in Oebisfelde angenommen. Dieser beträgt bei einem Trockensubstanzgehalt von 33%, 31,25€/t Frischmasse. Der Preis ist in Anhang A9 abgebildet. Ebenfalls im Anhang A7 und A8 sind die Mehrerträge aufgrund der teilflächenspezifischen Aussaat auf beiden Versuchsschlägen tabellarisch dargestellt. Dabei wurde der Mehrertrag zwischen den Verfahren mit variabler und konstanter Aussaatstärke ermittelt. Dafür wurde der jeweilige Flächenanteil in % für jede Ertragszone berücksichtigt. Daraufhin wurde der Mehrertrag pro ha berechnet. Auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ wurden die im Versuch betrachteten Ertragszonen, rot, gelb, grün und blau berücksichtigt. Letztendlich wurde auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ durchschnittlich ein Mehrertrag durch die teilflächenspezifische Aussaat von 2,70t/ha erzielt. Auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ wurde nach gleichem Verfahren der Mehrertrag ermittelt. Analog wurden ebenfalls nur die Flächenerträge der hier betrachteten Ertragszonen rot, gelb und grün berücksichtigt. Schlussendlich wurde in diesem Versuch ein Mehrertrag von 4,89t/ha auf dem Versuchsschlag „Kieskuhle Meinkot“ erzielt. Aus den ermittelten Werten wurde ein Mittelwert aufgrund der jeweiligen betrachteten Fläche

und den Erträgen gebildet (11,40ha Kaltes Bruch, 3,49ha Kieskuhle Meinkot). Dieser durchschnittliche Mehrertrag durch die teilflächenspezifische Aussaatregulierung liegt bei 3,21t/ha. Multipliziert man diesen Mehrertrag mit einem Preis von 31,25€/t FM ergibt dies einen monetären Mehrertrag von **100,31€/ha**.

Ein weiteres Kriterium für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die Berechnung der Saatmenge. Im Anhang befindet sich unter A10 eine flächenbezogene Bedarfsberechnung der Saatmenge. Dabei werden die Verfahren teilflächenspezifischer und konstanter Aussaatmengen miteinander verglichen. Der Saatgutbedarf ist in Einheiten/ha berechnet. Diese Größe ist handelsüblich und eine Einheit entspricht 50.000 keimfähigen Körnern. In der Berechnung wird deutlich, dass Saatgut nur dann eingespart werden kann, wenn die betriebsübliche Aussaatstärke „zu hoch“ für den jeweiligen Standort gewählt wird. Der Saatgutverbrauch liegt auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ bei konstanter Saatstärke bei 1,7 Einheiten/ha, bei variabler Saatstärke werden 1,94 Einheiten/ha verbraucht. Umgekehrt verhält sich dies auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“, dort wurden durch konstante Saatstärke 1,8 Einheiten/ha verbraucht. Durch die variable Aussaatstärke konnte der Saatgutverbrauch auf 1,68 Einheiten/ha reduziert werden. Bei einem Saatgutpreis von 90€/Einheit entspricht dies auf dem Schlag „Kaltes Bruch“ Mehrkosten von 21,60€/ha. Auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ dahingegen entstehen bei gleichem Saatgutpreis Einsparungen von 10,80€/ha. Da die Saatgutkosten in diesem Fall stark von den Gegebenheiten des jeweiligen Standorts und der Einstellung des Betriebsleiters abhängen, werden die Vor- und Nachteile in der Gesamtkalkulation nicht berücksichtigt.

Gesamtkosten für die teilflächenspezifische Aussaat	43,60€/ha
<u>Durchschnittlicher monetärer Mehrertrag</u>	<u>100,31€/ha</u>
Mehrerlös durch teilflächenspezifische Aussaat	<u>56,71€/ha</u>

Wiegt man die Gesamtkosten gegenüber dem Mehrertrag auf, so erhält man in dieser Beispielrechnung einen Mehrerlös von **56,71€/ha**. Dieser errechnete Mehrerlös basiert allerdings nur auf diesem einjährig angelegten Versuch, der zwei Versuchsschläge umfasst. Um aussagekräftige Entscheidungsempfehlungen geben zu können sollte dieser Versuch mit selbiger Kostenerfassung wiederholt werden. Jedoch ist das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaatregulierung in jedem Fall ein Instrument zur Effizienzsteigerung im Maisanbau, wodurch Betriebsmittel optimaler eingesetzt werden

können. Diese Berechnung beruht auf einem realistischen Betriebsbeispiel anhand von zwei Betrieben. Zugunsten der teilflächenspezifischen Aussaatregulierung muss hinzugefügt werden, dass die Kosten für die Erstellung der Managementzonenkarten einmalig im gesamten Zeitverlauf für eine Fläche entstehen. Die Managementzonen verändern sich laut [Rose 2017] nicht. Dies wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt. Trotzdem werden die entstehenden Kosten, welche durch die hochmoderne Technik verursacht werden, gedeckt und es kann in diesem Beispiel ein Mehrerlös generiert werden. Zusätzlich ist die Drillmaschine durch die erworbenen Lizenzschlüssel in der Lage, GPS gestützt Einzelreihen abzuschalten, um Überlappungen im Vorgewendebereich zu vermeiden. Diese Funktion nennt sich Section Control.

8 Diskussion

Der Witterungsverlauf des Versuchsstandorts im Jahr 2017 ist nicht gewöhnlich für diese Region. Die Witterung war geprägt durch ein kühles Frühjahr, mit erheblichen Niederschlägen. Durch die kühlen Temperaturen im März, April und Mai, wurde aufgrund der niedrigen Bodentemperaturen die Aussaat des Versuches erst am 27.04.2017 durchgeführt. Die übliche Saatzeit liegt auf den beiden betrachteten Betrieben in der Regel 10 Tage früher als in diesem Versuchsjahr. Trotz der fehlenden Bodentemperatur herrschten aufgrund der Feuchtigkeit im Boden gute Auflaufbedingungen für den Mais, was an den hohen Feldaufgängen zu erkennen ist. Die erfassten Feldaufgänge, welche durch den Einsatz der Einzelkornsaattechnik erzielt wurden, entsprechen im Wesentlichen auch denen des Versuches von [Kirchmeier *et al.* 2009]. In deren Versuch wurden verschiedene Aussaattechniken miteinander verglichen, wobei die Einzelkornsaat in mehr als der Hälfte der Beurteilungen einen Feldaufgang von über 90% erzielte [Kirchmeier *et al.* 2009]. Der hier ermittelte Feldaufgang zeigt, dass der geringste Feldaufgang bei 91 und 92% in der Hohertragszone auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ erzielt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die eingesetzte Technik die Anforderungen der modernen Aussaat mithilfe der Applikationskarte erfüllt. An dem Feldaufgang kann genau erkannt werden, dass die Saatstärke automatisch während des Betriebs in den jeweiligen Ertragszonen variiert wurde. [Jürschik *et al.* 1996] berichteten schon aus dem Jahr 1996, dass die Technik zu dem Zeitpunkt dazu in der Lage war, Applikationskarten zu verarbeiten. Die Bestandesdichte des Maises zu bestimmen, ist eine der wichtigsten Entscheidungen die ein Betriebsleiter treffen kann, da durch die Veränderung der Bestandesstruktur maßgeblich Einfluss auf den TM-Ertrag sowie auf die Qualitätsmerkmale genommen werden kann [Landwirtschaftskammer 2015]. Auf dem Versuchsschlag „Kaltes Bruch“ ist auffällig, dass der

Feldaufgang in der roten Ertragszone bei konstanter und variabler Aussaatstärke 91 und 92% erreicht, was dem geringsten Feldaufgang des gesamten Versuches entspricht. Auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ erreichte der Feldaufgang Werte zwischen 94 und 97%. Auf dem Versuchsschlag konnte die Technik ebenfalls die gewünschte Saatstärke in den jeweiligen Ertragszonen applizieren.

Auffällig ist auf dem Versuchsfeld „Kaltel Bruch“ die Bestockungsneigung der Sorte Metronom. Entgegen der Einstufung der Sorte Metronom durch das [Bundessortenamt 2017], wobei diese in der Bestockungsneigung als gering bewertet wurde, ist am 17.06.2017 ein erhebliches Bestockungspotential erfasst worden. Dabei ist ein Zusammenhang zwischen der Bestandesdichte und der Bildung von Bestockungstrieben festgestellt worden. Je geringer die Bestandesdichte gewählt wurde, desto mehr Bestockungstriebe bildeten sich zum Boniturtermin. Dies kann mit den optimalen Wachstumsbedingungen aufgrund der ausreichenden Bodenfeuchte durch Niederschläge zusammenhängen. Im weiteren Verlauf der Vegetation wurden allerdings die Bestockungstriebe der Pflanzen reduziert, dadurch konnten keine Bestockungstriebe am weiteren Boniturtermin ermittelt werden. Die Sorte Agro Vitallo bildete zum Boniturtermin sehr wenig Bestockungstriebe auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ aus. Stellt man eine Beziehung zwischen dem Kolbenansatz und dem Feldaufgang her, kann daraus abgeleitet werden, dass die Bestandesdichte einen Einfluss darauf nimmt. In Abbildung 31 ist diese für das Versuchsfeld „Kaltel Bruch“ bei konstanter Aussaatstärke dargestellt. Die innerartliche Konkurrenz nimmt mit steigender Bestandesdichte zu [Schreiber 1992]. Auffällig ist, dass in jeder Ertragszone mehr Kolben als Pflanzen gewachsen sind. Somit haben einige Pflanzen mehr als einen Kolben entwickelt. Durch eine Anpassung der Saatstärke in den jeweiligen Ertragszonen konnte ein Kolbenansatz erzielt werden, der nahezu dem Feldaufgang entsprach. Dies wird anhand der gelben Kurve in Abbildung 30 ersichtlich, die Kurve stellt den Kolbenansatz der variablen Aussaatstärke dar. Diese überlagert die graue Kurve, welche den Feldaufgang wiedergibt. Durch die variable Aussaatstärke konnte eine gleichmäßige Verteilung der Kolben für jede Pflanze erreicht werden.

Auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ wurde ein anderes Phänomen ersichtlich, was durch die [Landwirtschaftskammer 2015] beschrieben wurde. Diese berichtete bei überhöhten Bestandesdichten von Pflanzen, welche keinen Kolben aufgrund von innerartlicher Konkurrenz um Nährstoffe, Wasser und Licht ausbildeten [Landwirtschaftskammer 2015]. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse konnte diese Aussage in diesem Versuch bestätigt werden. Denn in jeder der Ertragszonen zeigte sich, dass deutlich mehr Pflanzen als Kolben gebildet

wurden. Somit haben teilweise die Pflanzen keinen Kolben entwickelt. Dies deutet daraufhin, dass die Saatstärke der konstanten Aussaatstärke sowie die Aussaatstärke der Applikationskarte zu hoch für diesen Standort gewählt wurde. Die Bestandesdichte weist einen hoch Signifikanten Zusammenhang mit dem Kolbenansatz auf.

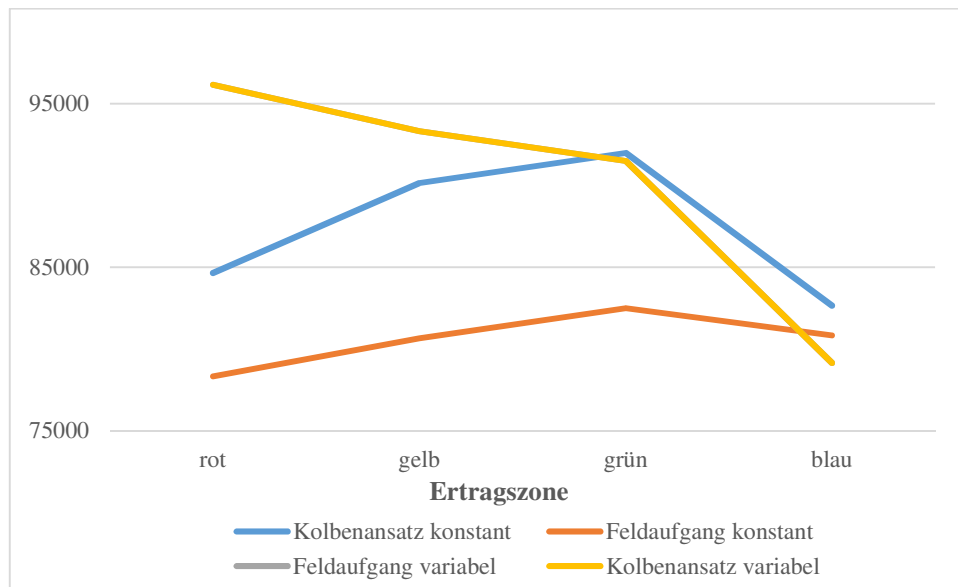


Abbildung 31: Kolbenansatz im Vergleich zum Feldaufgang „Kalt es Bruch“.

Unter anderem besteht das Ziel der Anpassung der Aussaatstärke an teilflächenspezifische Gegebenheiten darin, Trockenstress der Pflanzen zu reduzieren [Rose 2017]. Der Wasserbedarf der Maispflanzen ist schematisch je nach Entwicklungsstadium des Maises in Abbildung 32 dargestellt. Hierbei wird die Aussage von [Schreiber 1992] bekräftigt, wobei der Wasserbedarf des Maises bis zur Blüte ansteigt und zur Abreife hin wieder abfällt. Somit besteht der höchste Wasserbedarf bei der Blüte [Schreiber 1992]. Verfolgt man den Witterungsverlauf dieses Versuchsjahres, so kann schnell festgestellt werden, dass der Mais theoretisch nicht unter Wassermangel litt. In der Zeit von der Maisaussaat bis zur Ernte fielen 424 l/m^2 . Auch während der Blüte ist genügend Wasser vorhanden gewesen, was an den Körnern/Kolben zu erkennen ist. Durch Wassermangel während der Blüte wird die Anzahl der Körner pro Kolben reduziert [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Dieses Phänomen konnte in diesem Versuch nicht beobachtet werden. Vor der Maisaussaat wurde die aktuelle Bodenfeuchte für einen Wurzelraum von 1m ermittelt. Diese Werte belaufen sich auf dem Versuchsschlag „Kalt es Bruch“ auf 200 l/m^2 in der Hohertragszone rot und 173 l/m^2 in der Niedrigertragszone. Vergleicht man diese Werte mit den ermittelten pF-Kurven des Versuchsfeldes „Kalt es Bruch“, so ist das Wasserhaltevermögen der nFK in der Niedrigertragszone zum Zeitpunkt der Aussaat nahezu vollkommen gesättigt. Für die Interpretation der pF-Kurve gilt, dass 1 Vol.% Wasser 1 mm/dm Bodentiefe entspricht

[Ahl *et al.* 2017]. In der Niedrigertragszone auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ unterscheidet sich die nFK zwischen den betrachteten Bodenschichten, je tiefer die Probe gezogen wird, desto weniger Wasser kann der Boden dort halten, was auf eine sehr grobe Porengröße im Unterboden hindeutet. Dieser Zusammenhang wird durch das Bodenprofil des Sandes deutlich. Dort erscheint nach etwa einer Bodentiefe von 30 cm eine Schicht, die von weißem, humusarmen Sand geprägt ist. Daraus folgt ein geringes Gesamtporenvolumen. Der Wurzelraum von Mais erstreckt sich je nach Bodenart bis zu einem Meter. Bereits während der Schossphase können Maispflanzen Wasser aus einer Tiefe von 50 cm erschließen [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Vergleicht man die pF-Kurven des Versuchsstandorts, so zeigen sich schnell die unterschiedlichen Charakteristika bezüglich des Wasserhaltevermögens.

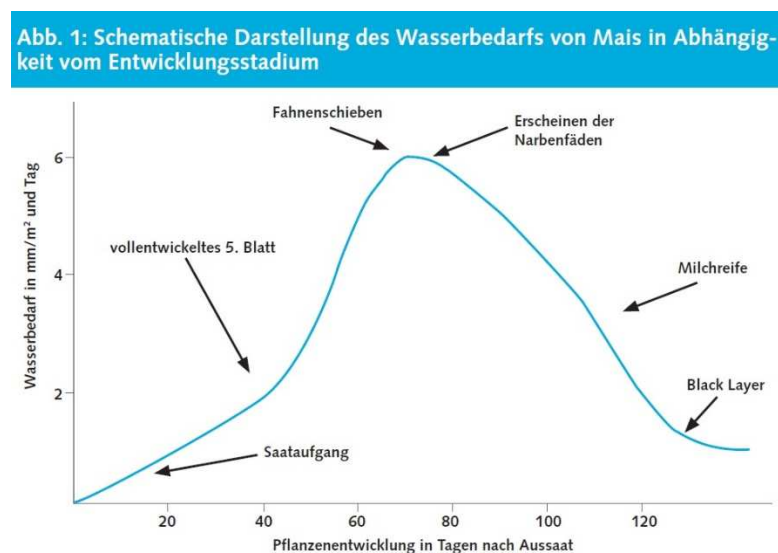


Abbildung 32: Darstellung des Wasserbedarfs von Mais [Westermeier *et al.* 2013]

Der Boden in der Hohertragszone kann im Gegensatz zur Niedrigertragszone erheblich mehr Wasser speichern und auch den Pflanzen als nFK bereitstellen. Betrachtet man einen Meter Bodenschicht, so weist der Boden der Hohertragszone eine nFK von über 220 mm Wasser auf. Der Tonboden dahingegen besitzt die größte Feldkapazität der drei betrachteten Bodenarten, jedoch weist dieser typischerweise einen für Pflanzen nicht nutzbaren Wasseranteil von über 300mm Totwasser auf. Der enorme Tonanteil, welcher einen erheblichen Anteil Wasser speichern kann, stellt eine große ackerbauliche Herausforderung dar. Diese Herausforderungen erschweren die Grundbodenbearbeitung sowie die anschließende Saabettbereitung. Damit in dem Versuchsjahr ein feinkrümliges Saabett entstand, erforderte der Bereich eine mehrfache Bearbeitung mit Scheibenegge, Kreiselegge und Cambridgewalze. Trotz des großen Wasserspeichers, wodurch der Tonboden charakterisiert ist, ist nach der Aussaat zwingend

Niederschlag nötig, um einen ordentlichen Feldaufgang zu gewährleisten. Da der Tonboden sich gegenüber dem Sand deutlich langsamer erwärmt im Frühjahr, kommt es häufig zu einem verzögerten Feldaufgang. Die Bestandesdichte resultiert aus dem Erfolg des Feldaufgangs und ist maßgeblich für den Ertrag der Teilfläche [Landwirtschaftskammer 2015]. Für Teilflächen dieser Art, wäre es sinnvoll, dass im Terminal des Schleppers noch Einfluss auf die Applikationskarte genommen werden kann, indem man den erwarteten Feldaufgang den Feldbedingungen anpassen könnte. Dies ist derzeit nicht möglich.

Aufgrund des hohen Wasserspeichervermögens des Tonbodens, besteht die Gefahr der Bodenverdichtung durch die Ernte des Silomaises [Bertram 2017]. Die pF-Kurven sowie die Karte der Reichsbodenschätzung des Versuchschlages „Kaltes Bruch“ zeigen, dass ein heterogener Standort vorliegt, was eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche teilflächenspezifische Bewirtschaftung bildet [Jürschik *et al.* 1996].

Abbildung 33 zeigt eine Auswirkung der angepassten Saatstärke auf die Entwicklung des Mais während der Vegetation [Carl 2018]. Dabei ist der Mais in unterschiedlichen Saatstärken dargestellt. Auf der linken Seite ist eine teilflächenspezifische Aussaatstärke mit 7,2 K/m² abgebildet. Die rechte Bildhälfte zeigt einen Maisbestand, welcher betriebsüblich mit 8,5 K/m² ausgesät wurde. Die Maispflanzen der betriebsüblichen Aussaatstärke weisen ein deutliches Blattrollen auf, bedingt durch Wasserstress [Lütke Entrup *et al.* 2013]. Diese Abbildung verdeutlicht die Auswirkungen der Aussaatstärke auf das Stressverhalten der Maispflanzen. Im Vergleich zu der betriebsüblichen Aussaatstärke zeigt sich die teilflächenspezifische Aussaatstärke, welche durch eine geringere Aussaatstärke charakterisiert ist, vitaler und weist somit noch keinen Wasserstress zum selben Zeitpunkt auf. Besonders auf leichten Standorten ist der Wasserstress von Bedeutung. Wasserstress trat so deutlich in diesem Versuch nicht auf, jedoch lässt sich vermuten, dass der höhere Frischmasseertrag in der teilflächenspezifischen Aussaatstärke auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ in der Niedrigertragszone (blau) auf Wassermangel zurückzuführen ist.



Abbildung 33: Vergleich zwischen teilflächenspezifischer und betriebsüblicher Aussaat [Carl 2018].

Betrachtet man den Feldaufgang der Niedrigerertragszone (blau) auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“, so wird deutlich, dass zwischen der teilflächenspezifischen Aussaatstärke und der konstanten Aussaatstärke 0,5 Pflanzen/m² Unterschied besteht. In der betriebsüblichen Aussaatstärke war folglich ein dichter Pflanzenbestand vorhanden. Höchstwahrscheinlich litt der Maisbestand auf dem sehr leichten Standort der Fläche aufgrund der höheren Bestandesdichte unter einer nicht ständigen Wasserversorgung. Der Frischmasseertrag bei 33% TS konnte durch die Reduktion der Aussaatstärke in der Niedrigerertragszone um 5,3% gegenüber der konstanten Aussaatstärke gesteigert werden. Trockenstress zu vermeiden, entspricht dem Ziel der teilflächenspezifischen Aussaat laut [Rose 2017]. Auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ erzielten die Ertragszone rot und gelb ebenfalls Mehrerträge durch die teilflächenspezifische Aussaat. Die grüne Ertragszone dahingegen bildete bei variabler Aussaatstärke einen um 5% geringeren Ertrag gegenüber der konstanten Aussaatstärke. Um dieses Vorkommen zu erläutern, wird der Feldaufgang betrachtet. Dabei stellt sich heraus, dass durch eine konstante Aussaatstärke 8,25 Pflanzen/m² etabliert werden konnten. Durch variable Aussaatstärke entwickelte sich ein Bestand mit 9,1 Pflanzen/m². Durch diese Anhebung der Aussaatstärke lässt sich anhand des Frischmasseertrages bei 33% TS vermuten, dass die Aussaatstärke der variablen Variante als zu hoch für den vorgegebenen Standort gewählt war. Dadurch behinderten sich die Pflanzen gegenseitig in ihrem Wachstum durch innerartliche Konkurrenz um pflanzenverfügbares Wasser, Nährstoffe und Sonneneinstrahlung [Schreiber 1992, Wang 2001]. Der Standort der grünen Ertragszone erfüllte somit nicht zwingend die Vorstellungen des Unternehmens Agro-Sat, welches das

Ertragspotential dieser Zone vermutlich als zu hoch einstuft. In der Hohertragszone (rot) etablierte sich eine Pflanzenzahl pro m² von 7,8 bei konstanter Aussaatstärke, bei variabler Aussaatstärke entwickelte sich ein Pflanzenbestand von 10 pro m². Durch die Steigerung der Aussaatstärke um 2,2 Pflanzen/m² konnte ein Mehrertrag von 9,7% erzielt werden. Die höchste Ertragssteigerung konnte durch die variable Aussaatstärke in der gelben Ertragszone erzielt werden. In der Variante der variablen Aussaatstärke entwickelte sich ein Pflanzenbestand, der 1,35 Pflanzen/m² mehr aufwies gegenüber der konstanten Aussaatstärke. Dadurch konnte der Frischmasseertrag bei 33% TS um 13% erhöht werden. In den beiden Ertragszonen gelb und rot konnte durch eine Anpassung der Aussaatstärke das Ertragspotential besser ausgenutzt werden. Der Ertrag wurde durch eine höhere Pflanzenzahl gesteigert. Diese Erkenntnis gewann [Boese 1997] ebenfalls in seinem mehrjährigen Versuch in Bernburg, zur Auswirkung der Bestandesdichte auf den Ertrag von Silomais und Körnermais.

Die AGRAVIS Netfarming GmbH berichtet über durchschnittliche Ertragssteigerungen von bis zu 11% durch eine teilflächenspezifisch angepasste Aussaatstärke von Mais [Carl 2018]. Das Ergebnis dieses Versuches zeigt, dass ein Steigerungspotential der Maiserträge durch die teilflächenspezifische Regulierung der Aussaatstärke möglich scheint. Jedoch müssen weitere Jahre, mit verschiedenen Witterungsverläufen betrachtet werden, um langfristige Empfehlungen zu geben. Das Unternehmen Agro-Sat berichtet über Versuchsergebnisse aus dem Jahr 2014, in dem die Erträge bis zu 12,6% in der Hohertragszone gesteigert werden konnten. Dies geschah durch eine Steigerung der Pflanzenzahl/m². Das Jahr 2014 wurde als ein Jahr mit ausreichend Niederschlag beschrieben [Rose 2017]. Durch eine Reduktion der Aussaatstärke in der Niedrigertragszone wurde allerdings der Ertrag um 11,7% reduziert [Rose 2017].

Der Ertrag des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ konnte durch die teilflächenspezifische Aussaat gesteigert werden. In der Hohertragszone (rot) unterschied sich die variable Aussaatstärke zur konstanten nur um 0,13 Pflanzen/m². Der Feldaufgang der konstanten Aussaatstärke war höher. Jedoch konnte der Ertrag um 5,6% gesteigert werden. Der Ertrag in der gelben Ertragszone stieg durch die variable Aussaatstärke um 7,5%. In der variablen Aussaatstärke etablierte sich ein Pflanzenbestand, mit 0,4 Pflanzen/m² weniger gegenüber der konstanten Aussaatstärke. Die grüne Ertragszone bildete durch eine Pflanzenzahl pro m² von 8 einen Mehrertrag von 11,1%. Die vergleichsvariante mit konstanter Saatstärke entwickelte einen Pflanzenbestand von 8,8 Pflanzen/m². Durch die angepasste Aussaatstärke konnte somit auch auf diesem Versuchsfeld der Ertrag gesteigert werden. Auffällig ist, dass die jeweilige

Ertragssteigerung prozentual höher wird, je weniger Pflanzen diesen Bestand bildeten. Die von dem Unternehmen „Agro-Sat“ erstellte Aussaatkarte hat für dieses Versuchsfeld bei der Maissorte Agrovitallo weniger Pflanzen empfohlen. Anhand einer Absprache mit dem Betriebsleiter [Schünemann 2017] wurde sich dazu entschieden, die Pflanzenzahl um 10% zu erhöhen und eine konstante, „betriebsübliche“ Aussaatstärke von 9 K/m² zu wählen. Im Nachgang kann festgestellt werden, dass eine geringere Aussaatstärke in diesem Versuch zielführender gewesen wäre. Dies wird ebenfalls bei der Betrachtung des Kolbenansatzes deutlich. Dabei zeigte sich, dass einige Pflanzen keinen Kolben ausbildeten, was auf eine überhöhte Bestandesdichte zurückzuführen ist [Landwirtschaftskammer 2015]. Durch eine überhöhte Bestandesdichte entsteht eine erhöhte Lagergefahr des Maises [Hertwig *et al.* o.J.]. Nach der Handernte, kurz vor der ganzflächigen Ernte des Versuchsschlages „Kieskuhle Meinkot“, kam ein Sturmereignis auf. Danach wurde eine erhebliche Lagerneigung festgestellt, was den Erkenntnissen von [Hertwig *et al.* o.J.] entspricht.

Die Ertragsunterschiede in den drei Ertragszonen auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ sind zu erkennen, jedoch bleibt zu vermuten, dass die von „Agro-Sat“ erstellten Aussaatkarten nicht die natürliche Ertragsfähigkeit des Standortes widerspiegeln. Beispielsweise ist der Ertrag in der roten und grünen Ertragszone bei identischer Aussaatstärke (konstant) in der grünen Ertragszone um 0,5 t/ha höher. Unter Rücksprache mit dem Betriebsleiter [Schünemann 2017] und unter Berücksichtigung der Karte der Reichsbodenschätzung würden sich andere Ertragszonen innerhalb dieses Schlages bilden. Die Ertragszonenkarte von „Agro-Sat“ weist eine Hohertragszone in der Mitte des Schlages auf. Diese Karte wurde anhand von Biomasse Karten durch die Fernerkundung erstellt. Das spiegelt den Biomasseaufwuchs kurz vor der Ernte des jeweiligen betrachteten Jahres wider. Das Versuchsfeld kann beregnet werden, dies war in den letzten 10 Jahren nötig [Schünemann 2017]. Die Beregnung jedoch wurde in jedem der 10 Jahre so eingesetzt, dass in der Mitte des Schlages ein Überlappungsbereich entsteht. In diesem Überlappungsbereich wurde somit über mehrere Jahre die doppelte Menge an Wasser zur Verfügung gestellt, woraus sich eine erhöhte Ertragsfähigkeit dieses Bereichs schließen lässt. In diesem Versuchsjahr bestand allerdings keine Notwendigkeit, den Schlag zu beregnen, wodurch keine doppelte Wassermenge in der Hohertragszone zur Verfügung stand. Daher lässt sich vermuten, dass die ermittelte Hohertragszone keine natürlichen Standortvorteile gegenüber den restlichen Bereichen hat. Nach den Vorstellungen von [Dohmen *et al.* 2006] wäre es in diesem Fall ebenfalls angebracht, mehrere Ermittlungsmöglichkeiten einer Teilfläche miteinander zu verknüpfen. In diesem Fall wäre es denkbar gewesen, die Karte der

Reichsbodenschätzung [Niedersächsisches Bodeninformationssystem 2018] mit den Biomassekarten der Fernerkundung zu vergleichen und nachträglich Korrekturen an der Ertragspotentialzone vorzunehmen. Ebenfalls wäre ein größerer Austausch zwischen Dienstleister (Agro-Sat) und Betriebsleiter zielführend gewesen.

Im Folgenden wird auf die untersuchten Inhaltsstoffe des Maises eingegangen. Mais wird hauptsächlich als Kohlenhydratlieferant bezeichnet [Eder *et al.* o.J.], anhand dieser Tatsache spielt bei der Beurteilung des Futterwertes der Stärkegehalt eine wichtige Rolle. Durch eine Erhöhung der Bestandesdichte wird die Energiekonzentration in der Maissilage gesenkt [Hertwig *et al.* o.J.]. Der größte Teil der Energie wird in der Maissilage durch Stärke geliefert, woraus resultiert, dass eine höhere Bestandesdichte zu einem niedrigeren Stärkegehalt führt [Hertwig *et al.* o.J.]. In diesem Versuch konnte diese Erkenntnis nicht durchweg bestätigt werden. Der Stärkegehalt auf dem Versuchsfeld schwankt stark, in dem Bereich von 18 bis 34% der TS. In der Hohertragszone rot beispielsweise wurde durch eine höhere Bestandesdichte ein Anstieg des Stärkegehalts erreicht. In der grünen Ertragszone dahingegen wurde der Stärkegehalt erheblich gesenkt durch eine Anhebung der Bestandesdichte. Somit kann keine allgemeine Aussage über den Einfluss der teilflächenspezifischen Aussaat auf den Stärkegehalt gemacht werden. In Versuchen der Agravis Netfarming GmbH konnte eine Steigerung des Stärkeertrages um 11% bei teilflächenspezifischer Aussaatstärke ermittelt werden [Carl 2018]. Auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ traten die Schwankungen des Stärkegehalts nicht so extrem auf. Dort beläuft sich der Stärkegehalt auf Werte im Bereich von 21 bis 29% der TM. Jedoch lässt sich auch hier nicht eindeutig darauf schließen, ob eine teilflächenspezifische Aussaatstärkenregulierung einen signifikanten Einfluss auf den Stärkegehalt hat. Die erheblichen Schwankungen des Stärkegehalts können mit einer ungenauen Probenahme einhergehen. Bei der Probenahme von 1500g Frischmasse bei der Handernte, ist nicht gewährleistet, dass in jeder Probe exakt der gleiche Anteil zwischen Kolben und Restpflanze vorhanden war. Im Verlauf der Vegetation wird Stärke in dem Kolben eingelagert [Eder *et al.* o.J.]. Anhand dieser Erkenntnis kann ein ungleichmäßiges Verhältnis zwischen Kolben und Restpflanze in der Probenentnahme für diese Schwankungen verantwortlich sein. Außerdem wurde der Stärkegehalt anhand von 2,5g Probenmaterial bestimmt, was anschließend rechnerisch auf die Erntemenge bezogen wurde. Diese relativ geringe Menge an Probenmaterial kann ebenfalls zu einem nicht korrekten Ergebnis des Stärkegehaltes führen. Um diesen Fehler zu reduzieren, wäre eine häufigere Wiederholung innerhalb der Varianten denkbar.

Während der Vegetation verändert sich die Zusammensetzung der Kohlenhydrate im Mais. In der vegetativen Phase befindet sich der größte Anteil der Kohlenhydrate in Form von Zucker in der Pflanze. Im weiteren Verlauf der Vegetation, in der generativen Phase sinkt der Zuckergehalt und gleichzeitig steigt der Gehalt an Stärke. Der Zuckeranteil steht in einer Wechselbeziehung zum Stärkegehalt. Je weiter die Pflanze abreift, desto mehr Zucker wird in Form von Stärke abgebaut und in den Kolben umgelagert [Eder *et al.* o.J.]. Das bedeutet, je später die Ernte des Maises erfolgt, desto höher ist der Stärkegehalt. Da diese Wechselbeziehung zwischen Zucker und Stärkegehalt besteht, wurde der Zuckergehalt dieser Proben ermittelt. Der Zuckergehalt ist in Tabelle 11 dargestellt.

Ertragszone	rot		gelb		grün		blau	
	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.	kons.	var.
Aussaatstärke								
Zuckergehalt Kaltes Bruch	4,84	1,24	1,40	1,37	1,57	2,35	4,79	3,62
Zuckergehalt Kieskuhle M.	4,50	3,83	6,97	5,36	3,59	5,08	-	-

Tabelle 11: Darstellung des Zuckergehalts in Abhängigkeit von Ertragszone und Bestandesdichte auf beiden Versuchsschlägen.

Stellt man die Beziehung zwischen Stärkegehalt und Zuckergehalt dar, so wird deutlich, dass in den meisten Varianten ein geringer Stärkegehalt bei hohem Zuckergehalt vorliegt. Dies entspricht [Eder *et al.* o.J.]. Der Zuckergehalt wurde ebenfalls an einer geringen Menge Probenmaterial (0,5g) ermittelt. Hierbei wäre es sinnvoll gewesen eine größere Probe zu nehmen, um eine bessere Aussagekraft zu erzielen. Der Rohproteingehalt des Maises zeigt in diesem Versuch, dass dieser sortenabhängig ist. So ist eine Tendenz zu erkennen, dass die Sorte ES Metronom des Versuchsschlages „Kaltes Bruch“ einen etwas höheren Rohproteingehalt bildete. Maissilage bildet eine optimale Grundfutterkomponente für die Milchviehfütterung, aufgrund des niedrigen Rohproteingehaltes und der hohen Energiekonzentration [Kruse 2006]. Im Jahr 2011 lag der durchschnittliche Rohproteingehalt von Maissilage bei 8,1% [BASF SE 2012].

Betrachtet man die Ergebnisse des Ertrags, so lässt sich anhand dieses Versuchs und auch Versuchen aus anderen Jahren feststellen, dass die teilflächenspezifische Aussaatregulierung einen positiven Effekt darauf hat. Damit belastbare Ergebnisse entstehen, sollte dieser Versuch wiederholt angelegt werden, um auch andere Witterungsverläufe zu erfassen. Das Ziel von [Rose 2017], trockenstress zu reduzieren, konnte in diesem Versuchsjahr aufgrund der reichlichen Niederschläge nicht herausgefunden werden. Die teilflächenspezifische Aussaat von Mais kann die Effizienz der Betriebsmittel, durch eine Bedarfsorientierte Verteilung auf

einem heterogenen Standort, steigern. Eine Ergänzung zu der Anpassung der Aussaatstärke, wäre eine teilflächenspezifische Regulierung des Düngers, beispielsweise bei der Aussaat durch die Unterfußdüngung. Da mit einem unterschiedlichen Ertragspotential eines Bereichs des Schlages auch ein unterschiedlicher Bedarf an Nährstoff besteht. Jedoch ist die Kverneland Maschine dieses Versuches aufgrund des mechanischen Antriebs der Düngerdosierung nicht in der Lage, die Düngermenge während des Betriebes zu regeln. Durch eine standortangepasste Düngung kann der Ertrag ebenfalls weiter gesteigert werden [Graeff *et al.* 2009]. Diese Maßnahme würde zu einer weiteren Effizienzsteigerung der Betriebsmittel führen. Außerdem könnte die gesamte N-Düngung zu Mais anhand der erstellten Ertragspotentialzonenkarte erfolgen. Dieser zusätzliche Nutzen der Ertragspotentialzonen wurde allerdings nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen. Durch die weitere Nutzung der Karten können die entstandenen Kosten auf weitere Anwendungen aufgeteilt werden.

Dass durch eine teilflächenspezifische Aussaatregulierung die Saatgutkosten reduziert werden [Obenauf *et al.* 2013], kann in diesem Versuch nur teilweise bestätigt werden. Dies ist abhängig von dem Standort und der sonst gewählten „betriebsüblichen“ Aussaatstärke. Auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ wurde durch die teilflächenspezifische Aussaat sogar mehr Saatgut eingesetzt. Daher lässt sich festhalten, dass Betriebsmittel nicht zwingend eingespart werden, sondern dass diese effizienter verteilt werden [Eder *et al.* o.J.].

9 Fazit

Abschließend bleibt festzuhalten, dass anhand der Ertragssteigerungen in den einzelnen Ertragszonen durch die teilflächenspezifische Regulierung der Aussaatstärke ein enormes Potenzial für den Maisanbau steckt. So wie dieser Versuch zeigte auch Versuchsergebnisse aus anderen Jahren (siehe S. 75) bereits Mehrerträge, die dadurch generiert werden konnten. Jedoch ist es zwingend nötig, um weitere belastbare, allgemeingültige Ergebnisse zu erzielen, diese Art der Versuche zu wiederholen. Die zur Verfügung stehende Technik erlaubt mittlerweile eine Realisierung der automatischen Regulierung der Aussaatstärke. Dabei ist jedoch eine technische Affinität des Anwenders nicht wegzudiskutieren. Denn das hohe Maß an technischen Anforderungen bringt ebenfalls Fehlerquellen mit sich, welche bereits bei der Übertragung der Applikationskarte auf die Maschine auftreten können. Durch die teilflächenspezifische Aussaat von Mais ist es möglich, Betriebsmittel optimal nach Ertragspotential zu verteilen, um eine Stressreduktion zu erreichen, was eine Ertragssteigerung

zur Folge hat. Auf leichten Standorten können in diesem Versuch Betriebsmittel in Form von Saatgut eingespart werden.

Außerdem gilt zu ermitteln, ob diese Ergebnisse auf andere Standorte mit höherer Bodengüte und mehr Niederschlag zu übertragen sind. Interessant wäre festzustellen, welchen Einfluss eine an das Ertragspotential angepasste Düngung von Stickstoff und auch der Grundnährstoffe auf die betrachteten Parameter hätte. Die Brisanz des Themas der effizienten N-Düngung wird durch die bereits greifende Düngeverordnung immer deutlicher, wobei die Erzielung von hohen Erträgen, mit hohen Abfuhrmengen von Nährstoffen einhergeht und somit nährstoffbilanzentlastend ist.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzustrebende Bestandesdichte in Pflanzen/m ² in Abhängigkeit von Reifegruppe und Anbaulage nach Zscheischler. Quelle: [Lütke Entrup et al. 2000].....	18
Tabelle 2: Bodenarten mit den jeweiligen Bodenzahlen des Versuchsschlages „Kaltes Bruch“ [Ahl et al. 2017].....	25
Tabelle 3: Kolbenansatz in Kolben/ha auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ in den vier Ertragspotentialzonen, bei variabler und konstanter Aussaatstärke.	52
Tabelle 4: Kolbenansatz in Kolben/ha auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen, bei variabler und konstanter Aussaatstärke.	54
Tabelle 5: Bildung von Bestockungstrieben, Befall des Maiszünslers und Ausprägung des Maisbeulenbrands auf dem Versuchsschlag „Kaltes Bruch“ pro ha.....	55
Tabelle 6: Bestockungstriebe, Zünslerbefall und Befall mit Maisbeulenbrand in Abhängigkeit der Ertragszone und Saatstärke des Versuchsfeldes "Kieskuhle Meinkot" pro ha.....	56
Tabelle 7: Frischmasseerträge der Pflanze sowie des Kolbens in den jeweiligen Ertragszonen in t/ha des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“. Außerdem sind Körner/Kolben angegeben. Diese Ertragsparameter sind jeweils in der konstanten sowie der variablen Aussaatstärke dargestellt.	57
Tabelle 8: Frischmasseerträge der Pflanze sowie des Kolbens in den jeweiligen Ertragszonen in t/ha des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“. Außerdem sind Körner/Kolben angegeben. Diese Ertragsparameter sind jeweils in der konstanten sowie der variablen Aussaatstärke dargestellt.	59
Tabelle 9: Stärkegehalt in % der TM und Stärkeertrag in t/ha der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“ Rohproteingehalt in % der TM sowie der Rohproteinertrag in t/ha.	61
Tabelle 10: Stärkegehalt in % der TM und Stärkeertrag in t/ha der Versuchsfläche „Kieskuhle Meinkot“ Rohproteingehalt in % der TM sowie der Rohproteinertrag in t/ha.....	62
Tabelle 11: Darstellung des Zuckergehalts in Abhängigkeit von Ertragszone und Bestandesdichte auf beiden Versuchsschlägen.....	78

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EM 38-System auf einem Messschlitten, Quelle: [Reckleben 2007].	8
Abbildung 2: Säaggregat der Einzelkornsähmaschine Optima HD von Kverneland [Kverneland group Soest GmbH 2008].	15
Abbildung 3: Bodenkarte der Reichsbodenschätzung der Fläche „Kaltes Bruch“ in Bahrdorf. Die roten Kreuze zeigen die Bodenprobennahmestelle für die Bodenfeuchtemessungen. Quelle: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.	26
Abbildung 4: Bodengrube „Kaltes Bruch“, Bodenart: Moor	27
Abbildung 5: Bodenprofil „Kaltes Bruch“, Bodenart: Schwerer Lehm	27
Abbildung 6: Bodenprofil „Kaltes Bruch“, Bodenart: Sand	28
Abbildung 7: Bodenkarte der Reichsbodenschätzung der Fläche „Kieskuhle Meinkot“. Quelle: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie.	30
Abbildung 8: Witterungsverlauf für den Zeitraum vom 01.10.2016 bis zum 30.09.2017 der Versuchsstandorte [Fieldclimate 2017].	32
Abbildung 9: Versuchsplan des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“, mit eingezeichneten Zählstrecken der jeweiligen Ertragszone.	33
Abbildung 10: Versuchsplan des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“, mit eingezeichneten Zählstrecken der jeweiligen Ertragszone.	34
Abbildung 11: Maisdrillmaschine Optima HD eDrive mit ISOBus der Firma Kverneland.	36
Abbildung 12: Die Aussaatkarte der Versuchsfläche „Kaltes Bruch“ mit den zugehörigen Aussaatstärke in K/m ² . Quelle: Agro-Sat, 2017.	39
Abbildung 13: Aussaatkarte des Versuchsschlages „Kieskuhle Meinkot“ mit zugehöriger Aussaatstärke in K/m ² . Diese Aussaatstärken wurden für diesen Versuch mit dem Faktor 1,1 multipliziert und so ausgesät, Quelle, Agro-Sat, 2017.	40
Abbildung 14: Ausprägungen des Maisbeulenbrands an einem Maiskolben.	43
Abbildung 15: Maisstängel der durch ein Bohrloch des Maiszünslers abgeknickt ist.	43
Abbildung 16: Geerntete 3m ² Versuchsparzelle des Schlages „Kaltes Bruch“.	44
Abbildung 17: Holzhäcksler, der zur Zerkleinerung des Maises nach der Ernte genutzt wurde.	44
Abbildung 18: Schneidmühle „Retsch 300“	46
Abbildung 19: Schwingmühle „Retsch MM400“	46
Abbildung 20: Schlägeisen mit vier in den Boden eingesetzten Stechzylindern	49

Abbildung 21: 24 mit Boden gefüllte Stechzylinder zur Analyse der Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung.	49
Abbildung 22: Feldaufgang auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“ in den vier beobachteten Ertragspotentialzonen, der konstanten Aussaatstärke mit 85.000 Zielpflanzen/ha.	51
Abbildung 23: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kaltes Bruch“ in den vier Ertragspotentialzonen. Bei variabler Aussaatstärke. Werte mit gleichen Buchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test).	52
Abbildung 24: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen der konstanten Aussaatstärke mit 90.000 Zielpflanzen/ha.	53
Abbildung 25: Feldaufgang des Versuchsfeldes „Kieskuhle Meinkot“ in den drei Ertragspotentialzonen der variablen Aussaatstärke. Werte mit gleichen Buchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test).	54
Abbildung 26: Frischmasseertrag in t/ha des Versuchsschlags „Kaltes Bruch“ bereinigt auf 33%TS.. Die grauen Balken geben den Ertrag der konstanten Aussaatstärke wieder. Die grünen Balken zeigen den Ertrag der variablen Aussaatstärke an. Am Ende der Balken sind die jeweiligen Standardfehler aufgeführt.	58
Abbildung 27: Frischmasseertrag in t/ha des Versuchsschlags „Kieskuhle Meinkot“ bereinigt auf 33%TS. Die grauen Balken geben den Ertrag der konstanten Aussaatstärke wieder. Die grünen Balken zeigen den Ertrag der variablen Aussaatstärke an. Am Ende der Balken sind die jeweiligen Standardfehler aufgeführt.	60
Abbildung 28: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart Sand in den tiefen 10-15 und 35-40cm.	64
Abbildung 29: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart lehmiger Sand/ Moor in den tiefen 10-15 und 35-40cm.	64
Abbildung 30: pF-Kurve „Kaltes Bruch“ Bodenart: schwerer Lehm in den tiefen 10-15 und 35-40cm.	65
Abbildung 31: Kolbenansatz im Vergleich zum Feldaufgang „Kaltes Bruch“	71
Abbildung 32: Darstellung des Wasserbedarfs von Mais [Westermeier et al. 2013]	72
Abbildung 33: Vergleich zwischen teilflächenspezifischer und betriebsüblicher Aussaat [Carl 2018].	74

12 Literaturverzeichnis

- Ahl C., Gernandt P., Jörgensen R. (2017): *Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde* 41. Auflage (Göttingen und Witzenhausen)
- Albert E. (2010): *Optimale Düngung mit Phosphor und Kalium zu Mais: Verfügbare Bodengehalte schlagbezogen berücksichtigen mais-Die Fachzeitschrift für den Maisanbauer*
- Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG (2011): *Patent DE102010015913A1 - Sämaschine* <http://google.com/patents/DE102010015913A1?cl=de&hl=de> (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)
- BASF SE (Hrsg.) (2012): *Mais- Potenziale einer bedeutenden Kultur richtig nutzen!*
- Bayer Cropscience (2010): *Leitfaden Erfolgreicher Maisanbau*
- Benninger J. (2013): *Die Entwicklung der Einzelungstechnik bei Einzelkornsäegeräten für Zuckerrüben auf der Grundlage der Patentliteratur seit 1840*
- Bertram A. (2017): *Persönliches Gespräch in Bährdorf*
- Boese L. (1997): *Optimal Reihenweiten und Bestandesdichten im Maisanbau: Lehr- und Versuchsanstalt des Landes Sachsen-Anhalt Bernburger Agrarberichte* 4–9
- Bölöni I. (1963): *Neuere Untersuchungen zur Mechanisierung der Aussaat und Ernte von Mais Agrartechnik* 420–422
- Bongiovanni R., Lowenberg-Deboer J. (2004): *Precision Agriculture and Sustainability Precision Agriculture Jahrgang* 5 359–387
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2007): *§ 1 BodSchätzG - Einzelnorm* https://www.gesetze-im-internet.de/bodsch_tzg_2008/___1.html (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)
- Bundessortenamt (2017): *Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte 2017*
- Carl C. (2018): *AGRAVIS NetFarming* (Königslutter)
- CLAAS KgaA mbH (o.J.): *Precision Farming - EASY | CLAAS*
<http://www.claas.de/produkte/easy/precision-farming/datenauswertung/ertragskartierung>
(Zuletzt geprüft am: 18 Jan 2018)

- Deutscher Wetterdienst (2015): *Niederschlag: langjährige Mittelwerte von 1981-2010, Standort Helmstedt*
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_aak.html.html?view=naPublication (Zuletzt geprüft am: 24 Okt 2017)
- Deutsches Maiskomitee e. V (2009): *Bestimmung Reifezahl - Deutsches Maiskomitee e. V. (DMK)* <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Sorten/Bestimmung-Reifezahl> (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)
- DLG e.V. (2016): *Marktvolumen für Precision Farming wächst zweistellig*
http://www.dlg.org/precision_farming.html (Zuletzt geprüft am: 25 Feb 2018)
- Dohmen B., Reh A. (2006): *pre agro - Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau Forschungsverbundprojekt pre agro*
- Eder B., Eder J., Papst C., Darnhofer B., Mukengele M., Heuwinkel H., Oechsner H. (o.J.): *Welcher Maissortentyp zur Biogaserzeugung in Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 S. 57–72*
- Ehlert D. (1999): *Ertragskartierung in selbstfahrenden Feldhäckslern Landtechnik Jahrgang 54 84–85*
- Eichhorn H., Böhrnsen A., Hammer W., Sourell H. (Hrsg.) (1999): *Landtechnik: 136 Tabellen (Landwirtschaftliches Lehrbuch) 7. Auflage* (Stuttgart: Ulmer)
- Eikel G. (2007): *Vor einer Revolution: Exklusiver Fahrerbericht Amazone Maissägerät EDX 9000 T (Profi)*
- Fieldclimate (2017): *Wetterstation Bahrndorf*
- Gandorfer M., Meyer-Aurich A., Heißenhuber A. (2004): *Der Einsatz moderner Informationstechnologien im Pflanzenbau - ein Beispiel aus der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung Zeitschrift für Agrarinformatik*
- Gaza A. (2016a): *Bestimmung des Rohproteingehalts (XP) nach Kjeldahl DNTW - Abteilung Wiederkäuerernährung*
- Gaza A. (2016b): *Bestimmung des Stärkegehalts polarimetrisches Verfahren DNTW - Abteilung Wiederkäuerernährung*
- Graeff S., Link J., Trumpp S., Claupein W. (2009): *Einfluss heterogener Standortfaktoren auf Biomasse- und Kornertrag von Mais - Relevanz für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung*
- Griepentrog H.-W. (1998): *Fehlerquellen der Ertragsermittlung beim Mähdrusch Landtechnik Jahrgang 53. 288–289*

- Hartmann K. (2017): *SMARTER FARMING: A new project hopes to offer german farmers the benefits of the latest advances in satellite imagery geoconnexion*
- Heege H. (Hrsg.) (2013): *Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results* (Dordrecht: Springer)
- Hertwig F., Wellenbrock K.-H. (o.J.): *Optimale Bestandesdichte sichert hohen Futterwert beim Silomaisanbau*
- Hinck S., Emeis N., Mueller K. (2013): *Teilflächenmanagement - Vergleich von Bodenart, Ertrag und Nährstoffstatus Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*
- Hinck S., Mueller K., Emeis N., Christen O. (2009): *Ermittlung pflanzenbaulich relevanter Bodenkenndaten mit Hilfe ausgewählter Bodensensorik Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*
- IsoMatchShop (2018a): *GEOcontrol* <http://www.isomatchshop.com/de/p1-isomatch-geocontrol.html> (Zuletzt geprüft am: 7 Feb 2018)
- IsoMatchShop (2018b): *SEEDERcontrol* <http://www.isomatchshop.com/de/p4-seedercontrol.html> (Zuletzt geprüft am: 7 Feb 2018)
- Jansen G. (2018): *Bestimmung von Zucker als Inhaltsstoff* (Göttingen)
- Johnson C., Mortensen D., Wienhold B., Shanahan J., Doran J. (2003): *Site-Specific Management Zones Based on Soil Electrical Conductivity in a Semiarid Cropping System Agronomy Journal Jahrgang 95 303*
- Jürschik P., Schmerler J. (1996): *Teilflächenspezifische Aussaat von Winterweizen und Mais Landtechnik Jahrgang 51 318–319*
- Kirchmeier H., Demmel M. (2009): *Vergleich unterschiedlicher Saattechniken für Mais Landtechnik*
- Kruse S. (2006): *Charakterisierung und Modellierung des Abreifeverhaltens von Silomaisgenotypen mittels futterwertbestimmender Parameter Dissertation 1–16*
- Kunisch M., Reith S., Frisch J. (2017): *Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen und Risiken KTBL*
- Kurz F. (2003): *Schätzung von Vegetationsparametern aus multispektralen Fernerkundungsdaten*
- Kverneland group Soest GmbH (2008): *OptimaHD-DE Betriebsanleitung*
- Kverneland group Soest GmbH (2015): *PSD-Software - Betriebsanleitung*
- Landwirtschaftskammer N.-W. (2015): *Bestandesdichte und Reihenabstände bei Mais*
- LG Seeds (2018): *Sortenübersicht* <http://www.lgseeds.de/kulturen/mais/sortenuuebersicht/> (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)

- Lilienthal H., Greef J.-M. (2017): *Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit Satellitenfernerkundung Journal für Kulturpflanzen*
- LLC G. (o.J.): *Pocket Earth App – Offline Maps & Travel Guides for iPhone & iPad*
<https://pocketearth.com/de/#home> (Zuletzt geprüft am: 5 Feb 2018)
- Lorenz F., Münchhoff K. (2015): *Teilflächen bewirtschaften: Schritt für Schritt (AgraPraxis kompakt)* (Frankfurt am Main: DLG-Verlag)
- Lowenberg-DeBoer J. (1998): *ECONOMICS OF VARIABLE RATE PLANTING FOR CORN Staff Paper #98-2*
- Lütke Entrup N., Oehmichen J. (2000): *Kulturpflanzen (Lehrbuch des Pflanzenbaues ; 2)* (Gelsenkirchen: Mann)
- Lütke Entrup N., Schwarz F., Heilmann H. (Hrsg.) (2013): *Handbuch Mais: Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie* 5. Auflage (Frankfurt am Main: DLG-Verl.)
- Moran M., Inoue Y., Barnes E. (1997): *Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management Elsevier Science Inc.*
- NDR (2017): *Forschung: Erntevorhersagen per Satellit*
https://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/hallo_niedersachsen/Forschung-Erntevorhersagen-per-Satellit-,hallonds39496.html (Zuletzt geprüft am: 20 Jan 2018)
- Niedersächsisches Bodeninformationssystem (2018): *NIBIS Kartenserver : powered by cardo.Map* <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)
- Noack P. (2007): *Ertragskartierung im Getreidebau (KTBL-Heft Band 70)* (Darmstadt: KTBL)
- Obenauf U., Borchardt I., Lubkowitz C., Kock C. (2013): *Präzise Saat im Praxistest Top Agrar* 64–69
- QGIS (2018): *Willkommen beim QGIS Projekt!* <https://www.qgis.org/de/site/> (Zuletzt geprüft am: 5 Feb 2018)
- Reckleben Y. (2007): *Das EM 38 System: Ein Bodensensor für die Praxis Landpost*
- Reitz P. (1997): *Untersuchungen zur Ertragskartierung während der Getreideernte mit dem Mähdrescher Forschungsbericht Agrartechnik*
- Rösch C., Dusseldorp M., Meyer R. (2005): *Precision Agriculture Office of Technology Assesment at the German Bundestag*
- Rose N. (2017): *Teilflächenspezifische Aussaat von Mais des Unternehmens Agro-Sat* (Bahrdorf)
- Scheffer F. *et al* (2010): *Lehrbuch der Bodenkunde* 16. Auflage (Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag)

- Schmerler J. (1999): *Bewertung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung Landtechnik* Jahrgang **54**. 216–217
- Schmidt K. (2009): *Hyperspektrale Signaturen: Verfahren zur Identifikation des Zustandes von Pflanzen und anderen Objekten mittels Fernerkundung*
- Schreiber P. (1992): *Einfluss der Wasser- und Nährstoffversorgung auf die Kolbenbildung und den Kornertrag von Mais (Zea mays L.)*
- Schünemann H. (2017): *Persönliches Gespräch in Meinkot*
- Schutte B. (2005): *Bestimmung von Bodenunterschieden durch Zugkraftmessungen bei der Bodenbearbeitung* (Stuttgart)
- Soucek R., Pippig G. (1990): *Maschinen und Geräte für Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat (Reihe Landmaschinenteknik)* 1. Auflage (Berlin: Verl. Technik)
- Statistisches Bundesamt (2018): *Wirtschaftsbereiche - Feldfrüchte und Grünland - Feldfrüchte und Grünland - Statistisches Bundesamt (Destatis)*
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFische/rei/FeldfruechteGruenland/Tabellen/AckerlandHauptfruchtgruppenFruchtarten.html>
(Zuletzt geprüft am: 25 Feb 2018)
- United States Department of Agriculture (2007): *Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies Agronomy Technical Note No. 1*
- Universität Hohenheim (2017a): *Definition Precision Farming: Versuchsstation Agrarwissenschaften* Standort Ihinger Hof <https://ihingerhof.uni-hohenheim.de/precision-farming> (Zuletzt geprüft am: 16 Jan 2018)
- Universität Hohenheim (2017b): *Saattechnik: Versuchsstation Agrarwissenschaften Standort Ihinger Hof: Die variable Aussaat* <https://ihingerhof.uni-hohenheim.de/80435> (Zuletzt geprüft am: 2 Feb 2018)
- Völker A., Buck O., Mütterthies A. (2013): *Fernerkundungsgestützte Kontrolle von Agrarsubventionen: Ein Beispiel aus der Europäischen Union*
https://www.researchgate.net/publication/257671070_Fernerkundungsgestuetzte_Kontrolle_von_Agrarsubventionen_Ein_Beiispiel_aus_der_Europaischen_Union (Zuletzt geprüft am: 20 Jan 2018)
- Wang S.-H. (2001): *Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisorten verschiedenen Wuchstyps*
- Westermeier P., Gresset S. (2013): *Entwicklung trocken toleranter Maissorten: Stabil hohe Erträge durch intensive Forschung Mais* Jahrgang **40** 24–27

13 Anhang

Bodenklassen der Bodenschätzung in Niedersachsen

Moore (Mo)	Eiszeitliche Ablagerungen(D)	Böden unter Grünland
 Niedermoor, gute Zustandsstufe	 Sand (S)	 Sand (S)
 Niedermoor oder Hochmoor, mittlere Zustandsstufe	 anlehmiger Sand (Sl)	 lehmiger Sand (IS)
 Hochmoor, schlechte Zustandsstufe	 lehmiger Sand (IS)	 sandiger Lehm (sL)
 Hochmoor oder Niedermoor, Torfmächtigkeit < 1m Boden	 stark lehmiger Sand (SL)	 Lehm (L)
 Anthropogen überprägte Moore	 sandiger Lehm (sL)	 Ton (T)
Schwemmlandböden (Al)	 Lehm (L)	
 anlehmiger Sand (Sl)	 schwerer Lehm (LT)	Signaturen
 Sand (S)	 Ton (T)	 gute bis sehr gute Zustandsstufe (1,2,I)
 lehmiger Sand (IS)	Verwitterungsböden (V)	 geringe bis sehr geringe Zustandsstufe (5,6,7,III)
 stark lehmiger Sand (SL)	 Sand (S)	 mittlere Zustandstufe ohne Signatur(3,4,II)
 sandiger Lehm (sL)	 anlehmiger Sand (Sl)	 anthropogen überprägte Böden
 Lehm (L)	 lehmiger Sand (IS)	
 schwerer Lehm (LT)	 stark lehmiger Sand (SL)	
 Ton (T)	 sandiger Lehm (sL)	
Sandlöss und Löss (Lo)	 Lehm (L)	
 lehmiger Sand (IS)	 schwerer Lehm (LT)	
 stark lehmiger Sand (SL)	 Ton (T)	
 sandiger Lehm (sL)		
 Lehm (L)		

Anlage A1 Bodenklassen der Bodenschätzung in Niedersachsen.



Anlage A2 Luftaufnahme des Schlages Kieskuhle Meinkot vom 28.06.2017



Anlage A3 Luftaufnahme des Schlages Kaltes Bruch vom 28.06.2017



Anlage A4 das Bild zeigt das ISOBUS Terminal „Isomatch Tellus“ von Kverneland.



Anlage A5 Bodenfeuchtemessung auf dem Versuchsschlag „Kieskuhle Meinkot“ vor der Maisaussaat.



Anlage A6 Stechzylinder , die mit einem Schlageisen in dem Boden platziert wurden. Der Zollstock zeigt die Tiefe der Probenentnahme, die hier bei 35-40 cm lag, Quelle: Eigene Aufnahme, 2017

Ertragszone	Ertrag in t/ha		Ertragsdifferenz in t/ha	Fläche 12,31 ha		Ertrag in t
	FM			Fläche	Flächenanteil	
	var.	kons.		il	Fläche	
rot	66,27	60,36	5,91	20,86%	2,57	15,18
gelb	68,78	60,86	7,92	21,81%	2,68	21,26
grün	61,55	64,88	-3,33	32%	3,94	-13,12
blau	63,55	60,19	3,36	17,93%	2,21	7,42
				Gesamt	11,40	30,74
					Ertrag/ha	2,70 t/ha

Anlage A7 Berechnung des Mehrertrages bei teilflächenspezifischer Aussaat auf dem Versuchsfeld „Kaltes Bruch“.

Ertragszone	Ertrag in t/ha		Ertragsdiff. in t/ha	Fläche 5 ha		Ertrag in t
	var.	kons.		Flächenanteil	Fläche	
				il		
rot	60,58	57,36	3,22	23%	1,17	3,77
gelb	67,63	62,93	4,70	20%	0,99	4,65
grün	64,22	57,72	6,50	27%	1,33	8,65
				Gesamt	3,49	17,07
					Ertrag	4,89 t/ha

Anlage A8 Berechnung des Mehrertrages bei teilflächenspezifischer Aussaat auf dem Versuchsfeld „Kieskuhle Meinkot“.

Substrat	Trocken- substanz (TS)	Preis pro Tonne Frischmasse [€/to]	Preis pro Tonne TS [€/ t]
Maissilage	25,00%	20,54 €	82,15 €
Maissilage	26,00%	22,46 €	86,37 €
Maissilage	27,00%	24,10 €	89,25 €
Maissilage	28,00%	25,66 €	91,66 €
Maissilage	29,00%	26,80 €	92,41 €
Maissilage	30,00%	28,10 €	93,66 €
Maissilage	31,00%	29,36 €	94,70 €
Maissilage	32,00%	24,24 €	75,76 €
Maissilage	33,00%	31,25 €	94,70 €
Maissilage	34,00%	32,20 €	94,70 €
Maissilage	35,00%	32,86 €	93,89 €
Maissilage	36,00%	33,41 €	92,80 €
Maissilage	37,00%	33,68 €	91,04 €
Maissilage	38,00%	33,96 €	89,36 €
Maissilage	39,00%	34,23 €	87,77 €
Maissilage	40,00%	34,23 €	85,58 €

Anlage A9 Biomassepreise für Mais FM frei Halm bei verschiedenen TS-Gehalten der Biogasanlage Oebisfelde.

Saatgutberechnung Kaltes Bruch,					12,31 ha				
Zone	Kö/m ²	ächenante	Fläche	Saatgutmenge in Kö					
I	11,06	20,86%	2,57	284005,98					
II	10,3	21,81%	2,68	276535,53					
III	9,54	32%	3,94	375799,68					
IV	8,78	7,41%	0,91	80088,61					
V	8,03	17,93%	2,21	177236,79					
Summe				1193666,60	Körner/12,31 ha				
Eine Einheit beinhaltet 50.000 keimfähige Körn					23,87	Einheiten/12,31			
Variable Saatmenge					1,94	Einheiten/ha entsprechen	9,70	Kö/m ²	
Konstante Saatmenge					1,7	Einheiten/ha entsprechen	8,5	Kö/m ²	
Saatgutberechnung Kieskuhle Me					5 ha				
Zone	Kö/m ²	ächenante	Fläche	Saatgutmenge in Kö					
I	9,053	23,40%	1,17	105920,10					
II	8,679	19,80%	0,99	85922,10					
III	8,294	26,60%	1,33	110310,20					
IV	7,92	16,80%	0,84	66528,00					
V	7,55	13,40%	0,67	50585,00					
Summe				419265,40	Körner/5 ha				
Eine Einheit beinhaltet 50.000 keimfähige Körn					8,39	Einheiten/5 ha			
Variable Saatmenge					1,68	Einheiten/ha entsprechen	8,39	Kö/m ²	
Konstante Saatmenge					1,8		9	Kö/m ²	

Anlage A10 Saatgutbedarfsberechnung der beiden Versuchsschläge

Nachweis über die Prüfungsanmeldung in FlexNow

Name: Herr Jan Henning Beck

Matrikel-Nr.: 21224960

Semester: SoSe18

Studiengang: Agrarwissenschaften (Master of Science)

Modul: Nutzpflanzenwissenschaften

Prüfung: Agrar – Abschlussarbeit

Dozent: Sebastian Hartwig

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Die Richtlinien zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis an der Universität Göttingen wurden von mir beachtet.

Eine gegebenenfalls eingereichte digitale Version stimmt mit der schriftlichen Fassung überein.

Mir ist bewusst, dass bei Verstoß gegen diese Grundsätze die Prüfung mit nicht bestanden bewertet wird.

Göttingen, den 03.04.2018

Jan Henning Beck