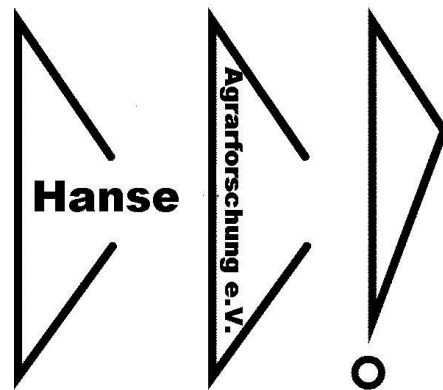


Versuchsbericht

2012/2013



Notwendigkeit und Auswirkungen der Herstdüngung zu verschiedenen Zeitpunkten auf Herbstentwicklung, Überwinterung sowie Ertrag und N-Bilanz im Winterraps unter Einbeziehung von Precision Farming Tools

Dieses Versuchsprojekt wurde durch die Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft unterstützt.
Projekt 2012/53

Dr. Dominik Gerwers
Norbert Zirps
Hanse Agrarforschung e.V.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Material und Methoden	10
2.1	Vorbemerkung	10
2.2	Standortbeschreibung.....	10
2.2.1	Arup	10
2.2.2	Bossee	13
2.2.3	Bahrdorf	15
2.2.4	Hakenstedt.....	16
2.3	Versuchspläne.....	17
2.3.1	Kleinparzellenversuche	17
2.3.2	Großstreifenversuche.....	20
2.4	N-Düngungsmenge im Frühjahr.....	24
2.4.1	Grundlagen der Berechnung mittels N-Aufnahme im Herbst	24
2.4.2	N-Mengen für den Standort Arup.....	25
2.4.3	N-Mengen für den Standort Bossee	26
2.4.4	N-Mengen für den Standort kleiner Distelkamp in Bahrdorf	26
2.4.5	N-Mengen für die Großstreifenversuche Bahrdorf und Hakenstedt	27
2.5	Bonituren	27
2.6	Statistische Berechnung	28
3	Ergebnisse	29
3.1	Arup.....	29
3.2	Bossee	33
3.3	Bahrdorf.....	37
3.4	Precision Farming Großflächenversuche Bahrdorf / Hakenstedt.....	41
4	Diskussion	50
4.1	Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Pflanzenentwicklung im Herbst ...	50
4.2	Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Ertragsleistung und die N-Bilanz von Winterraps auf unterschiedlichen Böden	52

4.3	Einfluss der unterschiedlichen Kalkulationsmethoden zur Bestimmung der Stickstoffdüngungsmenge im Frühjahr auf die Ertragsleistung und die N-Bilanz.....	53
4.4	Eignung des Einsatzes von Precision Farming Tools zur Stickstoffdüngung von Winterraps	53
5	Fazit.....	56
6	Literatur	57

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1	Lage der Versuchsfläche Arup. Die rote Fläche zeigt die Lage des Kleinparzellenversuches (Quelle: Google Earth).	11
Abbildung 2	Witterung der DWD-Station Schleswig. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 31. August 2013. Eigene Darstellung, Quelle DWD.....	12
Abbildung 3	Luftaufnahme der Versuchsfläche in Bosse. Die rote Fläche zeigt die Lage des Kleinparzellenversuches. (Quelle: Google Earth)	13
Abbildung 4	Witterung auf dem Versuchsstandort Hohenschulen, Achterwehr. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 31. August 2013. Eigene Darstellung, Quelle CAU Kiel.....	15
Abbildung 5	Witterung auf dem Versuchsstandort Bahrndorf. Dargestellt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 10. August 2013.	16
Abbildung 6	Versuchsplan der Standorte Arup und Bossee, große Zahlen stehen für die Varianten, die kleinen bezeichnen die Parzellennummer.....	17
Abbildung 7	Versuchsplan des Standortes „kleiner Distelkamp“ in Bahrndorf, große Zahlen stehen für die Varianten, die kleinen bezeichnen die Parzellennummer	19
Abbildung 8	Versuchsfläche Meinkot 2 in Bahrndorf.....	21
Abbildung 9	Versuchsfläche Thie in Bahrndorf.	22
Abbildung 10	Versuchsfläche Wischeropsbreite in Hakenstedt.	23
Abbildung 11	Mittelwerte der oberirdischen Frischmasse pro Pflanze in g. Werte für Herbst (29.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Arup. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	30

Abbildung 12	Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha ⁻¹ am Standort Arup. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	30
Abbildung 13	N _{min} Werte zu Vegetationsende (29.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe.....	31
Abbildung 14	Übersicht der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herbstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.	31
Abbildung 15	Kornertrag in dt ha ⁻¹ am Standort Arup 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	32
Abbildung 16	N-Bilanz in kg N ha ⁻¹ a sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Arup	32
Abbildung 17	Mittelwerte Wurzelhalsdurchmesser pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (26.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	33
Abbildung 18	Mittelwerte der oberirdischen Frischmasse pro Pflanze in g. Werte für Herbst (26.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	34
Abbildung 19	Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha ⁻¹ am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05. ...	34
Abbildung 20	N _{min} Werte zu Vegetationsende (26.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe.....	35
Abbildung 21	Übersicht der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herbstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.	35
Abbildung 22	Kornertrag in dt ha ⁻¹ am Standort Bossee 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	36
Abbildung 23	N-Bilanz in kg N ha ⁻¹ sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	36
Abbildung 24	Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha ⁻¹ am Standort Kleiner Distelkamp. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=8, p=0,05.....	37
Abbildung 25	N _{min} Werte zu Vegetationsende (26.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe.....	38
Abbildung 26	Übersicht der der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herbstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.	39

Abbildung 27	Kornertrag in dt ha ⁻¹ am Standort Kleiner Distelkamp 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.....	40
Abbildung 28	N-Bilanz in kg N ha ⁻¹ sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Kleiner Distelkamp	40
Abbildung 29	N Summe Herbst + Frühjahr Thie	41
Abbildung 30	Ertrag t/ha Thie	42
Abbildung 31	Kornertrag t ha ⁻¹ Thie.....	43
Abbildung 32	Bilanz kg N / ha Thie.....	44
Abbildung 33	N-Bilanz kg / ha Thie	44
Abbildung 34	N Summe Herbst und Frühjahr kg ha ⁻¹ . Wischeropsbreite	45
Abbildung 35	Ertrag t ha ⁻¹ , n=6042, Durchschnitt = 6,0 t ha ⁻¹	46
Abbildung 36	Kornertrag t ha ⁻¹ der Fahrgassen 4 bis 9. Verschiedenen teilflächenspezifische Methoden. Wischeropsbreite	46
Abbildung 37	Kornertrag t ha ⁻¹ der Fahrgassen 8 sowie 10 bis 17. N-Düngung Frühjahr nach Applikationskarten. Wischeropsbreite.....	47
Abbildung 38	N Bilanz kg ha ⁻¹ n=6042, durchschnitt 12,8 kg ha ⁻¹	47
Abbildung 39	N Bilanz kg ha ⁻¹ der Fahrgassen 4 bis 9. Verschiedenen teilflächenspezifische Methoden. Wischeropsbreite	48
Abbildung 40	N Bilanz kg ha ⁻¹ der Fahrgassen 8 sowie 10 bis 17. N-Düngung Frühjahr nach Applikationskarten. Wischeropsbreite.....	48

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1	Übersicht der Varianten mit unterschiedlicher mineralischer Herbstdüngung, Mengenangaben zu den beiden Terminen beziehen sich auf ausgebrachte kg N/ha.....	18
Tabelle 2	Übersicht der Varianten mit unterschiedlicher mineralischer Herbstdüngung, Mengenangaben zu den beiden Terminen beziehen sich auf ausgebrachte kg N/ha.....	19
Tabelle 3	Übersicht der Varianten auf der Fläche Wischeropsbreite. Die Fahrgassennummern laufen von Nord nach Süd.....	24
Tabelle 4	N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche Arup	25
Tabelle 5	N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche Bossee	26
Tabelle 6	N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche kleiner Distelkamp	26
Tabelle 7	Kalkulation und Verteilung der Stickstoffmengen (kg N /ha) für die Großflächen	27
Tabelle 8	Übersicht der Varianten auf der Fläche Wischeropsbreite. Die Fahrgassennummern laufen von Nord nach Süd.....	49

1 Einleitung

Die Stickstoffdüngung in Winterraps ist aufgrund verschiedener Aspekte recht anspruchsvoll. Der hohe Bedarf zur Etablierung eines guten Rapsbestandes erfordert große Mengen an Stickstoff, die Abfuhr mit dem Erntegut ist jedoch sehr gering, sodass ein großer Teil in den Ernte- und Wurzelrückständen auf der Fläche verbleibt. Aus ökologischer Sicht ist der durch ineffiziente Ausnutzung verursachte hohe Stickstoffüberhang allerdings problematisch zu sehen. Auch stellen allein die aus der Düngerverordnung in Verbindung mit den Cross Compliance Regelungen resultierenden Verschärfungen bezüglich der zulässigen N-Bilanzsalden eine große Hürde dar. So sind die N-Überhänge nach § 6 der Düngerverordnung seit 2009 auf 60 kg N ha^{-1} im dreijährigen Mittel herabgesetzt worden. Die neue Düngerverordnung wird den Bilanzüberschuss für Stickstoff weiter auf 50 kg/ha im dreijährigen Schnitt begrenzen. Auch werden für die verschiedenen Kulturen, je nach Ertragspotenzial, Höchstwerte für den Stickstoffbedarf restriktiver definiert. Die Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen ist bisher (Stand August 2015) noch nicht verabschiedet, liegt aber den Landesbehörden und Verbänden als Entwurf vor. Für die nachhaltige Rapsproduktion sind ehrgeizige Etappenziele für die nächsten Jahre zur Minderung der THG-Emissionen durch die Politik festgelegt worden. Dabei kommt der Düngung, vorrangig der Herstellung und Anwendung der Stickstoffdüngung eine zentrale Rolle zu.

Gerade die N-Herbstdüngung bietet neben der Frühjahrsdüngung noch nennenswertes Potenzial eines gezielteren Einsatzes, ohne das Ertragspotenzial zu gefährden. In der Praxis werden hingegen Bestände häufig bereits vor der Saat mit hohen N-Mengen aus organischen Düngemitteln versehen. Weiterhin führen Phasen nachlassender N-Verfügbarkeit mit dem Erscheinungsbild sich verfärbender Blätter zu einer sofortigen N-Düngung ohne weitere Parameter wie Entwicklungsstadium, Bodengüte etc. zu beachten. Die Pflanzen reagieren auf Teilflächen des Schlages unterschiedlich, werden aber uniform ernährt. Zuletzt führte das N-Ausbringungsverbot zwischen dem 01. November und 01. Februar häufig zu prophylaktischen Düngungen bis Ende Oktober, um Mangelsituationen über Winter entgegenzuwirken. N-Mengen, die nicht mehr von den Pflanzen aufgenommen werden können, unterliegen in der Folge der Auswaschung. An diesem Punkt wird evtl. die neue Düngerverordnung eingreifen, in dem das Ausbringungsverbot um einen Monat vorgezogen wird, nach der Neuregelung beträgt die Sperrfrist vom 01. Oktober bis 31. Januar, weiterhin wird die auszubringende Menge reduziert. Künftig dürfen nur zu Zwischenfrüchten, Winterraps und Feldfutter sowie zu Wintergerste (bzw. Wintergetreide) bei Getreidevorfrucht maximal 60 kg/ha Gesamt-N ausgebracht werden.

Aktuelle Problemstellung und Stand des Wissens:

Die Stickstoffdüngung von Winterraps im Frühjahr wurde in den letzten Jahren ausgehend von der Sollwertmethode (WEHRMANN and SCHARPF, 1986) weiter modifiziert. Der Sollwertmethode liegt eine dem Ertragsziel entsprechende Stickstoffmenge zu Grunde. Bspw. werden für einen Kornertrag von 40 dt ha⁻¹ 200 kg N ha⁻¹ veranschlagt. Korrigiert wird dieser Sollwert um die N_{min} Werte des Bodens und weiteren unspezifisch erfassbaren Parameter des Bodenzustandes und der Pflanzenentwicklung. Aktuelle Forschungen zur Optimierung der Frühjahrsdüngung belegen, dass eine sehr enge Korrelation zwischen der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge und dem Düngbedarf im Frühjahr besteht (REAU et al., 1994, MAKOWSKI et al., 2005; HENKE, 2007; JÜRGENS, 2008). Die Heranziehung der N_{min} Bodenwerte reicht nicht aus, da der Raps bereits im Herbst große Mengen an Stickstoff aufnehmen kann und die N_{min}-Werte im Frühjahr niedrig sind (HENKE, 2007). Auch werden damit nicht die gebundenen Stickstoffmengen in abgefrorenen Blättern erfasst, die im Frühjahr zu einem gewissen Teil wieder zur Verfügung stehen können (DEJOUX et al. 2000). In der Wissenschaft und Praxis herrscht derzeit Konsens, dass Winterraps im Herbst bis zum Vegetationsende ca. 50 kg N/ha aufgenommen haben sollte (ALBERT 2005; SCHLIEPHAKE et al.; MAIDL; HENKE, 2007; SIELING et al. 2010). Damit ist eine ausreichende Pflanzenentwicklung sichergestellt, die die Pflanzen durch den Winter bringt. Je nach Herbst- und Winterwitterung kann es durchaus dazu kommen, dass die Pflanzen überentwickelt sind und bis zu 150 kg N ha⁻¹ oder mehr aufgenommen haben können (SIELING et al., 2010; VAN PAEMEL and REAU, 1998). Diese Pflanzen bedürfen zur Überwinterung eines starken Wachstumsreglereinsatzes, damit das Schossen der Pflanzen verhindert wird, da ansonsten die Frostempfindlichkeit rapide ansteigt (RATHKE et al., 2006).

Die Notwendigkeit einer Stickstoffdüngung zu Winterraps im Herbst wird sehr unterschiedlich diskutiert. FLENET et al. (2009) zeigen, dass eine grundsätzliche Stickstoffdüngung im Herbst zu Winterraps ausbleiben sollte, da eine Ertragswirkung nicht in allen Fällen nachzuweisen und die N Verwertungseffizienz im Herbst gering sei (VAN PAEMEL and REAU, 1998; HENKE, 2008). Zudem ist die Gefahr der Stickstoffauswaschung groß (HENKE, 2008). Ein grundsätzliches Ablehnen einer Herbsdüngung kann nach FLÉNET et al. (2009) jedoch ebenso wenig empfohlen werden, da unter bestimmten Umständen eine Ertragswirkung zu erkennen ist. Er fordert zu einer weiteren Forschung in diesem Bereich auf. Dieses Ergebnis wird auch bei SIELING (2010) beschrieben, in zwei Versuchsjahren konnte in einigen Varianten ein deutlicher Mehrertrag durch eine Herbsdüngung erzielt werden. Ein ertragswirksamer Effekt einer Herbsdüngung ist wiederzufinden, wenn die N Aufnahme von Winterraps im Herbst unter 50 kg N /ha liegt (FLÉNET et al., 2009). Dies ist der Fall, wenn die Witterung im Herbst eine zügige Entwicklung von Winterraps nicht zulässt oder der Boden zu wenig Stickstoff vorhält bzw. dieser durch die Strohhotte der Vorfrucht fixiert ist. In manchen Fällen führt ein Stickstoffmangel im Herbst, der in einer Unterentwicklung der Rapspflanzen resultiert, zu keiner Er-

tragsdepression. COLNENNE et al. (2002) sprechen in diesem Fall davon, dass trotz des Mangels ein kontinuierlich verhaltenes Wachstum über Winter vorhanden war, so dass die Pflanzen im Frühjahr erfolgreich die Mangelsituation kompensieren konnten. Beobachtungen in der Praxis spiegeln das kontroverse Thema der Herbstdüngung wider. Praktiker berichten, dass auf besseren Böden, bei guten Aussaat- und Herbstwitterungsbedingungen eine N-Düngung in der Tat keinen Mehrertrag bringt. Auch können Rapspflanzen im Winter einen leichten N-Mangel in Form violetter Blätter zeigen. Die besseren Böden können eine geringe aber kontinuierliche Stickstoffmenge den Pflanzen zur Verfügung stellen, wie von COLNENNE et al. (2002) beschrieben. Wird Winterraps aufgrund seines attraktiven betriebswirtschaftlichen Ergebnisses und der Vorzüglichkeit in der Fruchtfolge aber auf marginalen Grenzstandorten angebaut, so sind dort die meist sandigen Böden nicht in der Lage, eine auf niedrigem Niveau fließende Stickstoffquelle für das Überleben der Rapspflanzen zu gewährleisten. Sobald im Herbst auf den leichten oder tonig-feuchten Standorten der Stickstoffvorrat erschöpft ist, brechen die Pflanzen zusammen und können sich im Frühjahr nicht mehr regenerieren. Eine Stickstoffdüngung auf sandigen Böden wird von RATHKE et al. (2006) empfohlen, da Versuchsfelder selten auf solchen Standorten angelegt werden. In vielen Jahren ist dort die Auswertung eingeschränkt und somit findet sich in der Literatur häufig nur die Beschreibung von besseren Standorten. Versuchsergebnisse zur Stickstoffdüngung in Winterraps im Herbst besonders auf leichten Standorten sind kaum vorhanden. Erkenntnisse basieren meist auf Praxisbeobachtungen. Die Ergebnisse, die zu dieser Fragestellung von der Hanse Agrarforschung e.V. und der Hanse Agro Beratung & Entwicklung GmbH in den vergangenen Jahren durchgeführt wurden, verglichen immer die Wirkung der N-Düngung im Herbst auf die Pflanzenentwicklung und den Ertrag von Winterraps auf guten und vor allem auch auf schwachen Standorten. Es war möglich, den Nachweis zu erbringen, dass auf marginalen, leichten, sandigen Standorten eine Stickstoffdüngung im Herbst für sichere Erträge unerlässlich ist (GERWERS, ZIRPS; 2012). Die Fortführung des Projektes beschäftigt sich weiterhin mit der Stickstoffdüngung im Herbst mit unterschiedlichen Mengen, Zeitpunkten und Formen. Dabei werden dann die Herbstentwicklung der Pflanzen und deren N-Aufnahme als Ausgangspunkt für die N-Düngung im Frühjahr herangezogen. Neben Kleinparzellenversuchen wird der Ansatz auch teilflächenspezifisch auf die Großflächen gebracht.

2 Material und Methoden

2.1 Vorbemerkung

Die Versuche dieses Berichtes erstrecken sich über ein Versuchsjahr auf den Standorten Bossee (Vorgeest, Kreis Rendsburg-Eckernförde) sowie Arup (Östliches Hügelland Angeln, Kreis Schleswig-Flensburg) in Schleswig-Holstein, Bahrdorf (Kreis Helmstedt) in Niedersachsen und Hakenstedt (Bördekreis) in Sachsen-Anhalt. Auf den Standorten Arup, Bossee und Bahrdorf wurde ein Kleinparzellenversuch zur Terminierung und Quantifizierung der Stickstoffdüngung im Herbst zu Winterraps angelegt. Weiterhin war vorgesehen auf dem Standort in Arup, Bahrdorf und Hakenstedt Varianten zur Frühjahrsdüngung als Großstreifen anzulegen, die anhand der im Herbst aufgenommenen N-Menge korrigiert wurden. Die dazu notwendige Erfassung der aufgenommenen N-Menge erfolgte im Herbst zu Vegetationsende mittels Spektroskopik (Yara N-Sensor®). Aufgrund der ungünstigen Herbstwitterung auf dem Standort Arup, war die notwendige Messfahrt im Herbst 2012 nicht möglich. Zunächst waren die Rapspflanzen zu klein und eine spätere Messung im November war aufgrund der Niederschläge und der damit einhergehenden Nichtbefahrbarkeit der Fläche nicht mehr möglich. So dass für den Großflächenversuch nur die Flächen in Bahrdorf und Hakenstedt zur Verfügung standen.

2.2 Standortbeschreibung

2.2.1 Arup

Die Fläche Arup gehört zur Gemeinde Struxdorf im Landkreis Schleswig-Flensburg in der Region Angeln. Der Boden ist ein toniger Lehm mit 60 Bodenpunkten. Die Fläche wird von Friedrich Bennemann aus Güderott bewirtschaftet. Als Wetterdaten werden die der DWD-Station Schleswig herangezogen. Schleswig liegt ca. 11 km süd-westlich von Arup. In Abbildung 1 ist die Versuchsfläche als Luftbild gezeigt. Die pink umrahmte Fläche stand für die Fragestellung der teilflächenspezifischen Düngung in Herbst und Frühjahr zur Verfügung, auf der gelb umrahmten Fläche wurde der Kleinparzellenversuch angelegt.

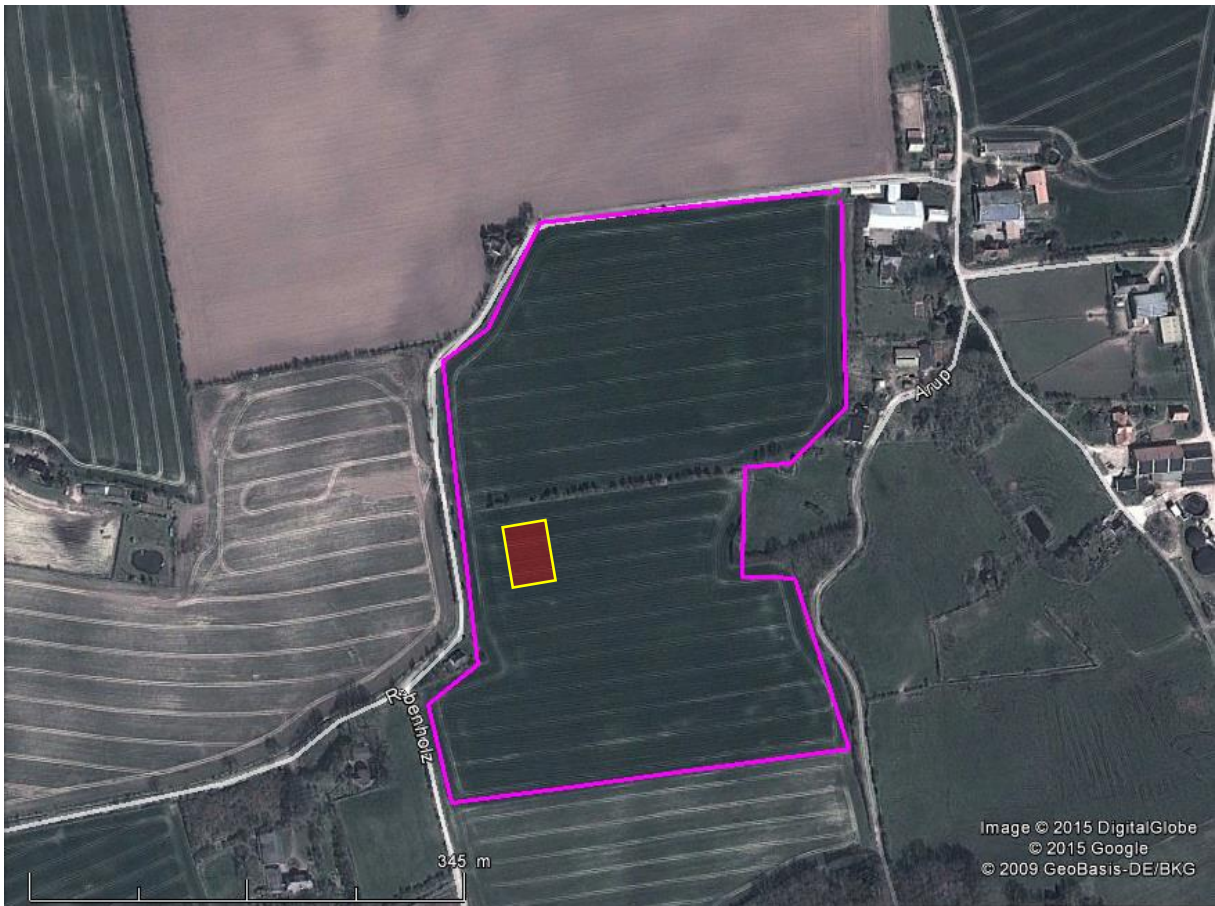


Abbildung 1 Lage der Versuchsfläche Arup. Die rote Fläche zeigt die Lage des Kleinparzellenversuches (Quelle: Google Earth).

Der Witterungsverlauf für die Versuchsfläche ist anhand der Wetterstation Schleswig in Abbildung 2 gezeigt. Die Aussaat erfolgte zum Monatswechsel August / September. Die Vorfrucht war Winterweizen. Vor der Saat wurde Gärsubstrat über die gesamte Fläche verteilt, davon wurden rechnerisch 25 kg N ha^{-1} bilanzwirksam in die Düngungskalkulation aufgenommen. Die Fläche für den Kleinparzellenversuch wurde davon jedoch ausgelassen. Nachfolgende Niederschläge führten zu leichten Verschlammungen auf der Fläche. Somit war die Herbstentwicklung der Rapspflanzen etwas gehemmt. Die restliche Witterung verlief vor allem auf den Temperaturverlauf bezogen ähnlich wie auf der Versuchsfläche Bossee (siehe Abbildung 4).

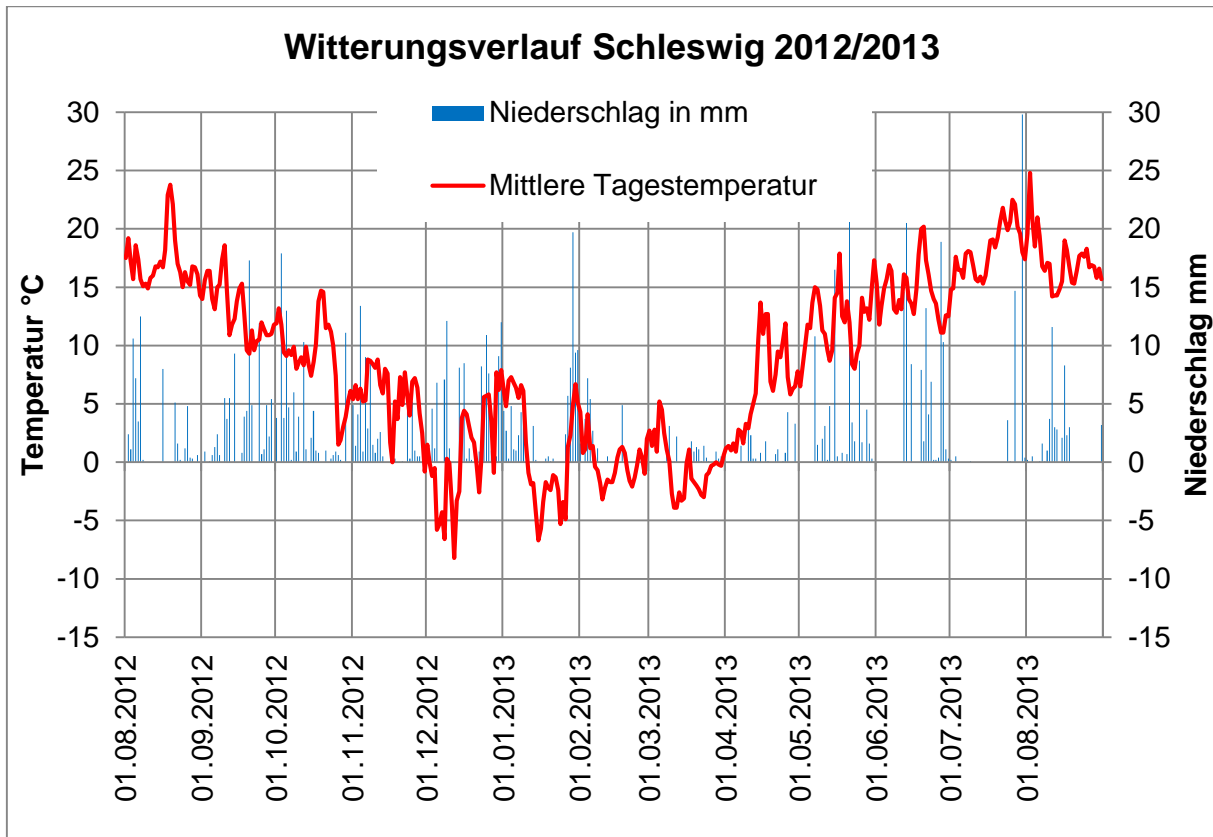


Abbildung 2 Witterung der DWD-Station Schleswig. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 31. August 2013. Eigene Darstellung, Quelle DWD.

2.2.2 Bossee

Der Kleinparzellenversuch in Bossee lag auf einer Fläche mit 25 Bodenpunkten auf einem leicht lehmigen Sand. Das Gut Bossee liegt im Kreis Rendsburg-Eckernförde, gehört zur Gemeinde Westensee und befindet sich südlich des Nord-Ostsee-Kanals zwischen Kiel und Rendsburg auf der sogenannten Vorgeest. Bewirtschaftet werden die Flächen von Christoph Schöller vom Gut Quarnbek. In Abbildung 3 ist die Lage des Kleinparzellenversuches auf der Fläche dargestellt.



Abbildung 3 Luftaufnahme der Versuchsfläche in Bossee. Die rote Fläche zeigt die Lage des Kleinparzellenversuches. (Quelle: Google Earth)

Der Winterraps wurde am 22.08.2012 im Mulchsaatverfahren bestellt, die Vorfrucht war Winterroggen. Als Sorte wurde Mendelson gewählt, da die Fläche eine starke Belastung mit Kohlhernie aufweist. Auf dieser Fläche gab es keine zusätzliche organische Düngung im Herbst. Der Verlauf der Witterung ist anhand der Wetterstation auf Hohenschulen (Achterwehr, ca. 6 km nord-östlich von Bossee) in Abbildung 4 für den Zeitraum 01.08.2012 bis 31.08.2013 abgebildet. Die Jahresdurchschnittstemperatur auf dem Versuchsstandort Hohenschulen beträgt $8,4^{\circ}\text{C}$, der Jahresniederschlag summiert sich langjährig auf 754 mm. Mit 677 mm von August 2012 bis Juli 2013 war es insgesamt trockener als im langjährigen Mittel. Die Temperatur war mit durchschnittlich $7,6^{\circ}\text{C}$ um 0,8 Einheiten geringer.

In der Vegetationsperiode 2012/13 fielen im Vergleich zu den beiden vorhergehenden Jahren im August moderate Niederschlagsmengen von insgesamt 47 mm, was die Rapsaussaat relativ unproblematisch ablaufen ließ. Die letzten beiden Septemberdekaden sowie die erste

Oktoberdekade waren durch eine feuchte Witterung geprägt. Dabei verteilten sich die Niederschläge hauptsächlich in einem Bereich von 1 bis 7 mm am Tag. Die mittleren Monatstemperaturen im Herbst 2012 lagen immer etwas unterhalb des langjährigen Durchschnittes. Gegen Ende November setzte mit Minustemperaturen ab dem 30.11.12 schlagartig der Winter ein, der sehr lange anhielt. Mit 0 °C lag die Temperatur im Dezember um 2 Grad unter dem langjährigen Durchschnitt. Um den Jahreswechsel sorgten allerdings mittlere Tagestemperaturen oberhalb von 5 °C für eine kurze Unterbrechung des Winters. In dieser Phase fielen auch vermehrt Niederschläge. Den Rest des Januars war es bei Tagestiefstwerten von bis zu -8 °C trocken. Nach einer niederschlagsreichen Warmphase zu Beginn des Februars setzten sich die Temperaturen mit Werten zwischen 0 und -5 °C fort. Nachdem in der ersten Märzwoche der Vegetationsstart zunächst in greifbarer Nähe schien, fielen ab dem 09.03. die Temperaturen wieder unter den Gefrierpunkt und es kam zu massivem Schneefall mit teilweise starken Schneeverwehungen. Der erneute Wintereinbruch hielt bis Anfang April an. Auswinterungsschäden konnten nach Rückgang des Schnees nicht beobachtet werden. Allerdings wurde anhand des zögerlichen Durchgrünens der Bestände deutlich, wie geschwächt die Pflanzen aufgrund des langen Winters waren.

Von einzelnen Tagen ausgenommen blieben die Tagesmitteltemperaturen im April unterhalb von 10 °C und es blieb lange bedeckt, was ein zu abruptes Schossen der Bestände verhinderte. Mit 18 mm war die Niederschlagssumme im April gering. Vom 07. bis zum 30. Mai regnete es dagegen dauerhaft. Insgesamt fielen im Mai 141 mm, 40 mm davon alleine am 21. Mai. Mit weiteren 100 mm Niederschlag in der zweiten Junihälfte konnte man im Frühjahr 2013 zu keinem Zeitpunkt von Pflanzenstress bedingt durch Wassermangel ausgehen. Die Niederschläge im Juli lagen allerdings 28 mm unterhalb des langjährigen Durchschnittes.

Die Temperaturen waren auch im Mai noch recht verhalten mit teilweise starken Schwankungen der Tagesmittel um 11 °C. Nach einer ersten Warmphase mit Temperaturen oberhalb von 20 °C um den 20. Juni sanken die Temperaturen Ende Juni nochmals kurzzeitig auf etwas über 10 °C. Im Juli stiegen dann bei trockenem Wetter die Temperaturen zunehmend an. Tagesmitteltemperaturen oberhalb von 20 °C führten ab dem 20. Juli zu einem zügigen Abreifen der Bestände.

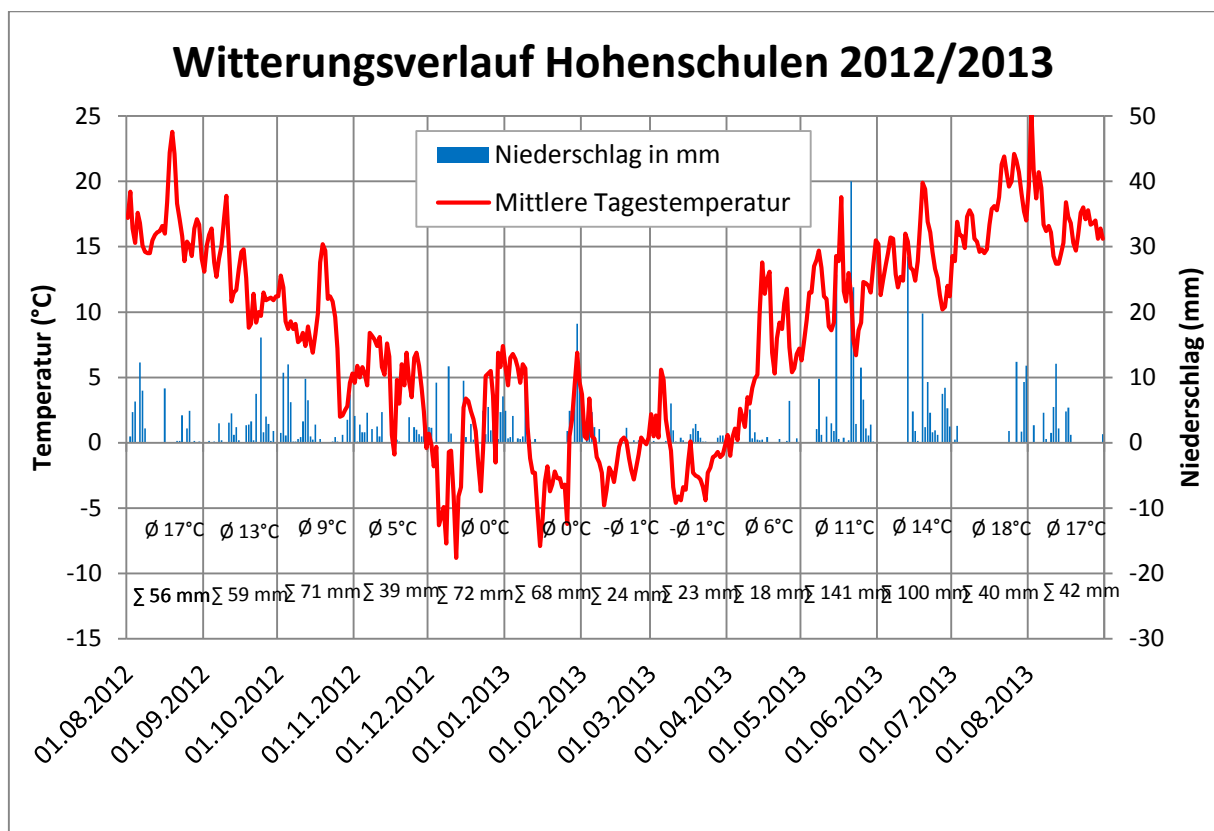


Abbildung 4 Witterung auf dem Versuchsstandort Hohenschulen, Achterwehr. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 31. August 2013. Eigene Darstellung, Quelle CAU Kiel.

2.2.3 Bahrdorf

Der dritte Versuchsstandort war in Bahrdorf. Die Gemeinde Bahrdorf liegt im Landkreis Helmstedt in Ost-Niedersachsen. Die Flächen gehören Andreas Bertram von der Domäne Bahrdorf. Der Witterungsverlauf für das Jahr 2012/2013 am Standort Bahrdorf ist in Abbildung 5 gezeigt. Die Aussaat fand am 25.08.2012 unter günstigen Bedingungen statt, die Vorrucht war Winterweizen. Vor der Aussaat des Rapses wurde auf den Flächen Hühnertrockenkot gestreut, wovon 60 kg N ha^{-1} bilanzwirksam in die Stickstoffkalkulation übernommen wurden. Die Wetterstation stand unmittelbar neben der Versuchsfläche. Die Darstellung zeigt vom 01.09.2012 bis 10.08.2013 die Tagesmitteltemperatur gemessen in 2 m Höhe sowie die Niederschlagsmengen. Die Durchschnittstemperatur von Aussaat (25.08.2012) bis Vegetationsende (30.11.2013) betrug im Herbst 2012 $10,3 \text{ °C}$. In diesem Zeitraum fielen 145 mm. Der Winter zog sich letztlich bis Anfang April hin, mit einem kurzen Zwischenfrühling am Monatswechsel Februar / März. Die Monatsmitteltemperatur von Januar bis März lag bei knapp unter 0 °C . Die Rapspflanzen waren dabei immer von einer ausreichenden Schneedecke geschützt, so dass sie keinen Kahlfrösten ausgesetzt waren. Die absolut kälteste Temperatur war bei -15 °C am 25.01.2013. Bevor in den ersten Apriltagen der Frühling langsam begann, herrschte nochmal vom 10.3. bis 02.04. Dauerfrost, mit zum Teil Minimaltemperaturen von -13 °C . Aufgrund der

Schneedecke war der Boden ab Ende Februar nicht mehr gefroren, so dass ein ganz langsames Wachstum der Pflanzen zu erkennen war. Eine schneefreie Phase am 14.02.2013 sowie der Zwischenfrühling (05.03.2013) konnten für die Stickstoffdüngung genutzt werden, so dass den Pflanzen zum richtigen, späten Vegetationsbeginn sofort ausreichend Stickstoff zur Verfügung stand. Bodenfeuchtigkeit war das ganze Frühjahr ausreichend vorhanden, die kurze Trockenphase im April wurde noch von den Winterschlägen abgefangen und ab der zweiten Maiwoche brachten die Niederschläge wieder ausreichend Feuchtigkeit mit, die bis zur Abreife hinreichten. Ab Anfang Juni schwenkte die Witterung von dunkel und nass auf sonnig und warm um. Gerade rechtzeitig, damit die Pflanzen eine gute Assimilationsleistung erbringen konnten.

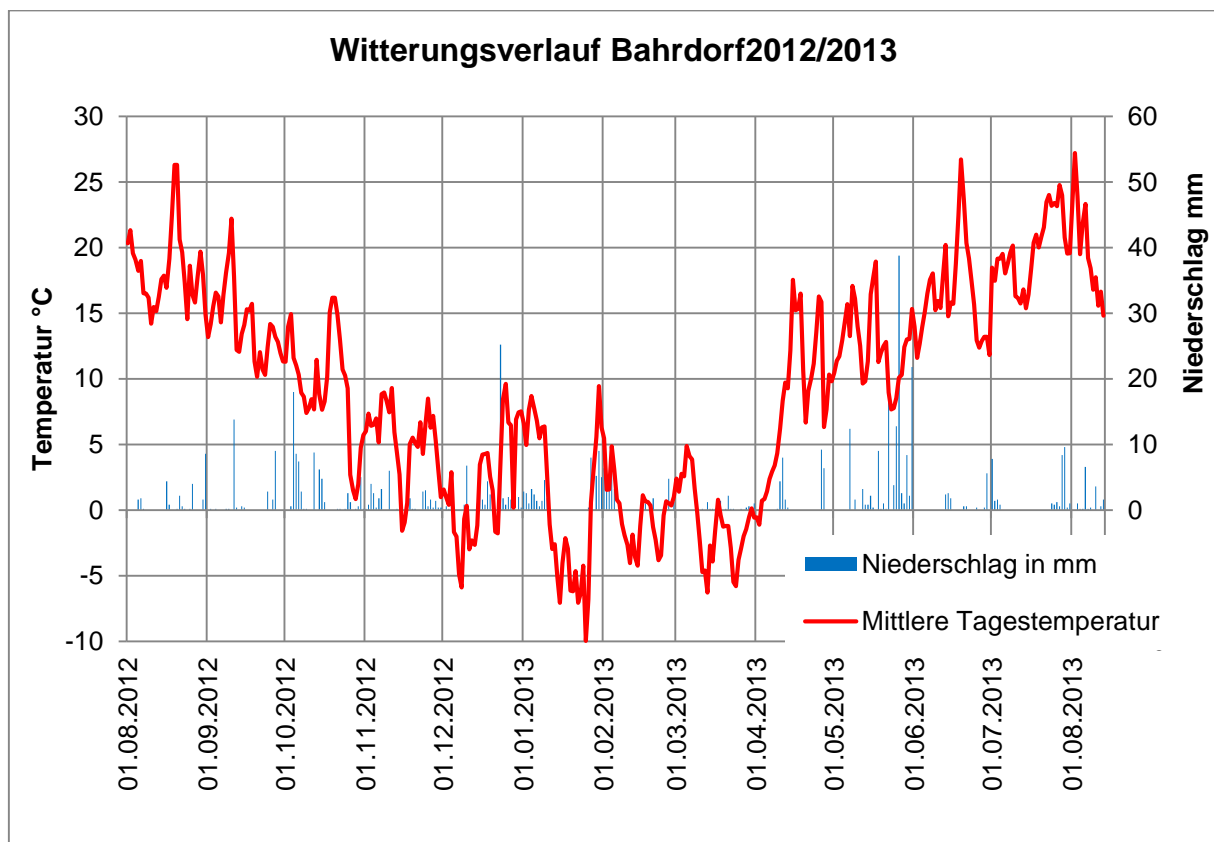


Abbildung 5 Witterung auf dem Versuchsstandort Bahrdorf. Dargestellt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2012 bis 10. August 2013.

2.2.4 Hakenstedt

Als dritte Fläche für Großstreifenversuche stand eine Fläche in Hakenstedt im Landkreis Börde in Sachsen-Anhalt zur Verfügung. Bewirtschaftet wird die Fläche von Christian Bertram von dem Stiftungsgut Hakenstedt. Die Versuchsfläche „Wischeropsbreite“ liegt ca. 30 km südöstlich von der Wetterstation in Bahrdorf. Der Boden ist ein für die nordwestliche Magdeburger Börde typischer, tiefgründiger Schwarzerdeboden aus Löss, die Bodenpunktzahl liegt bei 90. Der Einfluss des Harzer Regenschattens ist nicht so stark ausgeprägt wie bspw. in Bernburg, es kommen eher etwas höhere Niederschlagsmengen zustande.

2.3 Versuchspläne

2.3.1 Kleinparzellenversuche

Die Kleinparzellenversuche wurden in vierfacher Wiederholung auf den Praxis schlägen angelegt. Die Breite betrug 3 m und die Länge entsprach der halben Fahrgassenarbeitsbreite und variierte je nach Betrieb zwischen 15 und 18 m. An den Stirnseiten der Kleinparzellen wurden jeweils ein Weg zur Variantentrennung sowie ein Probenahmebereich abgesteckt, für die Ernte stand ein ungestörter Kerndruschbereich von 3 x 9 m zur Verfügung. Die Abbildung 6 zeigt den randomisierten Versuchsplan der Standorte Arup und Bossee. Die Erläuterung der Varianten ist in Tabelle 1 dargestellt.

Fahrgasse										
Rand	3m						3m		Rand	
	5	6	2	7	1	3	4			
	3m	401	402	403	404	405	406	3m		407
	Weg mit Probenahmebereichen									
	2m							2m		
	6	3	1	5	7	4	2			
4m	301	302	303	304	305	306	4m	307		
Fahrgasse										
Rand	3m						3m		Rand	
	4	5	7	2	3	1	6			
	3m	201	202	203	204	205	206	3m		207
	Weg mit Probenahmebereichen									
	2m							2m		
	1	2	3	4	5	6	7			
4m	101	102	103	104	105	106	4m	107		
Fahrgasse										

Abbildung 6 Versuchsplan der Standorte Arup und Bossee, große Zahlen stehen für die Varianten, die kleinen bezeichnen die Parzellennummer

Tabelle 1 Übersicht der Varianten mit unterschiedlicher mineralischer Herbstdüngung, Mengenangaben zu den beiden Terminen beziehen sich auf ausgebrachte kg N/ha

Variante	Düngerform	Herbst (4-Bl.)	31.10.
1	Harnstoff	-	-
2	Harnstoff	40	-
3	Harnstoff	-	40
4	Harnstoff	70	-
5	Harnstoff	-	70
6	Alzon 46	-	70
7	SSA	-	40

In den Kleinparzellenversuchen in Arup und Bossee wurden 7 Varianten angelegt. Im Herbst wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten, unterschiedliche Stickstoffmengen und -formen appliziert. Die Rapspflanzen der Variante 1 erhielten als Kontrollvariante keine Herbstdüngung. Die Pflanzen der Variante 2 wurden im 4-Blattstadium mit 40 kg N ha⁻¹ mit Harnstoff gedüngt. Zum gleichen Zeitpunkt erhielten die Pflanzen der vierten Variante 70 kg N ha⁻¹. Zum letztmöglichen Herbstdüngungstermin gemäß Düngeverordnung wurde in der dritten Varianten 40 kg N ha⁻¹ und in der fünften Varianten 70kg N ha⁻¹ in Form von Harnstoff gestreut. Auf die Pflanzen der Variante 6 kamen 70 kg N ha⁻¹ in stabilisierter Form als Alzon 46 sowie in der siebten Variante 40 kg N ha⁻¹ in Form von schwefelsaurem Ammoniak (SSA).

Der Kleinparzellenversuch auf dem Standort in Bahrdorf auf der Fläche „kleiner Distelkamp“ hatte zusätzliche Varianten. Der Plan ist in Abbildung 7, die Erklärung der Varianten ist in Tabelle 2 dargestellt. Zusätzlich zu den Varianten 1 bis 7 der Versuche in Arup und Bossee wurden noch sechs weitere Varianten ergänzt. Die Düngung im Frühjahr richtete sich auf allen drei Versuchsflächen in den Varianten 1 bis 7 nach der im Herbst bis Vegetationsende aufgenommenen Menge an Stickstoff. Die Varianten 9 bis 12 auf dem kleinen Distelkamp wurde im Herbst vergleichbar den Varianten 1 bis 5 gedüngt und im Frühjahr erhielten sie eine konstante Menge Stickstoff, die nach der Sollwertmethode ermittelt wurde. Eine Ausnahme bildet die Variante 13, diese Pflanzen bekamen im Herbst keine zusätzliche mineralische Düngung und im Frühjahr lediglich die Stickstoffmenge von 51,5 kg/ha die aus der Gabe von Schwefelsaurem Ammoniak (SSA) und der pflanzenschutzbegleitend ausgebrachten Menge über NTS (flüssige Kombination aus Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung [AHL] und Ammoniumthiosulfat [ATS]) resultiert.

Fahrgasse														
Rand	7	5	10	4	2	12	3	13	1	11	8	6	9	Rand
	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	
Weg														
Rand	9	11	6	8	13	1	10	3	12	5	7	2	4	Rand
	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	
Fahrgasse														
Rand	12	8	13	7	10	9	11	4	2	6	3	1	5	Rand
	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	
Weg														
Rand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Rand
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	
Fahrgasse														

Abbildung 7 Versuchsplan des Standortes „kleiner Distelkamp“ in Bahrdorf, große Zahlen stehen für die Varianten, die kleinen bezeichnen die Parzellennummer

Tabelle 2 Übersicht der Varianten mit unterschiedlicher mineralischer Herbstdüngung, Mengenangaben zu den beiden Terminen beziehen sich auf ausgebrachte kg N/ha

Variante	Düngerform	Herbst (4-BI.)	31.10.
1	Harnstoff	-	-
2	Harnstoff	40	-
3	Harnstoff	-	40
4	Harnstoff	70	-
5	Harnstoff	-	70
6	Alzon 46	-	70
7	SSA	-	40
8	Harnstoff	-	-
9	Harnstoff	40	-
10	Harnstoff	-	40
11	Harnstoff	70	-
12	Harnstoff	-	70
13	Harnstoff	-	-

2.3.2 Großstreifenversuche

Zu den Kleinparzellenversuchen sollten auf den Standorten Arup und Bahrdorf auch Großstreifenversuche angelegt werden, bei denen eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung erfolgen sollte. Da die Witterung eine Messfahrt auf der Fläche in Arup im Herbst nicht mehr zuließ, musste der Großstreifenversuch dort abgebrochen werden. Auf dem Standort in Bahrdorf waren Messfahrten im Herbst möglich. Die Versuchsflächen für die Großstreifenversuche tragen die Namen: „Meinkot 2“ und „Thie“. Da die Rapspflanzen aufgrund der organischen Düngung und des Witterungsverlaufes im Herbst eine deutliche Überentwicklung zeigten, wurde im Herbst keine weitere mineralische Düngung auf den Großstreifen durchgeführt.

Als dritte Fläche für Großstreifenversuche stand die „Wischeropsbreite“ in Hakenstedt zur Verfügung. Die Varianten auf den drei Großflächenversuchen bestanden aus einer im Frühjahr konstant gedüngten Variante, einer Variante, bei der die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen im Herbst angerechnet wurde und einer dritten Variante, bei der der Yara-Sensor im Onlineverfahren variabel düngen konnte. Die folgenden drei Abbildungen (Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10) zeigen Biomasseaufnahmen zu Vegetationsende von den Großflächen. Dunkelgrüne Bereiche stehen für eine große Biomasse mit hoher N-Aufnahme, gelbe Bereiche zeigen niedrige Biomasse mit geringer N-Aufnahme der Pflanzen. Diese drei Karten wurden für die Erstellung der Applikationskarten im Frühjahr verwendet.

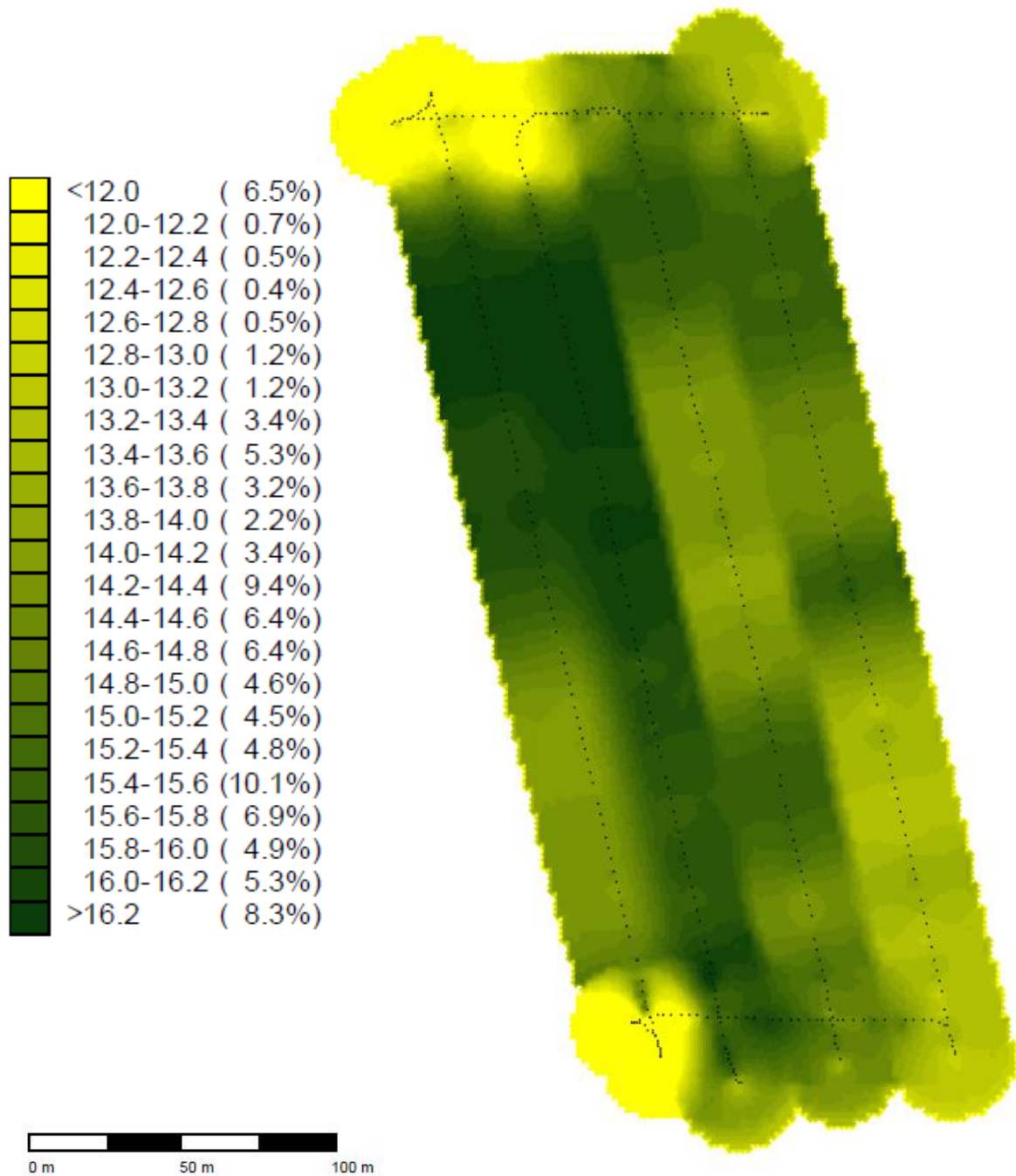


Abbildung 8 Versuchsfäche Meinkot 2 in Bahrdorf.

Die Varianten auf der Fläche Thie sind in Abbildung 9 auf der Fläche eingezeichnet. Die Bezeichnung „Appk“ steht für den Algorithmus der Hanse Agro, bei dem die im Herbst aufgenommene Menge an Stickstoff im Frühjahr anteilig angerechnet wurde. In der Variante „Fix“ wurde im Frühjahr eine konstante Menge Stickstoff gestreut, die Variante „YNS“ wurde zu N3 nach dem Onlineverfahren des Yara-N-Sensors gedüngt, während die Variante „AgriCon“ der Methode von AgriCon folgte, bei der die N1 anhand der Biomasseentwicklung im Herbst geregelt wurde und die N3 dann im Onlineverfahren durch den Yara-N-Sensor gesteuert wurde. In der Variante „fKal“ wurde dem Sensor im Onlineverfahren zu N3 eine lineare zwei-Punkt-Kalibrierung eingestellt.

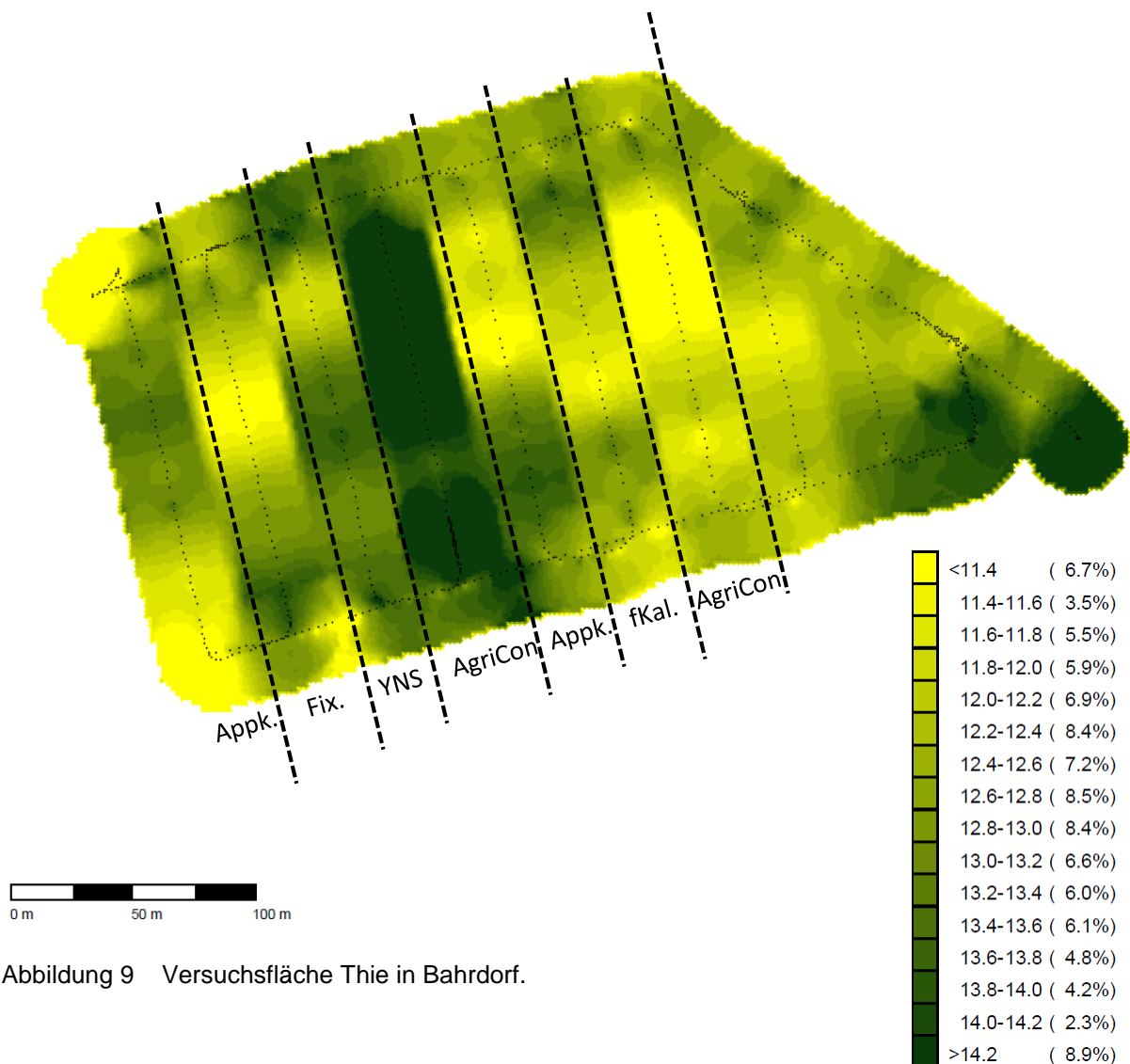


Abbildung 9 Versuchsfläche Thie in Bahrdorf.

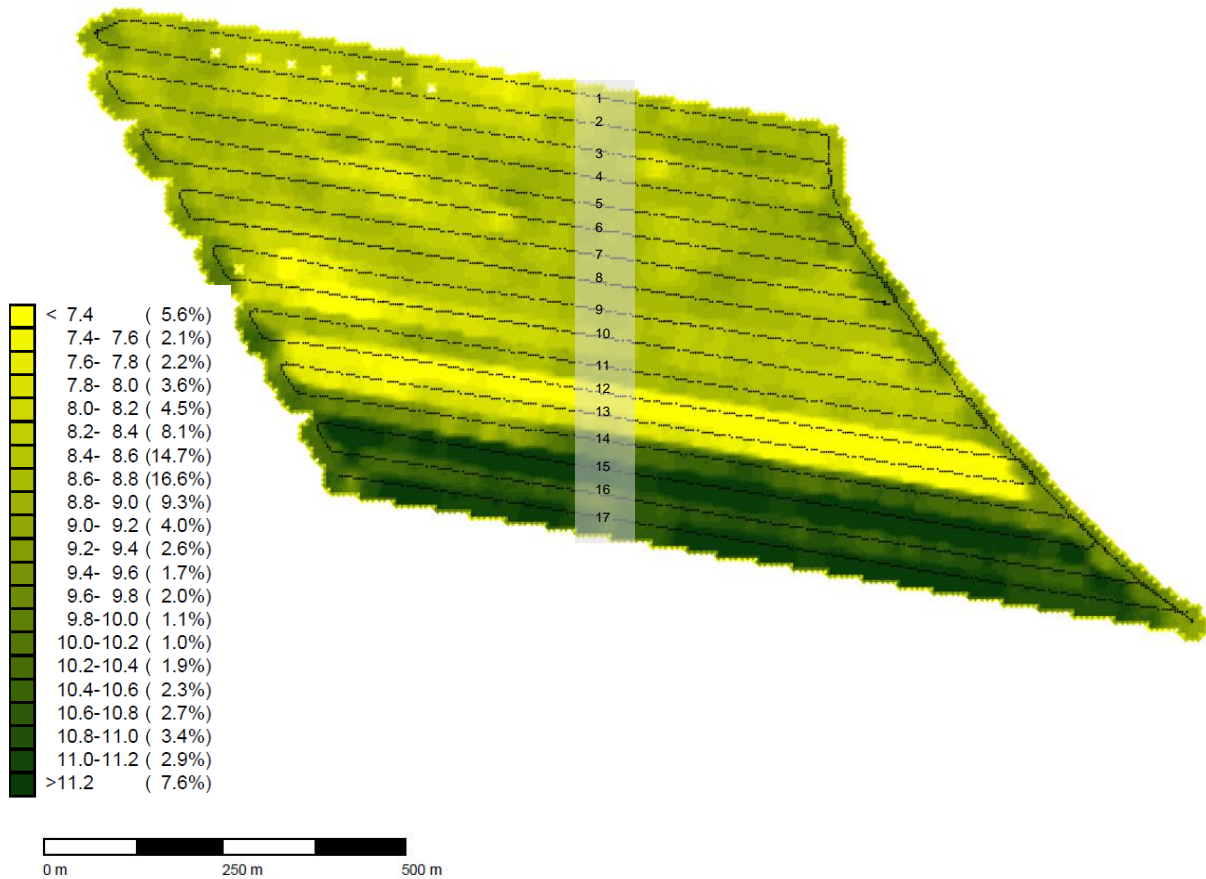


Abbildung 10 Versuchsfeld Wischeropsbreite in Hakenstedt.

Auf der Wischeropsbreite gab es insgesamt 17 Fahrgassen auf einer Fläche von ca. 70 ha. Die in Tabelle 3 aufgeführten Varianten laufen von Nord nach Süd. In Fahrgasse 1, 4 und 8 sowie 10 bis 17 wurde die N-Düngung im Frühjahr nach der Hanse Agro Methode als Applikationskarte durchgeführt. Es wurde jede Fahrgasse einzeln interpoliert, so dass die extremen Unterschiede zwischen den Fahrgassen 12 und 13 (sehr wenig Biomasse) und 14 bis 17 (sehr viel Biomasse) eindeutig der Stickstoffdüngung zugewiesen werden konnten.

Tabelle 3 Übersicht der Varianten auf der Fläche Wischeropfbreite. Die Fahrgassennummern laufen von Nord nach Süd.

Fahrgasse	Variante
1	APPK
2	Fix
3	YNS
4	APPK
5	fix
6	YNS
7	freie Kalibrierung
8	APPK
9	YNS
10	APPK
11	APPK
12	APPK
13	APPK
14	APPK
15	APPK
16	APPK
17	APPK

Die Berechnung der Frühjahrsstickstoffmenge erfolgte nach der Formel aus Kapitel 2.4.1. Dabei wurde der Korrekturwert (ermittelt über die FM Herbst) über die Sensorkarte des Yara N-Sensors in die Teilfläche berechnet.

2.4 N-Düngungsmenge im Frühjahr

2.4.1 Grundlagen der Berechnung mittels N-Aufnahme im Herbst

Die N-Düngerechnung für das Frühjahr erfolgte nach der unten stehenden Formel. Zunächst wurde ausgehend von der Sollwertmethode der Gesamtstickstoffbedarf anhand des zu erwartenden Ertrages festgelegt. Nachfolgend wurde mit Hilfe der gebildeten oberirdischen Frischmasse im Herbst der Korrekturfaktor berechnet sowie die N_{\min} Gehalte nach Winter abgezogen.

$$N_{\text{Frühjahr}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] = N_{\text{soll}} - \left(50 * FM_{\text{Herbst}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] - 50 \right) * 0,7 - N_{\text{min}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] - N_{\text{mob}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right]$$

Ein Beispiel soll an dieser Stelle die Formel erläutern. Geht man von einem Ertragspotential von 40 dt/ha aus, so benötigt Winterraps im Frühjahr 200 kg N ha⁻¹ (Nsoll). Die Pflanzen haben im Herbst eine Frischmasse von 2 kg m⁻² gebildet. Dies entspricht ungefähr einer N Aufnahme von 100 kg N ha⁻¹. Davon werden 50 kg N ha⁻¹ abgezogen, da dies der Wert für eine Mindestentwicklung im Herbst darstellt. Es verbleiben 50 kg N ha⁻¹, die zu 70% anrechenbar sind. Demzufolge können 35 kg N ha⁻¹ abgezogen werden. Unterstellt man einen N_{min}-Gehalt von 25 kg N ha⁻¹ in 0-90 cm und weitere 20 kg N ha⁻¹ die als N_{mob} aus der Bodennachlieferung kommt, so werden für die Frühjahrsdüngung 120 kg N ha⁻¹ benötigt. Wird Pflanzenschutzbegleitend bspw. zur Blütenbehandlung noch Stickstoff in flüssiger Form (bspw. AHL) appliziert, so wird diese N-Menge von der Düngung zu Vegetationsbeginn ebenfalls abgezogen.

2.4.2 N-Mengen für den Standort Arup

In Tabelle 4 sind die für die Varianten kalkulierten Stickstoffmengen der Frühjahrsdüngung für die Versuchsfläche in Arup aufgeführt. Es wurde ein Ertragsziel von 45 dt ha⁻¹ zu Grunde gelegt, sodass eine N-Soll-Menge von 220 kg ha⁻¹ angenommen wurde. Davon wurden die gemessenen N_{min} Werte, die geschätzte Nachlieferung (N_{mob}) und die anrechenbare N-Menge aus der Herbstaufnahme abgezogen. Die in Tabelle 4 erscheinenden negativen Werte in der Spalte „Anrechenbar N-Herbst“ werden rechnerisch addiert! Die Verteilung erfolgte in drei Gaben, wobei N2 und N3 einheitlich über die Fläche mittels Großtechnik erfolgte und der variable Ausgleich per Hand zu N1.

Tabelle 4 N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche Arup

Variante	N-Düngung Herbst	N-Aufnahme Herbst	Anrechenbar N-Herbst	N _{min} (Frühjahr)	N _{mob} (fest)	220kg- (N _{min} +mob) - Anrechenbar N-Herbst	N1	N2 SSA	N 3 PSM
1	0	49,3	-0,5	31	20	169	128	32	10
2	40	60,8	7,6	32	20	160	119	32	10
3	40	55,8	4,1	29	20	167	125	32	10
4	70	63,2	9,2	30	20	161	119	32	10
5	70	58,0	5,6	19	20	175	134	32	10
6	70	61,2	7,8	36	20	156	115	32	10
7	40	47,8	-1,6	24	20	178	136	32	10

2.4.3 N-Mengen für den Standort Bossee

Für die Versuchsfläche in Bossee wurde ein Ertragsziel von 40 dt ha⁻¹ angenommen, Tabelle 5 zeigt vergleichbar zur Tabelle 4 die kalkulierten N-Mengen.

Tabelle 5 N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche Bossee

Variante	N-Düngung Herbst	N-Aufnahme Herbst	Anrechenbar N-Herbst	Nmin (Frühjahr)	Nmob (fest)	200kg-(Nmin+mob) - Anrechenbar N-Herbst	N1	N2 ASS	N 3 PSM
1	0	27,5	-15,8	22	10	184	73	100	11
2	40	77,8	19,4	22	10	149	38	100	11
3	40	33,6	-11,5	23	10	178	67	100	11
4	70	75,8	18,0	26	10	146	35	100	11
5	70	36,4	-9,6	20	10	180	69	100	11
6	70 Alzon	30,4	-13,8	21	10	183	72	100	11
7	40 SSSA	33,4	-11,6	20	10	182	71	100	11

2.4.4 N-Mengen für den Standort kleiner Distelkamp in Bahrdorf

Auf dem kleinen Distelkamp in Bahrdorf wurde ein möglicher Ertrag von 45 dt ha⁻¹ veranschlagt, die Kalkulation und die Verteilung ist in Tabelle 6 dargestellt. Auf dieser Fläche wurde vor der Aussaat Hühnertrockenkot (HTK) der mit 60 kg N ha⁻¹ in die Bilanzierung aufgenommen wurde. Die Varianten 1 bis 8 wurden mit der Methode der Herbstanrechnung kalkuliert. Bei den Varianten 9 bis 12 wurde im Frühjahr eine konstante N-Menge von 110 kg ha⁻¹ appliziert. Die Variante 13 bekam im Frühjahr nur die N-Menge, die mittels Großtechnik über die gesamte Fläche gegeben wurde.

Tabelle 6 N-Menge und Verteilung auf der Versuchsfläche kleiner Distelkamp

Variante	HTK	N-Düngung Herbst	N-Aufnahme Herbst	Anrechenbar N-Herbst	Nmin (Frühjahr)	Nmob (fest)	Nmin+Nmob	220kg-(Nmin+mob) - Anrechenbar N-Herbst	N2 HASTO	N1 SSA	N3 PSM
1	60	0	116,6	46,6	26	20	46	127	76	32	20
2	60	40	136,4	60,5	23	20	43	116	65	32	20
3	60	40	111,7	43,2	32	20	52	125	73	32	20
4	60	70	169,1	83,4	39	20	59	78	26	32	20
5	60	70	133,0	58,1	40	20	60	102	50	32	20
6	60	70	108,6	41,0	44	20	64	115	63	32	20
7	60	40	103,1	37,1	69	20	89	94	42	32	20
8	60	0		57,0	53	20	73	110	59	32	20
9	60	40		57,0	53	20	73	110	59	32	20
10	60	40		57,0	53	20	73	110	59	32	20
11	60	70		57,0	53	20	73	110	59	32	20
12	60	70		57,0	53	20	73	110	59	32	20
13	60	0			53	20	73	52	0	32	20

2.4.5 N-Mengen für die Großstreifenversuche Bahrdorf und Hakenstedt

Die drei Großflächenversuche wurden ebenfalls anhand ihres erwarteten Ertragspotentials kalkuliert. Die Fläche Wischeropsbreite hat aufgrund des besseren Standortes ein höheres Ertragsniveau als die beiden ersten Flächen (Tabelle 7). Aber auch ein besseres Stickstoffnachlieferungsvermögen, so dass die zu düngende Stickstoffmenge im Frühjahr mit 160 bzw. 165 kg/ha fast die gleichen Werte erzielt. Die Verteilung der N-Menge erfolgte in einer vierfach geteilten Gabe. Zunächst wurde mit der SSA-Düngung (N1) begonnen, es folgte eine Zwischenlage (N2) am 5.3. mit 50 kg N ha⁻¹ (bzw. 60 kg N ha⁻¹) über Harnstoff. Diese wurde als „Sicherungsgabe“ über alle Varianten eingeplant, da die Varianten, die durch den Yara-N-Sensor online gedüngt werden sollten im Frühjahr erst ausreichend Blattmasse bilden mussten und folglich die Düngung nur zu diesem späten Zeitpunkt eventuell zu spät erfolgt wäre. Die dritte Gabe war dann die, die für die variablen Düngungsvarianten entscheidend war. Die Variante konstante Düngung bekam die in N3 aufgeführte Menge aus Tabelle 7, die Varianten „Applikationskarte“ und „Yara-Sensor online“ regelten um diese Werte. Die vierte Gabe erfolgte pflanzenschutzbegleitend mit dem Wachstumsreglereinsatz.

Tabelle 7 Kalkulation und Verteilung der Stickstoffmengen (kg N /ha) für die Großflächen

N-Planung Frühjahr	Ertrag dt/ha	N-Bedarf	N _{min}	N _{mob}	Anrechenbar Herbst	N-Düngung	N1	N2	N3	N4
Meinkot 2	42	210	25	20	33	132	30	50	35	17
Thie	42	210	25	25	20	140	30	50	43	17
Wischeropsbreite	48	230	35	35	-7	167	21	60	69	17

2.5 Bonituren

In allen Versuchen wurde zu Vegetationsende und Vegetationsbeginn eine ausführliche Bonitur der vegetativen Pflanzenparameter durchgeführt. Hierfür wurden je Parzelle 10 Pflanzen entnommen. Untersucht wurden die Anzahl der Blätter pro Pflanze, deren Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM), der Wurzelhalsdurchmesser (WHD) wurde ermittelt und teilweise die Länge der Pfahlwurzel sowie deren TM gemessen. Zu diesen Terminen sowie nach der Ernte wurden Bodenproben aus den Bodenschichten 0-30 und 31-60 cm zur N_{min}-Analyse entnommen. Die getrocknete Blattmasse wurde anschließend mittels NIRS auf ihre Stickstoffkonzentration untersucht. Die Ernte erfolgte in den Parzellenversuchen mit einem Parzellenmähdrescher. In den Streifenversuchen in Bahrdorf und Hakenstedt wurden von den 36 m breiten Varianten jeweils 22,5 m gedroschen. Die Erträge wurden zum einen mit der Ertragskartierung des Claas Mähdreschers punktgenau erfasst zum anderen wurden das Druschergebnis der jeweiligen Variante gewogen. Damit ist eine Aussage über die Güte der Ertragskartierung

möglich, bzw. können die einzelnen Punkte der Ertragskartierung adjustiert werden. Nach der jeweiligen Ernte wurden aliquote Mengen der Parzellen gereinigt, der Fremdbesatz sowie das Tausendkorngewicht (TKG) und die Kornfeuchte ermittelt.

2.6 Statistische Berechnung

Die statistische Verrechnung der Versuchsdaten wurde mittels der Software SPSS (IBM SPSS Statistics 19) durchgeführt. Alle erhobenen Parameter zeigen in den dargestellten Abbildungen als Streuungsmaß der jeweiligen Wiederholungen um den Mittelwert den Standardfehler. Für die multiplen Vergleiche der Mittelwerte wurde der Tukey-B Test mit einem Signifikanzniveau von 0,05 verwendet.

Enthalten die Abbildungen eine Kennzeichnung mit Buchstaben (a, b, c,...), konnten mittels Tukey-B Test signifikante Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden. Bei den Abbildungen ohne Kennzeichnung ergaben sich keine Unterschiede. Die Biomassedaten sowie die Ertragsdaten des Großstreifenversuches wurden mittels Grass-GIS extrahiert. Jeder Ertragsmesspunkt wurde mit den gewogenen Werten je Fahrgasse nach folgender Formel adjustiert. Dabei wurde ein Korrekturfaktor aus dem Quotienten des gewogenen Ertrages und dem mittleren Ertrag der Mähdrescherertragskarte gebildet.

$$Ertrag_{(adj.)} = Ertrag_{(Drescher)} * \frac{Ertrag_{(Waage)}}{Ertrag_{(Drescher)}}$$

Aufgrund der in den Biomasse- und Ertragsdaten sehr hohen Anzahl an Messpunkten, konnte eine Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität durchgeführt werden.

3 Ergebnisse

3.1 Arup

Am 29.11.2012 und 18.02.2013 wurden auf der Versuchsfläche in Arup von jeder Parzelle Pflanzen zur Bonitur auf vegetativen Parametern entnommen. Der erste Termin war zu Vegetationsende, der zweite sollte den Vegetationsbeginn festlegen. Dies wurde nicht getroffen, da nachfolgend nochmals ein Wintereinbruch kam (vgl. Abbildung 2). Die Zählung der Blätter pro Pflanze brachte im Durchschnitt über alle Varianten unabhängig von der Herstdüngung eine Anzahl von 8 Blättern am 29.11. hervor, über die drei folgenden Wintermonate erreichten die Pflanzen durchschnittlich eine Blattanzahl von 9. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten traten bei beiden Boniturterminen nicht auf. Ähnlich verhielt es sich bei dem Parameter Wurzelhalsdurchmesser (WHD). Ende November wurde durchschnittlich ein WHD von 9 mm ermittelt. Einen Zuwachs über Winter bis Ende Februar konnte hierbei nicht beobachtet werden.

Im Herbst erreichten die Pflanzen der nicht zusätzlich gedüngten Variante 1 eine oberirdische Frischmasse von 20 g je Pflanze (Abbildung 11). Auf ähnlichem Niveau lagen die Pflanzen der Variante 3 (40 kg N ha⁻¹, Harnstoff, 31.10.), Variante 5 (70 kg N ha⁻¹, Harnstoff, 31.10.) und Variante 7 (40 kg N ha⁻¹, SSA, 31.10.). Die Pflanzen die bereits im 4-Blattstadium gedüngt wurden erreichten mit 25 g in Variante 2 (40 kg N ha⁻¹, Harnstoff, 24.09.) etwas höhere Frischmassen, die Pflanzen in Variante 4 (70 kg N ha⁻¹, Harnstoff, 24.09.) erreichten 28 g und lagen damit signifikant über den un- bzw. zu einem späteren Zeitpunkt gedüngten Varianten. Auffallend sind die Pflanzen in der Variante 6 (70 kg N ha⁻¹, Alzon 46, 31.10.), diese erreichten trotz des späten Düngetermins mit 29 g die höchste Frischmasse.

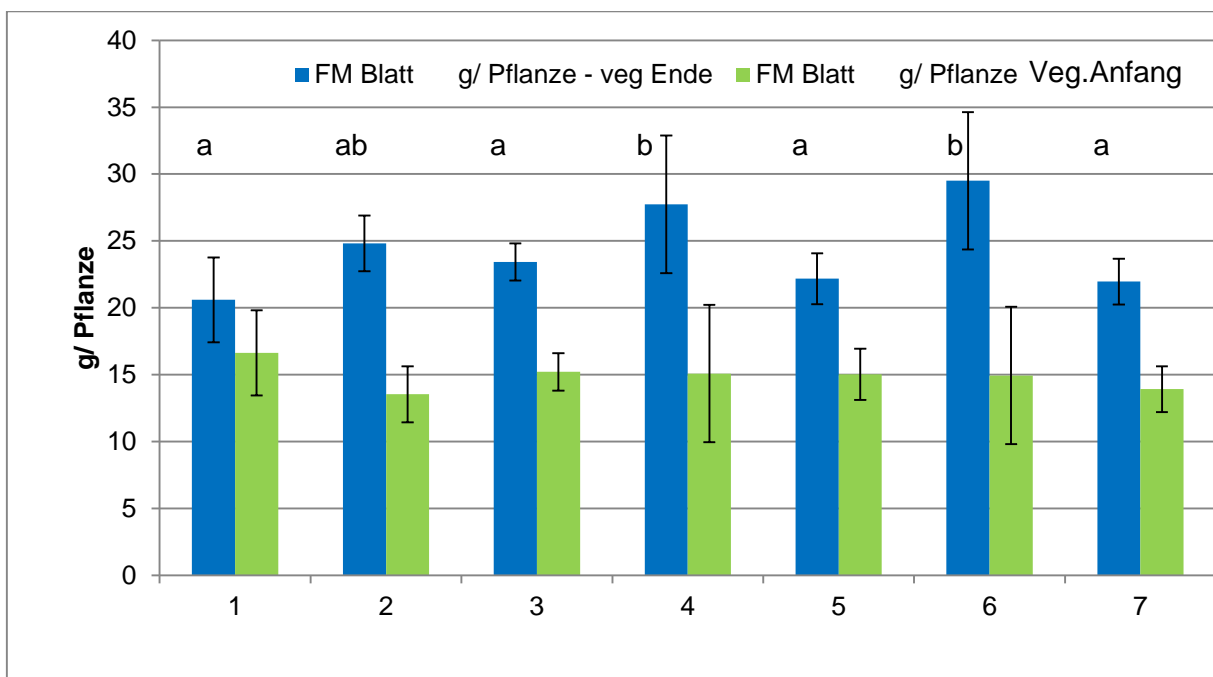


Abbildung 11 Mittelwerte der oberirdischen Frischmasse pro Pflanze in g. Werte für Herbst (29.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Arup. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Zu Vegetationsende wurde die bis dahin von den Pflanzen aufgenommene Menge an Stickstoff ermittelt (Abbildung 12). Die Pflanzen der nicht zusätzlich gedüngten Variante 1 erreichten Werte von 35 kg N ha⁻¹ und lagen damit signifikant am niedrigsten. Die zum frühen Termin gedüngten Pflanzen der Variante 2 und 4 sowie die zum späten Termin mit SSA gedüngten Pflanzen der Variante 7 erreichten eine N-Aufnahme von 45 kg ha⁻¹. Den signifikant höchsten Wert erzielten die Pflanzen der Variante 6 (70 kg N ha⁻¹, Alzon 46, 31.10.)

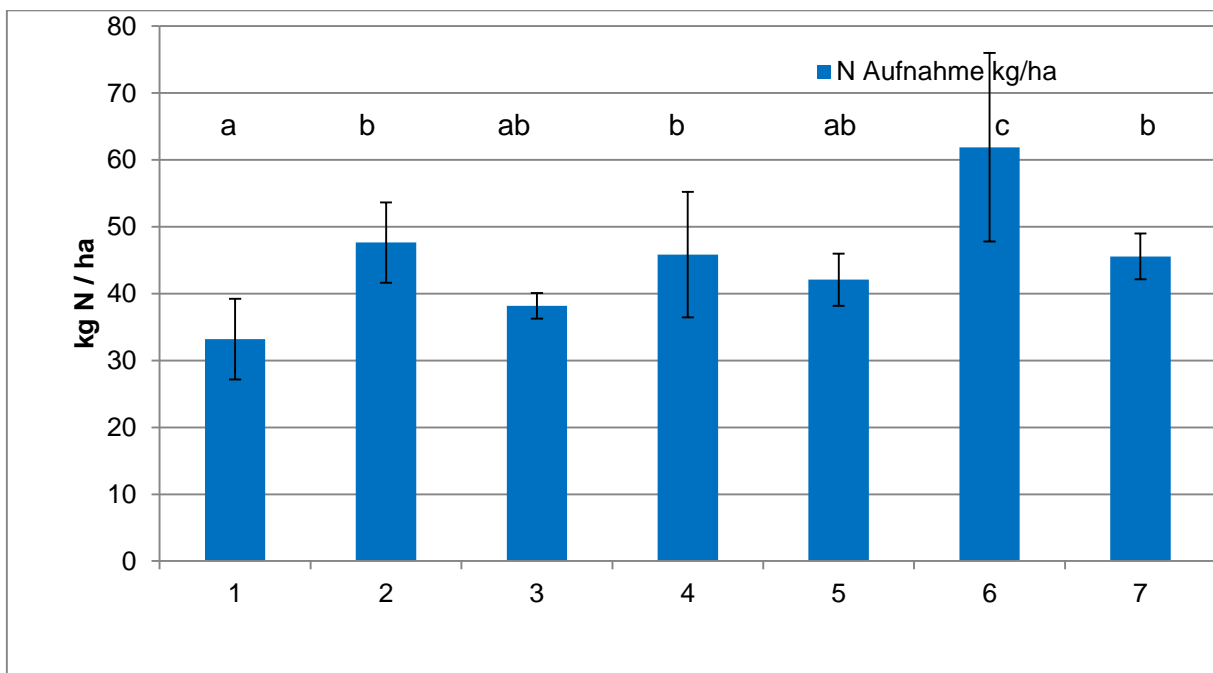


Abbildung 12 Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha⁻¹ am Standort Arup. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Neben den Analysen und Bonituren der Pflanzen wurden auch Bodenanalysen auf N_{\min} durchgeführt. In Abbildung 13 sind die N_{\min} Werte der einzelnen Varianten vom 26.11. und 22.02. in einem Bodenhorizont von 0 bis 60 cm dargestellt. Zu Vegetationsende lag der N_{\min} Wert der zum späten Termin (31.10.) gedüngten Varianten mit 104 kg N ha^{-1} (Variante 3, 85 kg N ha^{-1} (Variante 5) bzw. 76 kg N ha^{-1} (Variante 6) relativ hoch. Die nicht zusätzlich gedüngte Variante 1 und die frühzeitig mit 40 kg N ha^{-1} gedüngte Variante 2 erzielten N_{\min} -Werte von 43 kg N ha^{-1} .

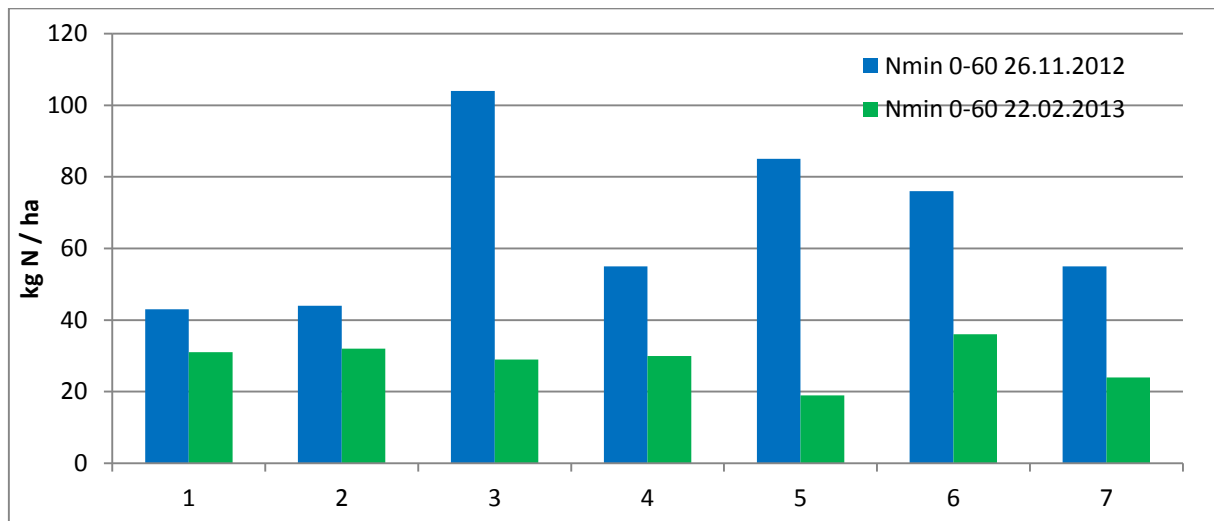


Abbildung 13 N_{\min} Werte zu Vegetationsende (29.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe

Die Fläche in Arup wurde im Herbst mit Biogassubstrat vor der Saat gedüngt, dabei wurden 25 kg N ha^{-1} als pflanzenverfügbare Menge unterstellt. Der Flächenteil für den Kleinparzellenversuch wurde dabei großräumig ausgelassen. Abbildung 14 zeigt weiterhin die zusätzliche mineralische Herbstdüngung sowie die Düngung im Frühjahr. Die Bezeichnung der Varianten folgt Tabelle 1.

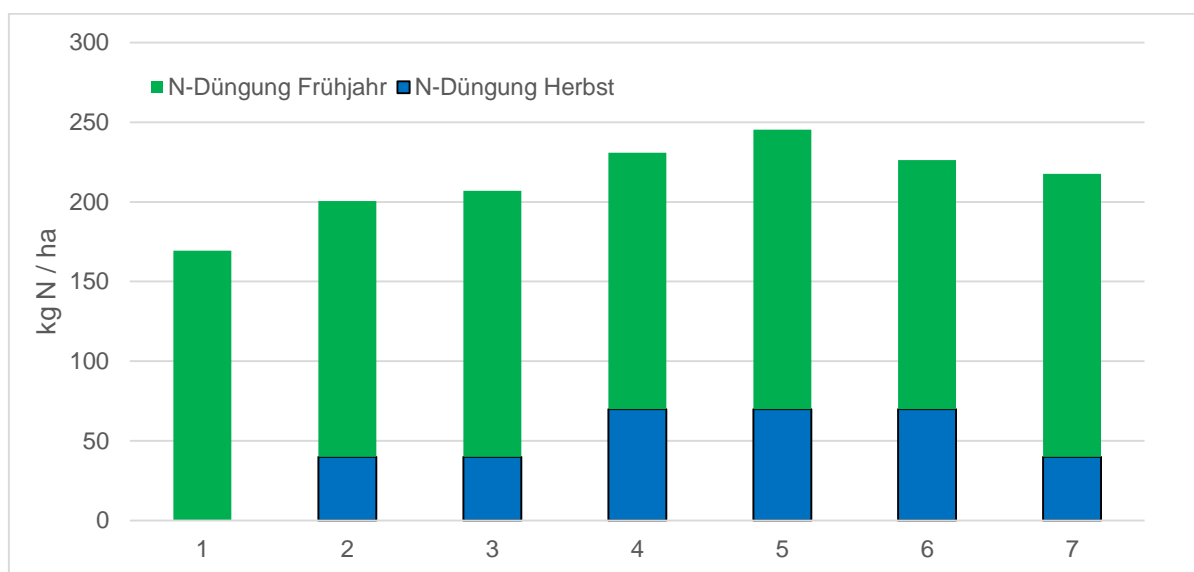


Abbildung 14 Übersicht der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herbstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.

Die Erträge auf dem Standort Arup lagen im Mittel aller Varianten bei 61 dt ha^{-1} . Signifikante Unterschiede konnten zwischen den Varianten nicht herausgefunden werden. Tendenziell war jedoch festzustellen, dass die Pflanzen der im Herbst nicht zusätzlich gedüngten Variante 1 (60 dt ha^{-1}) sowie der spät mit 40 kg N ha^{-1} über Harnstoff gedüngten Variante 3 (61 dt ha^{-1}) leicht im Ertrag abfielen.

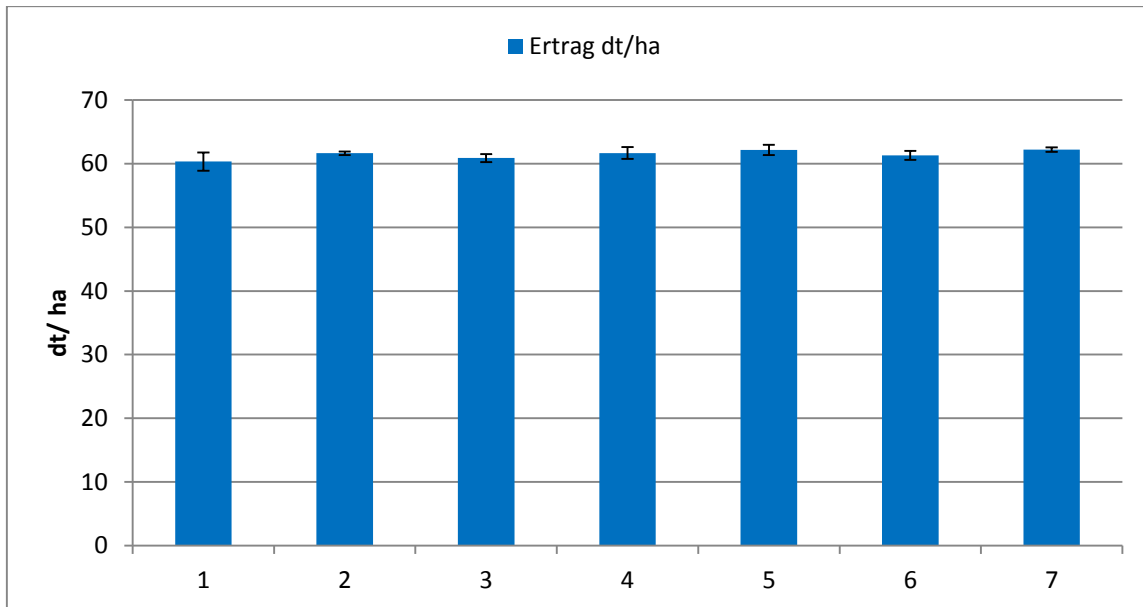


Abbildung 15 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Arup 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Die Stickstoffbilanz für die Fläche Arup zeigt Abbildung 16. Sie beginnt in Variante 1 mit einem negativen Saldo von -32 kg N ha^{-1} . Dann steigt sie sukzessive von Variante 2 (-5 kg N ha^{-1}) bis 5 (38 kg N ha^{-1}) an. In Variante 6 wurden zum späten Zeitpunkt 70 kg N ha^{-1} mittels Alzon 46 gedüngt, hier lag die Bilanz dann nur bei 20 kg N ha^{-1} . In der Variante 7 (40 kg N ha^{-1} , SSA, 31.10.) war der Bilanzsaldo mit dem der Variante 3 (40 kg N ha^{-1} , Harnstoff, 31.10.) vergleichbar.

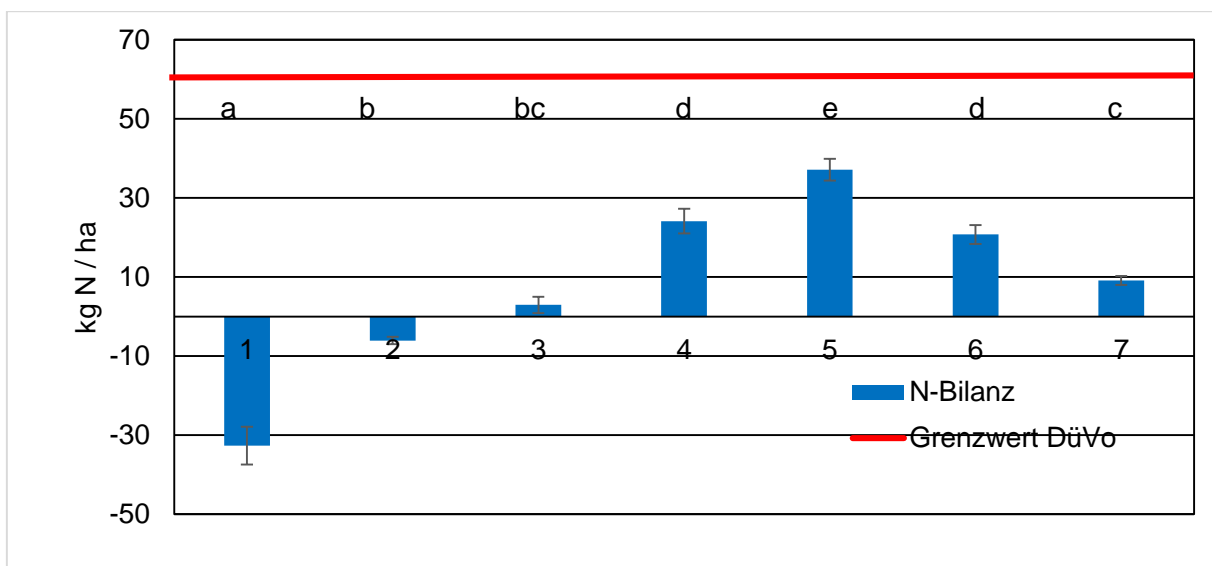


Abbildung 16 N-Bilanz in kg N ha^{-1} a sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Arup

3.2 Bossee

Am 26.11.2012 wurden auf dem Standort Bossee Pflanzenproben zum Vegetationsende gezogen. Es wurden die Parameter Anzahl Pflanzen je Quadratmeter, Blätter je Pflanze, Wurzelhalsdurchmesser (WHD) sowie Frisch- und Trockenmasse der oberirdische Pflanzenteile bonitiert.

Die gleichen Parameter wurden am 18.02.2013 zum vermeintlichen Vegetationsbeginn (vgl. Kapitel 2.2.2 und Abbildung 4) erhoben. Die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter lag im Mittel über alle Varianten zu Vegetationsende bei 37 und zu Vegetationsbeginn bei 30. Es gab zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede. Ähnlich verlief es bei der Anzahl Blätter je Pflanze, im November wurden 8 und im Februar wurden 9 Blätter je Pflanze ermittelt, auch hier konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tendenzielle Unterschiede bezogen auf den Zeitpunkt der mineralischen Herbstdüngung konnte in dem Parameter WHD (Abbildung 17) ermittelt werden. Variante 1 ist die ungedüngte Variante, dort erzielten die Pflanzen eine WHD von knapp 10 mm, während die Pflanzen in der Variante 4 (70 kg N ha^{-1} im 4-Blattstadium) bereits einen WHD von 11 mm aufwiesen. Die Bonitur im Frühjahr zeigte auch, dass die Düngung von 40 kg N ha^{-1} im 4-Blattstadium (Var.2) einen tendenziellen Vorsprung zu den ungedüngten Pflanzen erreichen konnte. Signifikant waren diese Unterschiede jedoch zu keinem Zeitpunkt.

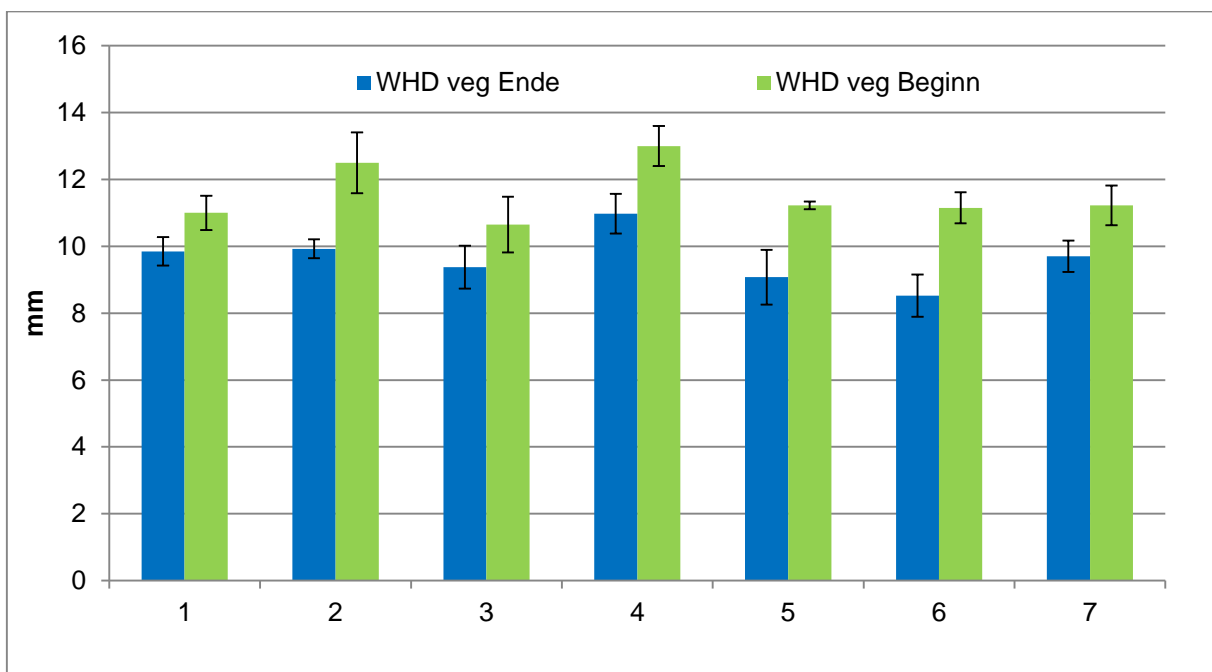


Abbildung 17 Mittelwerte Wurzelhalsdurchmesser pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (26.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Deutlicher zeigte sich der Einfluss der Herbstdüngung in dem Parameter oberirdische Frischmasse. Die ungedüngten Pflanzen der Variante 1 erreichten eine Frischmasse von 26 g während die Pflanzen, die zum frühen Zeitpunkt gedüngt wurden 43 g (Var. 2) bzw. 55 g (Var. 4)

pro Pflanze erzielen konnten. Die Düngung von 70 kg N ha⁻¹ im 4-Blattstadium erzielte somit eine signifikant höhere Frischmasse im Herbst. Die anderen Düngungsvarianten zum späten Zeitpunkt (31.10.) ergaben keinen signifikanten Unterschied zur ungedüngten Variante 1. Die Bonitur im Frühjahr ergab wiederum keinen signifikanten Unterschied zwischen allen Varianten. Die Frischmasse reduzierte sich durch den Einfluss des Winters auf durchschnittlich 20 g pro Pflanze.

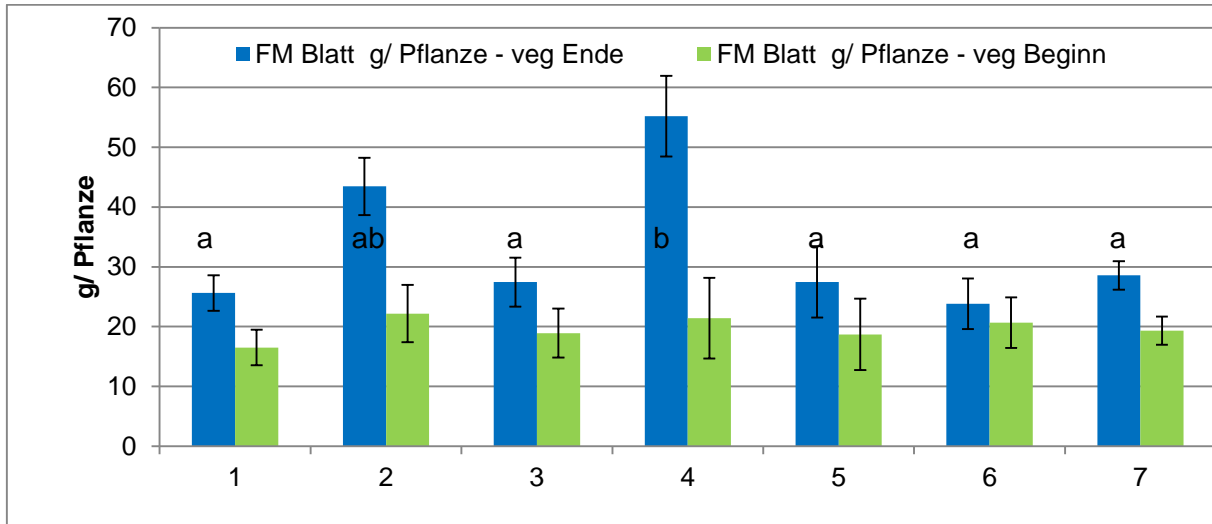


Abbildung 18 Mittelwerte der oberirdischen Frischmasse pro Pflanze in g. Werte für Herbst (26.11.2012) und Frühjahr (18.02.2013) am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Anhand der Frischmasse wurde die N-Aufnahme der Pflanzen im Herbst berechnet. Die Werte sind in Abbildung 19 gezeigt. Die im 4-Blattstadium gedüngten Pflanzen der Varianten 2 und 4 zeigten mit einer N-Aufnahme von 100 kg/ha den signifikant höchsten Wert. Die Pflanzen der übrigen Varianten lagen im Bereich um 45 kg ha⁻¹.

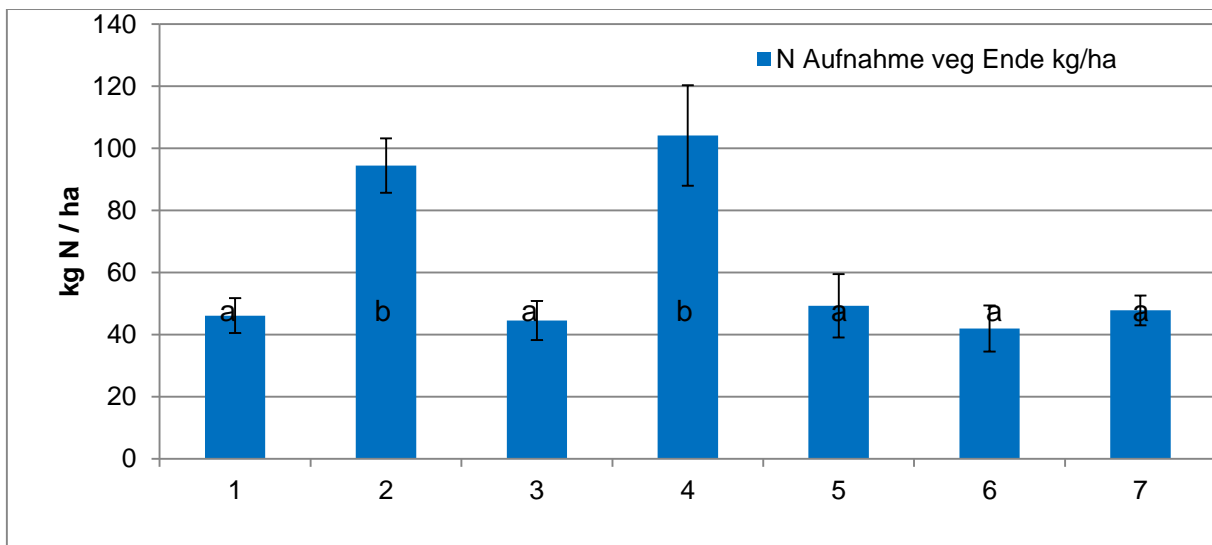


Abbildung 19 Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha⁻¹ am Standort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Von den Varianten wurden N_{\min} Proben zu Vegetationsende (26.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in einer Tiefe von 0 bis 60 cm gezogen (Abbildung 20). Auffällig ist der hohe N_{\min} Wert am 26.11.2012 in der Variante 5 mit über 90 kg N ha^{-1} , diese wurde 26 Tage zuvor mit 70 kg N ha^{-1} über Harnstoff gedüngt. Die Variante 6 wurde zum gleichen Termin mit 70 kg N ha^{-1} in Form von stabilisiertem Alzon 46 gedüngt. Dort lagen die N_{\min} 40 kg N ha^{-1} niedriger. Bis zu dem zweiten Analysetermin am 22.02.2013 sank der N_{\min} Wert in allen Varianten auf Werte um 20 kg N ha^{-1} . Es war eine deutliche Auswaschung über Winter auf dem leichten Boden zu erkennen. Die N_{\min} -Werte zu Vegetationsbeginn gingen variantenabhängig in die Kalkulation (Tabelle 5) der im Frühjahr zu düngenden Stickstoffmenge ein.

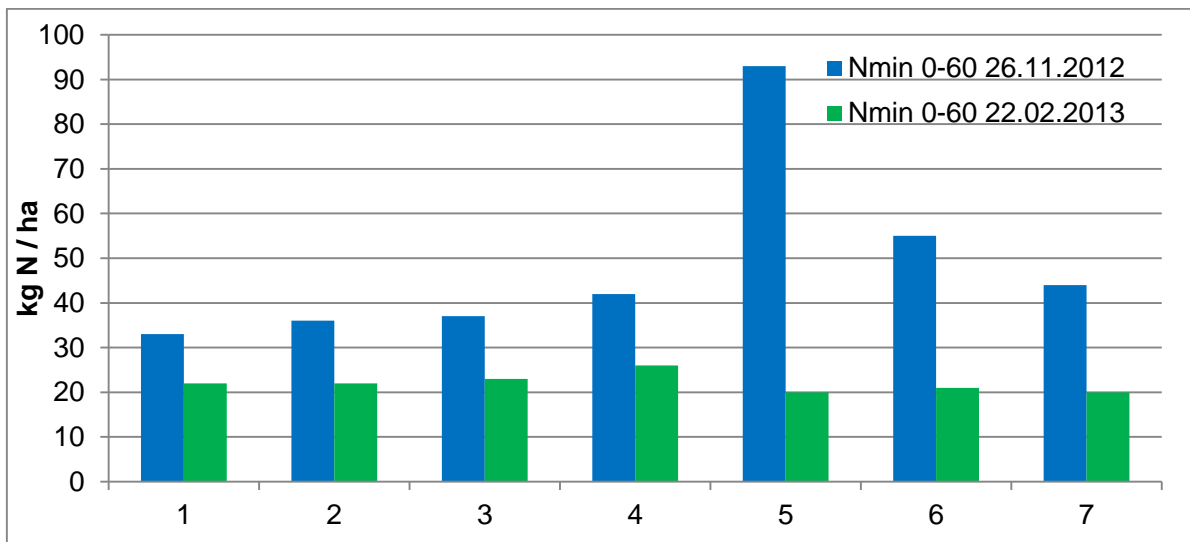


Abbildung 20 N_{\min} Werte zu Vegetationsende (26.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe

In der folgenden Abbildung 21 ist die zugeführte Stickstoffmenge aus Herbst- und Frühjahrsdüngung der einzelnen Varianten zusammengefasst dargestellt. Die blauen Balken zeigen die Herbstdüngung, die grünen die Menge, die im Frühjahr gedüngt wurde.

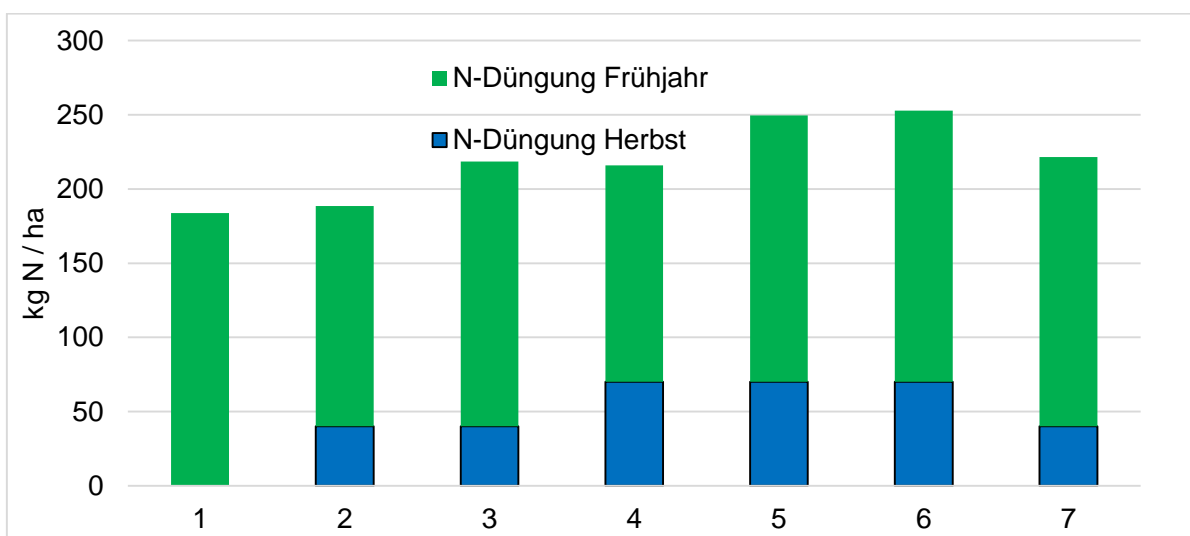


Abbildung 21 Übersicht der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herbstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.

Den mit 45 dt ha^{-1} höchsten Kornertrag (Abbildung 22) konnten die Pflanzen der Varianten 3, 5, 6 und 7 erreichen, der niedrigste Ertrag wurde von den Pflanzen der Variante 4 (41 dt ha^{-1}) erreicht. Die Pflanzen der Varianten 1 und 2 konnten mit 43 dt/ha keiner der beiden anderen Klassen eindeutig zugeordnet werden.

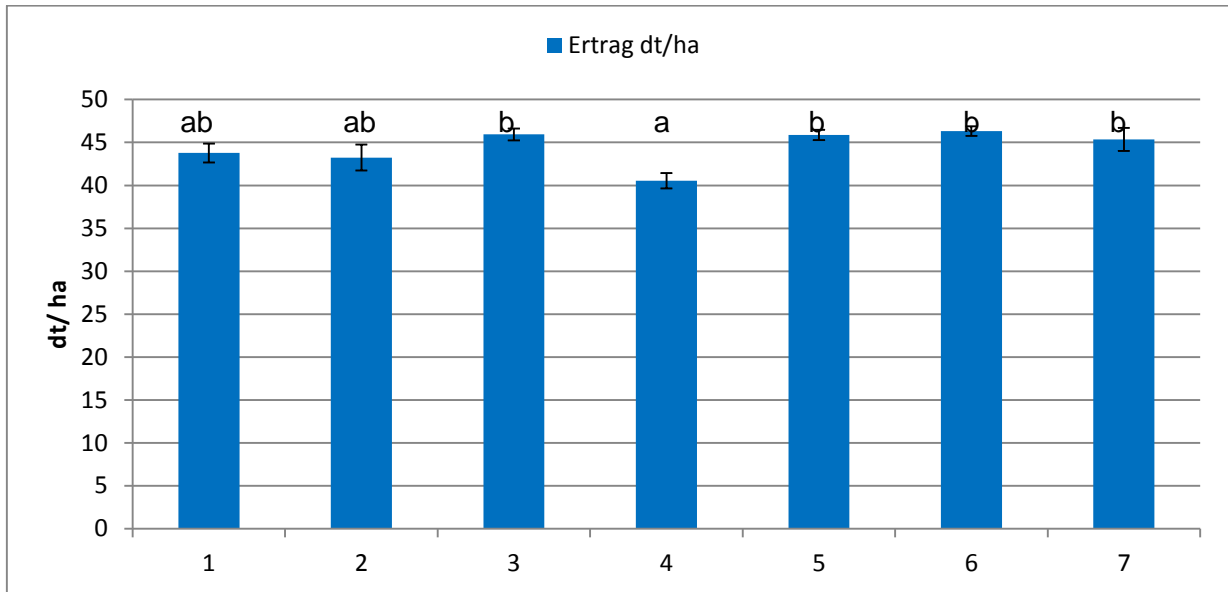


Abbildung 22 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Bossee 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Anhand des Kornertrages Abbildung 22 und der zugeführten Stickstoffmengen (Abbildung 21) kann die Stickstoffbilanz in Abbildung 23 berechnet werden. In der Abbildung ist ebenfalls der Grenzwert von 60 kg N ha^{-1} Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo eingezeichnet. Auf dem Standort in Bossee erreichten die Pflanzen der Variante 1 und 2 einen Bilanzüberschuss von um 40 kg N ha^{-1} . Die Varianten 3 und 7 lagen knapp über dem Grenzwert von 60 kg N ha^{-1} . Deutlich darüber lagen allerdings die Varianten 4 (80 kg N ha^{-1}) und 5 sowie 6 (96 kg N ha^{-1}).

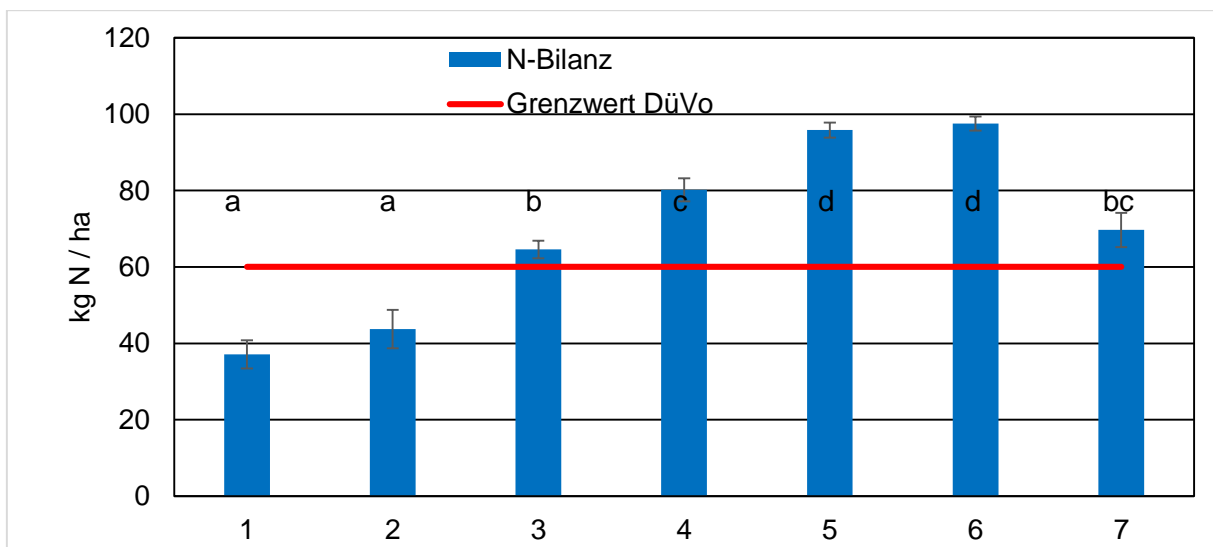


Abbildung 23 N-Bilanz in kg N ha^{-1} sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Bossee. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

3.3 Bahrdorf

Auf der Fläche kleiner Distelkamp in Bahrdorf wurden ebenfalls Ende November und Ende Februar Pflanzenproben aus den Parzellen entnommen. Da gemäß dem Versuchsplan (siehe Tabelle 2) die Varianten 1-5 mit den Varianten 8-12 bei der Herbstbehandlung identisch waren, wurden zur Vegetationsend- und -anfangsbonitur die Varianten in der Auswertung zusammengenommen, so dass die doppelte Anzahl an Wiederholungen vorhanden war. Die Differenzierung trat erst mit der Düngung im Frühjahr ein. In Bahrdorf hatten die Pflanzen im Mittel aller Varianten bis Vegetationsende 13 Blätter pro Pflanze ausgebildet. Diese Anzahl wurde auch bei der Bonitur im Februar unverändert wiedergefunden. Der Wurzelhalsdurchmesser zeigte in Bahrdorf auf dem kleinen Distelkamp auch keine Reaktion auf die unterschiedlichen Düngungsmaßnahmen im Herbst. Zu Vegetationsende wiesen die Pflanzen im Durchschnitt aller Varianten einen WHD von 12 mm auf, der sich bis Ende Februar auf 15 mm vergrößerte. Die von den Pflanzen aufgenommene Menge an Stickstoff im Herbst bis Vegetationsende wurde anhand von gewogenen Quadratmeterproben errechnet. Unterschiede gab es zwischen den Varianten hinsichtlich der Stickstoffaufnahme bis Vegetationsende. Die Pflanzen der Varianten 1, 6 und 7 (bzw. auch 8 und 13) hatten durchschnittlich 106 kg N ha^{-1} aufgenommen. Während die Pflanzen der Variante 4 (bzw. 11), die im 4-Blattstadium 70 kg N ha^{-1} gedüngt bekamen, 155 kg N / ha aufgenommen hatten.

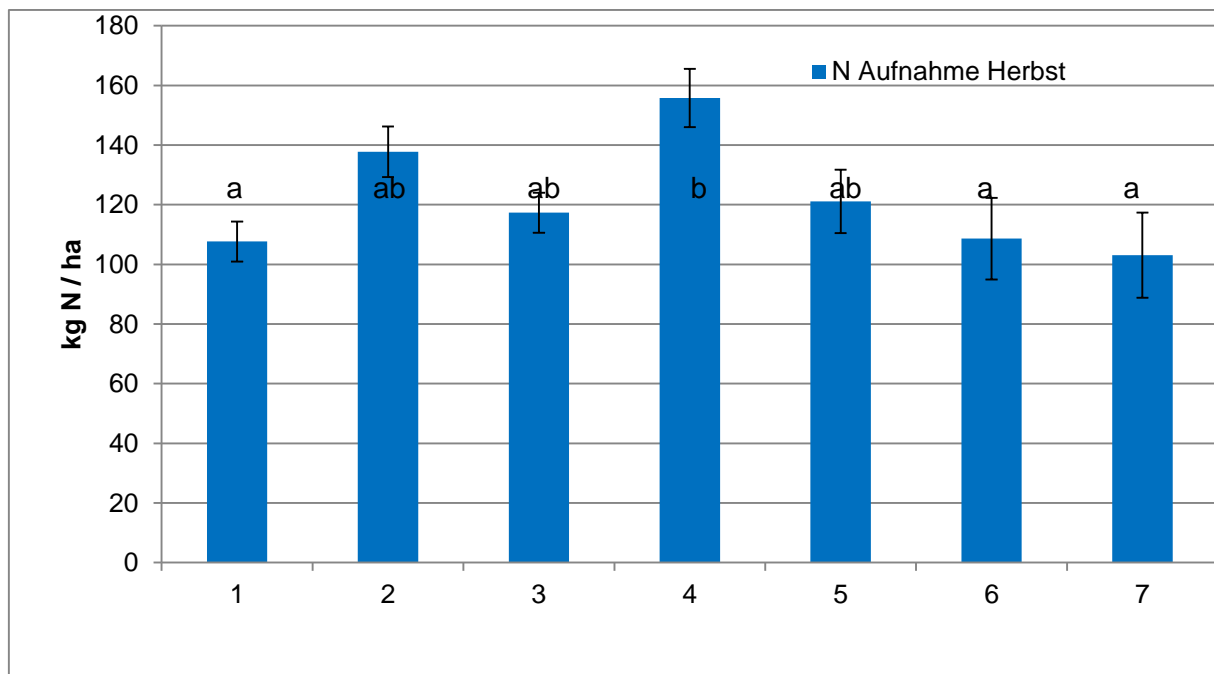


Abbildung 24 Mittelwerte der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} am Standort Kleiner Distelkamp. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=8$, $p=0,05$.

Am 26.11.2012 und 22.02.2013 wurden in den Varianten Bodenproben von 0 bis 60 cm für eine N_{\min} -Analyse gezogen. In der nicht zusätzlich mineralisch gedüngten Parzellen der Variante 1 (auch 8 und 13) lag der N_{\min} -Wert Ende November bei 24 kg N ha^{-1} . Den höchsten N_{\min} -Wert wurde bei der späten Düngung von 70 kg N ha^{-1} mittels Harnstoff in der Variante 5 gefunden, im Vergleich dazu lag der Wert in Variante 6, die zum gleichen Zeitpunkt 70 kg N ha^{-1} mit stabilisiertem Alzon 46 gedüngt bekam nur bei 26 kg N ha^{-1} . In der mit 40 kg N ha^{-1} über SSA gedüngten Parzellen der Variante 7 wurden 87 kg N ha^{-1} analysiert. Die größten Verluste über Winter wurden in der Variante 5 festgestellt, dort wurden am 22. Februar nur noch 40 kg N ha^{-1} wiedergefunden. In der mit Alzon 46 gedüngten Variante 6 stieg der N_{\min} -Wert zum Frühjahr hin an.

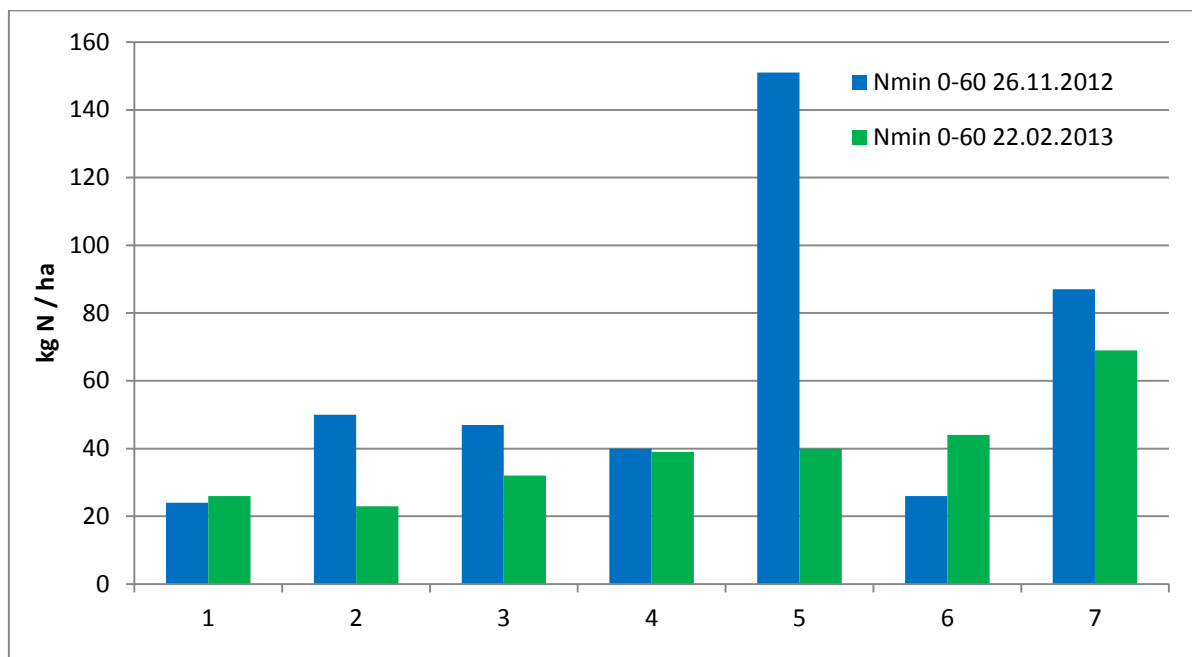


Abbildung 25 N_{\min} Werte zu Vegetationsende (26.11.2012) und Vegetationsbeginn (22.02.2013) in 0-60 cm Tiefe

In Abbildung 26 ist die Summe des zugeführten Stickstoffes der einzelnen Varianten aufgeführt. Die braunen Balken stehen für den anzurechnenden Anteil der organischen Düngung vor der Saat, die blauen Bereiche zeigen die mineralische Stickstoffdüngung im Herbst und die grünen die mineralische Stickstoffdüngung im Frühjahr. Im Frühjahr wurden die Parzellen der Varianten 1 bis 7 unter Anrechnung der von den Pflanzen im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge variabel gedüngt. Die Spannweite reichte dabei von 77 kg N ha⁻¹ in Variante 4 bis 127 kg N ha⁻¹ in Variante 1. Die Pflanzen in den Varianten 8 bis 12 erhielten unabhängig von der Herbstaufnahme eine konstante Menge von 110 kg N ha⁻¹. Die Pflanzen der Variante 13 erhielten nur den Anteil von 51 kg N ha⁻¹ der mittels der SSA bzw. NTS-Gabe einheitlich für die Schwefelversorgung über die gesamte Versuchsfläche gegeben wurde.

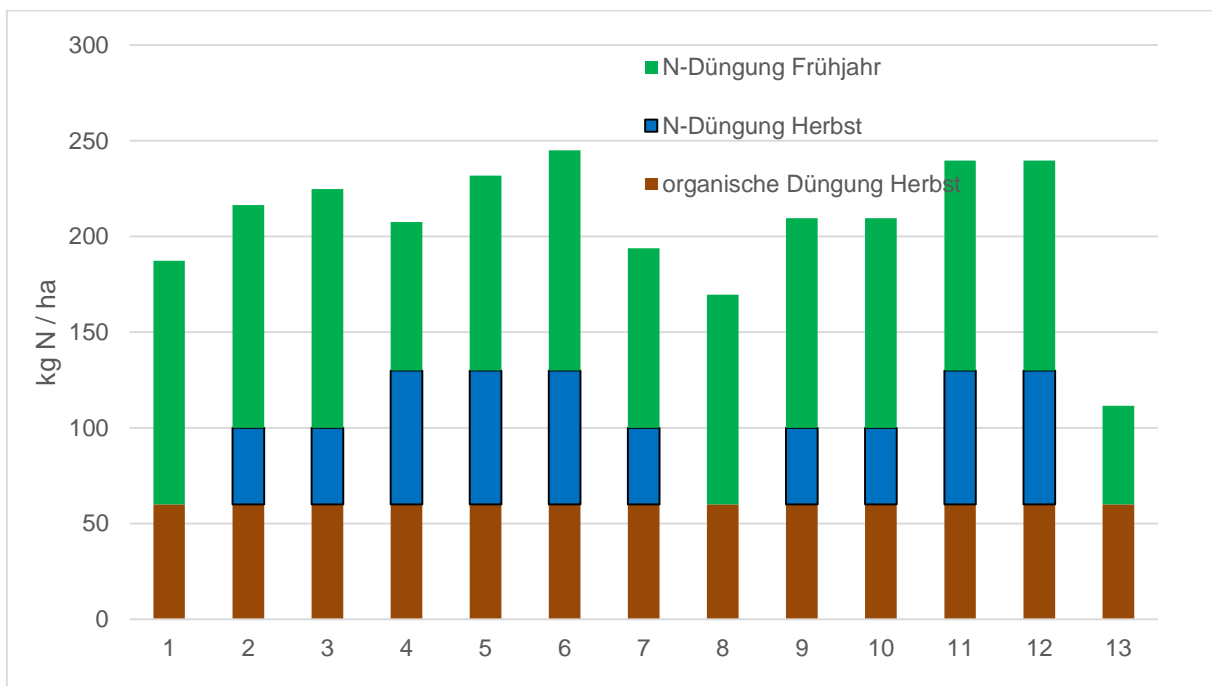


Abbildung 26 Übersicht der der zugeführten Stickstoffmenge Herbst und Frühjahr. Blaue Balken zeigen den Wert für die Herstdüngung, die grünen zeigen die Menge der Frühjahrsdüngung.

Die Kornerträge lagen in den Varianten 1 bis 12 auf einem nicht signifikanten Niveau von durchschnittlich 53 dt ha^{-1} , einzig die Pflanzen der Variante 13 erreichten nur einen Ertrag von 47 dt ha^{-1} und lagen damit signifikant unter den Erträgen der anderen Varianten.

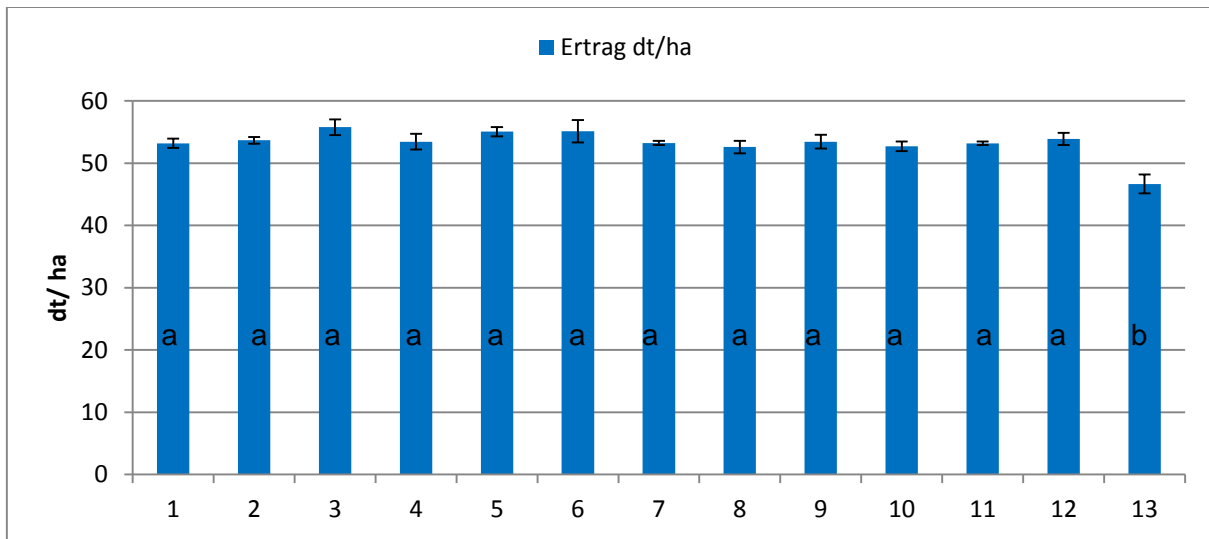


Abbildung 27 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Kleiner Distelkamp 2013. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Anhand der über Düngung im Herbst und Frühjahr zugeführten (vgl. Abbildung 26) und der mit den Körnern abgefahrenen Stickstoffmengen kann die Stickstoffbilanz errechnet werden. Grundsätzlich muss zunächst festgehalten werden, dass die erzielten Erträge von 53 dt ha^{-1} weit über der veranschlagten Ertragserwartung von 45 dt ha^{-1} lagen. Dies findet sich in der N-Bilanz wieder, da nur drei Varianten (6, 11 und 12), die zum späten Zeitpunkt im Herbst mit 70 kg N ha^{-1} versorgt wurden, einen Bilanzüberschuss von 60 kg N ha^{-1} erreichten. Den absolut niedrigsten Saldo mit -45 kg N ha^{-1} wurde in der Variante 13 berechnet. Allerdings ging dies auch deutlich zu Lasten des Ertrages (Abbildung 27).

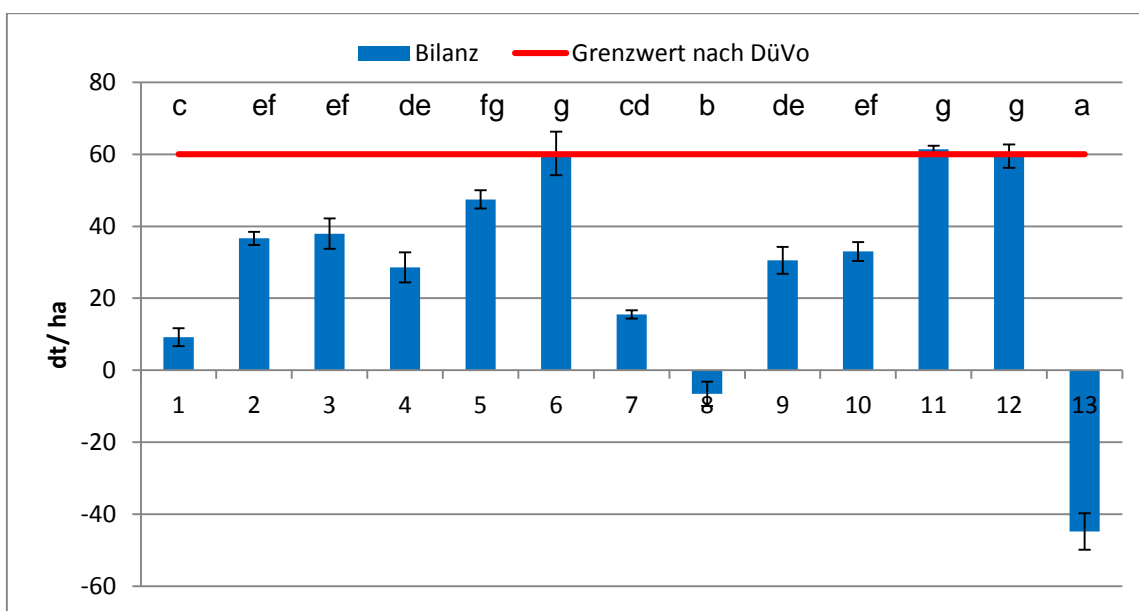


Abbildung 28 N-Bilanz in kg N ha^{-1} sowie Grenzwert für Bilanzüberschuss im dreijährigen Mittel nach DüVo für den Versuchsstandort Kleiner Distelkamp

3.4 Precision Farming Großflächenversuche Bahrdorf / Hakenstedt

Zur Erfassung einzelner Vegetationsparameter dienten die vorab beschriebenen Kleinparzellenversuche. Auf den Großparzellen wurde die Biomasseentwicklung anhand Messfahrten mit dem Yara-N-Sensor durchgeführt. Als Grundlage für die Berechnung der Stickstoffmenge, die im Frühjahr zu düngen ist, wurden Messfahrten von Ende November (Abbildung 9 und Abbildung 10) herangezogen. Anhand derer konnte teilflächenspezifisch die N-Aufnahme (Tabelle 7) abgeleitet und in die Formel (Kapitel 2.4.1) eingesetzt werden. Auf der Fläche Thie wurden die in Abbildung 29 aufgezeigten Stickstoffmengen im Vegetationsverlauf zur Anrechnung gebracht. Die Variante „Fix“ bekam durchweg eine konstante N-Menge von um 220 kg/ha. Alle anderen Varianten wurden mittels unterschiedlicher Algorithmen im Frühjahr zu N3 teilflächenspezifisch gedüngt. Die beiden Varianten „Appk“ wurden nach der Methode Hanse Agro unter Einbeziehung der im Herbst aufgenommenen und im Frühjahr anrechenbaren Stickstoffmenge gedüngt. Die Variante „AgriCon“ entspricht dem teilflächenspezifischen Ansatz der Fa. Agricon, bei dem die N1 anhand der Herbstaufnahme variabel ausgebracht wurde und dann zu N3 der Yara-N-Sensor im Onlineverfahren frei regeln konnte. Die Variante „YNS“ wurde nur zu N3 im Onlineverfahren gedüngt, die Düngungstermine N1 und N2 waren konstant.

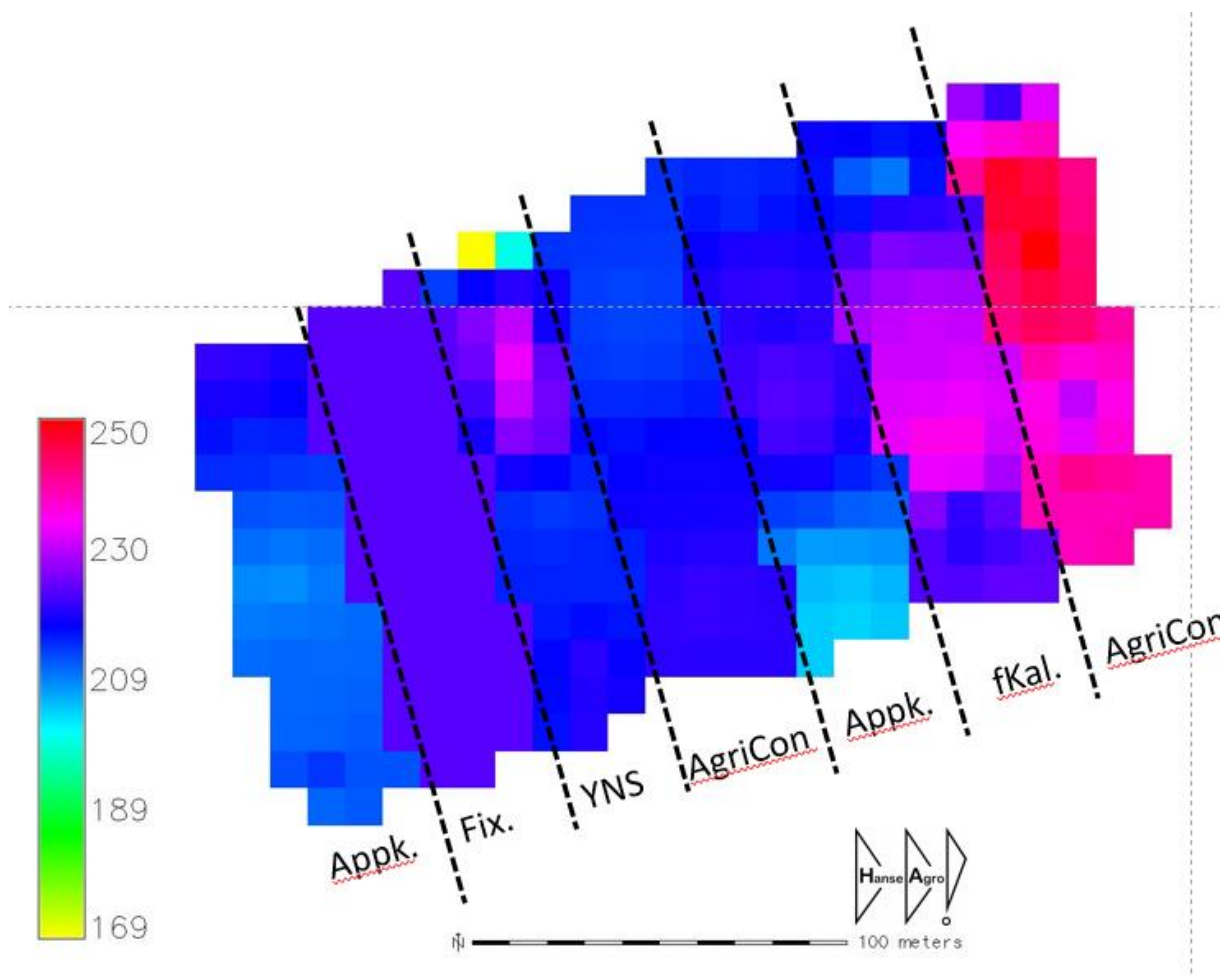


Abbildung 29 N Summe Herbst + Frühjahr Thie

Die auf der Fläche Thie erzielten Erträge sind in Abbildung 30 als interpoliertes Flächenbild gezeigt. Abbildung 31 zeigt die Erträge im Mittel der jeweiligen Fahrgasse. Den höchsten Ertrag erzielte mit 5,35 t/ha die Variante „Appk-2“. Mit knapp 5 t ha⁻¹ lagen die Erträge der Varianten „Fix“, „freie Kalibrierung“ und „AgriCon-2“ signifikant am niedrigsten. Die Varianten „Appk-1“, „YNS-online“ und AgriCon-1“ konnten keiner der beiden Klassen eindeutig zugeordnet werden.

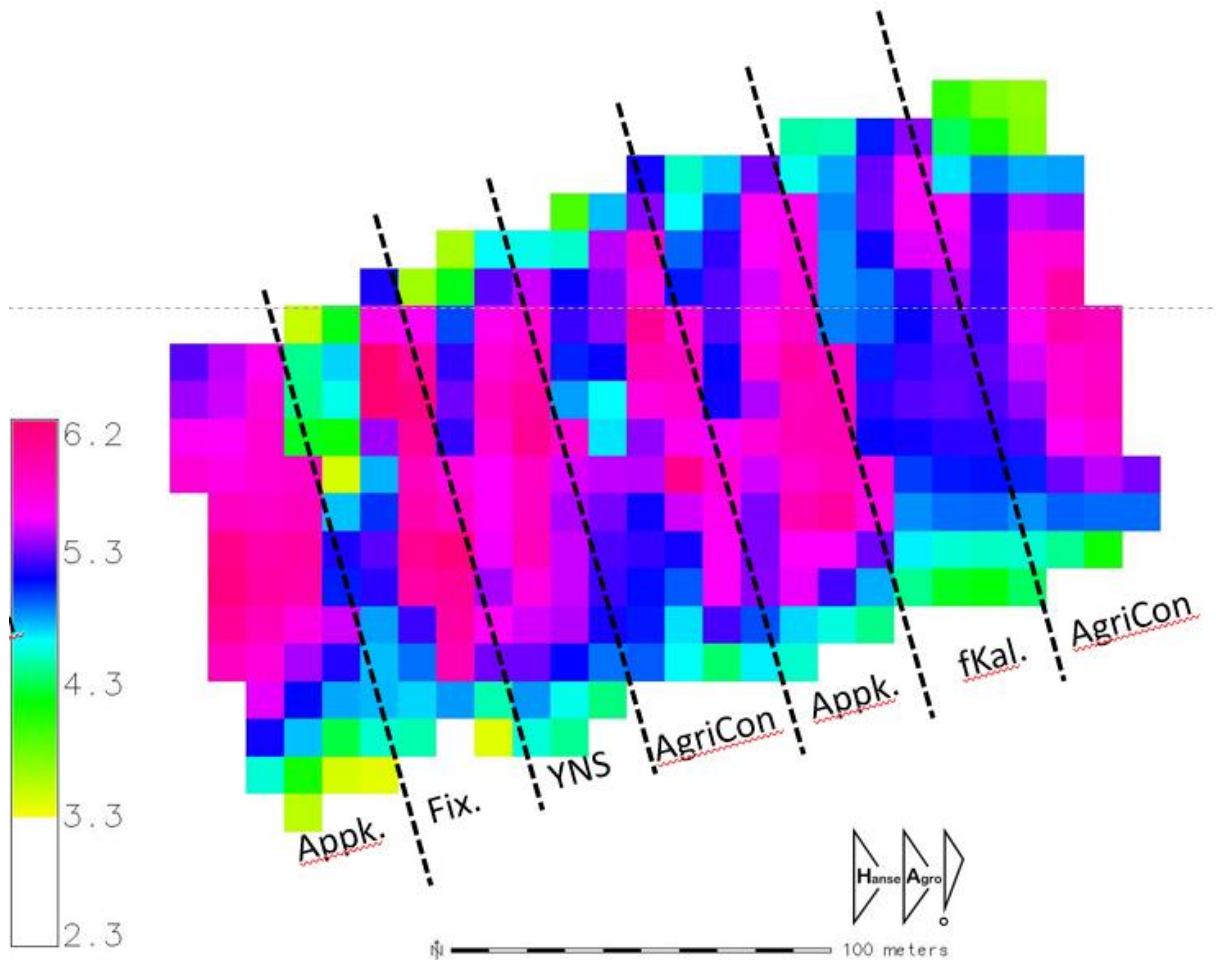


Abbildung 30 Ertrag t/ha Thie

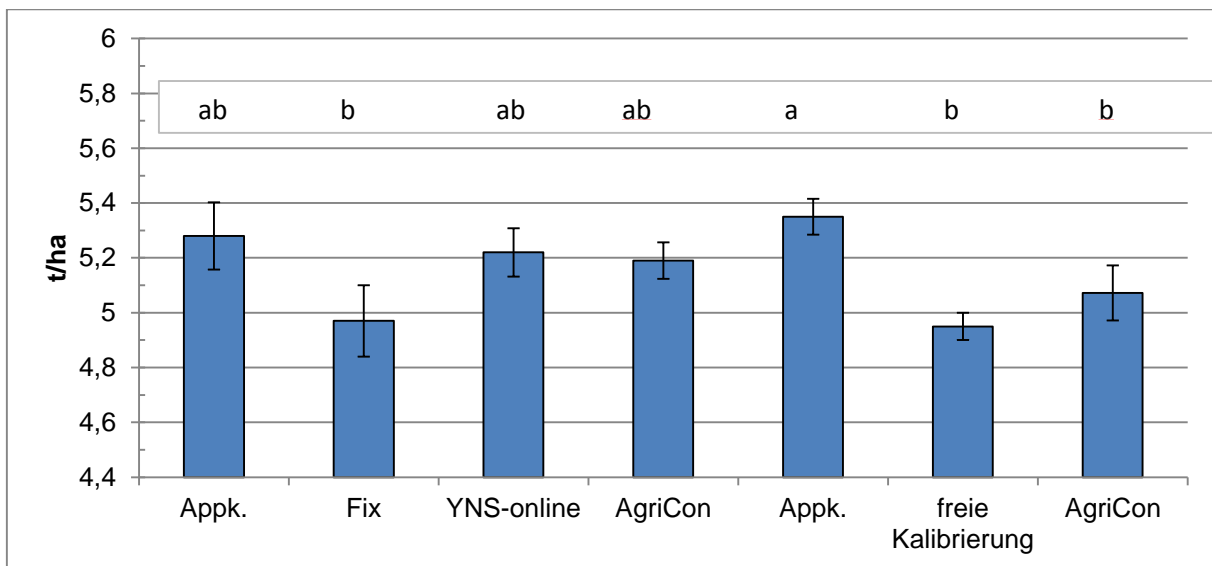


Abbildung 31 Kornertag $t\ ha^{-1}$ Thie

Aus der N-Summe und dem Kornertag wurde auch auf dieser Fläche die N-Bilanz der einzelnen Varianten erstellt. Wie zuvor zeigt Abbildung 32 die interpolierte N-Bilanz auf der Fläche während Abbildung 33 die Mittelwerte als Balkendiagramm zeigt. Mit durchschnittlich $36\ kg\ N\ ha^{-1}$ lagen die Varianten „Appk-1“ und „Appk-2“ signifikant am niedrigsten, es folgten mit $43\ kg\ ha^{-1}$ die Varianten „YNS-Online“ und „AgriCon-1“. Die Variante „Fix“ und „freie Kalibrierung“ erzielten einen Bilanzüberschuss von 57 bzw. $59\ kg\ N\ ha^{-1}$ und den höchsten Überschuss erzielte mit $70\ kg\ ha^{-1}$ die Variante „AgriCon-2“.

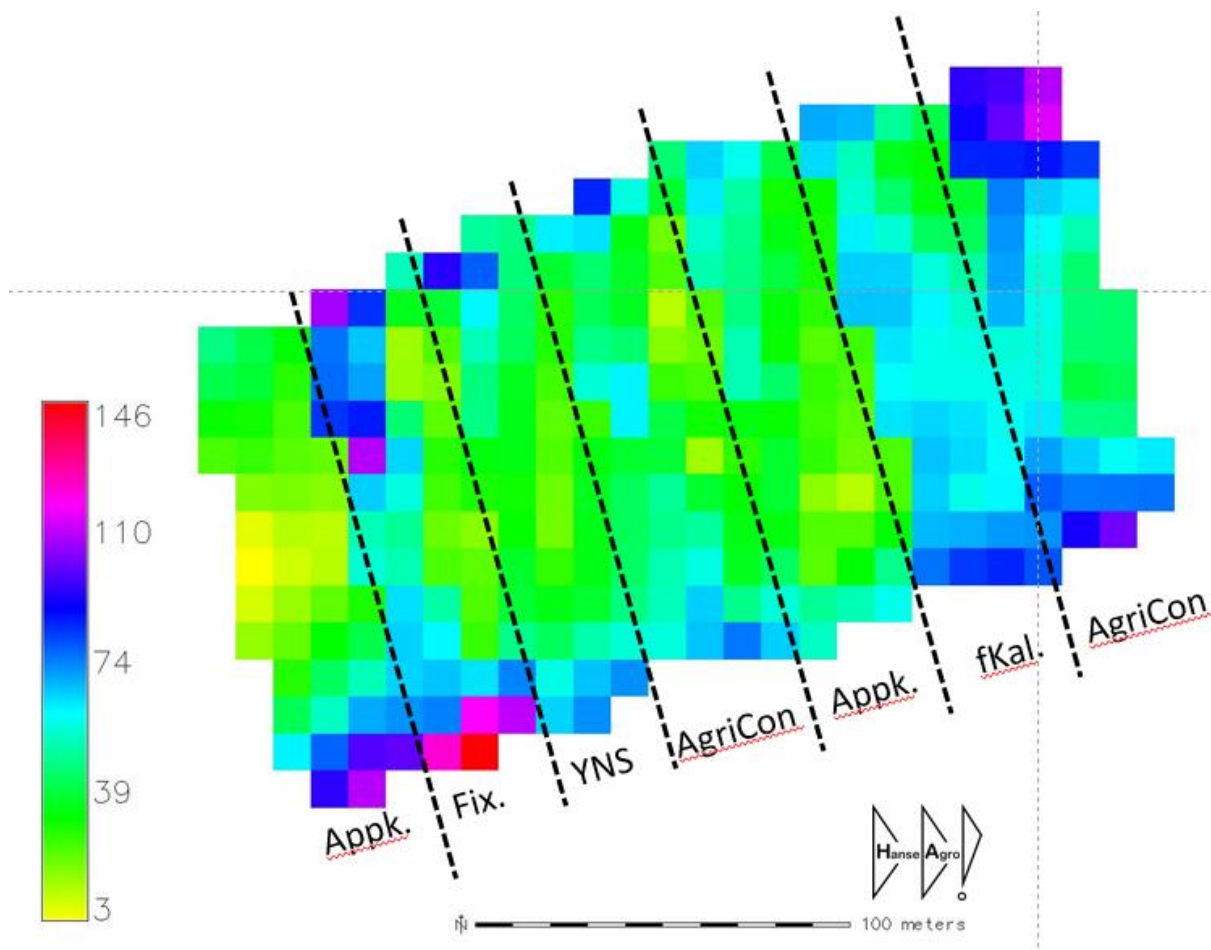


Abbildung 32 Bilanz kg N / ha Thie

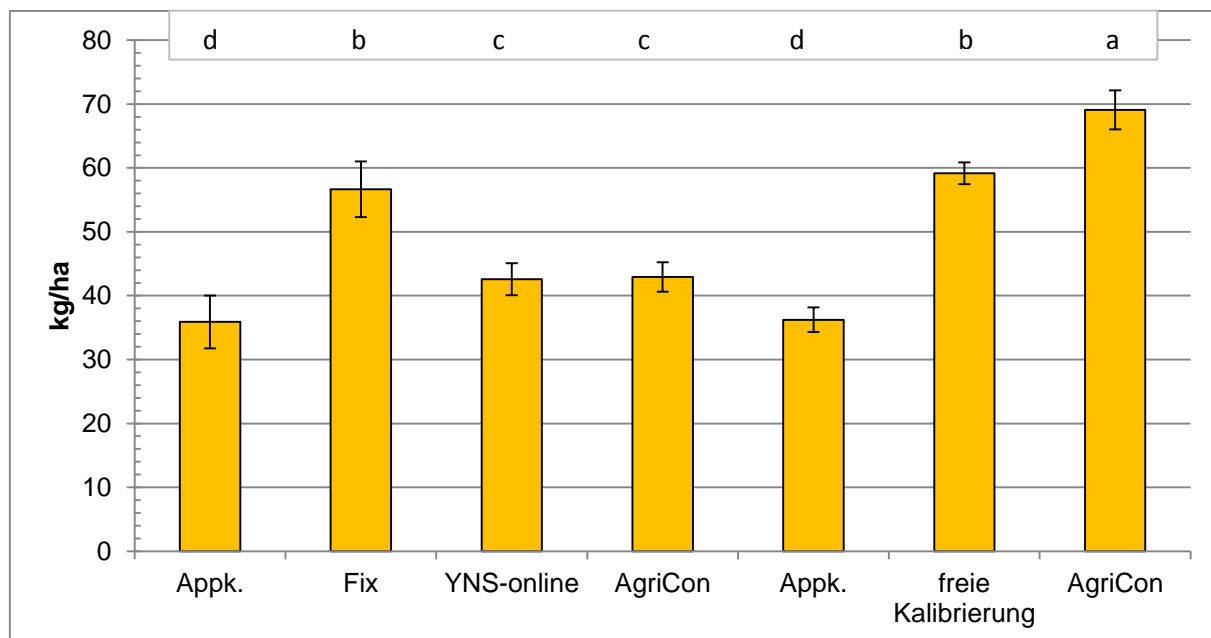


Abbildung 33 N-Bilanz kg / ha Thie

Die Versuchsfläche Wischeropsbreite wurde nachträglich in diese Versuche aufgenommen, als feststand, dass in Arup kein Großflächenversuch durchgeführt werden konnte. Auf der nördlichen Hälfte (Fahrgasse 1 bis 9) wurden zur Frühjahrs-N-Düngung verschiedene teilflächenspezifische Verfahren verglichen. In den Fahrgassen 1 bis 3 traten Fehler bei der Aufzeichnung der ausgebrachten N-Menge, bei der Aufzeichnung der Erträge durch den Mähdrescher und bei der Zurodnung der gewogenen Erntemengen auf, so dass diese für die Auswertung bzw. Darstellung der Ergebnisse nicht berücksichtigt werden konnten.

Im südlichen Teil (Fahrgasse 8 sowie 10 bis 17) wurde aufgrund der fahrgassenabhängigen sehr unterschiedlichen Entwicklung der Rapspflanzen in einer Sortendemonstration mit der Düngung nach Applikationskarte nur das Verfahren der Hanse Agro angewendet.

In Abbildung 34 ist die N-Summe aus Herbst und Frühjahrsdüngung auf die Fläche interpoliert dargestellt. Damit ein Verwischen der Werte zwischen den Fahrgassen nicht auftrat wurde jede Fahrgasse für sich interpoliert und im Anschluss zu graphischen Darstellung zusammengefügt.

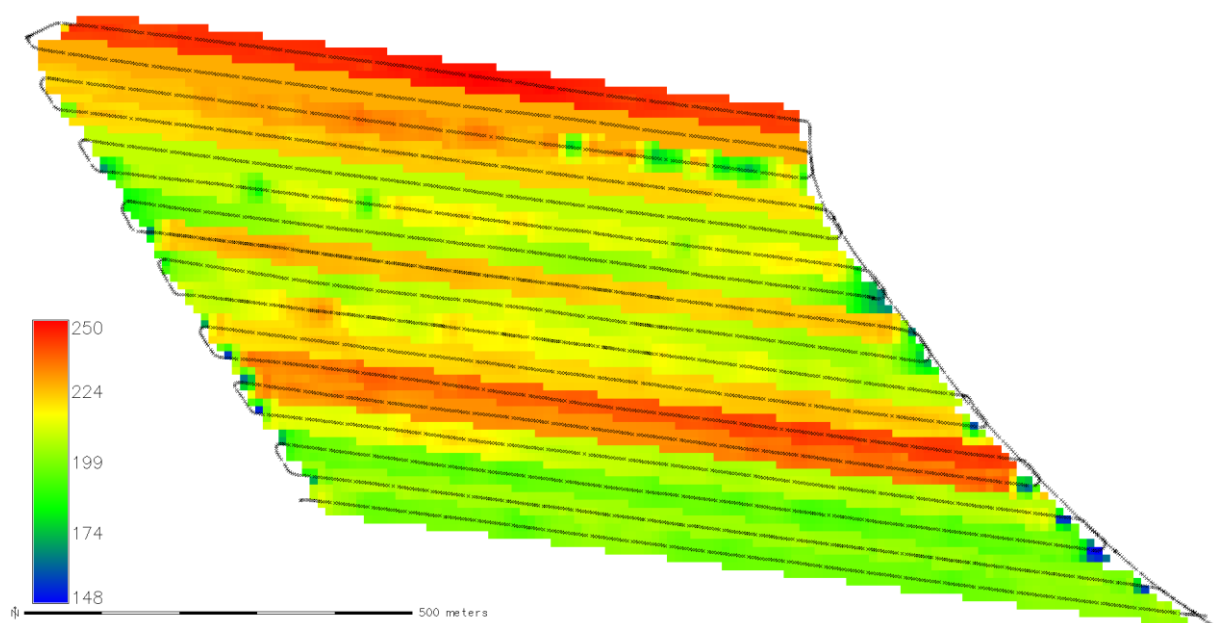


Abbildung 34 N Summe Herbst und Frühjahr kg ha^{-1} . Wischeropsbreite

Die Auswertung der Erträge erfolgte ebenfalls separat für jede Fahrgasse, jedoch standen für die Auswertung pro Fahrgasse drei Druschbahnen des Mähdreschers zu Verfügung. Die interpolierte Karte des Kornertrages ist in Abbildung 35 dargestellt. Der durchschnittliche Ertrag auf der gesamten Fläche lag bei $6,0 \text{ t ha}^{-1}$.

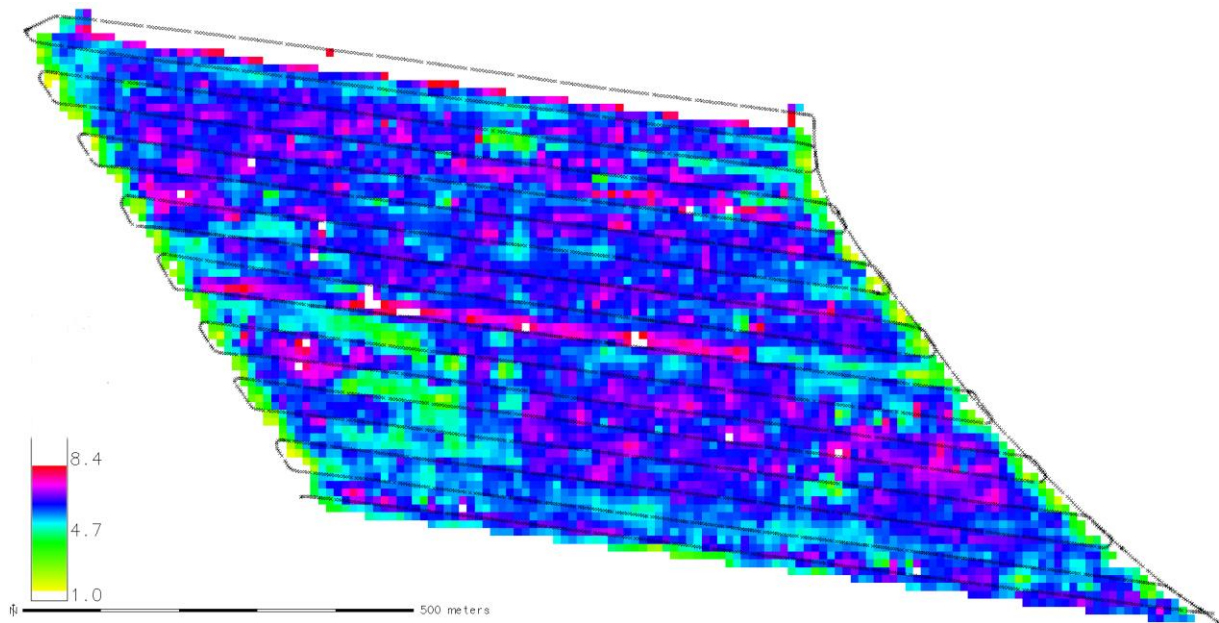


Abbildung 35 Ertrag $t\ ha^{-1}$, $n=6042$, Durchschnitt = $6,0\ t\ ha^{-1}$

Die Düngung anhand verschiedener teilflächenspezifischer Methoden erreichte in den Fahrgassen 4 bis 9 folgende Erträge (Abbildung 36). Die Pflanzen, die in den Fahrgassen 4 und 8 mittels Applikationsarte nach Hanse Agro im Frühjahr mit Stickstoff gedüngt wurden erreichten $5,9\ t/ha$, auf gleichem Niveau lagen die Düngungsvarianten konstante Düngung ohne Anrechnung der Pflanzenentwicklung in Fahrgasse 5 sowie die erste Wiederholung der Variante (Fahrgasse 6) die zu N3 im online Verfahren mit dem Yara-N-Sensor gedüngt wurde. Der Ertrag in der Variante freie Kalibrierung zu N 3 sowie die zweite Wiederholung YNS (Fahrgasse 9) fielen auf $5,8\ t\ ha^{-1}$ ab. Aufgrund der hohen Anzahl an Messpunkten durch die Ertragskartierung konnte zwischen den $5,9\ t\ ha^{-1}$ und $5,8\ t\ ha^{-1}$ ein signifikanter Unterschied herausgefunden werden.

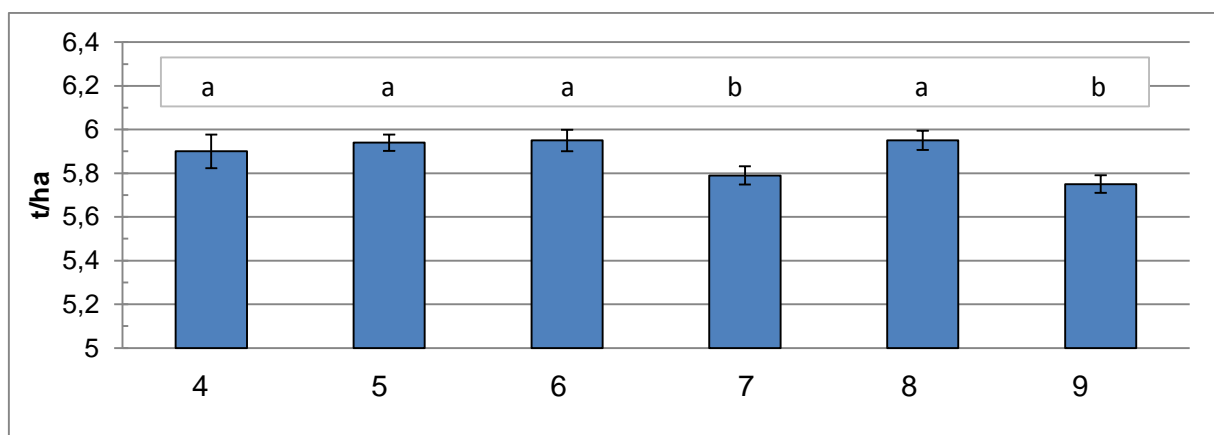


Abbildung 36 Kornertrag $t\ ha^{-1}$ der Fahrgassen 4 bis 9. Verschiedenen teilflächenspezifische Methoden. Wischeropsbreite

Die Rapspflanzen die in der Sortendemonstration in den Fahrgassen 8 sowie 10 bis 17 mittels Applikationskarte anhand ihrer N-Aufnahme vor Winter gedüngt wurden erzielten Kornerträge, die in Abbildung 37 gezeigt sind. Hervorzuheben sind die Fahrgassen 12 und 13, diese zeigten

im Herbst (Abbildung 10, gelbe Streifen) eine N-Aufnahme deutlich unter 50 kg N ha^{-1} sowie die Fahrgassen 14 bis 17. Dort wiesen die Pflanzen im Herbst eine N-Aufnahme von deutlich über 50 kg N ha^{-1} teilweise bis 120 kg N ha^{-1} auf. Den Pflanzen in den Fahrgassen 14 bis 17 wurde somit ein großer Teil der Stickstoffdüngung angerechnet. Die Erträge lagen mit Ausnahme der Fahrgasse 16 bei rund $5,8 \text{ t ha}^{-1}$. Die Pflanzen der Fahrgassen 12 und 13 bekamen aufgrund ihrer geringen Herbstentwicklung in der Berechnung der N-Menge für das Frühjahr noch Zuschläge bis in Höhe von 15 kg N ha^{-1} . Die Erträge lagen auf dem gleichen Niveau bei $5,8 \text{ t ha}^{-1}$.

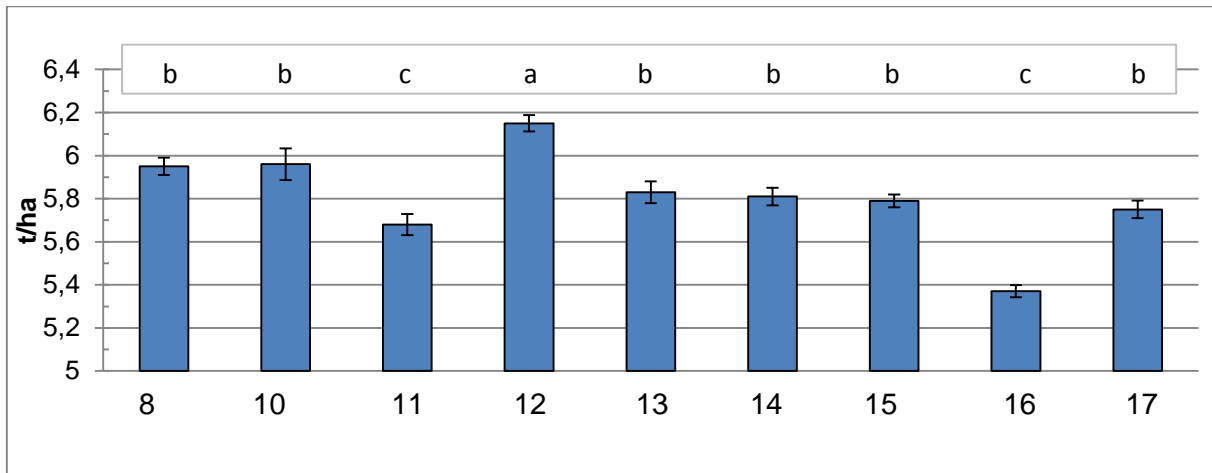


Abbildung 37 Kornertrag t ha^{-1} der Fahrgassen 8 sowie 10 bis 17. N-Düngung Frühjahr nach Applikationskarten. Wischeropsbreite

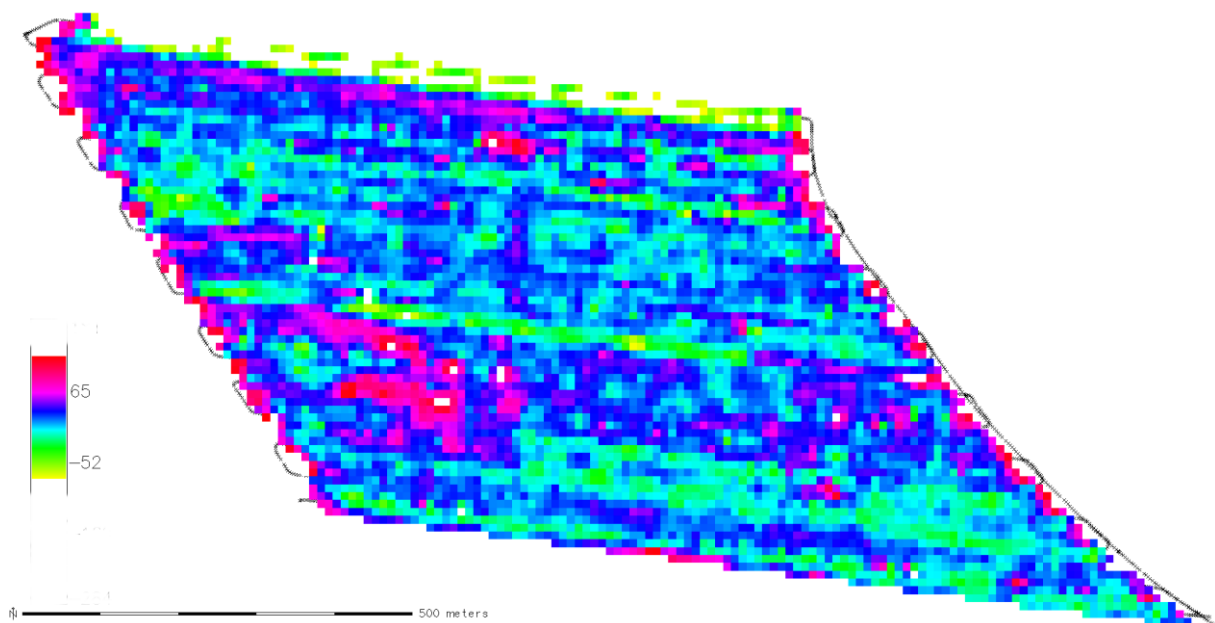


Abbildung 38 N Bilanz kg ha^{-1} $n=6042$, durchschnitt $12,8 \text{ kg ha}^{-1}$

Die N-Bilanz wies in den Varianten 4 und 8 die anhand der Applikationskarte nach Hanse Agro gedüngt wurde mit einem positiven Saldo von 25 kg ha^{-1} signifikant höhere Werte auf, als die anderen Varianten.

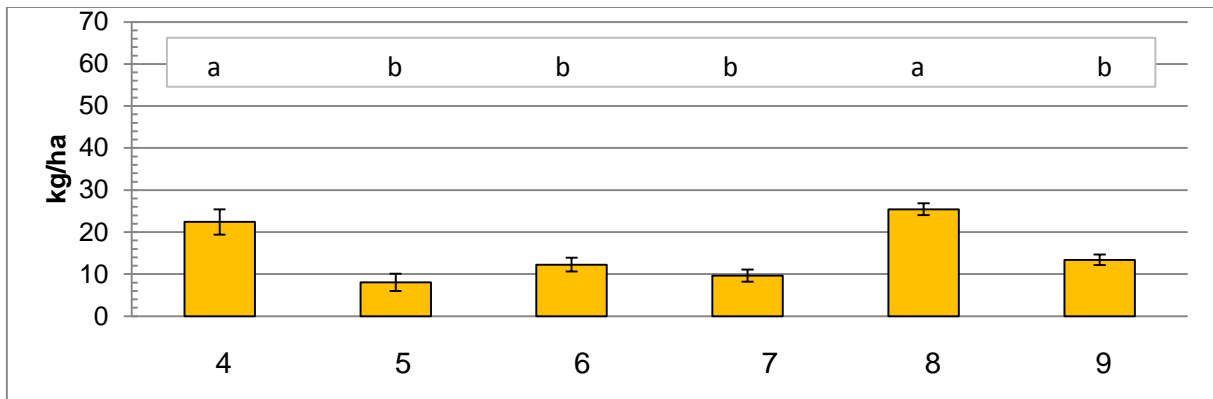


Abbildung 39 N Bilanz kg ha^{-1} der Fahrgassen 4 bis 9. Verschiedenen teilflächenspezifische Methoden. Wischeropsbreite

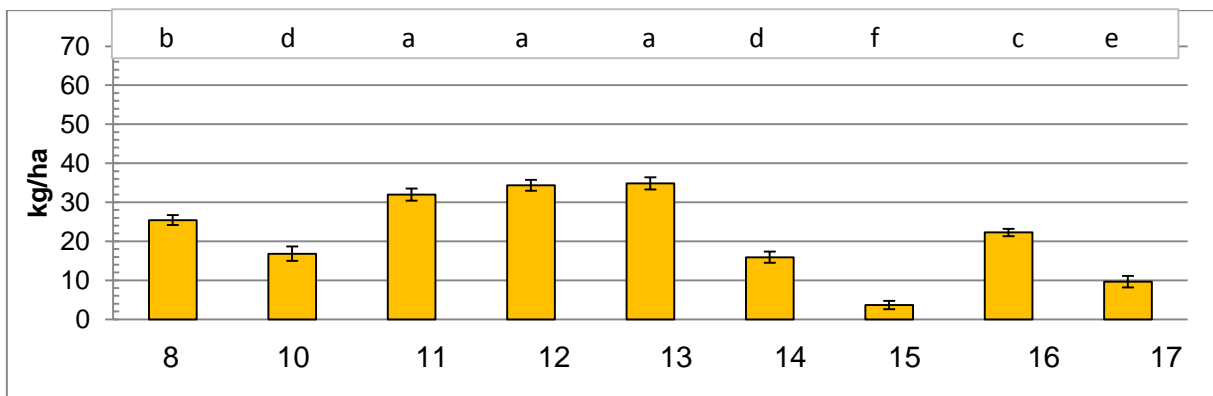


Abbildung 40 N Bilanz kg ha^{-1} der Fahrgassen 8 sowie 10 bis 17. N-Düngung Frühjahr nach Applikationskarten. Wischeropsbreite

Tabelle 8 Übersicht der Varianten auf der Fläche Wischeropsbreite. Die Fahrgassennummern laufen von Nord nach Süd.

Fahrgasse	Variante
1	APPK
2	Fix
3	YNS
4	APPK
5	fix
6	YNS
7	freie Kalibrierung
8	APPK
9	YNS
10	APPK
11	APPK
12	APPK
13	APPK
14	APPK
15	APPK
16	APPK
17	APPK

4 Diskussion

4.1 Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Pflanzenentwicklung im Herbst

Die Fläche Bossee war von der Bonität des Bodens die schwächste. Aufgrund des sandigen Bodens waren die Bodentemperatur und damit die Mineralisierungsleistung im Spätsommer besser als auf der lehmig-tonigeren und durch mehr Niederschläge nasser Fläche in Arup. Winterraps benötigt von der Aussaat bis zum Auflaufen ca. 80 °C, für eine gute Vorwinterentwicklung bis zum 8-Blattstadium werden weitere 680 °C benötigt. Die Temperatursumme bei Raps errechnet sich aus den Tagesdurchschnittswerten größer 0 °C. Neben der Temperatur muss auch die Tageslänge bedacht werden, die ein effektives Wachstum ermöglicht. Im Temperatursummenbereich von 900°C hat der Raps die Möglichkeit bis zu 10 Blätter auszubilden. Der optimale Bereich liegt zwischen 760 °C und 900 °C. Bei Betrachtung der Temperatursummen von dem jeweiligen Aussaatdatum bis 25.11.2012 kommen für die drei Standorte folgende Summen zustande. Die niedrigste Temperatursumme mit 776°C war auf der Fläche in Arup zu messen. Dies lag vor allem an der späteren Aussaat Anfang September. In Bossee konnte ein Temperatursumme von 888°C erreicht werden und in Bahrdorf sogar 977°C. Folglich war auch die gesamte Pflanzenentwicklung an den drei Standorten deutlich unterschiedlich. Im Mittel aller Düngungsvarianten erreichten die Pflanzen in Arup die für eine sichere Überwinterungsleistung geforderten Parameter knapp nicht, da im Durchschnitt von nur 8,2 Blätter pro Pflanze festgestellt wurde. Der Wurzelhalsdurchmesser lag mit 9,1 mm im Soll, da der optimale Wert mit 8 bis 10 mm angegeben ist. Die N-Aufnahme lag im Mittel aller Varianten in Arup bei 45 kg ha⁻¹ und damit 5 kg unter den geforderten 50 kg N ha⁻¹. Mit der etwas früheren Aussaat und damit einer höheren Temperatursumme konnte die Pflanzen in Bossee mit 7,7 Blättern pro Pflanze und einem WHD von 9,6 mm die geforderten Parameter auch nur knapp erreichen, allerdings lag die Stickstoffaufnahme im Mittel der Varianten mit 61,2 kg N ha⁻¹ leicht über dem optimalen Bereich. Auf dem milden Standort in Bahrdorf, bei dem die Pflanzen die höchste Temperatursumme im Herbst zur Verfügung hatten, waren die Pflanzen sehr stark überentwickelt. Im Durchschnitt bildeten die Pflanzen 12,7 Blätter pro Pflanze und einen WHD von 12,3 mm. Die sehr starke Überentwicklung wird anhand des Parameters N-Aufnahme deutlich, dieser lag mit 121 kg N ha⁻¹ sehr hoch. Immerhin wurde durch die hohe N-Aufnahme durch die Pflanzen eine Auswaschung von Stickstoff über die Wintermonate verhindert (Abbildung 25).

Auf den drei Versuchsstandorten mit Kleinparzellenversuchen (Arup, Bahrdorf und Bossee) konnte bei den Rapspflanzen durch eine Stickstoffdüngung im 4-Blattstadium mit 40 bzw. 70 kg N ha⁻¹ in Form von Harnstoff eine höhere N-Aufnahme bis Vegetationsende gemessen werden. In Arup (Abbildung 12) konnten die Pflanzen der Variante 2 (40 kg N ha⁻¹) und 4

(70 kg N ha⁻¹) knappe 50 kg N ha⁻¹ in der oberirdischen Frischmasse aufnehmen, was im Vergleich zu den nicht gedüngten Pflanzen der Variante 1 eine Mehraufnahme von 40% entspricht. Ein ähnliches Bild ergab sich auf der Fläche Kleiner Distelkamp in Bährdorf. Dort konnte durch den frühen Düngetermin eine Mehraufnahme von 30% in Variante 2 bzw. 45% in Variante 4 beobachtet werden. Der frühe Düngungstermin führte auch auf der Fläche in Bossee (Abbildung 19) zu einem erheblichen Entwicklungsschub der Pflanzen. In den Varianten 2 und 4 wurde eine Mehraufnahme von Stickstoff durch die Pflanzen von 105% (Var. 2) bzw. 125% (Var. 4) im Vergleich zur Variante 1 gemessen. Obwohl die drei Standorte sich deutlich unterschieden, konnte der Stickstoff, der im 4-Blattstadium appliziert wurde von den Pflanzen bis zum Vegetationsende aufgenommen werden. Auf den beiden Standorten in Schleswig-Holstein (Arup und Bossee) brachte die Düngung mit 70 kg N ha⁻¹ im Vierblattstadium im Vergleich zu 40 kg N ha⁻¹ keinen Mehrwert in Bezug auf die Pflanzenentwicklung oder die N-Aufnahme vor Winter.

Die späten Harnstoffgaben am 31.10. (Var. 3 und 5) brachten in Bezug auf die N-Aufnahme durch die Pflanzen bis Vegetationsende keine höhere N-Aufnahme im Vergleich zur ungedüngten Variante 1 auf dem Standort Bossee (Abbildung 19) bzw. nur tendenziell leicht höhere N-Aufnahmen auf den Standorten Arup (Abbildung 12) und Bährdorf (Abbildung 24) zustande. Die Düngung von 70 kg N ha⁻¹ in Form von ammoniumstabilisiertem Alzon 46 am 31.10. zeigte auf den Standorten Bossee und Bährdorf keine Reaktion auf eine höhere N-Aufnahme und lagen auf ähnlichem Niveau, wie die zur gleichen Zeit gedüngten Harnstoffmengen. Gerade auf dem leichten Standort in Bossee konnte dieser Stickstoff in der N_{min}-Analyse im Frühjahr (Abbildung 20) nicht wiedergefunden werden. In Bährdorf verhielt es sich ähnlich wie in Bossee, auch dort wurde der Stickstoff weder in den Pflanzen noch in der N_{min}-Analyse im Frühjahr gefunden. Nur in Arup war die N-Aufnahme durch die Pflanzen durch die Alzondüngung signifikant erhöht, auch konnte im Frühjahr dort tendenziell noch etwas höhere N-Werte gemessen werden. In die N-Kalkulation für das Frühjahr gehen anhand der Formel (s. Kapitel 2.4.1) einerseits die N_{min}-Werte zu Vegetationsbeginn und andererseits Anteilig der Stickstoff, den die Pflanzen im Herbst aufgenommen haben als Abzugsfaktoren ein. Im Fall einer späten Stickstoffdüngung, bei der die Zeit für die Aufnahme durch die Pflanzen fehlt, werden diese Stickstoffmengen nicht in der Kalkulation für das Frühjahr berücksichtigt. Tritt dann durch die Winterniederschläge eine N-Auswaschung auf, fallen auch die N_{min} Werte gering aus und die späte N-Düngung im Herbst findet sich größtenteils in der N-Bilanz wieder. Auch die Verwendung von ammoniumstabilisiertem Alzon 46 konnte bei dem späten Düngungstermin keine Vorteile weder in der N-Aufnahme durch die Pflanzen noch in höheren N_{min}-Werten im Frühjahr auf eine Verringerung der N-Düngung im Frühjahr erreichen.

4.2 Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Ertragsleistung und die N-Bilanz von Winterraps auf unterschiedlichen Böden

Wie in den Projekten der Vorjahre, lagen auch in diesem Versuchsjahr hinsichtlich ihrer Ertragsleistung unterschiedlich bonitierte Flächen zu Grunde. Der schwächste Boden war die Fläche in Bossee, die beiden Flächen in Arup und Bahrdorf wiesen gute Bonitäten auf, mit dem Unterschied, dass sie in zwei völlig verschiedenen Klimaräumen lagen. Die erzielten Kornerträge lagen auf den beiden besser bonitierten Flächen Arup und Kleiner Distelkamp (Bahrdorf) auf einem hohen Niveau. In Arup wurde im Durchschnitt 60 dt ha^{-1} erreicht (Abbildung 15), auf dem kleinen Distelkamp (Abbildung 27) wurden im Mittel aller Varianten 55 dt ha^{-1} erreicht. Die Herbstdüngung hatte auf diesen beiden Standorten keinen signifikanten Einfluss auf die Kornerträge. Auch die im Herbst nicht gedüngten Pflanzen der Variante 1 konnten hohe Erträge realisieren. Das Ertragsziel war in Arup auf 45 dt ha^{-1} festgelegt, geerntet wurden jedoch 15 dt ha^{-1} mehr, folglich lag die N-Bilanz (Abbildung 16) auf einem sehr niedrigen Niveau mit teilweise negativen Salden. Auffällig sind dennoch die Bilanzsalden der Varianten 4 bis 7, die zu einem späten Zeitpunkt mit Stickstoff gedüngt wurden. Besonders fallen die Varianten 4 (40 kg N ha^{-1} , Harnstoff, 31.10.) und 5 (70 kg N ha^{-1} Harnstoff, 31.10.) auf. Auch auf dem kleinen Distelkamp gab es keine Reaktion des Kornertrages auf die Herbstdüngung, sodass die N-Bilanz (Abbildung 28) einen ähnlichen Verlauf zeigt wie in Arup. Die späte Düngung mit Harnstoff fand sich hauptsächlich in der Bilanz wieder. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit vorangegangenen Versuchen, die sich mit der Frage der Herbstdüngung in Winterraps befasst haben – steht Raps auf guten Böden, bringt eine N-Düngung im Herbst keinen Effekt hinsichtlich höherer Erträge.

Betrachtet man sich die Ertragsergebnisse auf der schwach bonitierten Fläche in Bossee, so konnten hier sehr wohl positive Ertragseffekte durch die Herbstdüngung erzielt werden. Die Erträge in Abbildung 22 stiegen durch die N-Düngung zum späten Zeitpunkt in den Varianten 3, 5, 6 und 7 um 5 % im Vergleich zur ungedüngten Variante 1 an. Auffällig ist besonders der Ertrag in Variante 4. Hier wurden im 4-Blattstadium 70 kg N ha^{-1} gedüngt, die zu hohen N-Aufnahmen (100 kg N ha^{-1} , Abbildung 19) durch die Pflanzen im Herbst führten. Durch diese hohe N-Aufnahme wurde in diesen Varianten die N-Düngung im Frühjahr um 35 kg N ha^{-1} im Vergleich zu Variante 1 reduziert. Die Pflanzen in Variante 1 erhielten im Frühjahr eine N-Menge von 184 kg N ha^{-1} während die Pflanzen der Variante 4 nur 146 kg N ha^{-1} bekamen. Die Pflanzen auf dem leichten Standort wurden durch eine frühe N-Düngung im Herbst (Var. 2 und Var. 4) zu einem starken Wachstum angeregt, welches durch die Kalkulationsmethode dann zu einer geringeren N-Düngung im Frühjahr führte und im Vergleich zur ungedüngten Variante 1 oder zu den spät gedüngten Variante 3 sowie 5 bis 7 mit einem Ertragsdefizit endete. Eine frühzeitige Herbstdüngung auf dem leichten Standort Bossee führte nicht zu einer Stabilisierung oder Steigerung des Ertrages, wie es bspw. in den Vorjahren auf den vergleichbar leichten Versuchsfeldern (bspw. Schinkel 2010/2011, GERWERS, ZIRPS, 2012) auftrat. An

dieser Stelle zeigt sich die Schwierigkeit und Unberechenbarkeit von schwachen Standorten, die die Terminierung und Quantifizierung einer N-Düngung im Herbst zu Winterraps hervorbringen.

4.3 Einfluss der unterschiedlichen Kalkulationsmethoden zur Bestimmung der Stickstoffdüngungsmenge im Frühjahr auf die Ertragsleistung und die N-Bilanz

Die Methode zur Stickstoffkalkulation im Frühjahr, bei der die im Herbst aufgenommene N-Menge berücksichtigt wird, findet in der Praxis eine immer steigende Akzeptanz. Dennoch wurde auf der Kleinparzellenfläche in Bahrdorf im Frühjahr in den Varianten 9 bis 12 eine konstante Düngung appliziert. Die Varianten 9 bis 12 hatten im Herbst die gleichen N-Mengen und Düngungszeitpunkte wie die Varianten 1 bis 6. In die Kalkulation im Frühjahr flossen aber nur gemittelte Werte für die Pflanzenentwicklung und die N_{\min} Werte ein, so dass die Frühjahrsmenge für Stickstoff mit 110 kg ha^{-1} festgelegt wurde. Im Kornertrag (Abbildung 27) gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der konstanten und der an die Pflanzenentwicklung angepassten Düngung. Auch in der N-Bilanz (Abbildung 28) lagen die Varianten mit vergleichbarer Herbstdüngung zwischen den beiden Kalkulationsmethoden in denselben Signifikanzklassen. Das in diesem Versuchsjahr ebenso positive Ergebnis der konstanten Düngung im Frühjahr war zum einen durch die mit 110 kg ha^{-1} angenommenen Abzüge und zum anderen mit einer deutlich höheren Nachlieferung des Bodens begründet. Denn bei Betrachtung der tatsächlich geernteten Menge von 55 dt ha^{-1} und dem in den Kalkulationen angenommenen Ertragsziel von 45 dt ha^{-1} entsteht eine große N-Lücke, die aufgrund der günstigen Frühjahrswitterung für den unerwarteten Mehrertrag von 10 dt ha^{-1} führte.

4.4 Eignung des Einsatzes von Precision Farming Tools zur Stickstoffdüngung von Winterraps

Trotz dem insgesamt recht hohen Ertragsniveau heben sich die teilflächenspezifischen Varianten deutlich von den einheitlich gedüngten ab. Erst durch die Berücksichtigung der Frischmasse im Herbst wird es möglich, die Teilflächen entsprechend ihrem Bedarf zu düngen. Der große Vorteil einer Messung mit Sensortechnik ist die große Anzahl an Messpunkten. Diese Messungen sind mit keinem realistischen Bonituraufwand in der pflanzenbaulichen Praxis vergleichbar. Alle erhobenen Boniturparameter, auch die in den oben dargestellten Werten wie zum Beispiel Pflanzen je Quadratmeter, Anzahl Blätter je Pflanze oder der Wurzelhalsdurchmesser haben eher einen darstellenden und interpretatorischen Charakter. Sie dienen dem Pflanzenbauer zum Ansprechen des Bestandes anhand von einzelnen Boniturspunkten. Niemand ist aber in der Lage, diese Parameter in die Teilfläche umzusetzen. Dies ist mit den Sensormesswerten unter der Bedingung, dass diese ebenso wie andere Parameter interpre-

tierbar sind, möglich. Mit dem angewendeten Algorithmus ist es dem Pflanzenbauberater möglich, an Hand einer Herbstkartierung Rückschlüsse auf die Pflanzenentwicklung im Herbst zu schließen und eine bedarfsgerechte Stickstoffmenge für die teilflächenspezifische Frühjahrsdüngung zu berechnen.

Der Yara Algorithmus in Variante „YNS“ verrechnet online die im Frühjahr auf den Teilflächen befindlichen Reflexionsinformationen. Bei der Variante „AgriCon“ wurde die N1 anhand einer von AgriCon geschätzten N-Aufnahme der Pflanzen im Herbst teilflächenspezifisch gedüngt und im Anschluss, sobald ausreichend Pflanzenmasse vorhanden war, mittels Onlinemessung durch den Yara-N-Sensor weiter gedüngt.

Auf Grund der sehr niedrigen Temperaturen Ende März 2013 konnten jedoch nicht optimale Messbedingungen vorgefunden werden. Von daher wurde eine konstante Düngung zum Zeitpunkt N2 (vgl. Tabelle 7) zur Sicherung des Ertrages als zusätzlicher Termin über alle Varianten eingefügt. Der Sensorausgleich in den Varianten „AgriCon“ und „YNS“ erfolgte dann als 3. N-Gabe. Der Algorithmus Hanse Agro „Applikationskarte“ ist von der Pflanzenmasse im Frühjahr unabhängig und kann frühzeitig abgearbeitet werden. Bei dieser Variante wäre die N2 als Zwischenlage zur Ertragssicherung überflüssig gewesen und die variable N3 wäre auf den Termin N2 vorgerutscht. Folglich wäre eine Überfahrt zur Düngung entfallen.

Die Kornerträge auf der Fläche Thie (Abbildung 31) lagen in den Varianten mit teilflächenspezifischer N-Düngung im Frühjahr auf demselben Niveau. Allerdings konnten in der N-Bilanz (Abbildung 32) signifikante Unterschiede zugunsten der Variante „Applikationskarte“ (Algorithmus der Hanse Agro) gegenüber den anderen teilflächenspezifischen Varianten herausgearbeitet werden. Vergleichbare Varianten wurden auf der Fläche „Wischeropsbreite“ angelegt, auch hier gab es kaum betriebswirtschaftlich relevante Ertragsunterschiede zwischen den Varianten (Abbildung 36). Die N-Bilanz (Abbildung 39) lag jedoch in den Varianten 4 und 8 die mittels Applikationskarte gedüngt wurden signifikant über den anderen Varianten. Die Erklärung findet sich in der Betrachtung der durch die Pflanzen im Herbst aufgenommenen N-Menge. Diese lag deutlich unter 50 kg N ha^{-1} was dem Algorithmus folgend zu einer zusätzlichen Düngung von um 10 kg N ha^{-1} führte, diese wurden aber offensichtlich nicht in Ertrag umgesetzt und belasteten nur die Bilanz. Diese Annahme bestätigt sich im Vergleich der Varianten 12 und 13 mit den Varianten 14 bis 17. Bei den ersten beiden lag die N-Aufnahme der Pflanzen im Herbst ebenfalls deutlich unter 50 kg N ha^{-1} , während die Pflanzen in den Varianten 14 bis 17 mit einer N-Aufnahme von über 100 kg ha^{-1} deutlich stärker entwickelt waren. Dem Algorithmus folgend, bekamen die Pflanzen in den Varianten 12 und 13 im Frühjahr einen Zuschlag, während die Pflanzen in den Fahrgassen 14 bis 17 N-Mengen von $35\text{-}40 \text{ kg ha}^{-1}$ angerechnet, also abgezogen bekamen. Die Unterschiede im Kornertrag (Abbildung 37) zwischen den Varianten waren trotz teilweiser Signifikanz als gering einzuschätzen. Die Unterschiede in der N-Bilanz (Abbildung 40) lagen aber im Vorteil der Varianten 14 bis 17. Der

Zuschlag in den Varianten 12 und 13 auf der Fläche „Wischeropsbreite“ konnte ebenso nicht von den Pflanzen in Ertrag umgesetzt werden, wie in den Varianten 4 und 8.

Abschließend bleibt für die teilflächenspezifische Düngung festzuhalten, dass der Algorithmus der Hanse Agro in unterschiedlichen Jahren und in unterschiedlichen Sorten sich bewährt hat. Es werden stabile Erträge erwirtschaftet, trotz der durch die Anrechnung teilweise hohen N-Abzüge. Liegt die N-Aufnahme über dem Mindestwert von 50 kg N ha^{-1} , können die Abzüge sicher in Ansatz gebracht werden. Dies belegen nicht zuletzt vor allem die Kleinparzellenversuche. Der Transfer auf die Großfläche ist mit dem Ansatz der Hanse Agro gegeben. In dem zugrunde liegenden Versuchsjahr traten zum ersten Mal unterentwickelte Rapspflanzen in den Großflächenversuchen auf. Diese haben dann im Frühjahr einen Zuschlag bekommen, der aber von den Pflanzen nicht in Ertrag umgesetzt werden konnte. In diesem Punkt wurde in den Jahren 2013/2014 ein Versuch angelegt, der dies in der Großfläche nochmals bestätigen konnte. Dabei wurden Rapspflanzen mit einer N-Aufnahme vor Winter von weniger als 50 kg N ha^{-1} in Varianten aufgeteilt, die den Zuschlag bekamen und Varianten, die keinen Zuschlag erhielten. Die Ertragsergebnisse zwischen den Varianten waren gleich. Auch hier konnte der Zuschlag aufgrund von unterentwickelten Pflanzen nicht in Ertrag umgesetzt werden sondern ist nur in die Bilanz gerutscht.

5 Fazit

Die seit 2007 durchgeführten Versuche, die eine Quantifizierung und Terminierung der Stickstoffdüngung im Herbst in Winterraps auf verschiedenen Böden untersuchten, konnten folgende Schlussfolgerungen zulassen. Steht Winterraps auf guten Böden, die in der Lage sind auch über die Wintermonate hinweg eine langsame Stickstofffreisetzung zu gewährleisten damit die Pflanzen nicht verhungern, kann eine Stickstoffdüngung im Herbst deutlich reduziert, mitunter auch unterlassen werden. Es war nicht möglich in den Versuchsjahren eine klare Abgrenzung anhand von Bodenmerkmalen zu ziehen. In vielen Versuchsjahren profitierten die Rapspflanzen im Kornertrag auf leichten Böden im Herbst sehr wohl von einer Stickstoffdüngung, in fast allen Fällen reichte dabei eine Gabe von 40 kg N ha^{-1} aus. Der optimale Zeitpunkt variierte dabei immer zwischen dem frühen und späten Termin. In dem Versuchsjahr 2012/2013 führte die frühe N-Düngung auf dem Standort Bossee zu einer deutliche Überentwicklung der Pflanzen im Herbst, mit negativen Folgen für den Kornertrag, im Versuchsjahr 2010/2011 konnten die Pflanzen auf dem Standort Schinkel mit dem frühen Düngetermin einen deutlichen Mehrertrag gegenüber der späten Düngung bzw. der ungedüngten Variante generieren. Der Herbst 2010 war recht kühl und nass, so dass die Rapspflanzen von der frühen Förderung durch Stickstoff deutlich profitieren konnten. Der Herbst 2012 auf dem Standort Bossee war hinreichend mild, so dass die zuvor angesprochene Überentwicklung auftrat. Für die Praktiker bedeutet dies, dass gerade auf leichten Standorten die Terminierung der N-Gabe im Herbst immer noch schwierig ist und sich sehr stark an der aktuellen Witterung und der Vorhersage orientieren muss. Dass eine N-Düngung auf leichten Standorten angeraten ist, zeigten die Ergebnisse der Versuchsjahre seit 2007.

Parallel zu der Frage der Quantifizierung und Terminierung der Stickstoffdüngung im Herbst, wurde in den Versuchsjahren immer auch die Auswirkung auf die N-Anrechenbarkeit für die Frühjahrsdüngung betrachtet. Ab 2011 wurden die Erkenntnisse der Kleinparzellenversuche auf die Betriebsflächen gebracht. Dazu wurde die N-Aufnahme der Pflanzen vor Winter mit dem Yara-N-Sensor erfasst und entsprechend in die Kalkulation für die Frühjahrsdüngung überführt. Somit konnten, ausgehend von einer Messfahrt zu Vegetationsende, Applikationskarten für die Düngung im Frühjahr entwickelt werden. Das Ergebnis der Applikationsarten nach der Methode Hanse Agro liefert stabile Erträge sowohl im Vergleich zur konstanten Düngung als auch zu anderen teilflächenspezifisch agierenden Methoden. Die N-Bilanz konnte bei der Methode Hanse Agro jedoch deutlich verbessert werden.

6 Literatur

- ALBERT, E. (2005) Stickstoff zu Raps Wann, wieviel und mit welchem N-Dünger? Innovation 2/2005
- COLNENNE C., MEYNARD J.M., ROCHE R., AND REAU R. 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy*, 17.
- DEJOUX, J.-F., RECOUS, S., MEYNARD, J.-M, TRINSOUTROT, I. & LETERME, P. (2000). The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. *Plant and Soil* 218.
- FLÉNET, F., SIELING, K., WAGNER, D., COLNENNE, C. (2009). Is there a need for N fertilizer in autumn in winter oilseed rape (WOSR)? Oilseed rape workshop, Berlin, 23.-24.03.2009
- GERWERS, D., ZIRPS, N. (2012): Notwendigkeit und Auswirkung der Herbstdüngung zu verschiedenen Zeitpunkten auf Herbstentwicklung, Überwinterung sowie Ertrag und N-Bilanz im Winterraps unter Einbeziehung von Precision Farming Tools. Forschungsprojekt 2010_42 Stiftung Schleswig-Holsteinische Landschaft.
- HANSE AGRO (2011). Aussaatplanung 2011/2012. Vorstellung von Versuchsergebnissen N-Düngung Raps im Arbeitskreis Uelzen
- HENKE, J. (2007). Entwicklung und Bewertung von Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Winterrapsanbau. Dissertation Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- JÜRGENS, H. (2008). Methoden zur Ermittlung des optimalen Stickstoffbedarfs in *Brassica napus* L. Masterarbeit im naturwissenschaftlichen Studiengang Agrarwissenschaften an der Georg-August Universität Göttingen. Fakultät Agrarwissenschaften.
- MAIDL, F.-X. Optimierte Stickstoffdüngung durch Biomassebestimmung und Sensoreinsatz bei Winterraps. Technische Universität München-Weihenstephan
- MAKOWSKI, D., MALTAS, A., MORISON, M. AND REAU, R. (2005). Calculating N fertilizer doses for oil-seed rape using plant and soil data. *Agronomy for Sustainable Development* 25.

-
- RATHKE, G.-W., BEHRENS, T., DIEPENBROCK, W. (2006). Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape *Brassica napus* L.: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117.
- REAU, R., WAGNER, D. AND PALLEAU, J. P. (1994). End of winter diagnosis: Winter rapeseed and nitrogen fertilization. In: *Proceedings of the third congress of the European Society for Agronomy* (Eds M. Borin & M. Sattin). Padova: European Society for Agronomy.
- SCHLIEPHAKE, W., FÖRSTER, F., ALBERT, E. Neues Berechnungsverfahren für die Ermittlung des N-Düngebedarfes zu Winterraps mit dem Beratungsprogramm BEFU. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- SELING, K., SAUERMAN, W., KAGE, H. (2010). Wie lässt sich die N-Düngung zu Winterraps optimieren? *DLG Mitteilungen* 5/2010
- VAN PAEMEL H., AND REAU R. 1998. Fertilisation azotée du colza : Prendre en compte l'absorption automnale. *Perspectives agricoles*, 233.
- WEHRMANN, J. AND SCHARPF, H. C. (1986). The Nmin-method – an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 149.