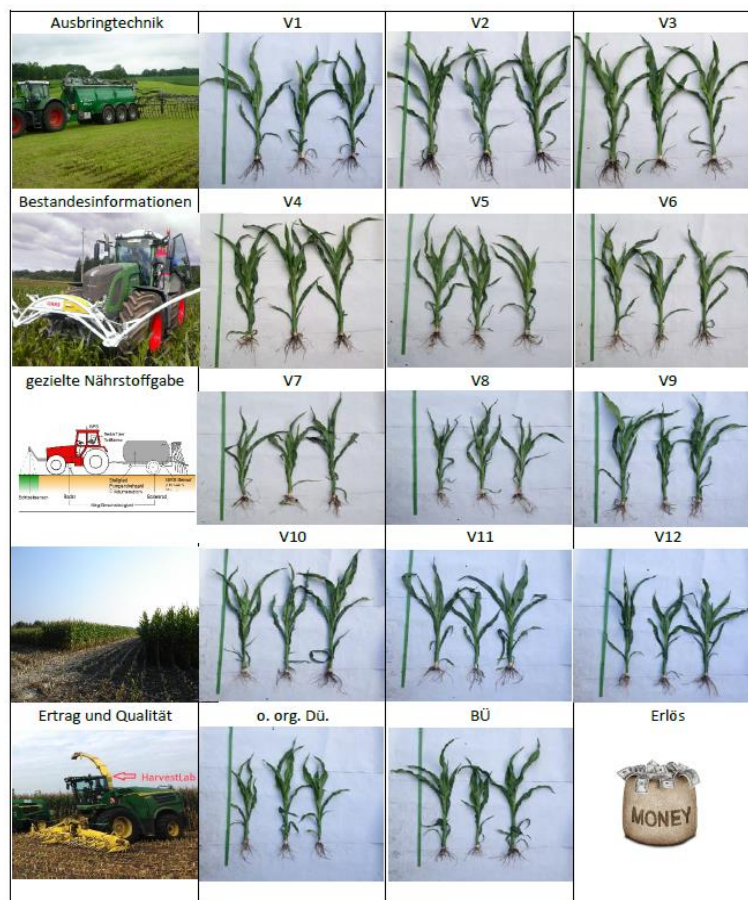




Rationalisierungs-Kuratorium  
für Landwirtschaft

# Emissionsarme Ausbringtechnik von Wirtschaftsdünger zu Mais



Prof. Dr. Yves Reckleben  
Martin Clauß

## **Emissionsarme Ausbringtechnik von Wirtschaftsdünger zu Mais**

Sommer 2017

**Prof. Dr. Yves Reckleben** ist Inhaber des Lehrstuhls für Landtechnik in der Außenwirtschaft am Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Kiel, Grüner Kamp 11 in 24783 Osterrönfeld, Tel.: 04331-845118, E-Mail: yves.reckleben@fh-kiel.de

**B. Sc. Martin Clauß** war Student der Fachrichtung Landwirtschaft am Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Kiel und jetzt Mitarbeiter bei John Deere in Zweibrücken

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer von der Prof.-Udo-Riemann-Stiftung geförderten Untersuchung.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL e.K.)

Albert Spreu

Grüner Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110

Internet: [www.rkl-info.de](http://www.rkl-info.de); E-mail: [mail@rkl-info.de](mailto:mail@rkl-info.de)

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1000 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1325</b>
1.1	Gesetzlicher Rahmen.....	13266
1.2	Konsequenzen für die nachfolgenden Betrachtungen.....	13288
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>13299</b>
2.1	Standort und Übersicht des Versuchsbetriebes .....	133131
2.2	Aufbau und Ziele des Versuchs .....	133232
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>133434</b>
3.1	Feldaufgang und weitere Entwicklung.....	133434
3.2	Erträge .....	133939
3.3	Inhaltsstoffe der Maissilage.....	134343
3.4	N-Min .....	134444
<b>4</b>	<b>Konsequenzen für den betriebsindividuellen Maisanbau .....</b>	<b>134545</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>134646</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1349</b>

## 1 Einleitung

Der Maisanbau ist seit Langem ein wichtiger Bestandteil unserer Landwirtschaft. Allein in Schleswig-Holstein wird in etwa auf 160.000 ha Mais angebaut. Wegen steigender Produktionsmittelkosten sowie immer neuere Auflagen, gilt es den Mais bestmöglich ökonomisch und ökologisch zu produzieren. Gerade ertragsbestimmende Faktoren wie Düngung, Witterung, Bodenqualität und ackerbauliche Maßnahmen haben hierauf einen erheblichen Einfluss. Durch die bevorstehende Novellierung der Düngeverordnung kommen weitere Vorgaben im Umgang mit Düngemitteln – vor allem die zukünftig in der Düngebilanz anzurechnenden Gärreste aus NaWaRo Biogasanlagen – hinzu.

Ein wichtiger Aspekt der Novellierung ist die Nitratauswaschungsgefahr durch fachgerechten Umgang mit Düngemitteln zu verringern. Im Hinblick auf die bevorstehende Neubewertung organischer Düngemittel in der Düngeverordnung, wird es in manchen Regionen Deutschlands regional zu einem Stickstoffüberschuss kommen. Hierbei ist es von enormer Wichtigkeit, den ökonomischen Nutzen aller organischen Düngemittel zu bestimmen (Schukat, 2010), um auch die Transportwürdigkeit in stickstoffärmere Regionen beurteilen zu können.

## 1.1 gesetzlicher Rahmen

Die anfallenden Koppelprodukte Gülle und Mist der Tierhaltung sind seit Jahrhunderten der Grundstein für die Düngung Ackerflächen. Seit dem Beginn der Förderung von Biogasanlagen, wird Gras- und Maissilage nicht nur als Futter für Tiere, sondern auch zur Erzeugung von elektrischem Strom eingesetzt wird, nehmen die anfallenden Reststoffe im landwirtschaftlichen Sektor zu. Diese anfallenden Wirtschaftsdünger gilt es fachgerecht zu nutzen.

Die Dünge-Verordnung regelt die „fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmittel auf landwirtschaftlich genutzten Flächen“. Damit dies auch ohne Auswirkungen auf die Umwelt geschieht und auch Mineraldünger fach- und umweltgerecht ausgebracht werden, sind diese Maßnahmen in der Düngeverordnung (DüV) vom 17. Januar 2007 geregelt. Ein Verstoß gegen die dort beschriebenen Paragraphen gilt als Ordnungswidrigkeit und wird mit Prämienkürzungen sowie Geldstrafen geahndet.

Die Düngeverordnung beinhaltet im Wesentlichen die Düngung der Kulturen nach guter fachlicher Praxis. Hierzu werden Angaben zur sachgerechten Verwendung von Düngemitteln gemacht, wobei die aktuelle Fassung der DüV nur Stickstoff (N) und Phosphor (P) berücksichtigt. Außerdem berücksichtigt diese auch die EU-Nitratrichtlinie und die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Hierbei sollen die Nitrateinträge aus der Landwirtschaft in das Grund- und Oberflächenwasser minimiert werden.

Im Verlauf der DüV wird die Düngedbedarfsermittlung beschrieben, welche Sperrfristen bei der Ausbringung eingehalten werden müssen und welche Ausbringetechniken, sowie Ausbringobergrenzen erlaubt sind. Zudem werden Hilfestellungen zur Berechnung der anfallenden Koppelprodukte in der Tierhaltung gegeben, sowie welche Kapazitäten für die Lagerdauer gegeben sein müssen.

Da trotz der bereits vorgegeben Handlungsmaßnahmen der DüV von 2007 die Nitratwerte im Grund- und Oberflächenwasser steigen, bedarf es einer erneuten Anpassung. Der Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser liegt seit 1980 bei 50 mg/l. Vorher lag der höchst zulässige Wert bei 90 mg/l.

Durch den derzeitigen Strukturwandel in der Landwirtschaft steigen die Tierzahlen pro Betrieb stetig an und es fallen folglich mehr Koppelprodukte wie Gülle, Mist und bei Biogasanlagen Gärreste an. Die Zunahme von Nitrat im Grundwasser und die Ermahnung durch die EU führten zu einer Novellierung der DüV, die vermutlich im Jahre 2017 in Kraft treten wird. Hierfür wurde eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe (BLAG) gegründet. Diese Arbeitsgruppe hat die bestehende DüV auf Schwachstellen untersucht und Ansätze zur Novellierung der DüV erarbeitet.

Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Umgang mit organischen Düngemitteln. Diese Novellierung der DüV sieht vor, dass auch die anfallenden Stickstoffmengen von Klärschlamm, Kompost und Gärresten von Biogasanlagen in der Bilanzierung der N-

Menge pro Hektar berücksichtigt wird. Die zuvor genannten organischen Dünger wurden in der gültigen Fassung der DüV bisher nicht berücksichtigt. Dies ist aber gerade durch den steigenden Markt der erneuerbaren Energien unerlässlich geworden, um die Nitratwerte im Grund- und Oberflächenwasser zu senken. In nachfolgenden sollen die Vorschläge nach BLAG (2012) zur Änderung der DüV vorgestellt werden.

Als erster Punkt zur Verminderung der Nitratreinträge wurde die bestehende Düngerbedarfsermittlung angepasst. Hier wurden einige Düngedepotwerte der Kulturen herabgesetzt, damit eine grundsätzliche Einsatzverringerung des Stickstoff und Phosphor erreicht wird. Die berechnete N-Gabe einer Kultur durch die Düngedepotermittlung kann jederzeit aufgrund von Witterungsereignissen oder Bestandsentwicklungen angepasst werden, welche allerdings dokumentiert und begründet sein muss. Als Beispiel können hier Pflanzensensoren (Greenseeker, Isaria oder YARA N-Sensor) zur Biomassebestimmung eingesetzt werden.

Des Weiteren sieht die Novellierung der DüV eine geringere Stickstoffanrechnung bei organischen Düngemitteln vor. Wie in Tabelle 1 zu erkennen sieht die DüV Novellierung für Rindergülle bei langjähriger Anwendung im Maisanbau nur noch eine Anrechnung von 50 % statt wie bisher von 70 % vor.

**Tabelle 1:** Anrechnung organischer Dünger in Prozent [%] bisher und zukünftig (Lausen, 2015)

organische Dünger	Richtwerte 2013			DÜV Entwurf
	<i>langjährige Anwendung</i>			<i>im Jahr der Anwendung</i>
	Getreide , Raps	Rüben, Kartoffeln, Mais, Kohl	Grünland	
Rindergülle	60	70	70	<b>50</b>
Schweinegülle	70	80	70	<b>60</b>
Gärrest	60	70	70	<b>50</b>
Hühnertrockenkot	60	80	60	<b>60</b>
Jauche	90	90	90	<b>90</b>
Festmist (Rinder, Schafe)	30	50	30	<b>25</b>
Festmist (Schweine)	30	50	30	<b>30</b>

Durch diese Verringerung der Stickstoff Anrechenbarkeit von organischen Düngern könnte also schlussfolgernd mehr pro Hektar ausgebracht werden. Hier muss aber die Auswaschungsfahr mit berücksichtigen werden und es bleibt auch die Obergrenze von 170 kg/N je ha einzuhalten.

Auch die Sperrfristen zur Ausbringung von Düngemitteln mit einem Gehalt von über 1,5 % N wurden angepasst. Bisher galt in der Zeit ein Ausbringverbot auf Ackerland

vom 1. November bis zum 31. Januar. Die Novellierung sieht erstmalig auch eine Sperrfrist zur Ausbringung von Tieren stammenden Mist sowie Kompost oder von Biogasanlagen stammenden Gärresten vor. Diese Sperrfrist soll vom 15. November bis 31. Januar gelten.

Daher müssen Betriebe ausreichend befestigte Lagerplätze schaffen, bei denen ein Auffangen von austretenden Säften sichergestellt wird. Nach wie vor sind aber Anträge zur Veränderung der Sperrfristen möglich.

Auch bei der Art und Weise der Ausbringtechniken sieht die neue DüV Änderungen vor. Ab 2016 ist nur noch der Erwerb von bodennahen Ausbringtechniken für flüssige organische Düngemittel möglich. Hierdurch sollen die Ausbringverluste gesenkt werden. Weiterhin gilt eine Einarbeitungszeit innerhalb vier Stunden auf Ackerland. Die Novellierung sieht ab 1. Februar 2020 vor, dass Düngemittel auf Ackerland über 1,5 % N Gehalt, nur noch streifenförmig oder direkt in den Boden appliziert werden dürfen. Für Grünland soll diese Vorgabe ab 2025 in Kraft treten.

Die maximale Obergrenze für ausgebrachten org. Stickstoff auf Ackerland liegt im neuen Verordnungsentwurf bei 170 kg/N je ha eines Betriebes. Ausbringverluste dürfen nicht mehr angerechnet werden. Lediglich Stall- und Lagerverluste dürfen geltend gemacht werden. Es müssen alle anfallende Dünger eines Betriebes berücksichtigt werden, auch Gärreste aus einer Biogasanlage. Die bisherige Regelung bei Grünland, bei mehrmaliger Schnittnutzung, die ausgebracht Menge auf 230 kg/N/ha zu erhöhen, entfällt.

Als letzten Punkt sieht die Neufassung der DüV einen Nährstoffvergleich vor. Hierzu muss jeder Betrieb bis zum 31. März eines jeden Jahres für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor eine Flächenbilanz (Feld-Stall) oder alle Betriebsflächen zu einer Schlagbilanz zusammenführen und den daraus resultierenden Mittelwert darstellen. Eine Hoftorbilanz wird erst ab 1. Januar 2018 eingeführt. Bei unzureichenden Ergebnissen wird eine Beratungspflicht geltend gemacht und der Düngeplan des Betriebes muss durch das BMEL für das darauffolgende Wirtschaftsjahr genehmigt werden. Durch diese Erweiterung des DüV soll sichergestellt werden, dass Betriebe ihre Kulturen bedarfsgerecht düngen.

## **1.2 Konsequenzen für die nachfolgenden Betrachtungen**

Ziel dieser Untersuchung ist es herauszufinden, welchen Einfluss eine unterschiedliche organische Düngung bei Mais hat. Hierbei werden auch Festmist und separierter Gärrest mit betrachtet. Um die Gefahr von Auswaschungen von Nährstoffen zu senken und die Problematik der späten Nährstoffaufnahme der Maispflanze gerecht zu werden, sollen spezielle Nitrifikationshemmstoffe eingesetzt werden, welche einen positiven Einfluss auf die Nährstoffbindung im Boden und

Umwandlungszeitpunkt von Ammonium zu Nitrat haben. Mit der Änderung der Düngeverordnung wird sich der Stickstoffanfall zum Beispiel im Norden Schleswig-Holsteins erhöhen, was auf eine Änderung der Berechnung des Stickstoffanfalls zurückzuführen ist. Hier wird es in naher Zukunft von Nöten sein, diesen anfallenden, organischen Dünger in den südlichen Teil von Schleswig-Holstein zu transportieren, welcher durch geringe Bestandsdichten von Tieren und Biogasanlagen über einen geringeren Stickstoffanfall verfügt. Hierfür wird vermutlich eine zentrale Güllebörse eingerichtet (bislang über den Landesverband der Maschinen Ringe in S-H als Nährstoffbörse organisiert), wodurch organische Dünger in Schleswig-Holstein vermarktet werden können. Dies ist eine weitere Motivation die Ertragsleistung der organische Dünger in unterschiedlichen Ausbringverfahren im Maisanbau zu untersuchen.

Weiterführend ist zu erwarten, dass durch die Änderungen in der DüV in Bezug auf die geforderten größeren und befestigten Lagerflächen für organische Düngemittel steigende Investitionskosten auf die Betriebe zukommen werden. Gekoppelt mit eventuellen Transportkosten von Betrieben die Ihren Überhang an organische Dünger abtransportieren müssen, gilt es ein möglichst wirtschaftliches Anbauverfahren im Maisanbau zu finden, welches gute Erträge und Qualität, im Hinblick der späteren Nutzung der Maissilage, beim günstigsten Einsatz von Produktionsmitteln liefert.

## 2 Material und Methoden

Für die Untersuchung wurde eine On-Farm-Research Anlage mit fester N-Gesamtmenge in kg/ha festgelegt. Es wurden verschiedene Messgrößen ausgewählt, die Rückschlüsse auf die Auswirkung verschiedener Ausbringverfahren und Zeitpunkte zulassen. Folgende Messgrößen wurden im Praxisversuch dieser Untersuchung genauer betrachtet:

- **N-Min Gehalt** (kg/ha)
- **N Gehalt der verschiedenen eingesetzten Düngemittel** (kg/m<sup>3</sup> und kg/t)
- **Feldaufgang** (Reihenfolge)
- **NDVI Wert** (Normalized Difference Vegetation Index für die Vitalität des Bestandes)
- **Kolbengrößen** (cm)
- **Erträge der einzelnen Varianten** (t/ha)
- **Inhaltsstoffe der einzelnen Varianten** (TM-Trockenmasse, XA-Rohasche, XP-Rohprotein, Rfa-Rohfaser, Stärke, Zucker, XL-Rohfett, NDF-Summe der Gerüstsubstanzen (neutral detergent fibre), ADF-Gerüstsubstanzen ohne Hemicellulosen (acid detergent fibre), Cellulase, nRp, N-Rum – ruminale N-Bilanz, ME-Rind, NEL – Netto Energie Laktation, NFC – Nichtfaser

Kohlenhydrate (non fibre carbohydrates), ELOS – enzymlösliche organische Substanz, SW - Strukturwert)

- **Ökonomische Betrachtung der Anbaukosten (€/t)**

### **Messung der Erträge und Inhaltsstoffe:**

Zusätzlich zur standardisierten Messmethode mit Fahrzeugwagen und labortechnischen Untersuchungen können Silageerträge der geernteten Flächen in Echtzeit auf modernen Feldhäckslern dokumentiert werden. Hierdurch entfallen aufwendige Probenentnahmen und Laborgebühren sowie ungenaue Messparameter die durch eine einmalige Stichbeprobung entstehen. Der Landmaschinenhersteller John Deere nutzt hierfür einem am Auswurfurm positionierten Sensor namens HarvestLab, wie in folgender Abbildung 9 dargestellt.



**Abbildung 1:** HarvestLab an einem John Deere Feldhäcksler (Clauß, 2015)

Das HarvestLab misst mit einer Frequenz von 17 Hz den aktuellen Gutstrom im Auswurfkrümmer der Maschine. Das Messverfahren beruht auf der Nah Infrarot Reflektion Spektroskopie (NIRS). Hierbei wird die unterschiedliche Reflektionsstärke eines vom HarvestLab abgestrahlten kurzwelligen Infrarotlicht gemessen, welches



vom vorbeiströmenden Erntegut reflektiert wird. Die hier gemessene Reflektion wird mit einer von der LUFA entwickelten Kalibration verglichen, wodurch die Inhaltsstoffe der Silage bestimmt werden können. Nach LAUER (2015) ist das System DLG zertifiziert und verfügt über maximale Abweichungen von  $\pm 2\%$  im Vergleich zu den Referenzanalysen im Labor. In der nachfolgenden Tabelle sind die gemessenen Inhaltsstoffe dargestellt.

**Tabelle 2:** Messgrößen HarvestLab (Clauß, 2015)

Erntegut	Material	TS-Gehalt	ADF*	NDF**	Stärke	Proteine	Zucker
Maissilage	Frisch geerntet und siliert	X	X	X	X	X	
Luzerne		X	X	X		X	X
Liesch-Kolben Schrot		X	X	X	X		X
GPS		X	X	X	X	X	
Gras		X	X	X		X	X

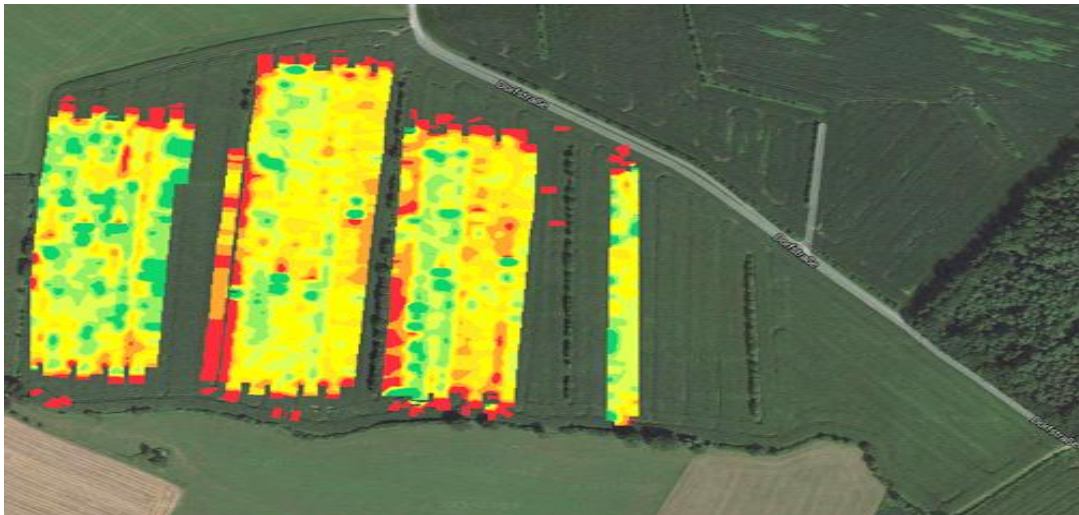
\*ADF = Säure-Detergenz-Fasern  
\*\*NDF = Neutral-Detergenz-Fasern

Anhand von zusätzlichen Sensoren an den Vorpressenwalzen, die dessen Auslenkung bei Materialfluss messen und der aktuellen Daten vom HarvestLab ist auch eine Ertragserfassung möglich. Gekoppelt mit den GPS System zur Positionsbestimmung der Maschine, besteht nun die Möglichkeit Ertragskarten inklusive der dazugehörigen Inhaltsstoffe zu erstellen.

## 2.1 Standort und Übersicht des Versuchsbetriebes

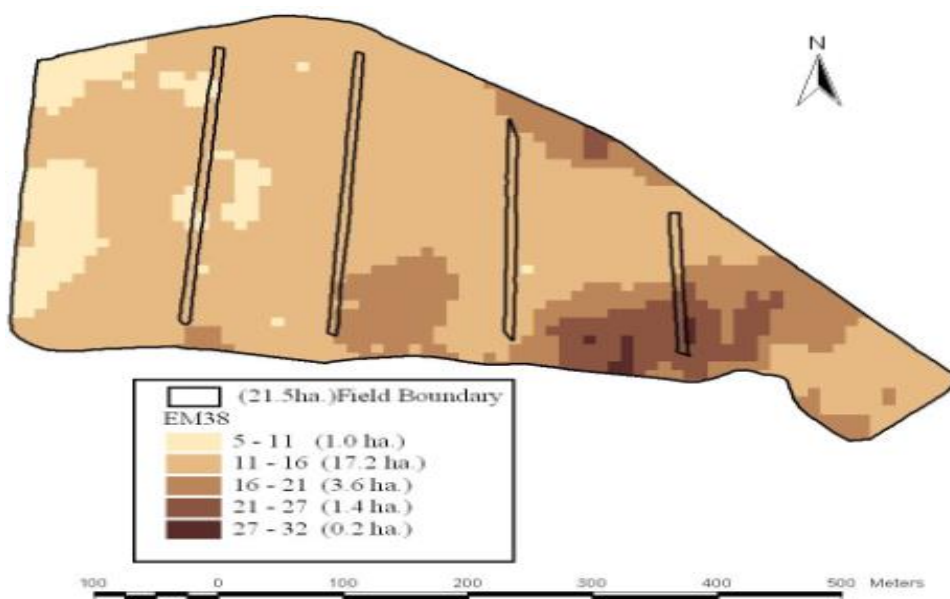
Der Versuch wurde auf einem Betrieb im Kreis Rendsburg-Eckernförde in Schleswig-Holstein durchgeführt. Hier herrschen gute Versuchsbedingungen, da die für den Maisanbau und der Ernte benötigten Maschinen vom Betrieb selbst vorgehalten werden.

Die Versuchsfläche auf dem der Versuch in den Jahren 2014 bis 2016 durchgeführt wurden, liegt in der hohen Geest südlich von Rendsburg. Der Schlag ist insgesamt 21,5 ha groß, auf 9 ha wurde der Versuch angelegt. Die Bodenzahl beträgt 42 und der vorherrschende Bodentyp ist lehmiger Sand. Auf Abbildung 2 ist die Versuchsfläche mit den aufgezeichneten Erntedaten des John Deere Häckslers der einzelnen angelegten Varianten ersichtlich.



**Abbildung 2:** Übersicht der Versuchsfläche in 2014 (Clauß, 2015)

Nachfolgend die EM 38 Karte der gesamten Fläche in Abbildung 3.



**Abbildung 3:** EM 38 Karte der Versuchsfläche (Reckleben, 2009)

## 2.2 Aufbau und Ziele des Versuchs

Insgesamt wurden 14 verschiedene Varianten auf dem Versuchsfeld angelegt. Da es sich um einen On-Farm-Research Versuch handelt, wurden bis auf die betriebsübliche Variante keine Wiederholungen angelegt. Folgende Varianten wurden angelegt. Als Referenzwert diente eine Nullvariante. Es sollen bis auf die Null-Variante (ohne org. Düngung), alle Varianten mit 180 kg N/ha aus Wirtschaftsdüngern versorgt werden. Dieser Wert liegt leicht über dem ermittelten Düngebedarf und den zukünftigen

Vorgaben der DüV, wurde aber ausgewählt, um größere Unterschiede der Ergebnisse herbeizuführen. In der nachfolgenden Tabelle sind die verschiedenen Versuchsvarianten dargestellt:

**Tabelle 3:** OFR-Versuchsanlage und ausgebrachte N-Mengen in kg/ha

Variante	Bodenbearbeitung	Gülle vor der Saat	Gülle in Bestand	Unterfuß (mineralisch)	Mist/sep. Gärrest vor der Saat	AHL (Alzon)	AHL (Piasan)	Saat Reihe
1	Grubber	150	-	30	-	-	-	50 cm
2	Grubber	150 *	-	30	-	-	-	
3	Grubber	75	-	30	-	75	-	
4	Grubber	75	-	30	-	-	75	
5	Grubber	75	75	30	-	-	-	
6	Grubber	-	150	30	-	-	-	
7	Grubber	-	75	30	75 **	-	-	
8	Grubber	-	75	30	75 ***	-	-	
9	Pflug	75	75	30	-	-	-	
10	Pflug	150	-	30	-	-	-	
11	Strip-Tillage	150	-	30 $\frac{100\% UF}{\square}$	-	-	-	34,5 cm
12	Strip-Tillage	150	-	30 $\frac{50\% UF}{50\% UD}$	-	-	-	
ohne org. Dü.	Grubber	-	-	30	-	-	-	50 cm
betriebsüblich	Grubber	115	37.5	30	-	-	-	

\* mit Piadin

\*\* Mist

\*\*\* separierter Gärrest

UF – Unterfuß

UD – Unterflur

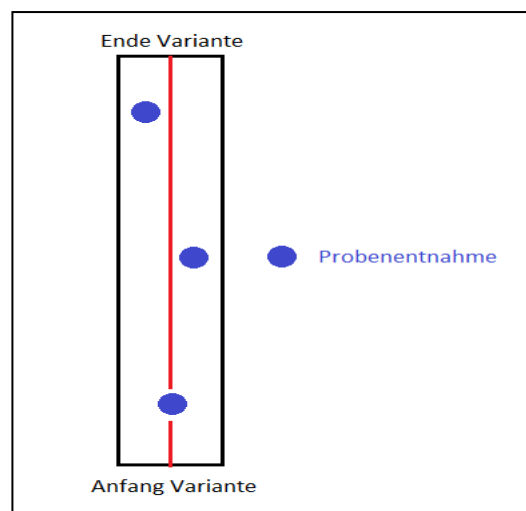
Jede einzelne Variante wurde in 24 m breite Streifen angelegt. Diese enthielten aufgrund der in dem Versuch benutzen engen Reihenweiten von 34,5 cm und 50 cm jeweils eine Fahrgasse. Die Breite von 24 m wurde gewählt, da die meisten auf dem Versuchsbetrieb vorhandenen Arbeitsgeräte auf diese Arbeitsbreite abgestimmt waren und somit die meisten Arbeitsgänge des Versuchs mit den betriebseigenen Maschinen durchgeführt werden konnten. Des Weiteren wurde diese Variantenbreite für die vorhandenen Platzmöglichkeiten innerhalb der Flächenhomogenität und abschließender Ernte durch den vorhandenen Feldhäcksler, mit einer Vorsatzbreite von 9 m, als am besten geeignet befunden. Nicht vorhandene Maschinen oder Maschinen wurden vom Agrarservice Schweizer zur Verfügung gestellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Feldaufgang und weitere Entwicklung

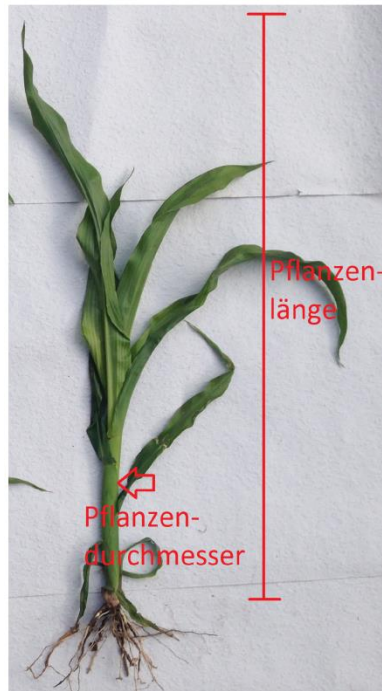
Als erstes Kriterium wurde festgehalten, in welcher Reihenfolge die Varianten aufliefen. Zu beobachten war, dass alle Varianten zeitgleich am 04.05.2014 aufliefen. Bei den Varianten 11 und 12 erfolgte dieser allerdings etwas ungleichmäßiger. In den ersten beiden Wochen nach Auflauf war kein signifikanter Unterschied während des Wachstums zwischen den Varianten zu erkennen. Danach allerdings zeichnete sich ein schnelleres Wachstum der mit Pflug bestellten Varianten ab. Es war deutlich erkennbar, dass diese Pflanzen eine doppelte Wachstumshöhe im Vergleich zu den übrigen Varianten aufwiesen. Dieses ist der schnelleren Bodenerwärmung der größeren Bodenporen durch den Pflugeinsatz geschuldet. Außerdem wird auch eine bessere Jugendentwicklung sichergestellt.

Nachfolgend wurde von jeder Variante, jeweils eine Stichprobe von drei Pflanzen entnommen. Diese wurden nach dem Muster wie in der untenstehenden Abbildung entnommen.



**Abbildung 4:** Punkte zur Probenentnahme innerhalb einer Variante

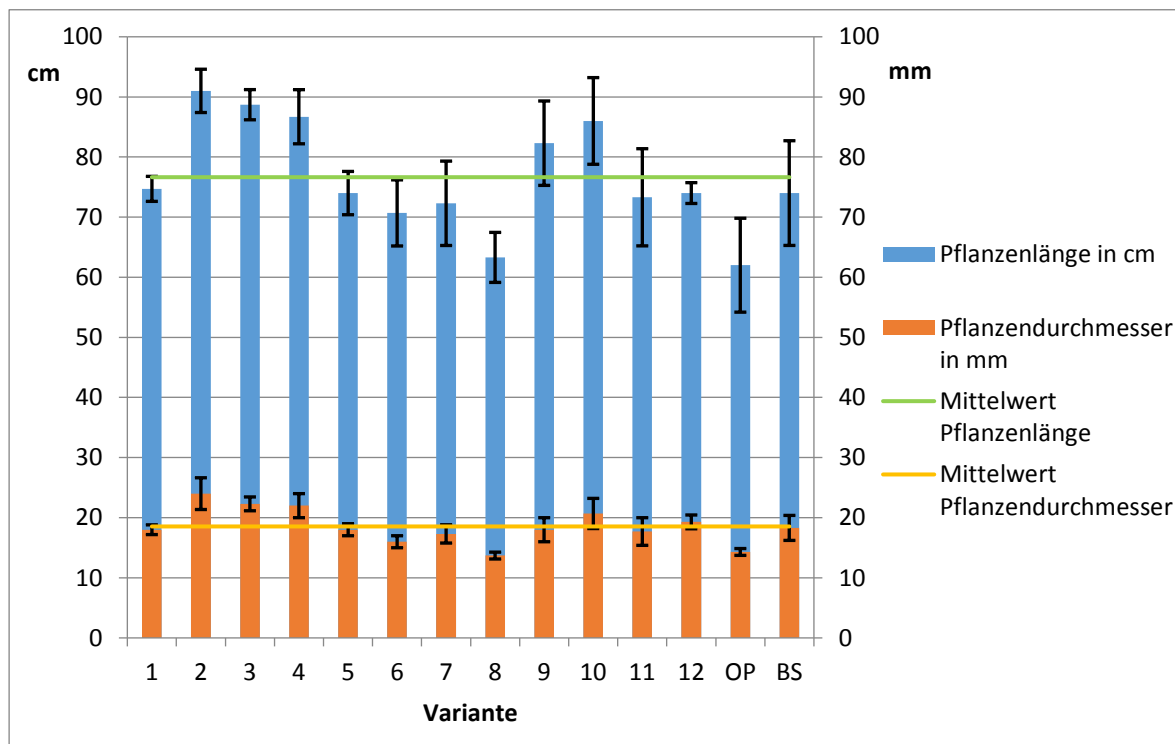
Die entnommenen Pflanzen wurden anschließend nach Länge und Pflanzendurchmesser vermessen. Die ausgewählten Messstellen der Pflanze sind in der folgenden Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 5:** Messstellen der Pflanze zum Wachstumsvergleich

Um den genauen Durchmesser zu bestimmen, wurde dieser an der aufgezeigten Stelle gemessen und die Messung nochmals um 90 Grad versetzt wiederholt. Hieraus wurde der Mittelwert gebildet und zur Auswertung herangezogen.

Um diese Probenentnahmen auszuwerten wurde von jeder Variante der Mittelwert aller Ergebnisse gebildet und daraus das folgende Diagramm gebildet.

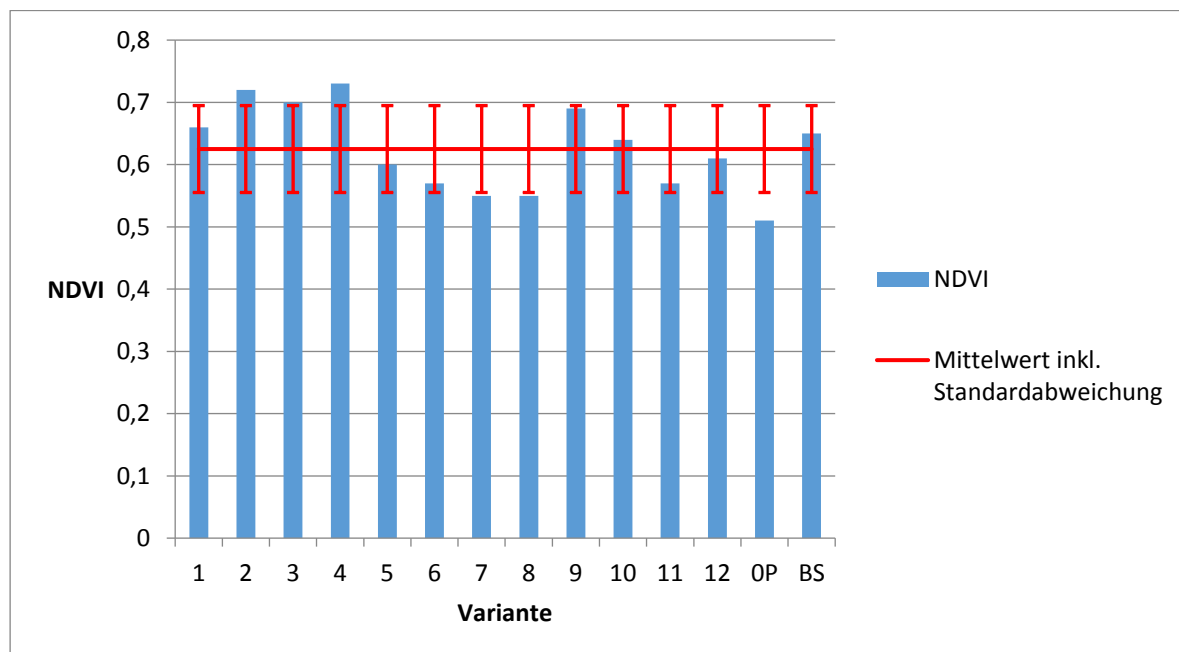


**Abbildung 6:** Wachstumsvergleich Stand 13.06.2014 (Clauß, 2015)

Es wird ersichtlich, dass die mit Piadin versetzte Gülle in Variante 2 die größte Pflanzenlänge, als auch den größten Pflanzendurchmesser aufweist. Ebenfalls weisen die Varianten 3 und 4, bei denen eine Flüssigdüngung erfolgte, gute Werte auf. Dicht gefolgt von den Pflugvarianten 9 und 10. Bei den Varianten 11 und 12, dessen Bestellung durch den Horsch Focus erfolgte, wird ersichtlich, dass der ungleichmäßige Auflauf mittlerweile kompensiert wurde. Aus diesen Daten lässt sich ein deutlicher Trend in Bezug auf das weitere Wachstum ableiten. Auffällig ist, dass die Variante 8 und die OP Variante, in der keine Düngung außer der Unterfußdüngung stattgefunden hat, die schlechtesten Werte aufzeigen.

Bei der Entwicklung der Wurzel fallen besonders die Varianten 2, 3 und 4 durch ein groß angelegtes Wurzelsystem auf. Die OP Variante zeigt wie es zu erwarten war, das kleinste ausgebildete Wurzelsystem. Ein signifikanter Unterschied in der Wurzelanlage zwischen Saatbettbereitung durch den Grubber, Pflug oder Horsch Focus ist nicht gegeben. Allerdings stellen die Horsch Focus Varianten 11 und 12 neben der OP und Betriebsvariante (BS) mit die kleinsten gebildeten Wurzelsysteme dar. Diese Varianten zeigten auch einen unregelmäßigen Feldaufgang.

Alle Varianten wurden mit dem Greenseeker Handsensor an den Boniturpunkten vermessen und der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bestimmt.



**Abbildung 7:** NDVI-Werte der Varianten vom 22. Juni (Clauß,2015)

Die NDVI-Werte der einzelnen Varianten bestätigen die Ergebnisse der vorangegangenen Darstellungen. Auch hier sind die Werte von den Varianten 2, 3 und 4 am besten. Wider Erwarten ist allerdings der Wert von Variante Neun höher als der Wert von Variante Zehn und ist fast so gut wie der von den Varianten Zwei, Drei und

Vier. Bisher stand die Variante Zehn immer besser als Variante Neun dar. Auch die betriebsspezifische und Variante Eins wiesen gute Werte auf.

Im weiteren Verlauf war zu beobachten, dass die Varianten 2, 3, 4 und 10 ein deutlich besseres Wachstum als die anderen Varianten aufwiesen. Kurz vor dem Erntetermin wiesen, bis auf die OP Variante, alle Varianten ein gleiches optisches Wachstumsbild auf und es konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

Um weitere Parameter zu erfassen, wurden zwei Wochen vor der Ernte von jeder Variante drei Pflanzen bzgl. Kolbengröße und Stängeldurchmesser untersucht. Die Beprobung fand nach dem Muster wie in Abbildung 4 dargestellt statt.

Die Kolben wurden der Länge nach vermessen und zusätzlich wurde der Kolbendurchmesser bestimmt. Des Weiteren wurde auch der durchschnittliche Stängeldurchmesser der Maispflanze bestimmt.

Da einige Pflanzen auch mehrere Kolben trugen, wurden nur Pflanzen mit einem Kolben zur Bestimmung herangezogen.

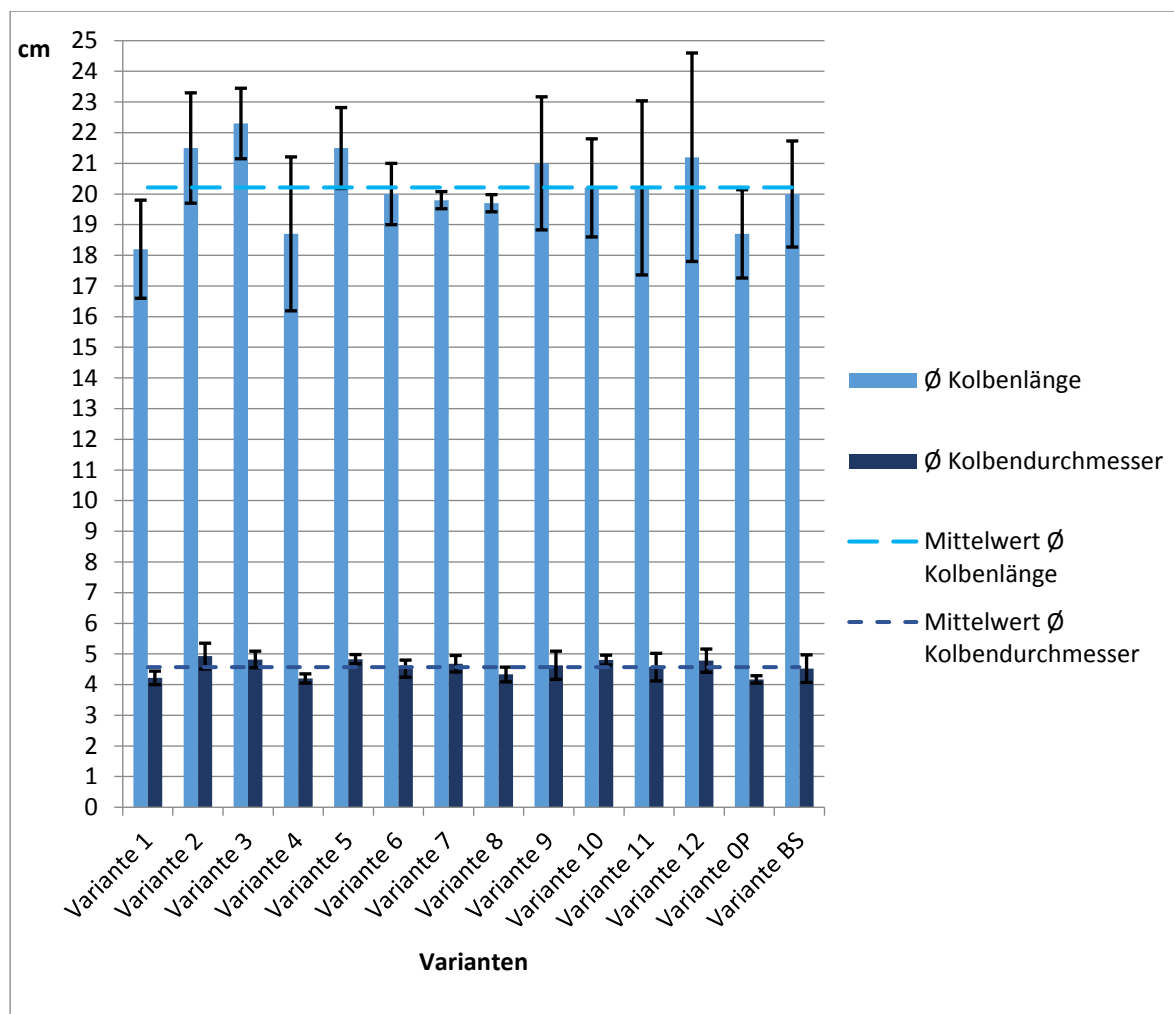
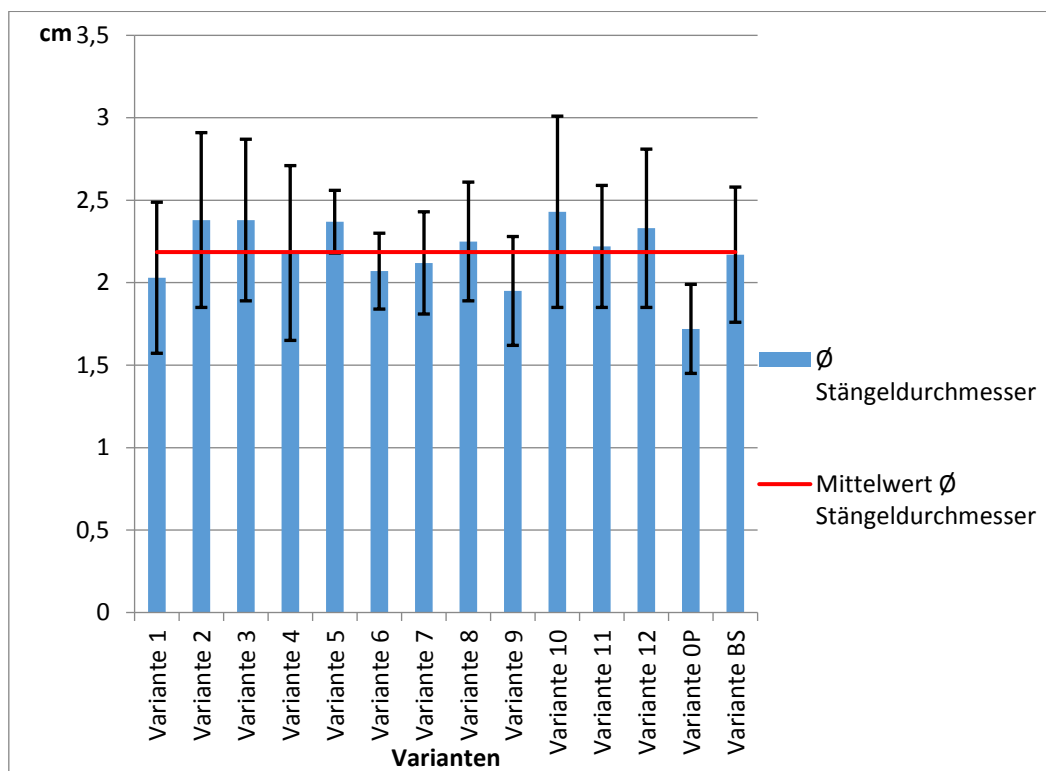


Abbildung 8: Ergebnisse der Kolbengröße

Aus der Abbildung wird deutlich, dass der  $\emptyset$  Kolbendurchmesser aller Varianten bis auf Variante 6 und 7 unterschiedliche, aber ähnliche Werte aufweisen. Größere Unterschiede sind bei der  $\emptyset$  Kolbenlänge ersichtlich. Hier weist die Variante 3 den höchsten Wert auf. Auffällig sind die niedrigen Werte der Varianten 1 und 4. Diese entsprechen dem Wert der nicht gedüngten 0P Variante. Die  $\emptyset$  Kolbenlänge und der  $\emptyset$  Kolbendurchmesser der Variante 12 zeigt ein besseres Ergebnis als die vorherigen Messgrößen, in denen die Horsch Focus Varianten in der Regel mit die schlechtesten Werte im bisherigen Vegetationsverlauf aufwiesen. Alle gepflückten Kolben der beprobten Pflanzen wiesen eine gute Füllung mit großen und gesunden Maiskörnern auf.

In der nächsten Abbildung 9 sind die Ergebnisse zum Stängeldurchmesser der einzelnen Varianten dargestellt.



**Abbildung 9:** Ergebnisse der Stängeldurchmesser

Hierbei wurde wie in Abbildung 24 der Stängeldurchmesser an der dort markierten Stelle an allen Probepflanzen gleich bestimmt und anschließend der Mittelwert von den jeweils drei gezogenen Probepflanzen für jede Variante gebildet. Auch diese Ergebnisse der  $\emptyset$  Stängeldurchmesser zeigen den gleichen Trend wie auch bei den zuvor durchgeführten Messungen auf. Einen schlechten Wert wies allerdings die Variante 9 auf. Dort handelt es sich ebenfalls wie bei Variante 10 um die Pflugvariante. Zwischen diesen beiden Varianten herrscht ein erheblicher Unterschied, da Variante 9 wie auch die 0P Variante bei dieser Auswertung die schlechtesten Ergebnisse aufweisen, während die Variante 10 hier den besten Wert aufweist.

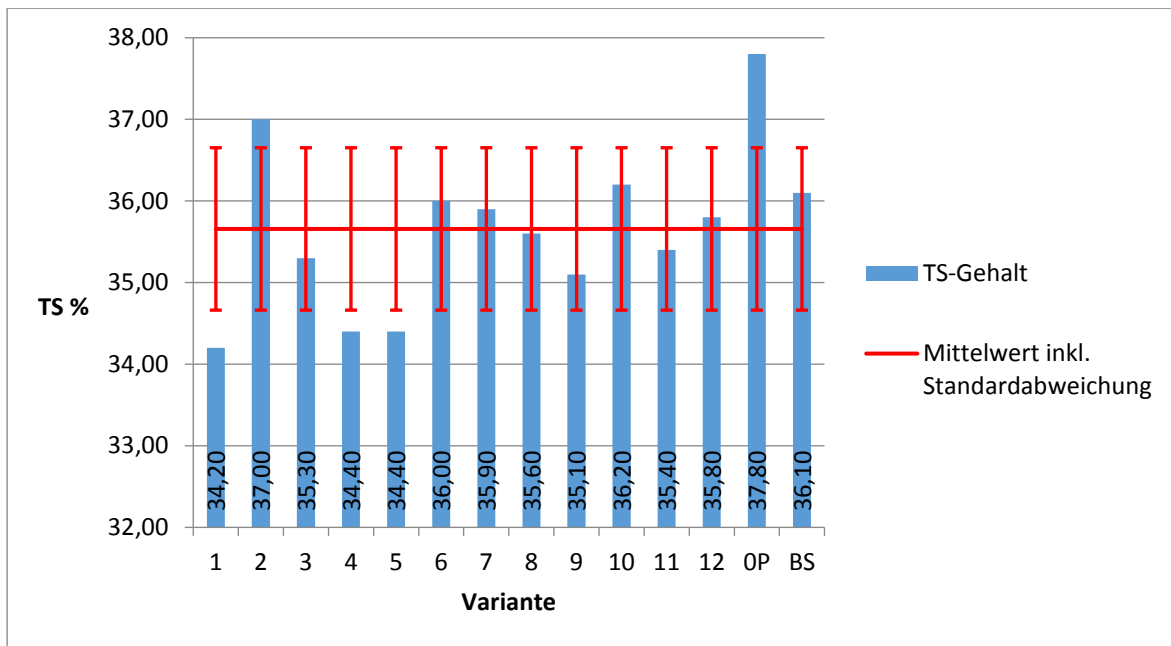


### 3.2 Erträge

Am 22.09.2014 erfolgte die Ernte der Versuchsfläche mit einem John Deere 7750i Feldhäcksler, ausgestattet mit einem zwölfreihigen Kemper Vorsatz. Die Schnittlänge betrug 7 cm und es wurde ein Körnerprozessorspalt von 1,5 mm eingestellt. In diesem Feldhäcksler war ein Standard-Körnerprozessor mit einer Drehzahldifferenz von 21 % verbaut.

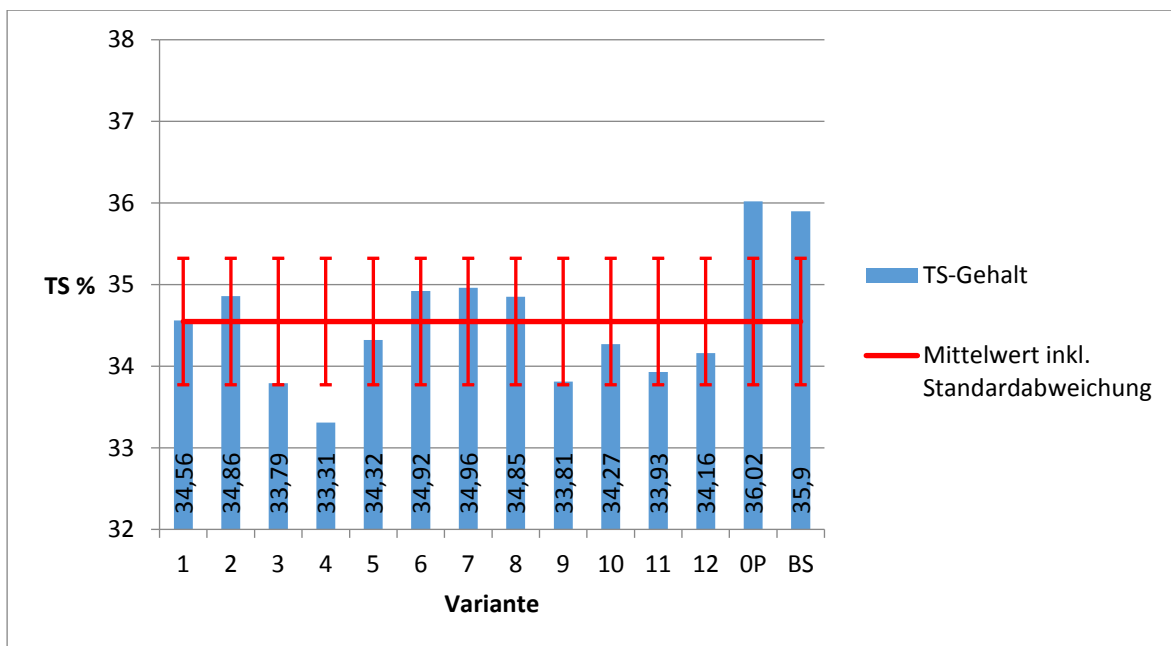
Die Erträge der einzelnen Varianten wurden durch zwei Methoden ermittelt. Hierbei wurde einerseits die Waage des Versuchsbetriebes genutzt, als auch die Ertragserfassung des John Deere Feldhäckslers. Um die Genauigkeit der einzelnen ermittelten Erträge zu erhöhen, wurde an den Vorgewenden vor Beginn und nach Ende aller Variantengrenzen, ein Streifen von einem Meter Breite nach Aufruf der Maispflanzen mit einem Totalherbizid behandelt. Hierdurch wurde nicht nur Platz für Vergleiche des Vegetationswachstums geschaffen, sondern auch genau ersichtliche Anfänge und Enden der Varianten für den Häckslerfahrer. Bei der Ermittlung durch die Fahrzeugwaage des Versuchsbetriebes wurde jedes Abfahrspann leer und voll gewogen, um das tatsächliche Gewicht der Ladung zu ermitteln. Hierfür wurde jedes einzelne Abfahrspann mit einer Nummer versehen und diese wurde beim Befüllen durch den Häckslerfahrer mit der dazugehörigen Variantenummer festgehalten, damit jeder Variante dessen dazugehöriger Ertrag genauestens zugeordnet werden konnte. Diese gemessenen Daten der Frischmasse (FM) wurden anschließend zusammengetragen. Anhand der ermittelten Variantengrößen durch das GPS System konnte für jede Variante eine exakte Umrechnung der Erträge erfolgen. Anhand der ermittelten Trockensubstanz (TS) durch das Labor der LUFA konnte eine Ertragsumrechnung in Trockenmasse (TM) pro Hektar erfolgen.

Folgend sollen die Ergebnisse der ermittelten TS Gehalte der LUFA für alle Varianten dargestellt werden.



**Abbildung 10:** Trockenmassegehalte der Varianten nach LUFA

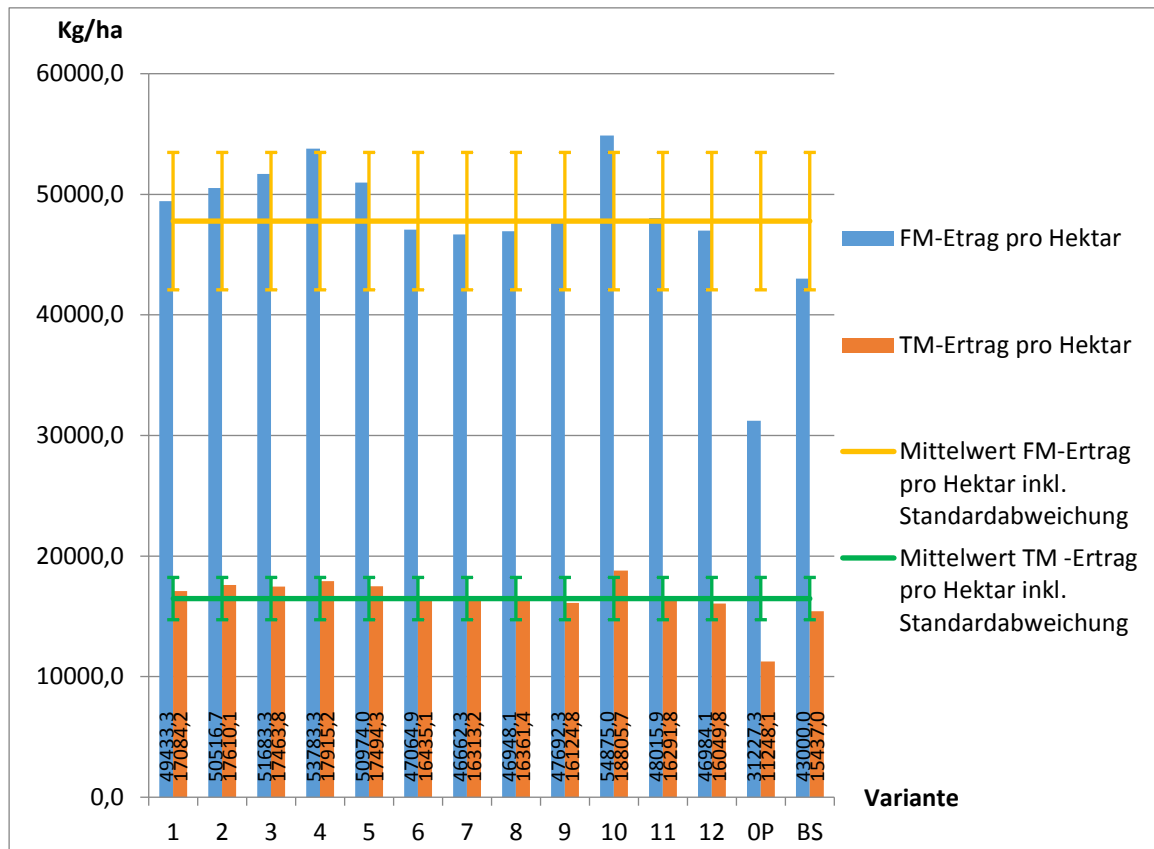
Diese Werte sind anschließend den ermittelten Werten vom Feldhäcksler gegenüber gestellt.



**Abbildung 11:** Trockenmassegehalte der Varianten nach HarvestLab

Aus den vorrangegangenen Abbildung 10 und Abbildung 11 ist ein Unterschied zwischen den einzelnen Varianten ersichtlich. Diese Ergebnisse sollen wie bei den TS Werten auch den HarvestLab Daten des Feldhäckslers gegenüber gestellt werden. Um sehr genaue Werte zu erhalten, wurde die Sensortechnik am Feldhäcksler vor Ernte der Versuchsfläche neu kalibriert. Hierzu wurde der Nullpunkt der Vorpresswalzensensoren ohne Materialfluss neu abgespeichert sowie diverse Häckselwagen auf

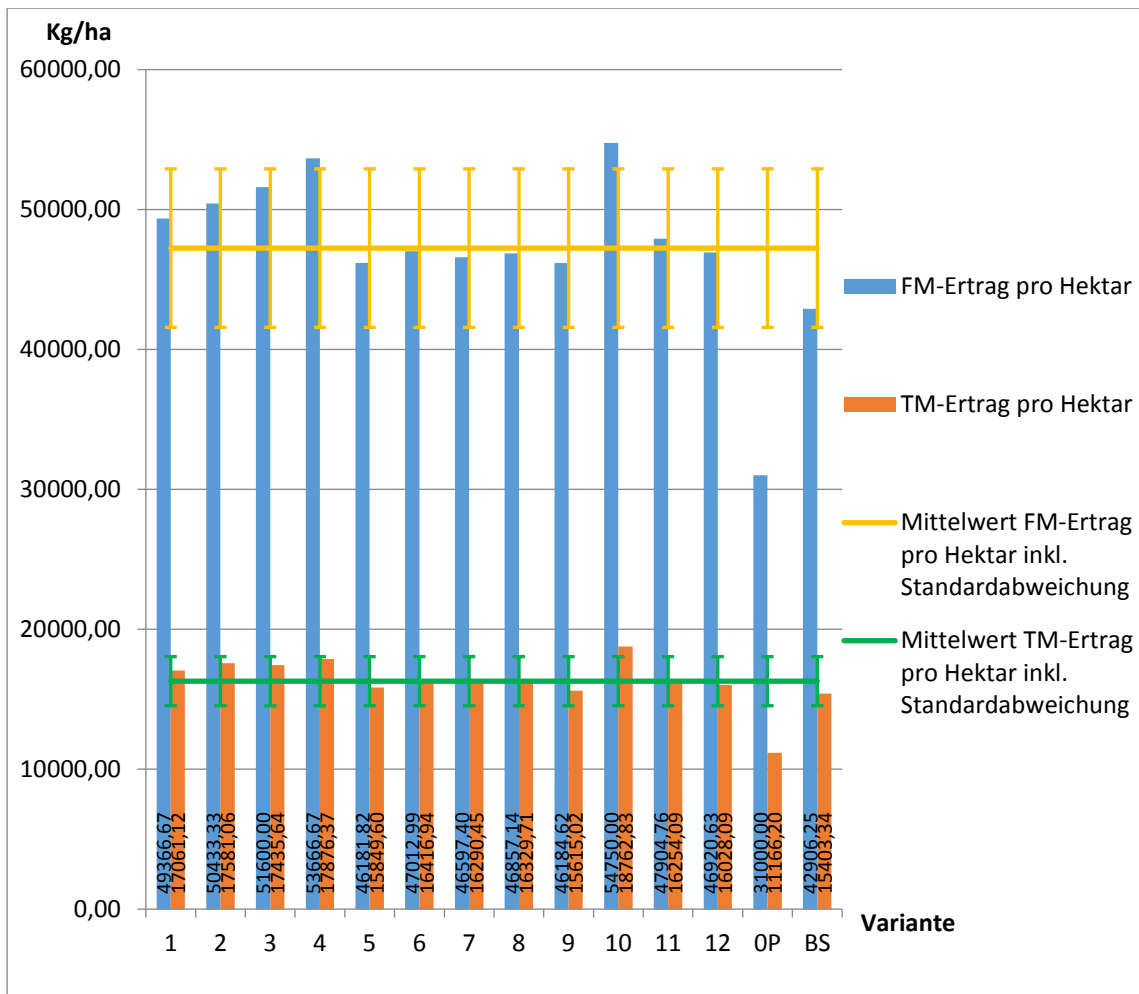
einem vorherigen Schlag befüllt und die dazugehörige Ertragskalibrierung im Häckslerdisplay durchgeführt.



**Abbildung 12:** FM- und TM- Erträge nach HarvestLab

Vergleicht man beide Abbildungen miteinander sind die Erträge der FM sehr ähnlich, wodurch sich ableiten lässt, dass die Ertragserfassung des Feldhäcksler sehr genau funktioniert hat. Lediglich die Erträge der Trockenmasse sind unterschiedlich, was durch die verschiedenen ermittelten TS Gehalte erklärt wird. Diese zeigen aber dennoch dieselbe Tendenz auf. Diese Fehlerquellen zeigen auf, wie wichtig es war, die Variantengrößen zuvor zusätzlich mit einem GPS-System in Verbindung mit einem 24 m breiten Arbeitsgerät, wo keine Überlappung entstehen konnten, zu vermessen.

Zur endgültigen repräsentativen Auswertung der Erträge und zur späteren ökonomischen Betrachtung sollen deshalb, die mit dem GPS Empfänger ermittelten Variantengrößen, die manuell gewogen FM Erträge der einzelnen Varianten und die durch HarvestLab ermittelten TS Gehalte Abbildung 12 genutzt werden. Die daraus resultierenden Ertragsergebnisse werden in der nächsten Abbildung aufgezeigt.



**Abbildung 13:** FM- und TM- Erträge der Varianten (korrigiert)

Vergleicht man die Varianten miteinander lieferte die Variante 10, in welcher der Pflug zum Einsatz kam, den höchsten Ertrag in Bezug auf Trockenmasse je Hektar. Mit etwa 1 Tonne TM weniger Ertrag folgen die Varianten 2, 3 und 4. Hierbei wurde die Bodenbearbeitung mittels Grubber durchgeführt. Die Varianten 3 und 4, in denen der Flüssigdünger eingesetzt wurde, erzielten gute Erträge. Auch die mit stabilisierter Gülle behandelte Variante 2 erreichte einen zufriedenstellenden Ertrag. Wie zu erwarten lieferte die 0P Variante den schlechtesten Ertrag. Dieser war dennoch mit 11,16 t/ha/TM verhältnismäßig hoch. Dieses lässt auf einen bereits sehr gut versorgten Standort des Versuchsfeldes schließen. Sehr schlechte Erträge lieferten neben der 0P Variante auch die Varianten Fünf, Neun sowie die betriebsspezifische Variante. Die betriebsspezifische Variante und Variante 5 stellten dieselben Düngeverfahren dar, in der die Bodenbearbeitung durch den Grubber und die organische Güllendüngung im Splitverfahren vor und nach der Aussaat durchgeführt wurde. Das schlechte Ergebnis der Variante Neun passt nicht zu dem besten im Versuch erzielten Ertragsergebnis der Variante Zehn, da in beiden Varianten die Bodenbearbeitung durch den Pflug erfolgte.

### 3.3 Inhaltsstoffe der Maissilage

Neben den Erträgen der einzelnen Varianten sollen auch die Effekte auf die Inhaltsstoffe der Maissilage durch die verschiedenen Düngestrategien dargestellt werden.

Hierfür wurde von jedem am Maissilo abladenden Anhänger eine Probe der Maissilage gezogen und zu einer Variantenprobe durchgemischt. Diese wurden am darauffolgenden Tag gekühlt für die Auswertung zur LUFA gebracht. Dort wurden neben dem TS-Gehalt auch die weiteren Inhaltsstoffe der Maissilage untersucht. Hierbei musste die Untersuchung zügig erfolgen, damit etwaig startende Umwandlungsprozesse der Silage das Ergebnis nicht verfälschten.

**Tabelle 4:** Inhaltsstoffe Maissilage aller Varianten

	Einheit	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	OP	BS	Zielwerte Futter (LUFA, 2014)
Trockenmasse	%	34,2	37	35,3	34,4	34,4	36	35,9	35,6	35,1	36,2	35,4	35,8	37,8	36,1	28-35
Rohasche	%	3,6	3,7	3,9	4,6	4,0	4,0	3,5	4,0	4,0	3,8	4,3	4,0	3,8	4,2	<4,5
Rohprotein	%	7,1	6,9	7,1	8,0	6,6	6,5	5,7	6,2	6,6	6,9	6,7	6,7	5,9	6,3	<9
Rohfaser	%	18,5	18,9	18,2	20,6	19,9	19,4	20,3	20,2	20,5	17,8	18,6	19,8	18,8	20,4	17 - 20
Stärke	%	30,5	30,0	33,1	23,5	28,7	30,2	34,0	29,2	27,6	35,9	32,2	30,1	33,2	29,6	>30
Zucker	%	6,6	7,6	7,2	8,8	7,9	6,6	6,1	7,2	8,1	6,3	7,7	7,2	7,2	6,9	/
Rohfett	%	3,4	3,4	3,0	3,3	3,4	3,6	3,0	3,1	3,4	2,8	3,0	3,1	3,2	3,0	2 - 5
ADF	%	21,5	20,7	19,5	21,5	21,5	20,8	19,3	21,5	20,9	18,5	19,5	21,0	19,4	21,7	20 - 25
NDF	%	40,4	40,1	37,5	42,1	40,5	39,9	37,9	41,1	40,5	36,6	37,3	40,0	37,4	42,0	35 - 40
NDF org	%	39,6	39,7	37,5	43,0	40,5	39,1	38,4	41,3	41,5	36,6	37,9	40,0	38,0	41,4	/
Cellulase-Test	%	27,7	27,3	26,1	27,2	28,1	27,1	27,4	28,5	27,6	26,2	26,7	28,1	25,9	29,0	/
nutzbares Rohprotein	g/kg	132,8	132,3	132,8	134,1	130,5	132,3	128,2	128,4	130,5	132,3	130,8	129,7	130,7	127,7	130
ruminale N-Bilanz	g/kg	-9,9	-10,1	-9,9	-8,7	-10,3	-10,8	-11,4	-10,6	-10,3	-10,1	-10,2	-10,0	-11,5	-10,4	(-7)-(-9)
ME - Rind	MJ/kg	11,2	11,2	11,2	11,1	11,1	11,3	11,1	11,0	11,1	11,2	11,1	11,0	11,3	10,9	>10,8
NEL	MJ/kg	6,8	6,8	6,8	6,7	6,7	6,9	6,7	6,6	6,7	6,8	6,7	6,6	6,9	6,6	>6,5
NFC	%	45,7	46,1	48,6	42,2	45,7	46,2	50,0	45,7	45,7	50,0	48,8	46,3	49,8	44,6	/
ELOS	%	68,7	69,0	70,0	68,2	67,9	68,9	69,1	67,5	68,4	70,0	69,0	67,9	70,3	66,8	>65
Strukturwert (SW)	/kg	1,6	1,6	1,5	1,8	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7	1,5 - 1,7

Nicht erreichte oder überschrittene Zielwerte sind in der obigen Tabelle zur besseren Übersicht grau/rot eingefärbt. Die Werte für die angegebenen Inhaltsstoffe wurden nach den jeweiligen Messverfahren, wie in den jeweiligen Laborberichten angegeben, ermittelt.

Anhand der Tabelle 4 ist ersichtlich, dass bei den Varianten Vier, Acht, Neun und der betriebsspezifischen Variante oftmals die Zielwerte überschritten werden. Auffallend ist, dass die ruminale N-Bilanz in fast jeder Variante den Zielwertbereich überschreitet. Ebenso wird in Bezug auf die Trockenmasse der Zielwert selten eingehalten. Variante Vier weist einen sehr hohen Gehalt an Rohasche im Vergleich zu den anderen Varianten auf, jedoch gibt es keine schlüssige Erklärung für diesen hohen Wert. Mit steigender Stickstoff Düngung steigt der Proteingehalt des Futtermittels, weshalb die 0P-Variante auch einen niedrigen Wert erreicht. Der sehr niedrige Stärkegehalt der Variante Vier lässt sich auf den hohen Rohaschegehalt zurückführen. Aufgrund der größeren Abweichungen des gemessenen TS-Gehaltes der LUFA in Bezug auf die Werte vom HarvestLab liegt die Annahme nahe, dass auch die Werte der Inhaltsstoffanalyse nicht repräsentativ sind. Geschuldet ist dieses nach TILLMANN (1996) der schon oftmals beschriebenen Stichbeprobung der Silage einer Variante, obwohl sich wie in Kapitel 3.2 beschrieben, größte Mühe bei der Probenziehung gegeben wurde, um eine homogene Silageprobe einer Variante zu erhalten. Um mit dem HarvestLab vergleichbare Genauigkeiten zu erhalten, wären mehrere Probennahmen nötig gewesen. Diese Anzahl lässt sich bei einer Leistung von 200 t/h FM Mais des Feldhäckslers wie folgt errechnen:

200 Tonnen FM/Stunde = 3,33 Tonnen/Minute = 55,55 kg/Sekunde (Häckslerleistung FM).

Das HarvestLab misst 17-mal pro Sekunde, also alle 3,26 kg FM. Unterstellt man nun eine FM Ladung Mais von 19.000 kg je Anhänger müssten 5828 Proben von diesem per Hand gezogen werden. Der eingesetzte Feldhäcksler zur Ernte der Versuchsfläche, verfügte leider nicht über eine Freischaltung, um die Inhaltsstoffe der Maissilage (außer TS-Gehalt), der einzelnen Varianten ermitteln zu können.

### **3.4 N-Min**

In diesem Kapitel sollen die Auswirkungen der verschiedenen Düngestrategien auf den N-Min Gehalt dargestellt werden. Die dazu benötigten Bodenproben sollen im Optimalfall bei kühler Witterung gezogen werden, da hier aufgrund niedriger Bodentemperaturen noch keine Umwandlungsprozesse stattgefunden haben. N-Min beschreibt den Anteil des im Boden löslichen und pflanzenverfügbaren Anteils des Stickstoffes. Hierfür wurden vor Versuchsanlage am 23.02.2014 auf der Versuchsfläche Bodenproben aus den Tiefen 0 - 30 cm und 30 – 60 cm entnommen. Da sich die verschiedenen Varianten auf drei einzelne Teilflächen der Versuchsfläche befanden, wurde jede Teilfläche separat beprobt. Hierfür wurden für jede Teilfläche drei Einstiche in diagonaler Richtung durchgeführt, um aussagekräftige Bodenproben zu erhalten. Diese Beprobung wurde in diesem Praxisversuch zudem auch direkt nach der Ernte, mittels zuvor gespeicherten GPS Koordinaten der ersten Probestiche

wiederholt, um Rückschlüsse auf die Stickstoffausnutzung ziehen können. Außerdem kann hierdurch auch die Stickstoffverlagerung der verschiedenen Varianten bestimmt werden.

**Tabelle 5:** N-Min Werte im Frühjahr und Herbst

	V 1,2,3,4,0P	V 5,6,7,8	V 9,10,11,12,BS
<b>N-Min vor Saat</b>	30 kg/ha	28 kg/ha	31 kg/ha
<b>N-Min nach Ernte</b>	10 kg/ha	18 kg/ha	18 kg/ha

Die Werte stellen Mittelwerte der Teilflächen und der Tiefe 0-60 cm dar. Gerade auf der ersten Teilfläche reduzierte sich der N-Min Gehalt beachtlich. Im Gegensatz zu den anderen Teilflächen befand sich in der Bodenschicht von 0 -30 cm ein höherer N-Min Gehalt. Dieses ist auf die eingesetzten stabilisierten Dünger zurückzuführen. Hierdurch wird nicht nur die schlechte Sorptionsfähigkeit des Sandes verbessert, sondern auch die Umwandlung des Stickstoffes verlangsamt, wodurch das Nitrat nicht so stark in tieferliegende Bodenschichten verlagert wird. Durch die größere Differenz zwischen des N-Min Gehaltes vor Ernte und des N-Min Gehaltes nach der Ernte, ist ersichtlich, dass auch die Stickstoffausnutzung besser war. Somit erfolgte vermutlich auch die Nitratumwandlung zum hauptsächlichen Zeitpunkt der Stickstoffaufnahme der Maispflanze. Bei den anderen Varianten war der N-Gehalt der tieferen Bodenschicht größer als in der Schicht 0-30 cm. Innerhalb dieser beiden Varianten ist kein großer Unterschied ersichtlich.

#### **4 Konsequenzen für den betriebsindividuellen Maisanbau**

Anhand der Ergebnisse aus dem Praxisversuch (beispielhaft für 2014) wurden die Effekte der verschiedenen Ausbringtechniken für organischen Düngers vorgestellt.

Hierbei zeigte sich schon während des Auflaufes des Maisbestandes, welche Varianten das höchste Ertragspotential aufweisen. Gerade die gepflügten Varianten sind durch eine gute Jugendentwicklung gekennzeichnet. Die mit konservierend bearbeiteten Varianten und durch Flüssigdünger gedüngten Varianten holten diesen Nachteil aber zügig auf. Die Varianten Elf und Zwölf überzeugten nicht, aufgrund des unregelmäßigen und schlechteren Auflaufens, wodurch ein Nachteil entstand, welcher bis zum Ende der Vegetation aber gut ausgeglichen wurde. Ertragsmäßig war die Pflugvariante Nummer Zehn Spitzenreiter, dicht gefolgt von Variante Vier sowie Varianten Zwei und Drei. Die Annahme, dass eine Anlegung der Varianten Fünf und Neun direkt am Knick keine Einflüsse, aufgrund der genauen Südausrichtung haben werden, war falsch. In Abbildung 2 ist deutlich ersichtlich, dass im Randbereich des Knickes durchweg ein schlechterer Ertrag, als innerhalb der Varianten gewachsen ist.

Anhand des Farbmusters sind sogar die Einflüsse einzelner auf dem Knick befindlicher großer Bäume zu sehen, welche eine Ertragsminderung durch Schattenwurf mit sich bringen. Dieses wirkte sich gerade auf die gepflügte Variante 9 aus, wodurch sich erhebliche Ertragseinbußen einstellen. Somit ist diese Variante leider nicht repräsentativ und hätte im Normalfall sicherlich ähnliche Erträge wie die ebenfalls gepflügte und ertragsmäßig beste Variante 10 aufweisen können.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die gepflügte Variante 10 mit organischer Gülledüngung die ertragsreichste Methode darstellt. Auch die Varianten 1 bis 4 stellten ordentliche Erträge dar, in denen die Bodenbearbeitung mittels Grubber erfolgte. Hierbei lässt sich festhalten, dass der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen in Gülle sowie der Einsatz von Flüssigdüngern eine ertragssteigernde Wirkung haben, weshalb der Einsatz von Flüssigdüngern für nicht viehhaltende Betriebe eine sehr gute Alternative zur zugekauften Gülle darstellt. Die Varianten, in denen eine Düngung mit separierter Gülle oder Mist sowie eine Gülledüngung erfolgte, weisen auch akzeptable Erträge auf, wenn man bedenkt, dass die Umwandlungsprozesse dieser Stoffe wesentlich länger dauern und zudem sehr gute Auswirkungen auf den Humusgehalt der Folgejahre mit sich bringen. Den gleichen Vorteil bringt auch eine Gülledüngung im Vergleich zur mineralischen Düngung des Flüssigdüngers mit sich. Diese Auswirkungen müssten separat in einem Langzeittest untersucht werden. Konsequenzen der verschiedenen Düngestrategien auf die Inhaltsstoffe lassen sich durch die Problematik, wie in Kapitel 3.3 bereits beschrieben, nicht mit großer Sicherheit beschreiben. Gute Ergebnisse auf die Stickstoffverlagerung sowie dessen Ausnutzung weisen alle Varianten auf, in denen Nitrifikationshemmstoffe bzw. stabilisierter Flüssigdünger eingesetzt wurde. Aussagen zur Auswirkung der Bodenbearbeitung auf die N-Min Gehalte können aufgrund der Versuchsanlage nicht zweifelsfrei gemacht werden. Die hier dargestellten Ergebnisse gelten nur für das Vegetationsjahr 2014 mit dessen dargestellten Klimaverlauf, Versuchsstandort und der vorgestellten Versuchsdurchführung.

## **5 Diskussion**

Alle Varianten bis auf die 0P und betriebsspezifische Varianten wurden jeweils mit 180 N aus organischem Dünger versorgt. Durch den Einsatz von mineralischen- und organischen Düngemitteln besteht aufgrund der unterschiedlichen Umsetzungseigenschaften des Stickstoffes ein schwer einschätzbarer Einflussfaktor. Der im mineralischen Dünger enthaltene Stickstoff wird zu 100 % ausgenutzt, wohin gegen der Stickstoff der Gülle meist durch mikrobiotische Prozesse nur zu 70 % im ersten Jahr der Ausbringung für die Pflanze verfügbar ist. Des Weiteren beträgt die Stickstoffausnutzung vom Mist ca. 50 % und auch die separierte Gülle mit 60 % ist dahingehend nicht voll anzurechnen. Da aber in der vorherigen Vegetationsjahre die Versuchsfläche ebenfalls mit organischem Dünger gedüngt wurde, wird die



Ausnutzung der organischen Gülle etwas höher eingeschätzt. Auch die Bodenqualität wurde als sehr gut eingestuft. Hieraus wird die daraus resultierende Nährstoffausnutzung des Bodens als wachstumsfördernd empfunden. Die Versuchsergebnisse lassen auch keinen Rückschluss auf eine verminderte Ausnutzung des Stickstoffes zu.

In der Literatur wird beschrieben, dass eine konventionelle Bodenbearbeitung mittels Pflug, eine schnellere Saatbettemwärmung im Gegensatz zur konservierenden Methode zur Folge hat, welches eine zügige Keimung und bessere Jugendentwicklung der Maispflanze ermöglicht. Dieses ließ sich durch den zügigen dokumentierten Auflauf der mit dem Pflug bestellten Varianten 9 und 10 bestätigen. Durch den vielen Niederschlag in der Vegetationszeit, konnten keine Vorteile der mit dem Horsch Focus bestellten Varianten beobachtet werden. Ziel war es hier durch einen tieferen (Unterflur) als üblich abgelegten Unterfußdünger ein tieferes Wurzelwachstum zu erzeugen, um auch in Trockenperioden die Wasserversorgung sicher zu stellen. Auch die in vielen Veröffentlichungen beschriebene These einer besseren Nährstoffausnutzung durch eine optimierte Standraumverteilung aufgrund des annähernd optimal errechneten Saatabstands, konnte durch den Nachteil der fehlenden Kornvereinzelnung innerhalb der Sämaschine nicht dargestellt werden. Hierbei kam es zu einem unsauberem Ablagebild durch viele Fehl- und Doppelstellen innerhalb einer Saatreihe. Dieses führte in der weiteren Vegetation auch zu einem erschwerten Wachstum.

Um die Erträge zu bestimmen, wurde neben der manuellen Wägung auch eine Ertragserfassung durch den Feldhäcksler. Neben dem Ertrag können auch verschiedene Inhaltsstoffe der geernteten Fruchtart angezeigt und dokumentiert werden. Die ermittelten Ertragssummen wiesen unwesentliche Abweichungen im Vergleich zur manuellen Wiegung auf. Allerdings wiesen die untersuchten TS-Gehalte der Varianten merkbare Differenzen, zu den ermittelten Werten des Feldhäckslers, auf. Deshalb werden die ermittelten Inhaltsstoffe der Stichproben als nicht repräsentativ eingestuft, obwohl diese durch das anerkannte landwirtschaftliche Labor der LUFA ausgewertet worden sind. Durch diese Gegenüberstellung wird aufgezeigt, dass ein Einsatz elektronischer Dokumentationseinrichtungen in modernen Feldhäckslern ein genaueres Instrument gegenüber der in der Praxis vorherrschenden Stichproben Methode und anschließende Auswertung in einem landwirtschaftlichen Labor sein kann.

Durch den schnelleren Auflauf und eine bessere Jugendentwicklung der Pflugvariante 10 konnte diese auch den höchsten Trockenmasse Ertrag pro Hektar erzielen. Des Weiteren konnte man anhand der Versuchsauswertung eine Ertragserhöhung durch den Einsatz von Piadin als Nitrifikationshemmstoff belegen. Die hiermit behandelte Güllevariante Zwei weist eine halbe Tonne höheren Trockenmasseertrag im Vergleich zur Variante 1, wo keine Güllestabilisierung durchgeführt wurde, auf. Auch eine

Verminderung des N-Min Gehaltes konnte nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse beruhen auf einer Verbesserung der Sorptionskraft des Bodens durch den Einsatz des Piadins, wodurch der Stickstoff besser im Boden gebunden werden konnte. Hierdurch wurde weniger Stickstoff durch die starken Niederschläge in dem Versuchsjahr 2014 ausgewaschen. Eine Verbesserung der Stickstoffausnutzung und der dazugehörigen Ertragserhöhung durch den späteren Nährstoffbedarf der Maiskultur durch eine gesplittete Gülledüngung, sprich eine Ausbringung vor- und nach Aussaat, konnte nicht belegt werden. Im Gegenteil, es wurde als eher wachstumshemmend wahrgenommen, da die ausgebrachte Gülle nach Aussaat nicht eingearbeitet werden kann und es durch starke Sonneneinstrahlung zu hohen N-Verlusten kam. Weiter verringerte sich durch die fehlende Einmischung in den Boden die volle mikrobielle Fähigkeit zur Umsetzung der Gülle in pflanzenverfügbaren Stickstoff. Schlechte Erträge wurden in der betriebsspezifischen Variante erzielt, obwohl der gleiche Stickstoff ausgebracht wurde. Aus der ökonomischen Betrachtung geht hervor, dass sich unter den dort angenommenen Werten der höchste Gewinn pro Hektar Maisanbau mit Variante 4 durch eine Düngung mit Flüssigdünger und Gülle verwirklichen lässt. Dies ist dem günstigen Marktwert des Flüssigdüngers und der geringeren Maschinenkosten der pfluglosen Bodenbearbeitung geschuldet. Die ebenfalls mit Flüssigdünger versorgte Variante Drei weist nur einen unwesentlichen höheren Gewinn pro Hektar im Vergleich zur Variante Zehn auf, in der die organische Düngung komplett mit Gülle vor Aussaat und anschließender konventioneller Bodenbearbeitung erfolgte. Aufgrund der höheren Ertragsergebnisse dieser Pflugvariante und ebenfalls guten Gewinnbildung pro Hektar Maisanbau, gilt diese Anbau- und Düngestrategie als Beste des gesamten Versuchs. Diese Dünge- und Anbaustrategie sollte in der Praxis noch durch Einsatz eines Nitrifikationshemmstoffes verbessert werden. Unglücklich ist die Versuchsauswertung der ebenfalls gepflügten Variante Neun, die aufgrund der verminderten Sonneneinstrahlung durch den angrenzenden Knick schlechte Ertragsgrundlagen hatte. Hier wäre die tatsächliche Auswirkung der gesplitteten organischen Düngung durch Gülle nach und vor der Aussaat interessant gewesen. Alle ermittelten Ergebnisse basieren auf einer Grundlage der Versuchsjahre 2014 bis 2016. Diese stellen die Auswirkung der Dünge- und Anbaustrategien des Standorts unter Einfluss der in den Versuchsjahren vorherrschenden Witterungsbedingungen dar.

Die ökonomische Betrachtungsweise beruht ebenfalls auf dieses eine betrachtete Vegetationsjahr und gilt nur unter den angenommenen Werten. Diese ökonomische Bewertung wird durch Wiederholungen in Folgejahren genauer, da auch die Auswirkung einer dauerhaften mineralischen- oder organischen Düngung auf die Erträge und Bodenstruktur untersucht werden kann. Ebenfalls werden schwankende Marktpreise für Mais sowie die Änderungen der Produktionskosten sicher erfasst. Diese konnten durch die einjährige Betrachtungsweise nicht ausreichend berücksichtigt werden. Der Einsatz der vorgestellten Smart-Farming-Technologien

benötigt ein gewisses Know-how im Bereich der Computertechnik. Die Verwendung solcher Systeme wird als sehr sinnvoll erachtet, obwohl diese teils mit hohen Investitionskosten verbunden sind. Hier muss ein sinnvoller Einsatz auf den individuellen Betrieben näher beleuchtet werden, da auch die Verwaltung der erzeugten Daten ein hohes Maß an Organisationsdisziplin des Anwenders erfordern.

## **6 Zusammenfassung**

Mais ist ein wichtiger Futter- und Energielieferant in der Landwirtschaft. Durch die bevorstehende Novellierung der Düngeverordnung steigt der ohnehin schon vorhandene wirtschaftliche Druck der landwirtschaftlichen Betriebe. Diese Novellierung sieht diverse Änderungen in der Bewertung organischer Düngemittel sowie dessen Lagerung auf den Betrieben vor. Auch die Sperrfristen zur Ausbringung dieser Düngemittel werden neu überarbeitet. Gerade durch die Neubewertung dieser Wirtschaftsdünger kommt es zu einem Stickstoffüberschuss in einigen Regionen von Schleswig-Holstein. Dieser muss durch Einführung einer Wirtschaftsdüngerbörse vermarktet und in stickstoffärmere Regionen abtransportiert werden.

Um das technische und ökonomische Optimum verschiedener Ausbringverfahren im Maisanbau zu ermitteln, wurde ein On-Farm-Großflächenversuch im Vegetationsjahr 2014 angelegt und in den darauf folgenden Jahren 2015 und 2016 wiederholt. Hierzu wurden 14 verschiedene Varianten angelegt. Diese wurden alle außer der Referenz- und betriebsspezifischen Variante mit 180 N versorgt. Die Nährstoffversorgung erfolgte auf unterschiedlichste Methoden mit verschiedenen Düngemitteln. Des Weiteren wurden Varianten mit konventioneller Bodenbearbeitung, sprich Pflug und einem darauffolgenden Arbeitsschritt zur Rückverfestigung des Bodens sowie zur Herstellung des Saatbettes mittels Grubber angelegt. Aber auch Varianten mittels pflugloser Bodenbearbeitung und gleichzeitiger Saatbettbereitung durch Einsatz eines Grubbers befinden sich unter den getesteten Varianten. Zwei weitere Varianten stellen das Strip-Tillage Verfahren dar, welche durch die Sämaschine Horsch Focus erstellt wurden.

Für eine repräsentative Analyse wurden neben manueller Beurteilung auch Smart-Farming-Technologien zur Auswertung und Anlegung des Versuches herangezogen. Dieses war ein GPS- und Dokumentationssystem der Firma John Deere, mit denen die Flächengrößen, Erträge und Inhaltsstoffe der Maissilage bestimmt wurden sowie ein GreenSeeker zur Bestimmung der NDVI-Werte aller Varianten. Die mit dem Feldhäcksler ermittelten TS-Gehalte zeigen erhebliche Unterschiede zu den gezogenen Stichproben auf. Hiermit zeigt sich wie wichtig moderne Erfassungssysteme auf Landmaschinen in der heutigen Landwirtschaft sind, um exakte Erntedaten auch in ihrer feldspezifischen Verteilung zu erfassen, wodurch

außerdem kostenintensive Auswertungen in Laboren auf das notwendige Maß reduziert werden.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, welches Potential verschiedene Düngestrategien im Maisanbau aufweisen.