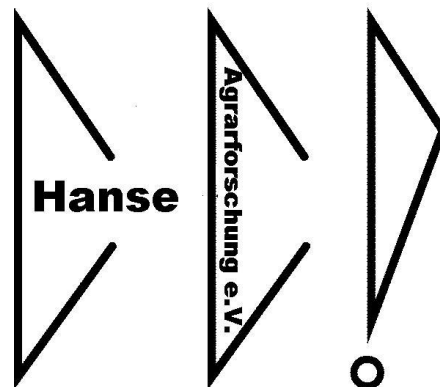


Versuchsbericht

2011/2012



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.

Dr. Dominik Gerwers
Norbert Zirps
Hanse Agro Beratung & Entwicklung GmbH

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. 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 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 führt 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.

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 Düngebedarf 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 consensus, 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 Herbstdüngung 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 Herbstdüngung erzielt werden. Ein ertragswirksamer Effekt einer Herbstdüngung 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 Strohrotte der Vorfrucht fixiert ist. In manchen Fällen führt ein Stickstoffmangel im Herbst, der in einer Unterentwicklung der Rapspflanzen resultiert, zu keiner Ertragsdepression. 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 Grenzstan-

dorten 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 Versuchsflächen selten auf solchen Standorten angelegt werden, weil in vielen Jahren generell die Auswertung eingeschränkt ist, findet sich in der Literatur häufig nur die Beschreibung von besseren Standorten. Versuchsergebnisse zur Stickstoffdüngung in Winter-raps im Herbst besonders auf leichten Standorten sind kaum vorhanden. Erkenntnisse basieren meist auf Praxisbeobachtungen.

2 Material und Methoden

2.1 Vorbemerkung

Die Versuche dieses Berichtes erstrecken sich über zwei Versuchsjahre auf den Standorten Schinkel (2010/2011) bzw. Sehestedt (2011/2012) in Schleswig-Holstein und Bahrdorf (beide Jahre) in Niedersachsen. In beiden Jahren wurden auf jedem Standort ein Kleinparzellenversuch zur Terminierung und Quantifizierung der Stickstoffdüngung im Herbst zu Winterraps angelegt. Im zweiten Versuchsjahr war es aufgrund der Witterung und Pflanzenentwicklung im Herbst zudem möglich, mittels Spektroskopik (Yara N-Sensor[®]) Varianten auf der Großfläche in Streifen anzulegen.

2.2 Versuchspläne

2.2.1 Kleinparzellenversuch

In den Kleinparzellenversuchen wurden 13 Varianten angelegt. Die Varianten 1-5 wiederholen sich in der Herbstbehandlung in den Varianten 9-13, der Unterschied zwischen den beiden Blöcken liegt in der unterschiedlichen Düngung im Frühjahr. Während in dem letzten Block nach der Sollwertmethode gedüngt wurde, spielte in den oberen Varianten 1-9 die Stickstoffaufnahme der Rapspflanzen im Herbst zu Korrektur der Stickstoffmenge im Frühjahr eine entscheidende Rolle. Im Herbst wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten, unterschiedliche Stickstoffmengen und -formen appliziert. Die Rapspflanzen der Variante 1 / 9 erhielten als Kontrollvariante keine Herstdüngung. Die Pflanzen der Varianten 2 / 6 / 10 wurden im 4-Blattstadium mit 40 kg N ha^{-1} mit Harnstoff gedüngt. Zum gleichen Zeitpunkt erhielten die Pflanzen der Varianten 4 / 12 je 70 kg N ha^{-1} . Zum letztmöglichen Herstdüngungstermin gemäß Düngeverordnung wurden in den Varianten 3 / 11 je 40 kg N ha^{-1} und in den Varianten 5 / 13 je 70 kg N ha^{-1} in Form von Harnstoff gestreut. Auf die Pflanzen der Varianten 6 / 8 kamen 70 kg N ha^{-1} in stabilisierter Form als Alzon 46 sowie in Variante 7 40 kg N ha^{-1} in Form von schwefelsaurem Ammoniak (SSA).

Tabelle 1 Übersicht der Varianten im Kleinparzellenversuch

Variante	Düngerform	Herbst (4-Bl.)	31. Oktober	N-Frühjahr
1		-	-	N-Aufnahme Herbst
2	Harnstoff	40	-	N-Aufnahme Herbst
3	Harnstoff	-	40	N-Aufnahme Herbst
4	Harnstoff	70	-	N-Aufnahme Herbst
5	Harnstoff	-	70	N-Aufnahme Herbst
6	Alzon 46	40	70	N-Aufnahme Herbst
7	SSA	-	40	N-Aufnahme Herbst
8	Alzon 46	-	70	N-Aufnahme Herbst
9		-	-	N-Sollwert
10	Harnstoff	40	-	N-Sollwert
11	Harnstoff	-	40	N-Sollwert
12	Harnstoff	70	-	N-Sollwert
13	Harnstoff	-	70	N-Sollwert

2.2.2 Streifenversuch

Im zweiten Versuchsjahr wurde auf dem Standort Bahrdorf eine Stickstoffapplikationskarte für den Herbst ausgehend von der Biomassekarte des Yara N-Sensors erstellt. Folgende Varianten wurden dabei angelegt:

Variante	Applikation	Menge kg N ha ⁻¹	Anzahl Fahrgassen
He1	Feste Menge	0	2
He2	Variabel 6 Klassen	20-40	4
He3	Feste Menge	30	2
He4	Variabel 3 Klassen	20-40	6

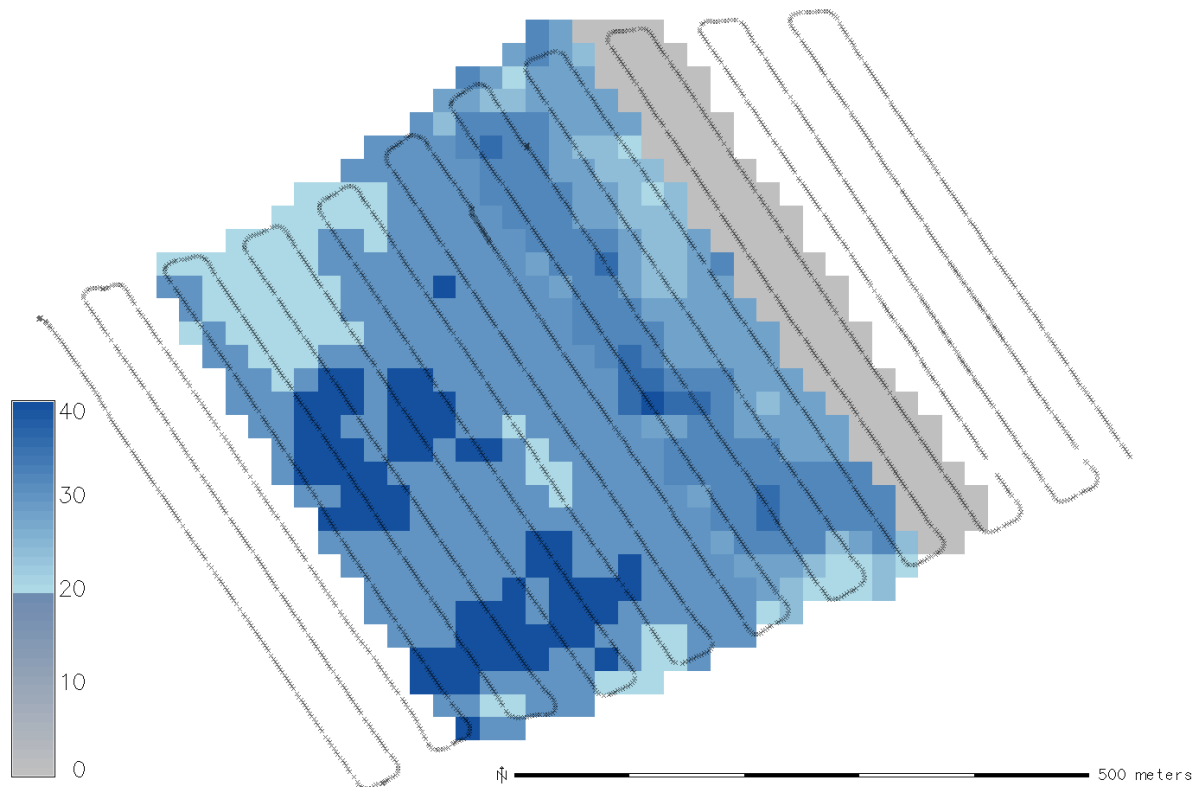


Abbildung 1 Stickstoffapplikationskarte (kg N / ha) 31.10.2011, Kleibreite

Aufbauend auf die Applikationskarte Herbst, wurde durch weitere Messüberfahrten im Herbst 2011 am 23.11.2011 die letztmögliche Biomasseaufnahme für die Kalkulation der N-Düngung im Frühjahr herangezogen. Am 13.02.2012 wurde konstant über die ganze Fläche $1,9 \text{ dt ha}^{-1}$ SSA als N1 gedüngt. Die teilflächenspezifische Düngung nach der Applikationskarte aus Abbildung 2 erfolgte am 15.03.2012. Die Berechnung der Frühjahrsstickstoffmenge erfolgte nach der Formel aus Kapitel 2.5. Dabei wurde der Korrekturwert (ermittelt über die FM Herbst) über die Sensorkarte des Yara N-Sensors in die Teilfläche berechnet. Die Variantenverteilung wurde wie folgt festgelegt. Die Variante He4 aus der Herbstdüngung wurde aufgeteilt, in zwei Fahrgassen mit konstanter Düngung (V.7), zwei Fahrgassen mit variabler Düngung nach Entscheidung des Betriebsleiters (V.6) und zwei Fahrgassen mit variabler Düngung (V.5). Die Variante He3 wurde ebenfalls mittels Applikationskarte gedüngt (V.4). Die Variante 3 wurde nach dem Algorithmus des Yara N-Sensors im Onlineverfahren gedüngt, während V.2 und V.1 wieder mittels Applikationskarte gedüngt wurden. V.1 basiert hierbei auf der ausgelassenen Herbstdüngung.

Tabelle 2 Variantenübersicht des Streifenversuches

Var.	Herbst	Frühjahr
9	Freie Kalibrierung	Applikationskarte
8	Fix 30 kg ha ⁻¹	Applikationskarte
7	Variabel 3 Klassen	Fix
6	Variabel 3 Klassen	Betriebsleiter
5	Variabel 3 Klassen	Applikationskarte
4	Fix 30 kg ha ⁻¹	Applikationskarte
3	Variabel 6 Klassen	YNS
2	Variabel 6 Klassen	Applikationskarte
1	Keine zusätzliche Düngung	Applikationskarte

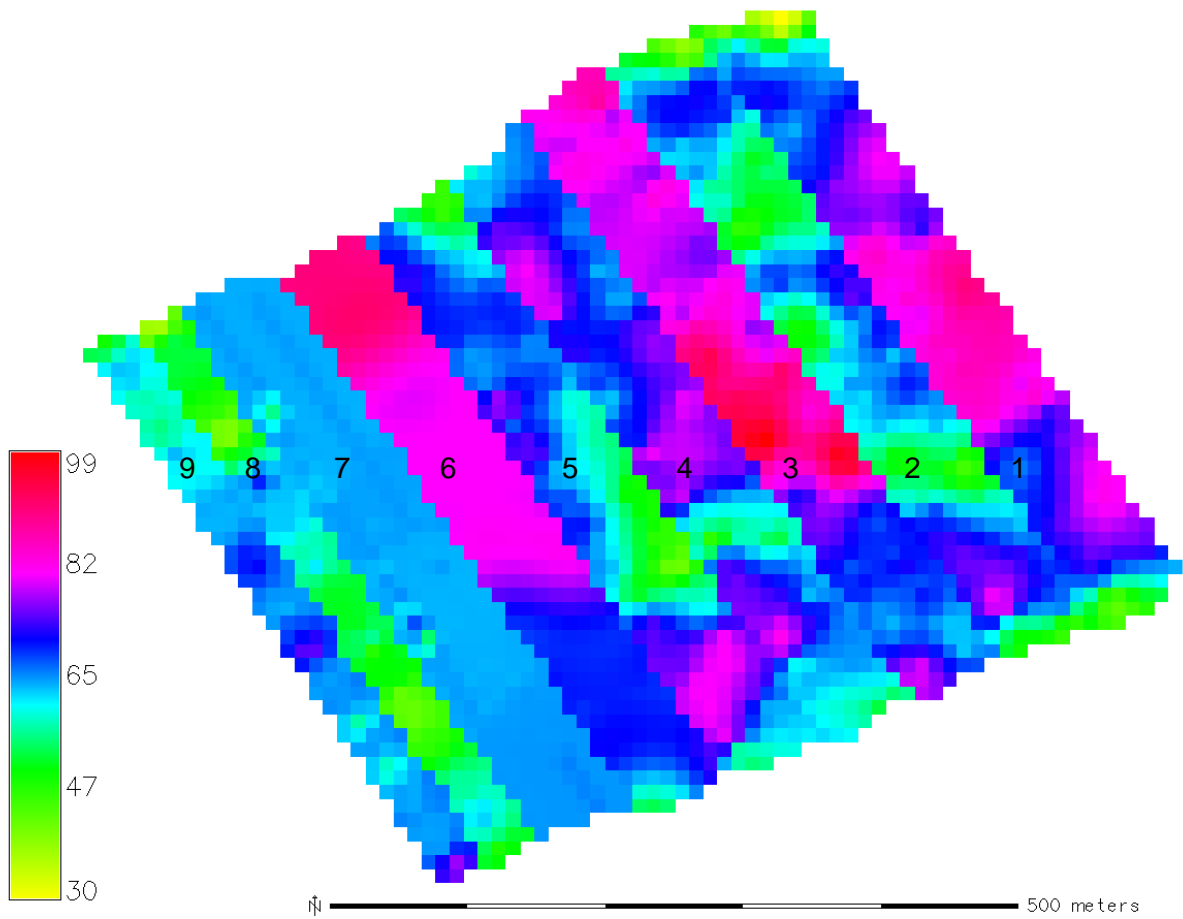


Abbildung 2 Stickstoffapplikationskarte N2 Frühjahr 2012. kg N ha⁻¹

2.3 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 dem Streifenversuch in Bahrdorf 2012 wurden von den 72 m breiten Varianten jeweils 60 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 korrigiert werden. Nach der jeweiligen Ernte wurden aliquote Mengen der Parzellen gereinigt, der Fremdbesatz sowie das Tausendkorngewicht (TKG) und die Kornfeuchte ermittelt.

2.4 Standortbeschreibung

2.4.1 Schinkel

Im ersten Versuchsjahr lag der Kleinparzellenversuch auf einer Fläche in der Gemeinde Schinkel im Kreis Rendsburg-Eckernförde in Schleswig-Holstein. Die Gemeinde Schinkel liegt 20 km westlich von Kiel am Nordufer des Nord-Ostsee-Kanals. Der Boden war ein humoser Sand mit 25-30 Bodenpunkten.

Der Raps wurde am 01.09.2010 in einer Regopause bestellt. Nach dem wassergesättigten September folgte ein trockener Übergang in den Oktober, der bei gleichmäßigen Niederschlägen langsam abkühlte. Im November setzte in der dritten Woche das Vegetationsende ein und der noch wenig entwickelte Raps ging in den harten schneereichen Winter. Durch die lange Zeit unter einer dicken Schneedecke waren die Pflanzen kaum Kahlfrösten ausgesetzt. Die Monate Februar, März und April verliefen sehr trocken erst zu Mitte Mai lockerten leichte Regenereignisse die Situation ein wenig auf. Ab Juni wurde es bei vereinzelt Niederschlägen nur an wenigen Tagen sommerlich warm bis zur Ernte hin, die dann fast ins Wasser fiel. Die Niederschläge machten zum Zeitpunkt der reifen Rapsbestände ein Befahren der Äcker fast unmöglich und so konnte der Versuch erst am 2. August geerntet werden. Der Verlauf der Witterung ist anhand der Wetterstation auf Hohenschulen (Achterwehr, ca. 5 km südwestlich von Schinkel) in Abbildung 3 für den Zeitraum 01.08.2010 bis 31.07.2011 abgebildet.

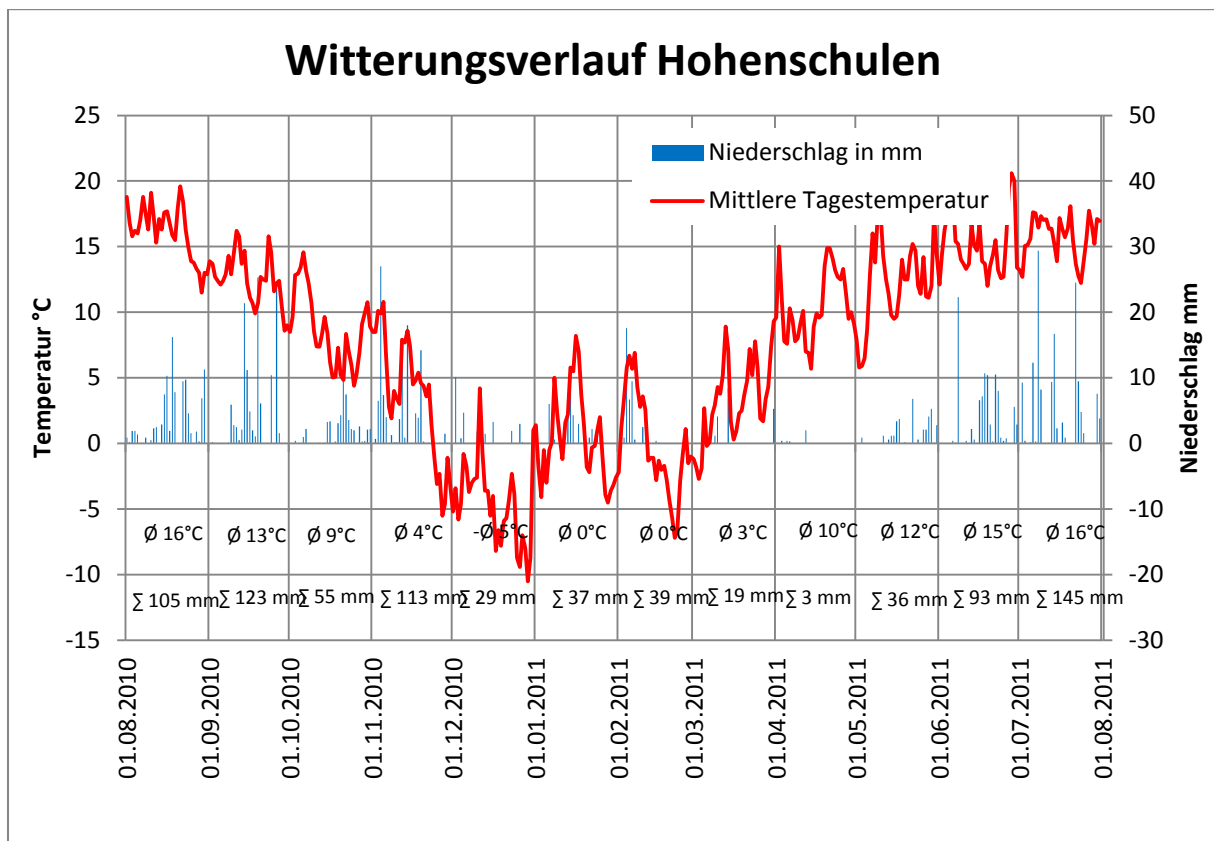


Abbildung 3 Witterung auf dem Versuchsstandort Hohenschulen, Achterwehr. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2010 bis 31. Juli 2011. Eigene Darstellung, Quelle CAU Kiel.

2.4.2 Sehestedt

Der Kleinparzellen- und Streifenversuch im zweiten Jahr lag auf einer Fläche in Sehestedt. Sehestedt liegt südlich des Nord-Ostsee-Kanals zwischen Rendsburg und Kiel im Kreis Rendsburg-Eckernförde in Schleswig-Holstein. Geographisch befindet sich Sehestedt an der Randlage zwischen östlichem Hügelland und Vorgeest. Die Versuchsfläche ist als sandiger Lehm mit 45 bis 50 Bodenpunkten ausgewiesen.

Die Witterung ist anhand der Wetterstation auf Hohenschulen, Achterwehr dargestellt, die Versuchsfläche Sehestedt lag ca. 10 km westlich davon. Die Jahresdurchschnittstemperatur auf dem Versuchsstandort Hohenschulen beträgt 8,4°C, der Jahresniederschlag summiert sich langjährig auf 754 mm. In der Vegetationsperiode 11/12 fielen vom August 2011 bis Juli 2012 Niederschläge in Höhe von 1043 mm. Damit lag der Standort in diesem Jahr wiederholt über dem langjährigen Mittel. Die Durchschnittstemperatur im gleichen Zeitraum betrug 8,5°C. Der Verlauf der Witterung für das Versuchsjahr 2011/12 ist in Abbildung 4 abgebildet. Nach übermäßig hohen Niederschlägen im August und einem feuchten September mit einer Niederschlagssumme von 94 mm wurde der Raps am 04.09.2011 unter nassen Bedingungen bestellt. Nach vereinzelt Niederschlägen begann Mitte Oktober eine lange Trockenphase die sich bis Ende November hinzog. Die aufsummierten Niederschläge für November

betrugen gerade 12 mm. Mit einer durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur von 5 bzw. 4°C waren der November und auch der Dezember sehr mild. Ein Vegetationsende wie im Vorjahr trat bis zum Jahresende nicht ein, was die Pflanzenentwicklung begünstigte. Die Rapspflanzen konnten noch deutlich an Masse zulegen. Der Dezember war mit 138 mm wieder nasser, was bis in die zweite Januarhälfte anhielt. Ende Januar setzte dann schlagartig der Winter ein. Die niedrigste Tagesmitteltemperatur mit -12,3°C wurde am 05.02. gemessen. Aufgrund der Schneeauflage vom 10-15 cm zu diesem Zeitpunkt bestand ein ausreichender Frostschutz. Auf dem Standort Sehestedt wurden keine Auswinterungsverluste beobachtet. Der Start in die Vegetation setzte dann zügig nach dem Frost mit Tagesmitteltemperaturen oberhalb von 5°C Ende Februar/Anfang März ein. Die Temperaturen blieben allerdings auch lange verhalten mit Durchschnittswerten von 6°C im März und April. Eine deutliche Frühlommertrockenheit konnte im Gegensatz zu den letzten Jahren in 2012 nicht beobachtet werden. Mit einer Niederschlagssumme von 8 mm war jedoch der März sehr trocken. Im April und Mai kam es mit Summen von 72 und 54 mm immer wieder zu Niederschlagsereignissen. Temperaturen oberhalb von 15 °C wurden erstmalig um den 10.05. erreicht. Von einzelnen Warmphasen unterbrochen blieben Juni und Juli feucht und kühl mit Niederschlagssummen von 94 und 141 mm. Am 10.8.2012 konnte bei bestem Sommerwetter geerntet werden.

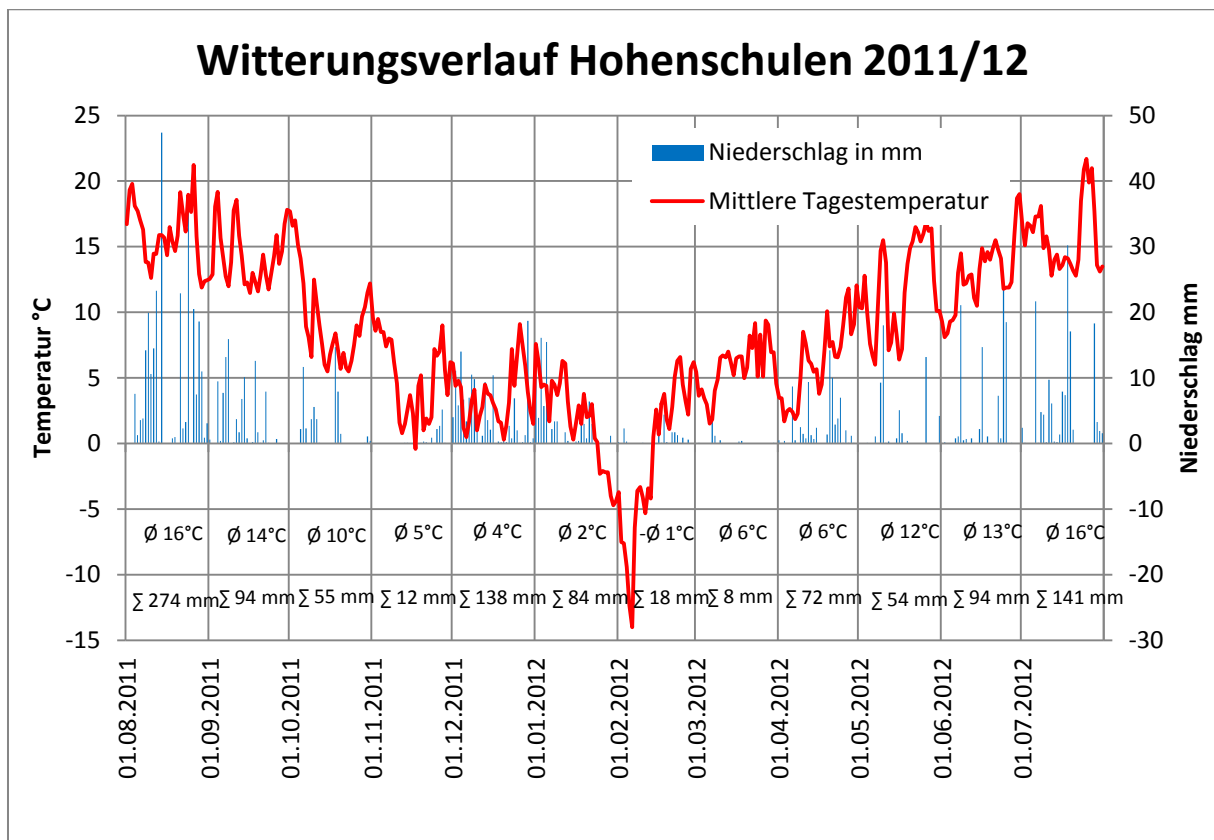


Abbildung 4 Witterung auf dem Versuchsstandort Hohenschulen, Achterwehr. Dargestellt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2011 bis 31. Juli 2012. Eigene Darstellung, Quelle CAU Kiel.

2.4.3 Bahrdorf

Der zweite Versuchsstandort für beide Jahre war in Bahrdorf. Die Gemeinde Bahrdorf liegt im Landkreis Helmstedt in Ost-Niedersachsen. Die Versuchsfläche im ersten Jahr trägt den Namen „Hohmorgen“. Der Boden ist als stark lehmiger Sand dilluvialer Entstehung (SL3D) mit 55 Bodenpunkten klassifiziert. Die Aussaat erfolgte am 22. August 2010 mit der Sorte Dimension und 50 keimfähigen Körnern / m². Nach der Aussaat gab es kräftige Niederschläge in Verbindung mit einem starken Temperaturrückgang, so dass das Saatbett teilweise stark verschlämmt wurde und die Pflanzen sich schlecht entwickeln konnten. Da in 2010/2011 keine Wetterstation auf dem Versuchsstandort Bahrdorf vorhanden war, werden näherungsweise die Daten der DWD-Wetterstation Hannover Flughafen (s. Abbildung 5) herangezogen. Die Temperaturen fielen von September bis Jahresende kontinuierlich stark ab. Ab 25. November herrschte bis zum 31. Dezember mit einer Monatsdurchschnittstemperatur von -4°C Dauerfrost mit einer guten Schneeeauflage. Die tiefste Temperatur mit -13°C wurde am 25. Dezember erreicht. Anfang Januar stiegen die Temperaturen stark an und das erste Wachstum setzte ein, bevor zum Monatswechsel Januar / Februar erneut eine sechstägige Frostphase eintrat. Zu Beginn des Monats Februar lagen die Temperaturen wieder im Bereich 5 bis 10°C im Tagesmittel und in der zweiten Februarhälfte setzte nochmals eine siebentägige Frostphase mit bis zu -10°C am 22. Februar ein. Die letzte Frostnacht wurde am 08. März gemessen und danach stiegen die Temperaturen gemächlich an. War der Herbst 2010 durch sehr viel Niederschlag geprägt (August bis Dezember 412 mm), so war es ab Februar kontinuierlich viel zu trocken. Die Dürrephase konnte auf dem Versuchsfeld durch Beregnung etwas gemildert werden.

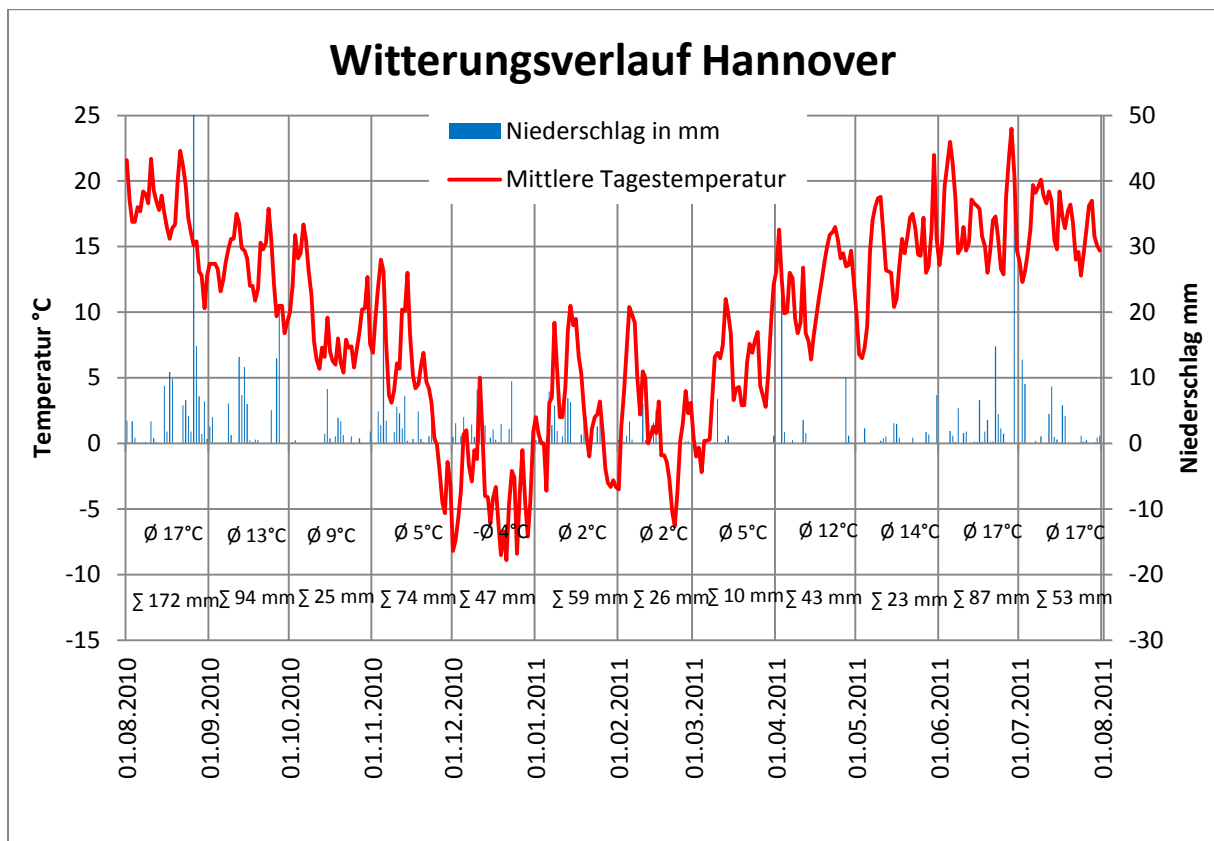


Abbildung 5 Witterung Hannover Flughafen. Gezeigt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2010 bis 31. Juli 2011. eigene Darstellung Quelle: DWD

Die Versuche im zweiten Jahr lagen auf der Fläche „Kleibreite“, sie ist gekennzeichnet durch einen stark lehmig-tonigen Bereich an der südlichen Schlaggrenze (LT5AI), einen lehmigen Hang (IS3D) sowie im Norden einem sandigen Plateau (SL4D). Der Parzellenversuch lag in einem Bereich IS3D. Der Witterungsverlauf für das Jahr 2011/2012 am Standort Bahrdorf ist in Abbildung 6 dargestellt. Der August 2011 war etwas feucht, dennoch konnte die Rapsausaat am 22./24. August mit der Sorte Xenon und 40 keimfähigen Körnern / m² erfolgen. Warme Temperaturen im September verhalfen den Pflanzen zu einem guten Wachstum. Die geringen Niederschläge von Mitte September bis Anfang Dezember (45 mm) mit einer sechswöchigen Trockenphase im Oktober und November sorgten für eine etwas angespannte Situation in Bezug auf die Nährstoffnachlieferung des Bodens. Entspannung trat mit den Niederschlägen im Dezember auf. Das Ausbleiben des Winters bis Ende Januar trieb das Pflanzenwachstum enorm voran. Zum Monatswechsel Januar / Februar fielen die Tagesmitteltemperaturen für 20 Tage unter 0°C, die Hälfte davon lag unter -8 bis -15°C. Die mit -19°C tiefste Temperatur wurde in der Nacht vom 6. auf 7. Februar gemessen. Anders als im Vorjahr bzw. im gleichen Jahr auf dem Standort Sehestedt fehlte eine schützende Schneedecke, so dass die Pflanzen den tiefen Temperaturen ungeschützt ausgesetzt waren. Phasenweise Wechselfröste bis Anfang April störten die sich erholenden Pflanzen in ihrer Entwicklung. Die Niederschlagsmenge und -verteilung in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten war in Verbindung mit den kühlen Temperaturen gerade ausreichend. Eine Hitzeperiode um den 22.

Mai mit maximalen Temperaturen über 30°C hinterließ in einigen Getreideflächen nachhaltige Lücken. Im Raps war es zu dieser Zeit nicht mehr so kritisch. Mit der Abkühlung Anfang Juni und den ersten bedeutenden Niederschlägen erholten sich die Pflanzen wieder deutlich. Die Ernte Anfang August erfolgte unter guten Witterungsbedingungen.

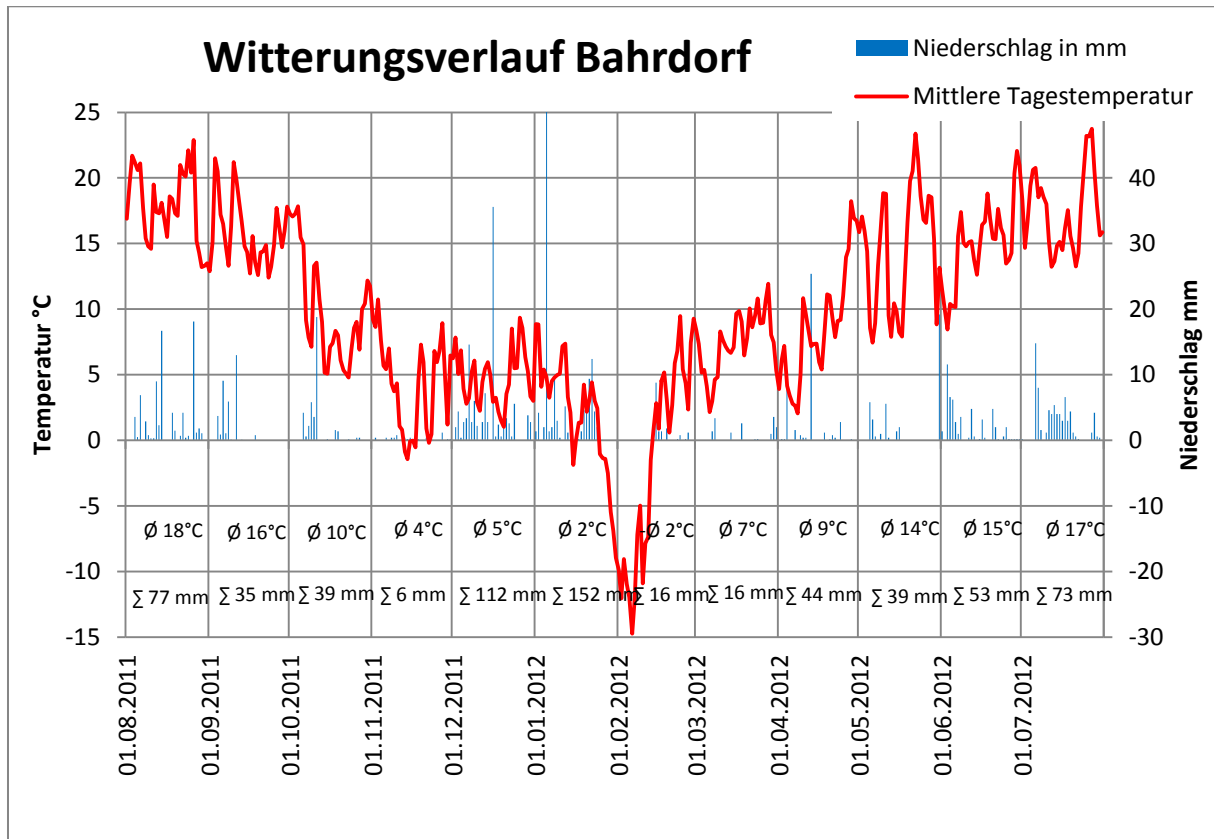


Abbildung 6 Witterung auf dem Versuchsstandort Bahrdorf. Dargestellt sind die Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. August 2011 bis 31. Juli 2012.

2.5 Berechnung der N-Düngungsmenge im Frühjahr

Die N-Düngeberechnung 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.

$$N_{\text{Frühjahr}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] = N_{\text{soll}} - \left(50 * FM_{\text{Herbst}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] - 50 \right) * 70\% - N_{\min} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right]$$

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} (N_{soll}). 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 20 kg N ha^{-1} in 0-90 cm, so werden für die Frühjahrsdüngung 165 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.

3 Ergebnisse

3.1 951-2011 Schinkel

Die Anzahl der Rapspflanzen je Quadratmeter wurde am Versuchsstandort Schinkel (Schleswig-Holstein) am 02.03.2011 erfasst. Dabei kam eine Spannweite von 20 Pflanzen (Var. 9 und 11) bis 30 Pflanzen (Var. 12) heraus. Aufgrund der großen Streuung (s. Abbildung 7) waren die Unterschiede nicht signifikant.

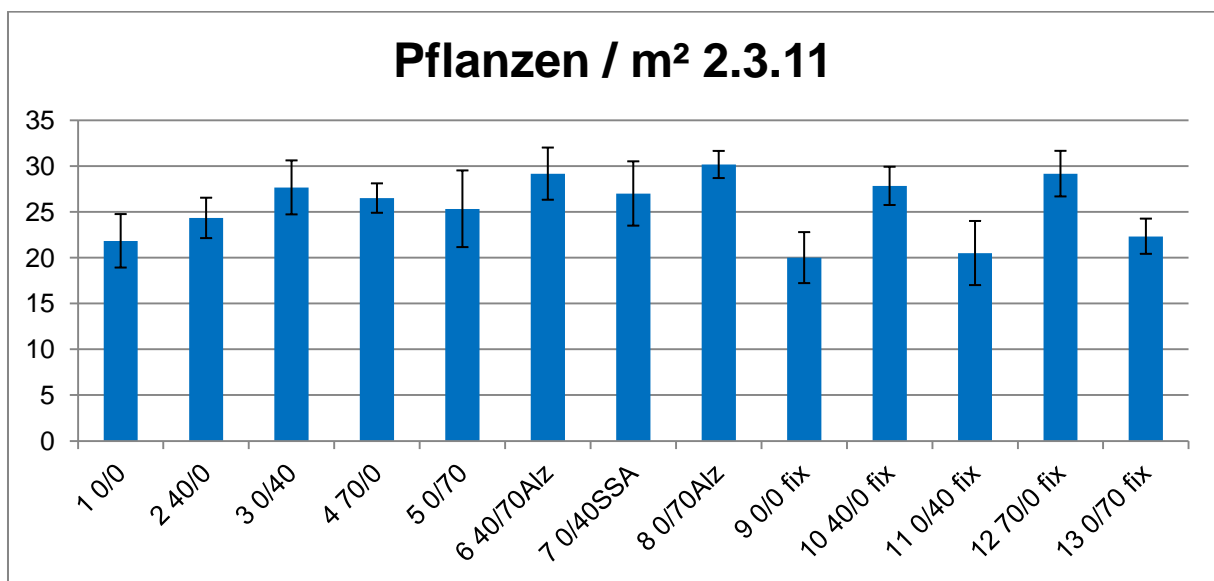


Abbildung 7 Mittelwerte der Rapspflanzen je Quadratmeter von n=4 am 02.03.2011, Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

Anhand der gebildeten oberirdischen Frischmasse je Quadratmeter kann die Stickstoffaufnahme berechnet werden. Im Herbst wurde eine mittlere N-Aufnahme von 10 kg N ha⁻¹ erreicht (s. Abbildung 8). Aufgrund der Streuung innerhalb der Varianten waren die Unterschiede im Herbst nicht signifikant. Nach Winter zu Vegetationsbeginn konnte aufgrund von Blattverlusten nur noch eine N-Aufnahme von 5 kg N ha⁻¹ erreicht werden.

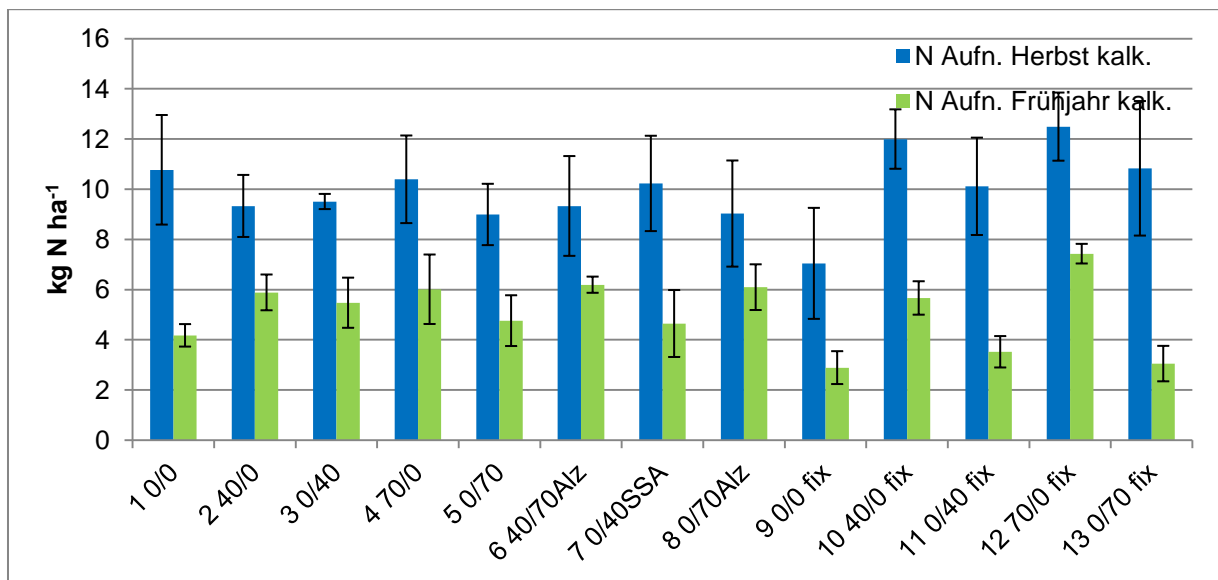


Abbildung 8 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} , kalkuliert aus FM mit dem Faktor 50. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Zur Verifizierung der Kalkulationsmethode wurde von den Blättern der Rapspflanzen eine N-Analyse durchgeführt und die Stickstoffkonzentration in der TM auf die gebundene Stickstoffmenge ha^{-1} extrapoliert. Dabei spiegelt sich der Verlauf von Abbildung 8 in den Analysewerten in Abbildung 9 wider. Die höchste Aufnahme mit 15 kg N ha^{-1} vor Winter erreichten die Pflanzen der Varianten 10 und 12.

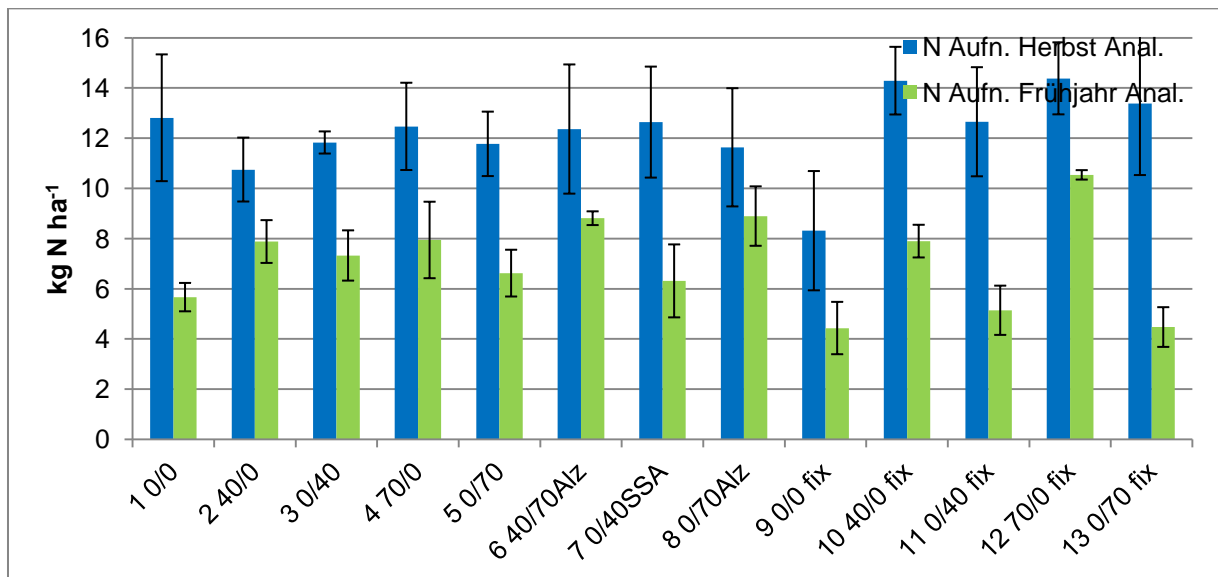


Abbildung 9 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} , berechnet aus der Laboranalyse. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Die Rapspflanzen konnten im Herbst auf dem Standort Schinkel im Durchschnitt 7 Blätter ausbilden. Die Blattverluste pro Pflanze über Winter betragen rund 1 Blatt. Die Düngung hatte keinen Einfluss auf die Entwicklung der Blattanzahl (s. Abbildung 10).

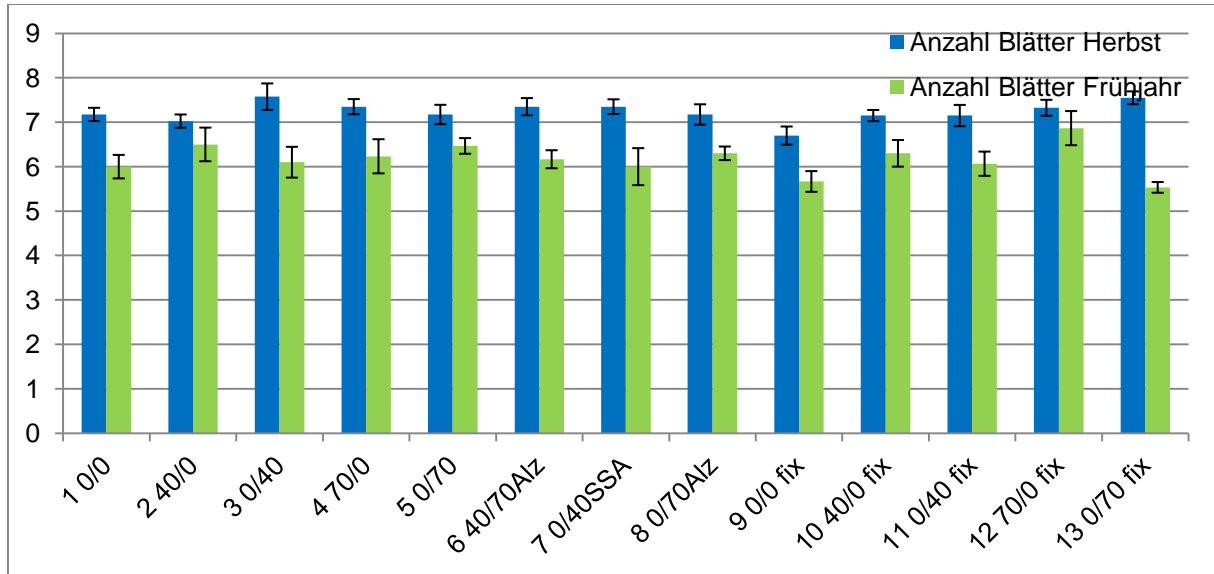


Abbildung 10 Mittelwerte der Blattanzahl pro Pflanze. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Während über Winter ein Blattverlust auftrat, kam es zu einem Zuwachs des Wurzelhalsdurchmessers (WHD s. Abbildung 11). Wurden im Herbst ca. 4 mm gemessen, betrug der WHD im Frühjahr zu Vegetationsbeginn im Durchschnitt über alle Varianten 5 mm.

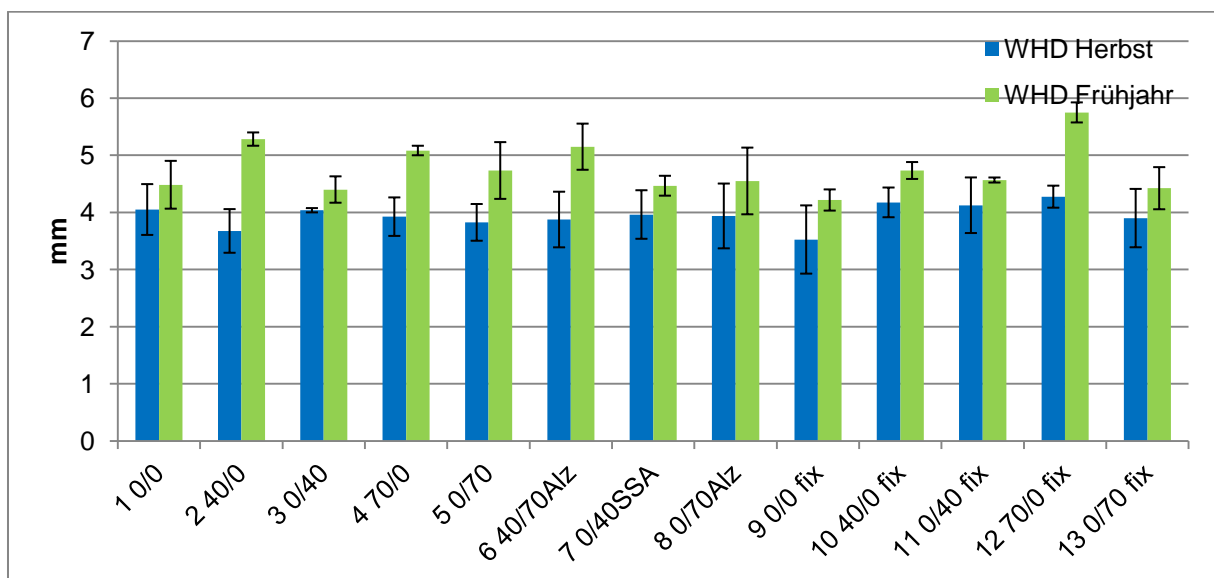


Abbildung 11 Mittelwerte Wurzelhalsdurchmessers pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Zusätzlich zu der in den Pflanzen gebundenen N-Menge wurde zu Vegetationsende (05.12.2010) und Vegetationsbeginn (11.02.2011) eine N_{\min} -Bodenanalyse in zwei Tiefen durchgeführt. Der oberste Beprobungsbereich umfasste eine Tiefe von 0 bis 30 cm, die zweite Schicht befand sich in einer Tiefe von 30 bis 60 cm. In beiden Schichten wurde der Nitrat-

und Ammoniumstickstoff analysiert. In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Stickstoffgehalte für beide Tiefen und Formen aufsummiert und sind als farbige Balkenteile erkennbar. Die Varianten 9 bis 13 wurden im Herbst gleich gedüngt, so dass für die N_{\min} -Analyse eine Mischprobe aus den jeweils gleichen Varianten genommen wurde. Die Varianten der reinen Harnstoffdüngung (Var. 1 bis 5) wiesen in beiden Bodentiefen kein Ammoniumstickstoff auf. Nur in den Varianten 6 bis 8 konnte ein geringer Anteil nachgewiesen werden. Die ungedüngte Variante 1 bzw. die früh gedüngten Varianten 2 und 4 hatten mit 30 bzw. 42 kg N ha^{-1} geringe N_{\min} -Werte. Die Varianten, die zum zweiten Düngungstermin (31.10.) gedüngt wurden, wiesen mit 75 bis 90 kg N ha^{-1} höhere Werte auf.

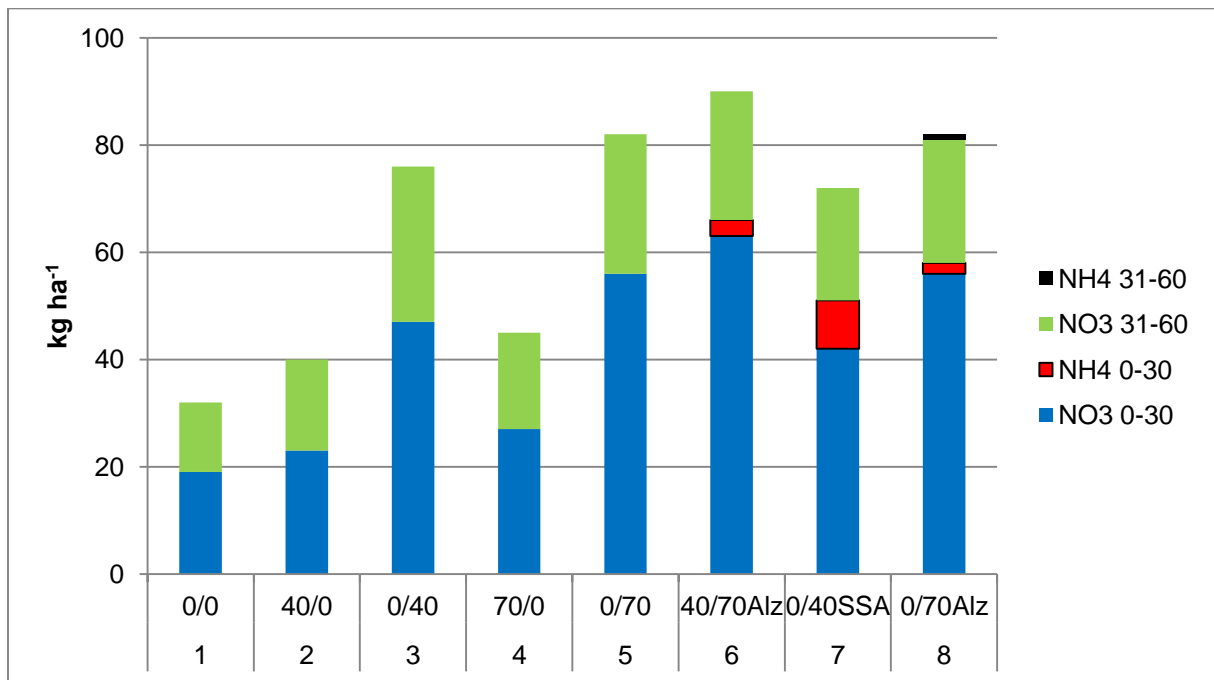


Abbildung 12 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsende am 05.12.2010. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Über die Wintermonate verringerte sich der N_{\min} -Gehalt im Boden. So wiesen die Varianten 1 bis 4 Werte um 30 kg N ha^{-1} auf und die Varianten 5 und 6 zeigten N_{\min} -Gehalte von 55 kg N ha^{-1} . In allen Varianten wurde im Frühjahr in beiden Bodenschichten auch etwas Ammoniumstickstoff gefunden.

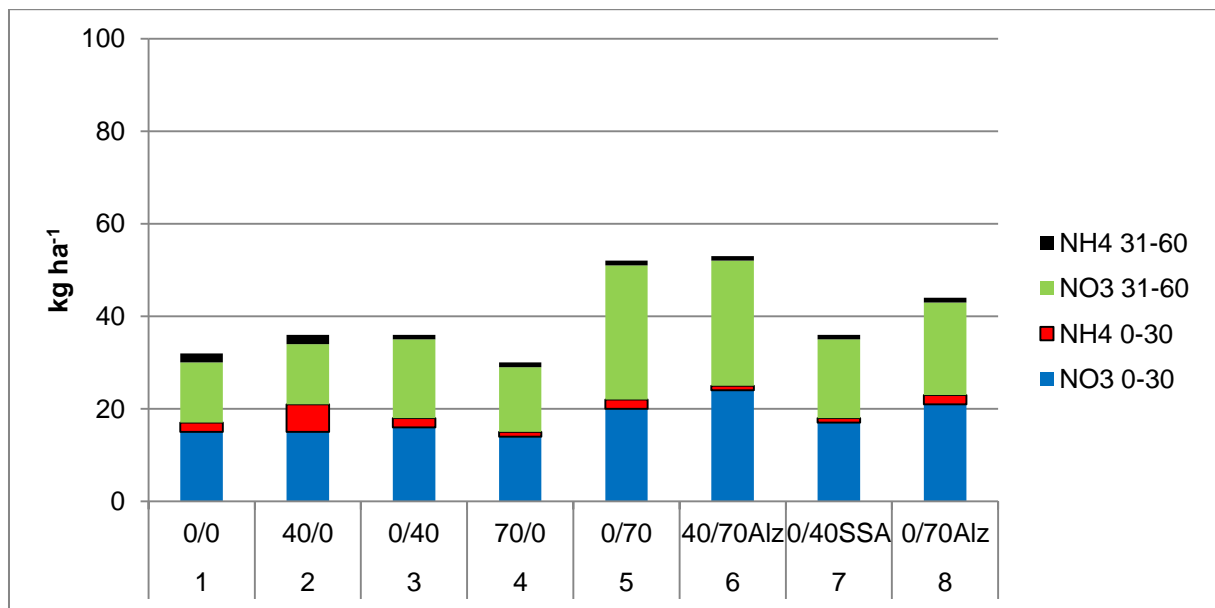


Abbildung 13 N_{min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha⁻¹ der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsbeginn am 11.02.2011. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Der Stickstoffbedarf der Pflanzen im Frühjahr in den Varianten 1 bis 8 wurde unter Einbeziehung des Biomasseaufwuchses vor Winter berechnet. Dabei lag der Bereich der N-Düngung zwischen 136 kg N ha⁻¹ in Var. 6 und 191 kg N ha⁻¹ in Var. 1, im Durchschnitt der Var. 1 bis 8 wurden 160 kg N ha⁻¹ gedüngt. Die Pflanzen in den Varianten 9 bis 13 erhielten eine konstante Düngung von 180 kg N ha⁻¹ nach der „alten“ Sollwertmethode ohne Berücksichtigung der im Herbst aufgenommenen Menge Stickstoff. In Abbildung 14 ist die N-Düngung der einzelnen Varianten im Herbst und Frühjahr gezeigt.

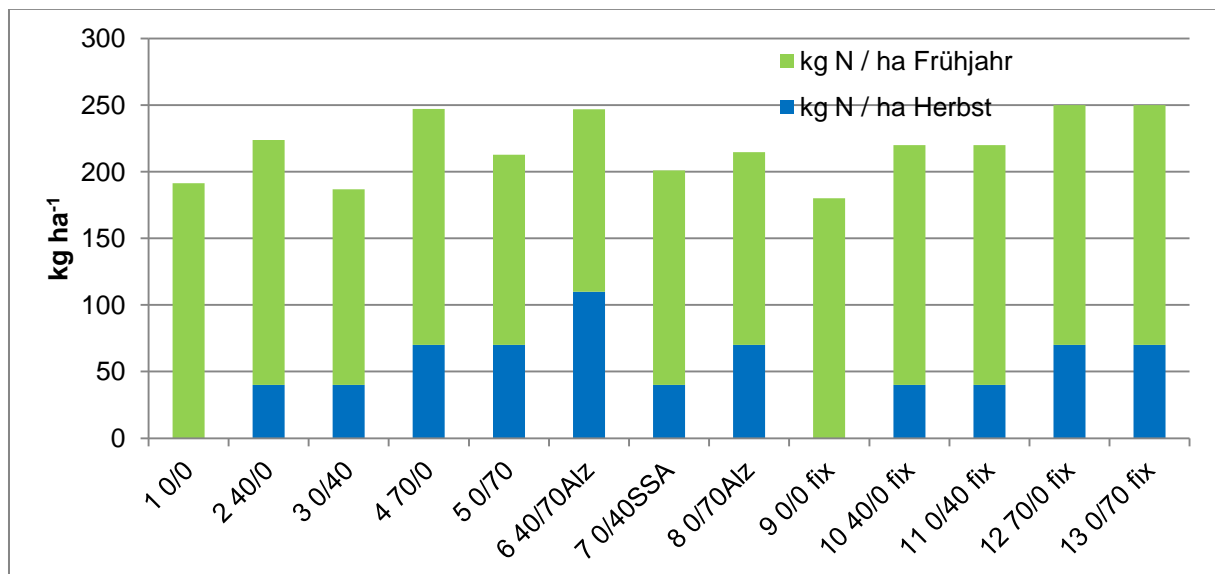


Abbildung 14 Stickstoffdüngung in kg N ha⁻¹ am Standort Schinkel 2011. Blaue Balken zeigen den Anteil der Herstdüngung, die grünen Balken zeigen die N-Menge im Frühjahr.

Ergebnisse

Der Ertrag lag im Mittel der Varianten bei 37 dt ha^{-1} . Innerhalb der Varianten wiesen die Parzellenerträge teilweise große Schwankungen auf. Der niedrigste Ertrag wurde mit 28 dt ha^{-1} in Variante 9 erreicht, während das Meiste in Variante 12 mit 42 dt ha^{-1} geerntet wurde.

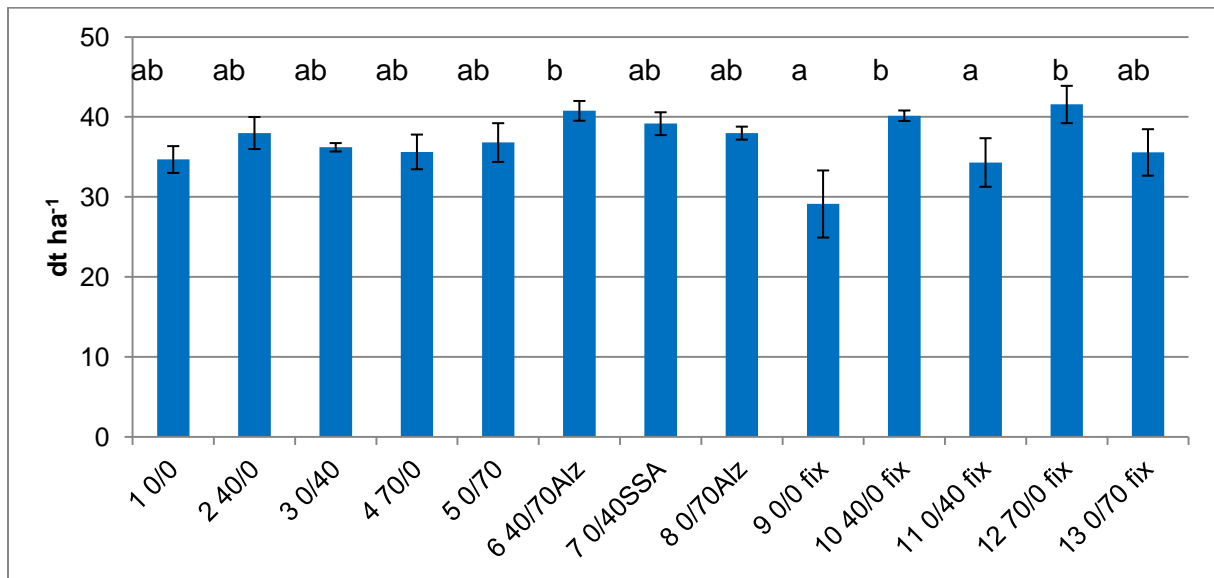


Abbildung 15 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Schinkel 2011. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Aus der gedüngten Menge Stickstoff und dem Anteil an Stickstoff, der mit dem Kornertrag von der Fläche abgefahren wurde, kann eine N-Bilanz gerechnet werden. Mit im Durchschnitt 96 kg N ha^{-1} ist die Bilanz sehr hoch. Die höchsten Bilanzwerte erreichen die Varianten 4 und 13 mit über 120 kg N ha^{-1} Bilanzüberschuss. Den niedrigsten Wert mit knapp 80 kg N ha^{-1} erzielten die Varianten 3 und 7.

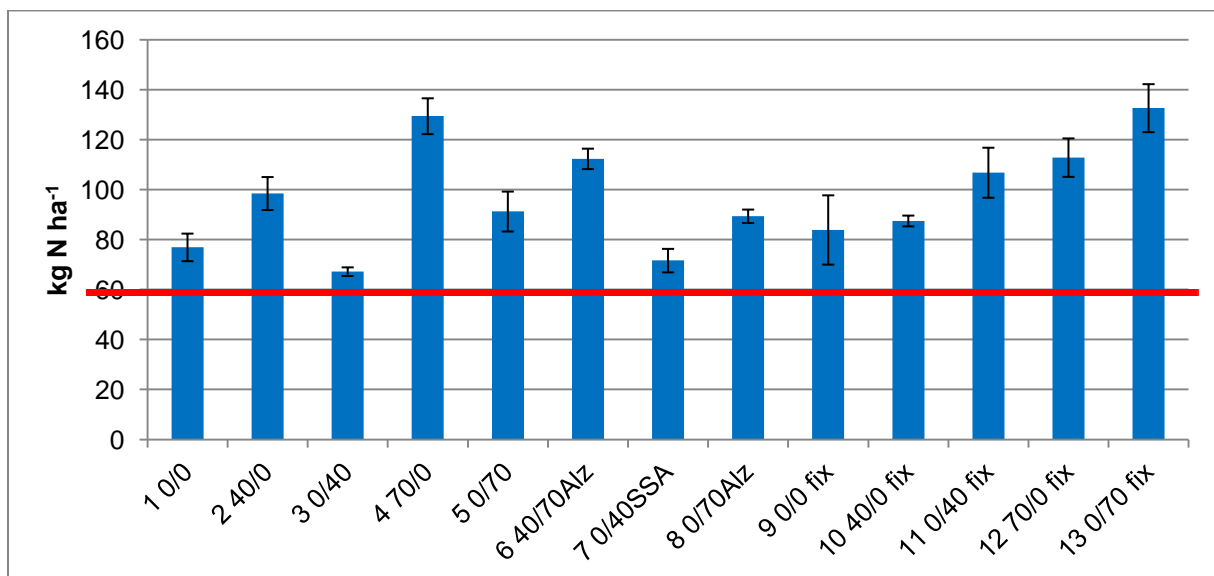


Abbildung 16 Stickstoffbilanz aus Zu- und Abfuhr in kg N ha^{-1} am Standort Schinkel 2011. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

3.2 952-2011 Bahrdorf Hohmorgen

Die Anzahl der Pflanzen je Quadratmeter auf dem Versuchsstandort Hohmorgen in Bahrdorf lag durchschnittlich bei 38 Pflanzen, die Unterschiede in Abbildung 17 sind nicht signifikant. Gezählt wurde die Bestandesdichte am 02.03.2011.

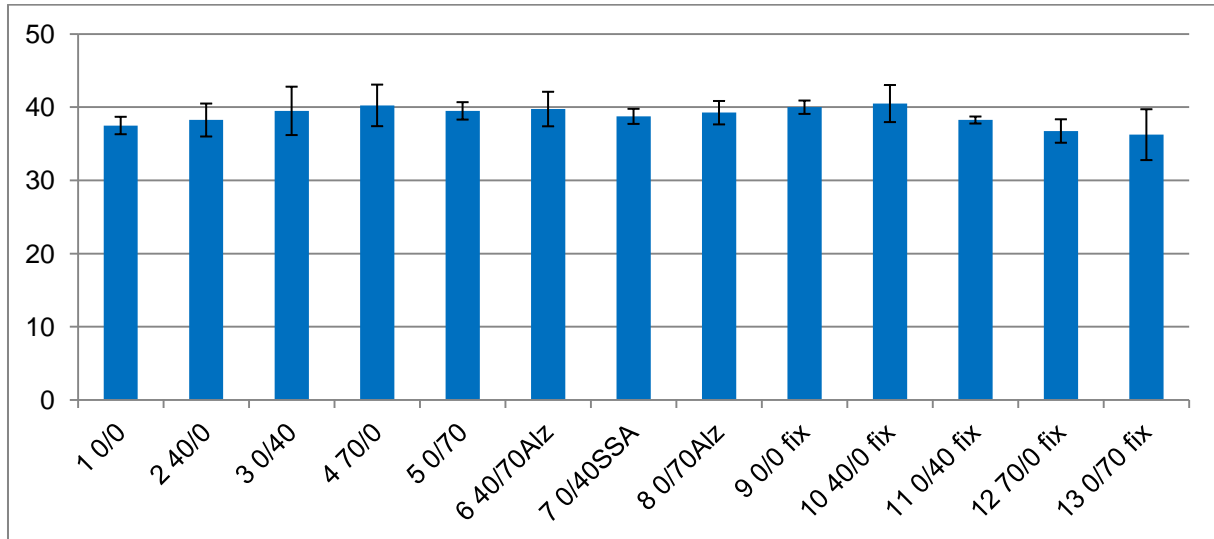


Abbildung 17 Mittelwerte der Rapspflanzen je Quadratmeter von n=4 am 02.03.2011, Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

Die Pflanzen hatten vor Winter im Durchschnitt aller Varianten 45 kg N / ha aufgenommen. Die geringste Aufnahme zeigten die Varianten 3, 9 und 11 mit rund 38 kg N / ha (s. Abbildung 18). Die höchste N-Aufnahme erzielten die Varianten 4 bzw. 7. Zwischen der Bonitur zu Vegetationsende und Vegetationsanfang haben alle Pflanzen weiter Biomasse gebildet, damit einhergehend stieg die N-Aufnahme durchschnittlich um 34% bzw. 15 kg N /ha an.

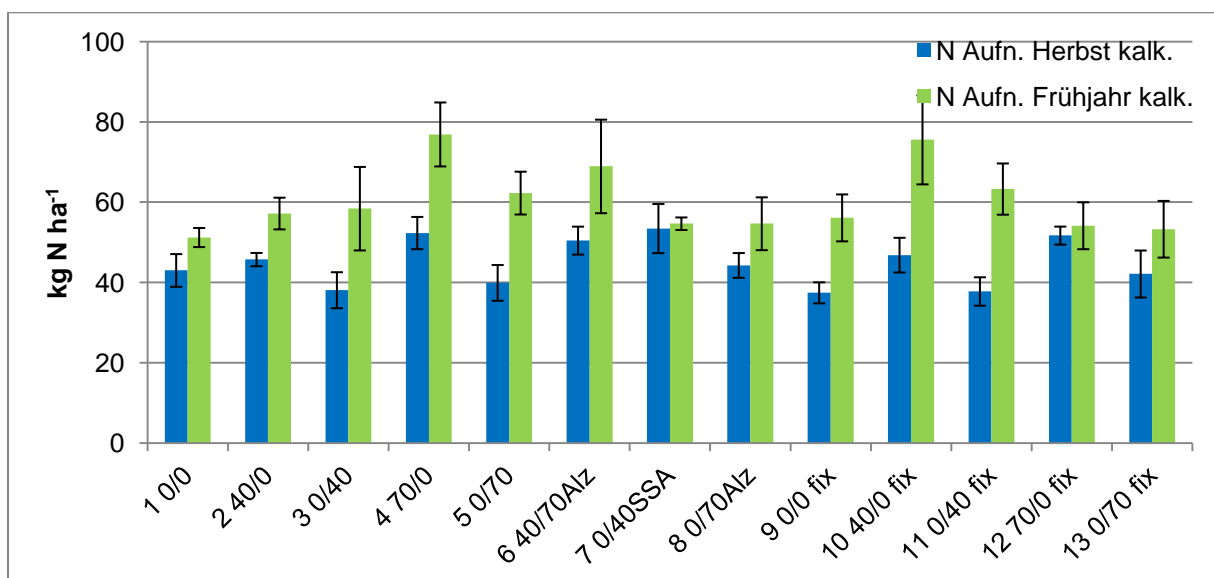


Abbildung 18 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha⁻¹, kalkuliert aus FM mit dem Faktor 50. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Ergebnisse

Vergleichbar mit dem Versuchsstandort Schinkel, wurde auch in Bahrdorf die N-Aufnahme der Pflanzen per Analyse überprüft. Abbildung 19 zeigt, dass die aufgenommene Stickstoffmenge per Analyse etwa um 10 kg N ha^{-1} höher lag, als der kalkulierte Wert.

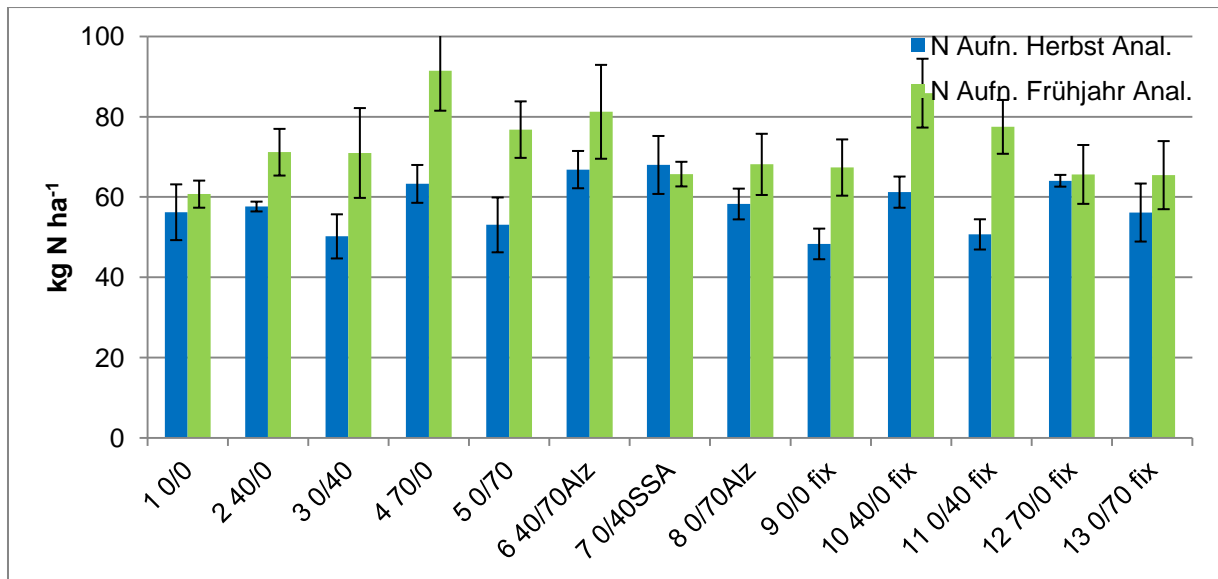


Abbildung 19 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} , berechnet aus der NIRS-Laboranalyse. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Die Anzahl der Blätter pro Pflanze lag auf der Versuchsfläche Hohmorgen in Bahrdorf vor Winter bei knapp 10 Blättern (s. Abbildung 18). Der Winter hatte so gut wie keinen Einfluss auf die Blattanzahl, der Mittelwert nach Winter lag bei etwas über 10 Blättern pro Pflanze.

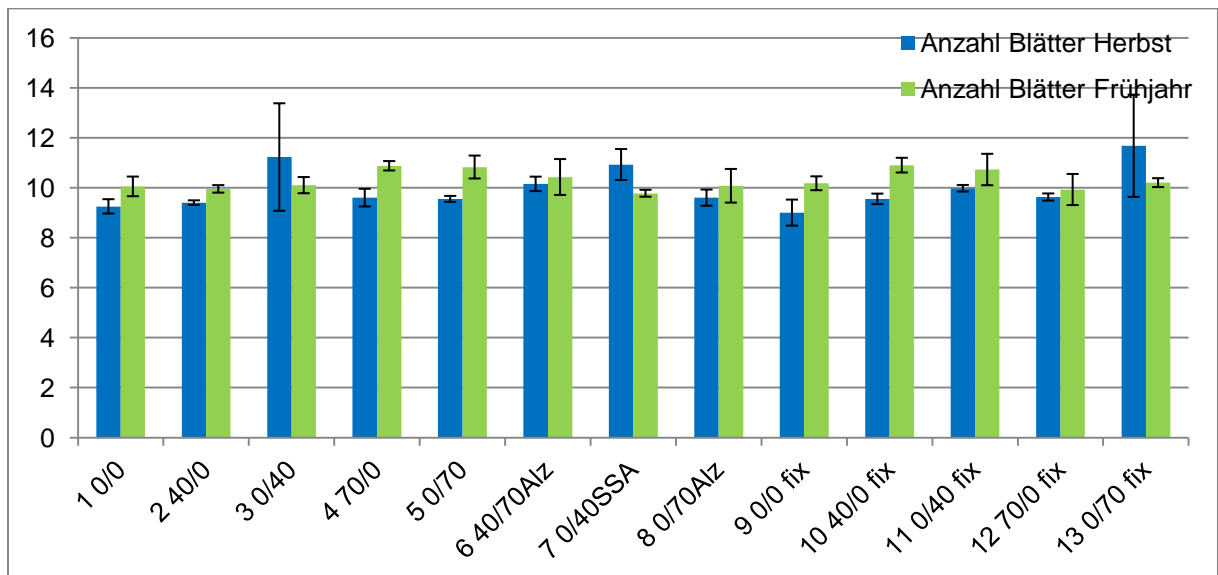


Abbildung 20 Mittelwerte der Blattanzahl pro Pflanze. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Anders als die Blattanzahl konnte der Wurzelhalsdurchmesser von 7 mm um 2 mm auf 9 mm zunehmen. Den größten Zuwachs verzeichneten die Pflanzen der Varianten 3 und 10, hier wuchs der WHD um 3 mm an.

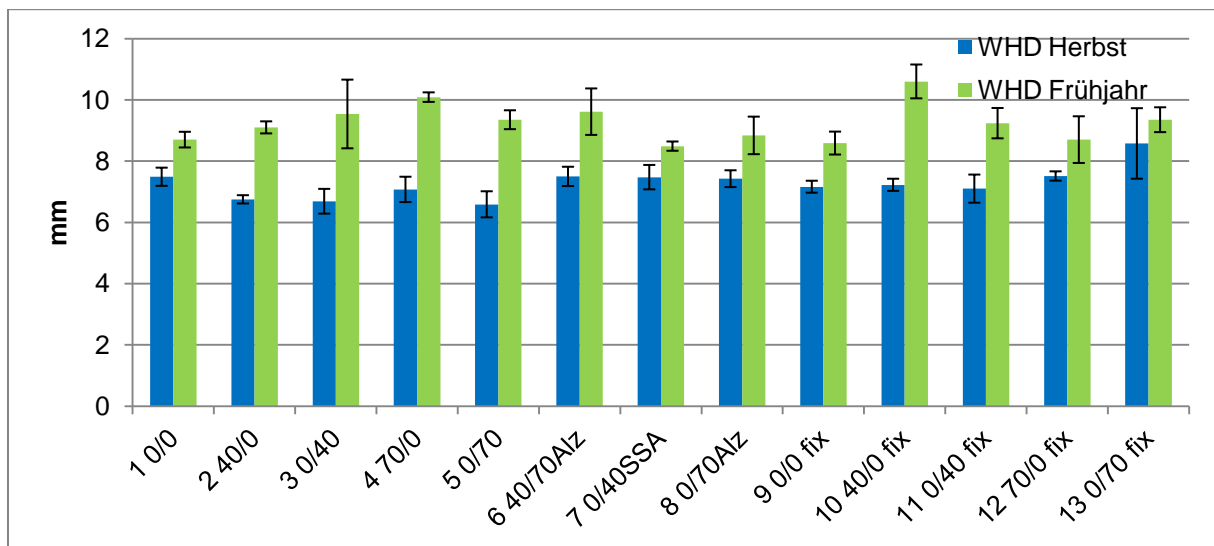


Abbildung 21 Mittelwerte Wurzelhalsdurchmessers pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (30.11.2010) und Frühjahr (02.03.2011) am Standort Schinkel. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Auf dem Versuchsstandort Hohmorgen in Bahrdorf wurde zu drei Zeitpunkten eine N_{\min} -Bodenanalyse durchgeführt. Dabei wurde der Nitrat- und Ammoniumgehalt in zwei Schichten (0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm) analysiert. Die erste Messung erfolgte zu Vegetationsende (30.11.2010, Abbildung 22), die zweite zu Vegetationsbeginn (02.03.2011, Abbildung 23) und unmittelbar nach der Ernte (28.07.2011, Abbildung 24). Zum Vegetationsende lagen die Werte der ungedüngten Variante 1 mit knapp 40 kg N ha⁻¹ auf dem gleichen Niveau, wie die Variante 2. In Variante 3, bei der zum späten Zeitpunkt 40 kg N ha⁻¹ gedüngt wurden, lag der N_{\min} -Wert mit 45 kg N ha⁻¹ auf dem Niveau der Variante 4, die zum frühen Düngungstermin 70 kg N ha⁻¹ bekam. Die späten Düngungstermine, die dann eine hohe Menge Stickstoff erhielten, lieferten N_{\min} -Werte von 70 kg N ha⁻¹ (Var. 5), 85 kg N ha⁻¹ (Var 8), bzw. 100 kg N ha⁻¹ (Var. 6). Auffällig war, dass auch eine Düngung von 40 kg N ha⁻¹ mittels SSA hohe Nitratwerte in der oberen Beprobungsschicht aufwies.

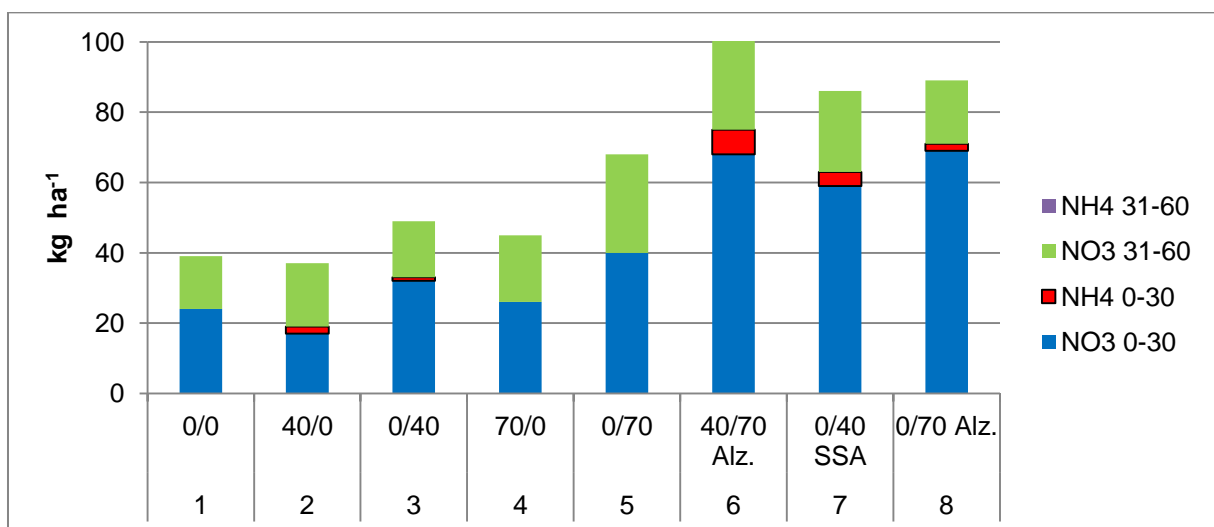


Abbildung 22 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha⁻¹ der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsende am 29.11.2010. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Ergebnisse

Nachdem die Vegetationspause beendet war lagen die N_{\min} -Werte zwischen 20 und 30 kg N ha^{-1} , in Var.7 wurden 60 kg N ha^{-1} gefunden, wobei knapp 40 kg N ha^{-1} als Nitratstickstoff in der oberen Schicht auftrat.

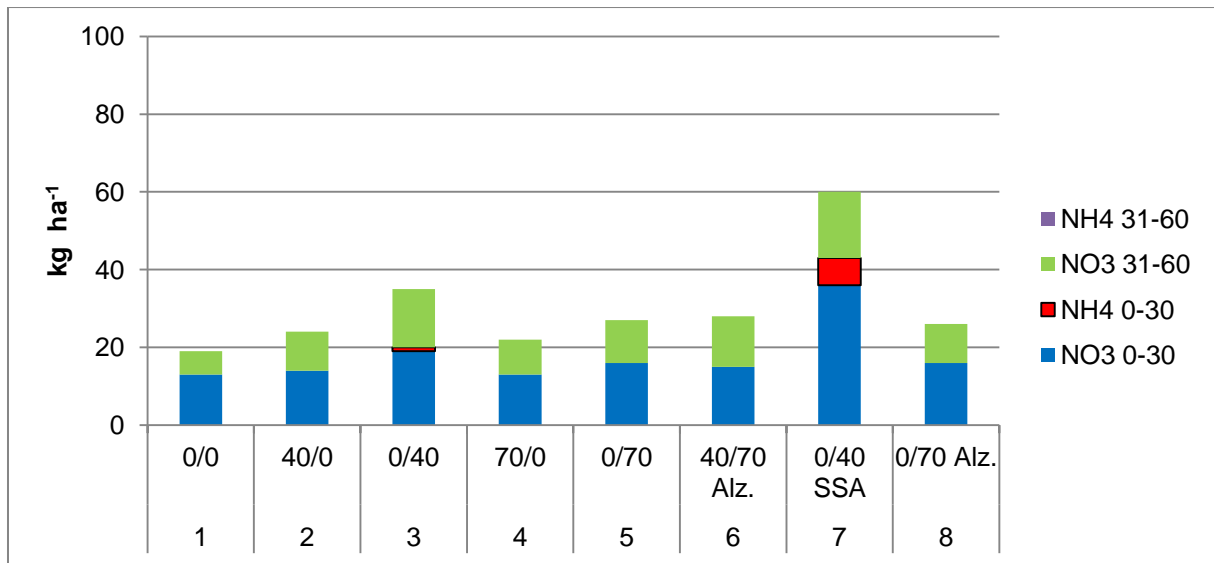


Abbildung 23 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsbeginn am 10.02.2011. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Nach der Ernte ergab die N_{\min} -Analyse, dass 40 bis 50 kg N ha^{-1} in den beiden Bodenschichten vorlagen. Ein Ausreißer bildet die Variante 3, hier lag der N_{\min} -Wert bei über 80 kg N ha^{-1} .

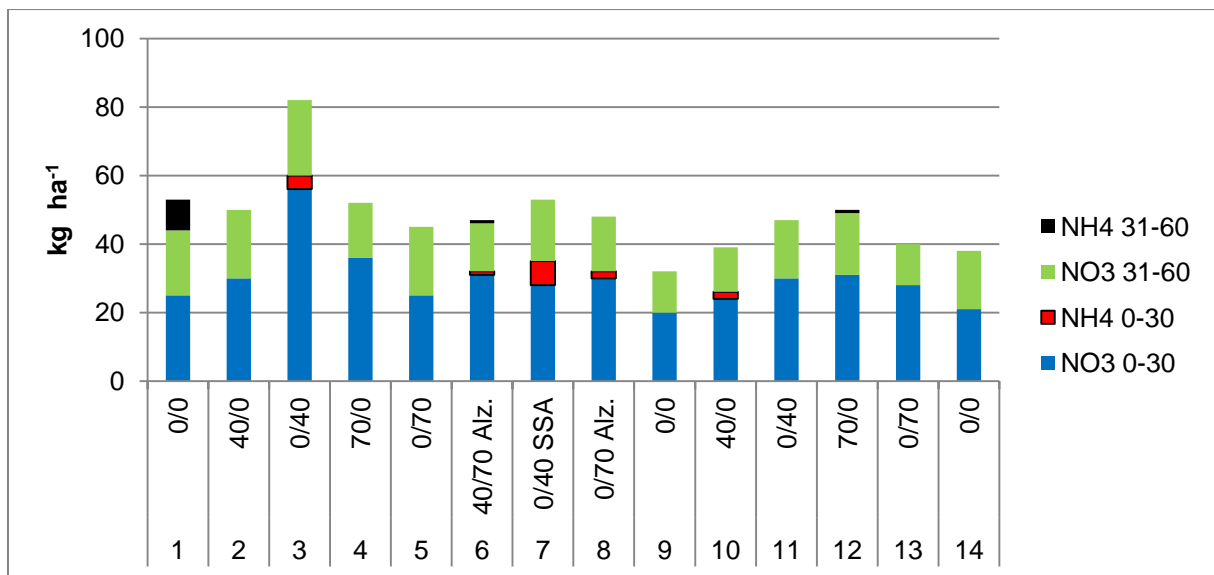


Abbildung 24 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten nach der Ernte am 28.07.2011. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

In Abbildung 25 ist die Stickstoffmenge dargestellt, die im Herbst bzw. Frühjahr in mineralischer Form gedüngt wurde. Während in den Varianten 9 bis 13 im Frühjahr immer 150 kg N ha^{-1} gedüngt wurden, wurde in den Varianten 1 bis 9 die N-Aufnahme vor Winter berücksichtigt. So wurde bspw. in Variante 6 mit 110 kg N ha^{-1} im Herbst doch schon einiges in Biomasse umgewandelt (vgl. Abbildung 18), so dass die Düngung im Frühjahr lediglich 90 kg N ha^{-1} betrug.

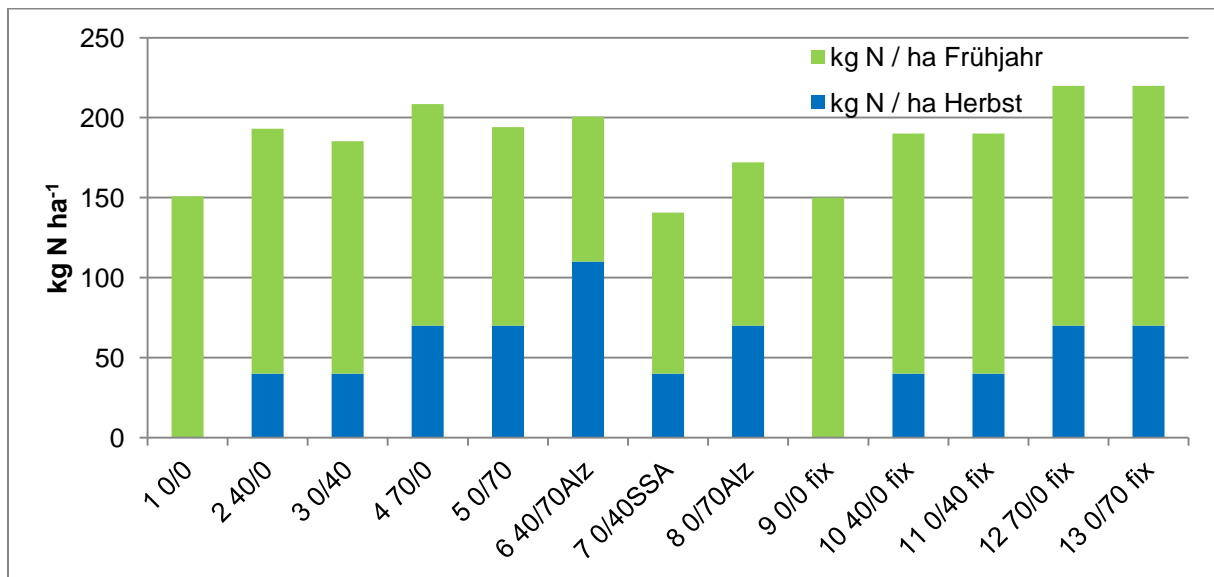


Abbildung 25 Stickstoffdüngung in kg N ha^{-1} am Standort Bahrdorf 2011. Blaue Balken zeigen den Anteil der Herbsdüngung, die grüne Balken zeigen die N-Menge im Frühjahr.

Der Kornertrag lag im Mittel aller Varianten bei 45 dt/ha (s. Abbildung 26). Die Spannweite reichte von 42 dt ha^{-1} in Var. 6 bis 47 dt ha^{-1} in den Var. 4 und 10.

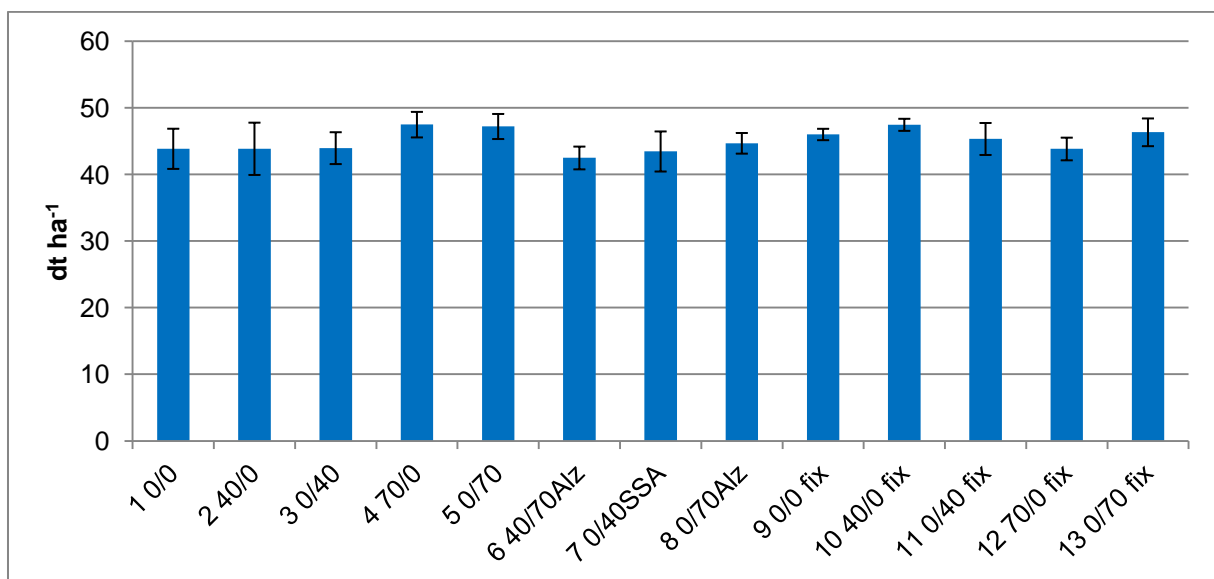


Abbildung 26 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Bahrdorf 2011. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Aus der Kornabfuhr kann wiederum der N-Entzug über das Erntegut berechnet werden und anschließend mit der Zufuhr bilanziert werden. Die N-Bilanz (Abbildung 27) auf dem Standort Hohmorgen in Bahrdorf lag in zwei Varianten (7 und 9) mit -3 bzw. -2 kg N ha⁻¹ im negativen Bereich. Das Düngungsregime der Var. 1 führte zu einer Bilanz von 6 kg N ha⁻¹. Die Varianten 2 bis 6 lagen in einem Bereich um die 50 kg N ha⁻¹ Bilanzüberschuss, während die Varianten die eine hohe Herbstdüngung erhielten und im Frühjahr nach der Sollwertmethode gedüngt wurden einen Bilanzüberschuss von 75 kg N ha⁻¹ (Var. 12) bzw. 67 kg N ha⁻¹ (Var. 13) aufwiesen.

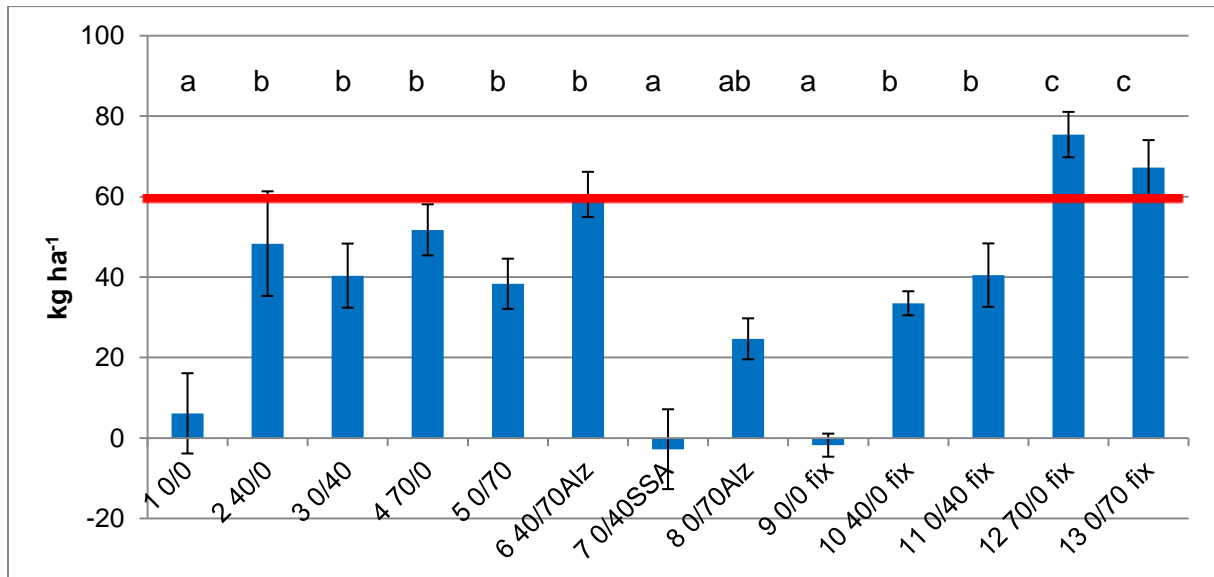


Abbildung 27 Stickstoffbilanz aus Zu- und Abfuhr in kg N ha⁻¹ am Standort Bahrdorf 2011. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

3.3 951 2012 Sehestedt

In Abbildung 28 sind die Pflanzen im Mittelwert der jeweiligen Variante zu einem Zähltermin am 23. November 2011 und am 16. Februar 2012 gezeigt. Im Herbst wurden durchschnittlich 30 Pflanzen m⁻², im Frühjahr wurden im Mittel 35 Pflanzen m⁻² gezählt. Die Unterschiede der Pflanzenanzahlen sind aufgrund der Schwankungsbreite nicht signifikant.

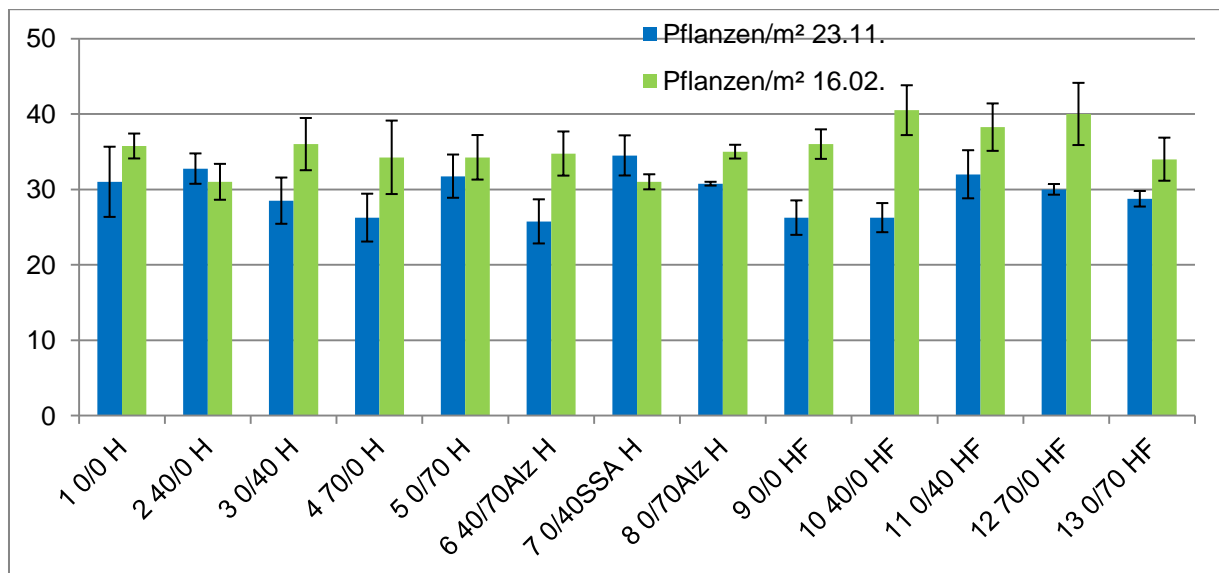


Abbildung 28 Mittelwerte der Rapspflanzen je Quadratmeter Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Sehestedt. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Aufgrund der ungünstigen und späten Aussaatbedingungen im September 2011 sowie der nachfolgend zunächst verhaltenen Spätsommerwitterung konnten die Pflanzen am Standort Sehestedt bis zum Boniturtermin am 23.11.2011 im Mittel aller Varianten nur 19 kg N ha^{-1} aufnehmen. Der Zuwachs bis zum 16.02.2012 betrug rund 15%.

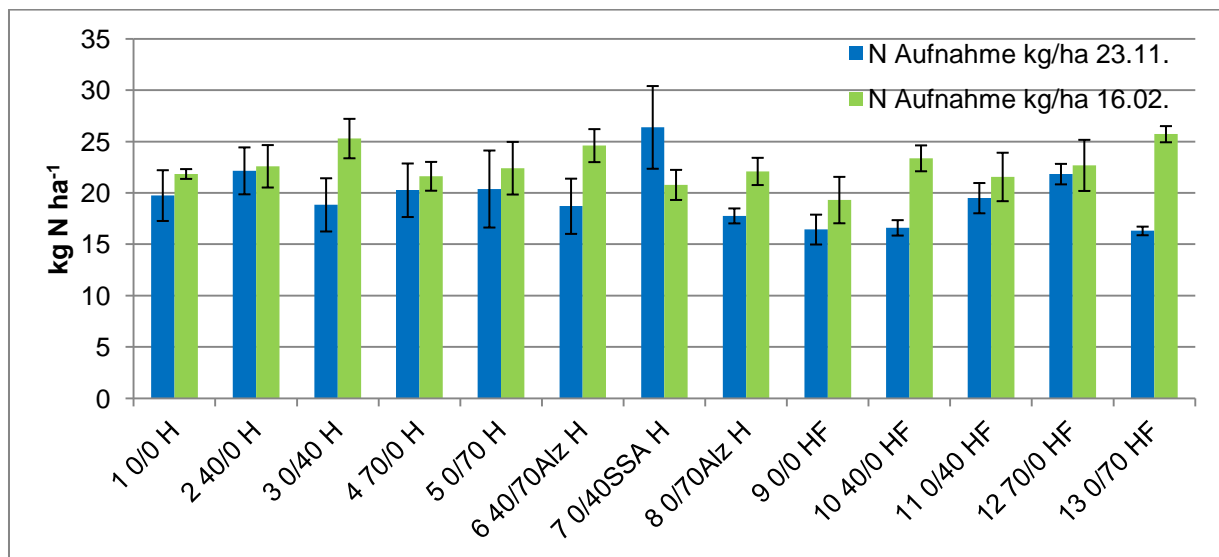


Abbildung 29 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} , kalkuliert aus FM mit dem Faktor 50. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Sehestedt. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Die Entwicklung der Rapspflanzen in Sehestedt war im November sehr einheitlich, sie wiesen rund 9 Blätter pro Pflanze (Abbildung 30) bei einem WHD (Abbildung 31) von 5 mm auf. Nach der Frostphase im Februar verloren die Pflanzen gut 2 Blätter. Dass ein kräftiges Wachstum in den Wintermonaten vorhanden war, zeigt sich anhand des angestiegenen WHD. Dieser wuchs teilweise um 3-4 mm an.

Ergebnisse

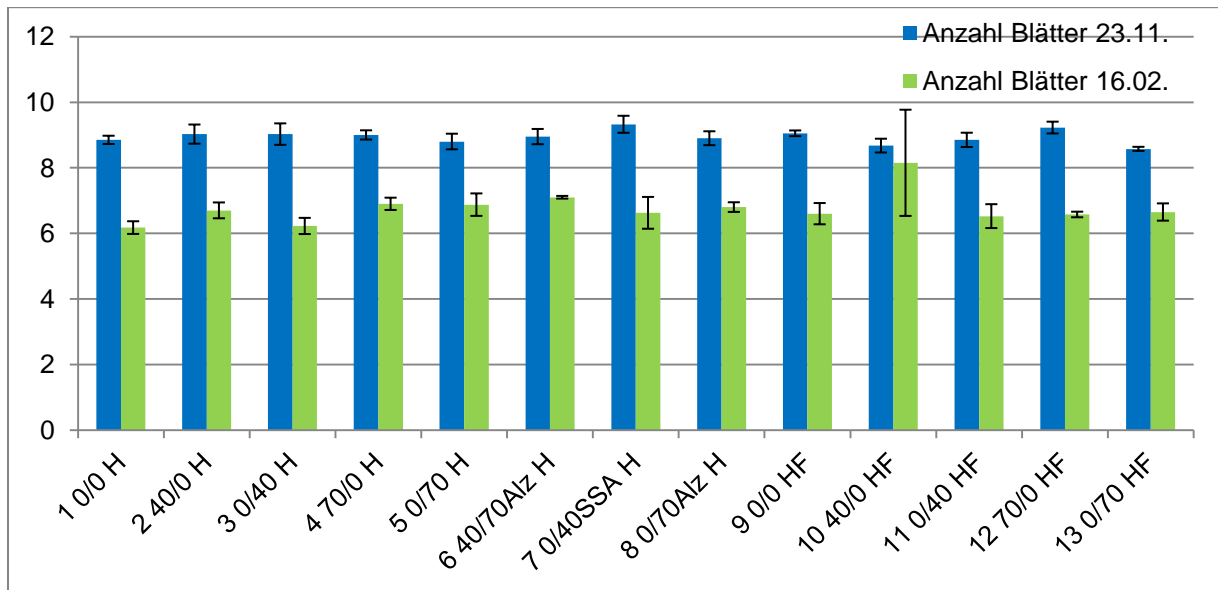


Abbildung 30 Mittelwerte der Blattanzahl pro Pflanze. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Sehestedt. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

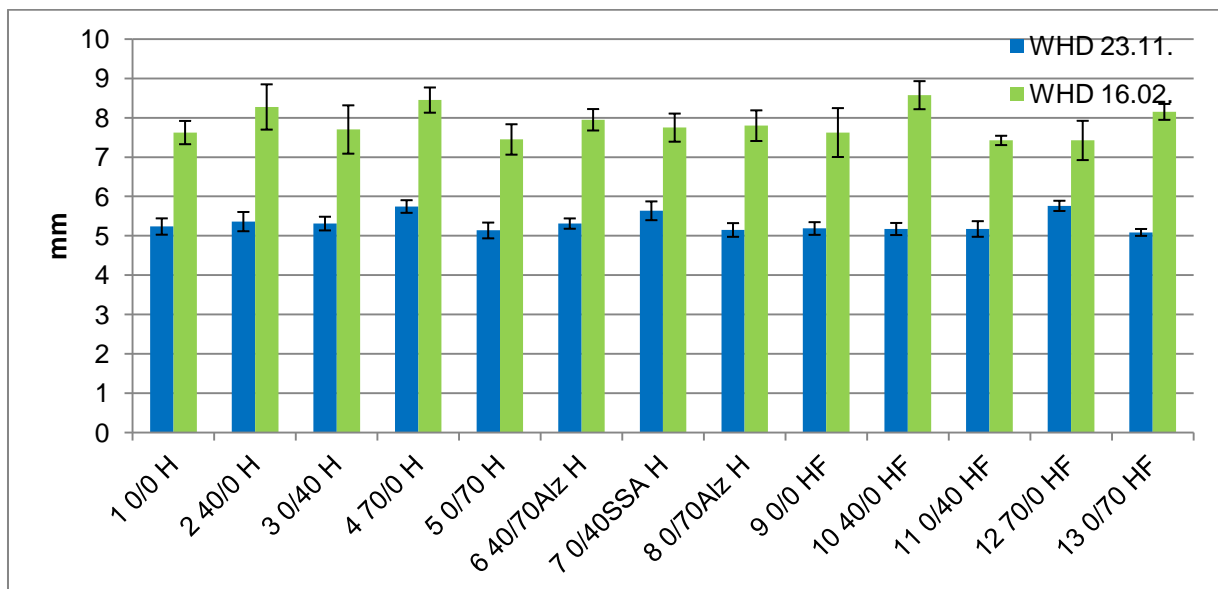


Abbildung 31 Mittelwerte Wurzelhalsdurchmesser pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Sehestedt. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Boden-N-Gehalte wurde mittels N_{\min} -Analyse zu drei Terminen durchgeführt. Der erste Beprobungstermin war zu Vegetationsende am 24.11.2011 (s. Abbildung 32). Ausgehend von 50 kg N ha^{-1} in der Bodentiefe von 0-60 cm in der ungedüngten Variante 1 stieg der Boden-N-Gehalt mit steigender Düngung. So wiesen die Proben der mit 40 kg N ha^{-1} gedüngten Varianten 2 und 3 Werte von 105 bzw. 122 kg N ha^{-1} auf. Die in Var. 4 gedüngten 70 kg N ha^{-1} zum frühen Zeitpunkt zeigten mit 150 kg N ha^{-1} einen weiter ansteigenden N-Gehalt im Boden. Den mit 222 kg N ha^{-1} höchsten Messwert lieferte die Düngung der 70 kg N ha^{-1} am 31. Oktober in Var. 5, dort war mit $70 \text{ kg Ammonium-N ha}^{-1}$ auch ein nennenswerter Anteil Ammonium-N in beiden Bodenschichten nachzuweisen. Die Verwendung des stabilisierten Stickstoffdünger Alzon 46 mit einer Vorlage von 40 kg N ha^{-1} als Harnstoff lieferte N_{\min} -Werte von 194 kg N / ha , dabei stieg der Ammonium-N-Anteil in der obersten Bodenschicht auf 57 kg N ha^{-1} an bei im Vergleich zu Var. 5 insgesamt leicht reduzierten Nitrat-N-Werten. Die höchsten Ammonium-N-Gehalte wurden in Var. 7 gefunden, hier wurden am 31. Oktober 40 kg N ha^{-1} in Form von SSA gedüngt.

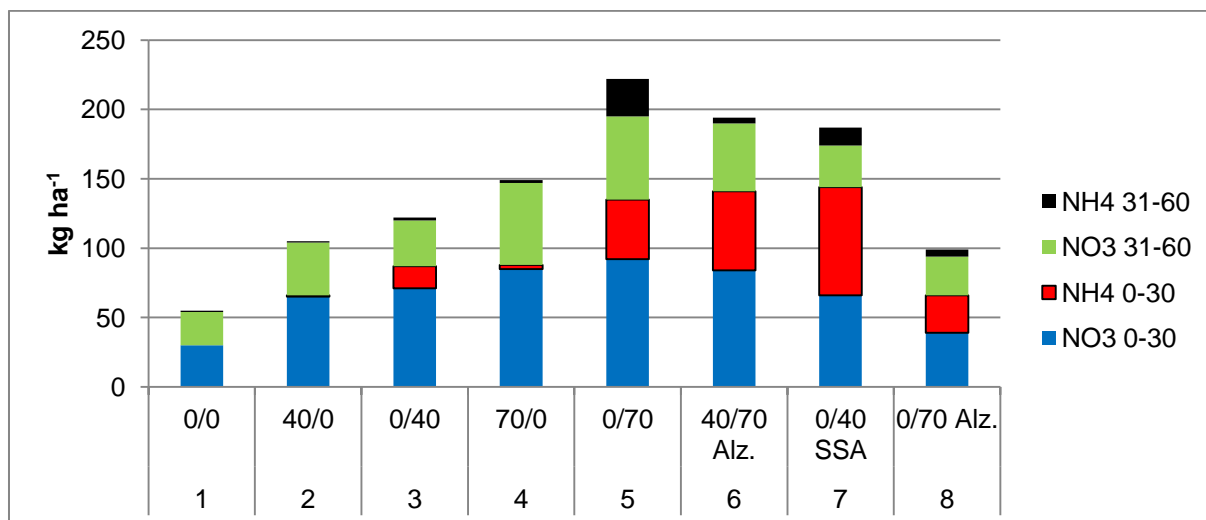


Abbildung 32 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N / ha der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsende am 24.11.2011. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Der zweite Analysetermin zu Beginn der Vegetation am 27.02.2012 (Abbildung 33) zeigt, dass die N_{\min} -Werte deutlich gesunken sind. Mit Ausnahme der Variante 8, die am 31. Oktober 70 kg N ha^{-1} in Form von Alzon 46 bekommen hatte und zu Beginn der Vegetation noch 71 kg N ha^{-1} aufweist, liegen die N_{\min} -Gehalte der restlichen Varianten bei rund 20 kg N ha^{-1} .

Ergebnisse

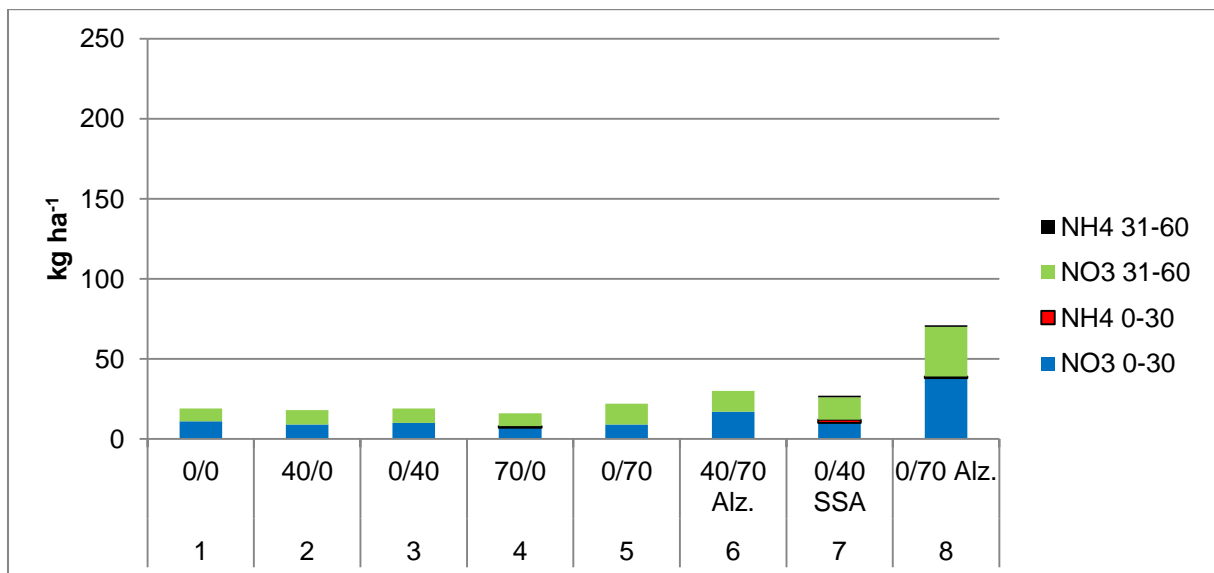


Abbildung 33 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsbeginn am 27.02.2012. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Der letzte Analysetermin erfolgte unmittelbar nach der Ernte am 07.08.2012 (Abbildung 34). Die Varianten 9 bis 10 wurden im Herbst gleich gedüngt wie die Var. 1 bis 5, die Düngung differenzierte sich dort erst mit der Frühjahrsdüngung, so dass nach der Ernte N_{\min} -Analysen von allen Varianten durchgeführt wurden. Die N_{\min} -Werte in den oberen 30 cm lagen nach der Ernte im Durchschnitt aller Varianten bei 16 kg N ha^{-1} und in der zweiten Bodenschicht von 31 bis 60 cm bei knapp 9 kg N ha^{-1} .

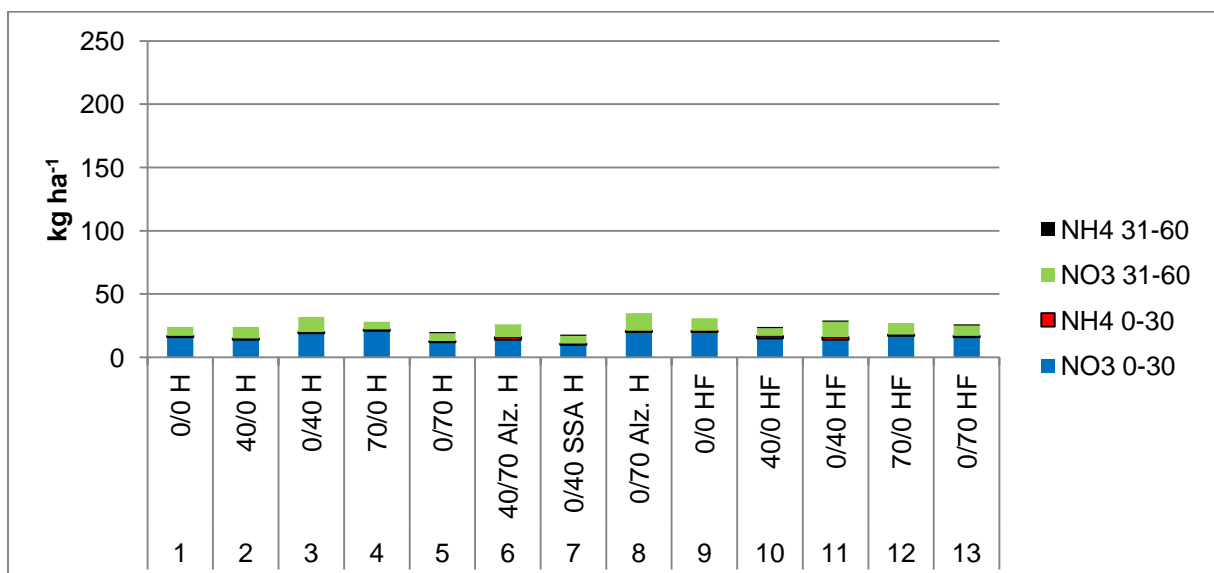


Abbildung 34 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten nach der Ernte am 07.08.2012. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Die Stickstoffdüngung im Frühjahr 2012 wurde in den Varianten 1 bis 8 wie im Vorjahr mittels des Korrekturwertes der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge berechnet. Eine Änderung zum Vorjahresplan bestand darin, dass die Varianten 9 bis 13 nicht mehr fest nach der Sollwertmethode gedüngt wurden, sondern der echte Cetiomansatz herangezogen wurde, bei dem der Korrekturwert aus dem Mittelwert der im Herbst und Frühjahr aufgenommenen N-Menge berechnet wird. Mit 108 kg N ha^{-1} wurden die Varianten 5 und 13 mit der geringsten N-Menge gedüngt, den meisten Stickstoff (194 kg N / ha) im Frühjahr erhielten die Pflanzen der Varianten 1 und 9. Absolut betrachtet wurde in der Variante 7 mit insgesamt 159 kg N ha^{-1} (Herbst und Frühjahr) die geringste Menge gedüngt.

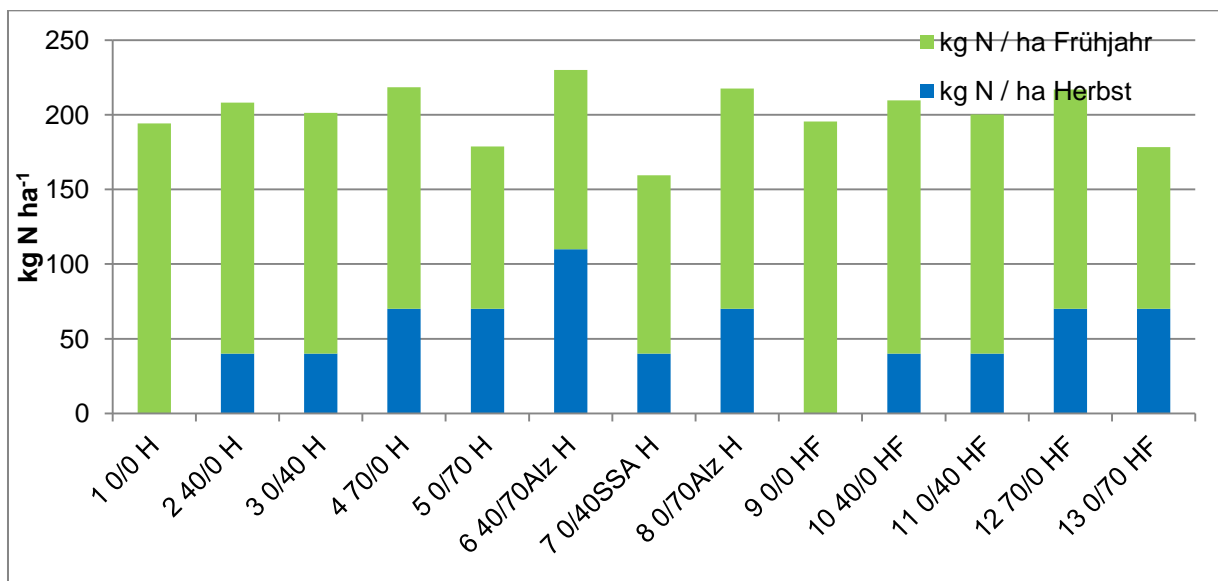


Abbildung 35 Stickstoffdüngung in kg N ha^{-1} am Standort Bährdorf 2011. Rote Balken zeigen den Anteil der Herstdüngung, die blauen Balken zeigen die N-Menge im Frühjahr.

Die Erträge (Abbildung 36) beliefen sich auf rund 54 dt ha^{-1} , mit Ausnahme des Ertrages von 58 dt ha^{-1} in Variante 4 sind alle anderen Varianten auf dem gleichen Niveau von 52 bis 55 dt ha^{-1} . Aufgrund der Düngung in Herbst und Frühjahr ist die Var. 4 mit Var. 12 absolut identisch, diese hebt sich aber mit 53 dt/ha überhaupt nicht von den anderen Varianten ab.

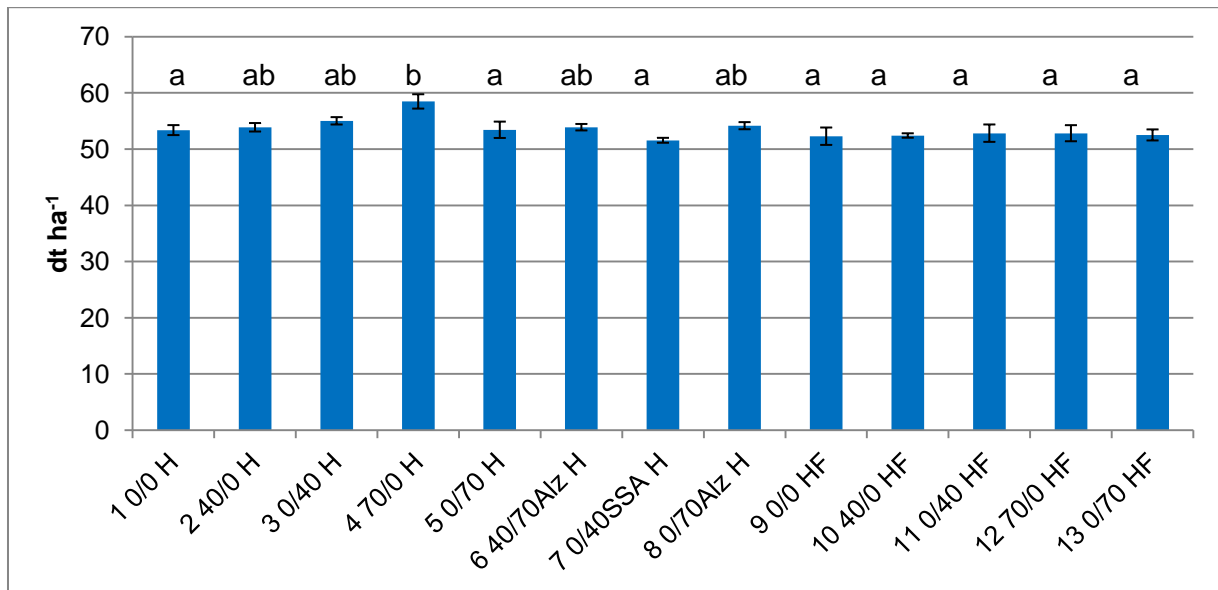


Abbildung 36 Kornertrag in dt ha⁻¹ am Standort Sehestedt 2012. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Die N-Bilanz der Versuchsfläche Sehestedt ist in Abbildung 37 gezeigt. Die Varianten mit einer niedrigen N-Düngung im Frühjahr (Var. 5, 7 und 13) wiesen insgesamt die beste N-Bilanz auf. Es fällt auf, dass in diesem Versuch die späteren Herbstdüngungstermine im Vergleich zu den früheren niedrigere N-Bilanzüberschüsse produzierten.

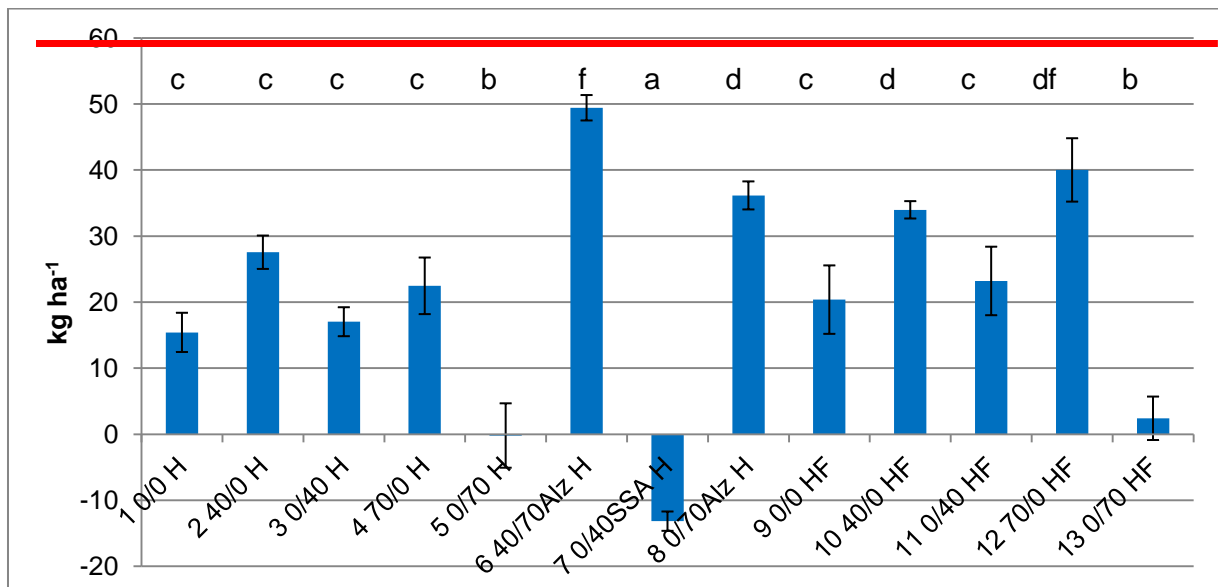


Abbildung 37 Stickstoffbilanz aus Zu- und Abfuhr in kg N ha⁻¹ am Standort Sehestedt 2012. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

3.4 952-2012 Bahrdorf

Die Anzahl der Pflanzen m² auf dem Versuchsfeld Kleibreite in Bahrdorf betrug im Herbst 36 Pflanzen und im Frühjahr 39, die große Schwankungsbreite innerhalb der Varianten (Abbildung 38) ließ keinen signifikanten Einfluss einer Stickstoffdüngung zu.

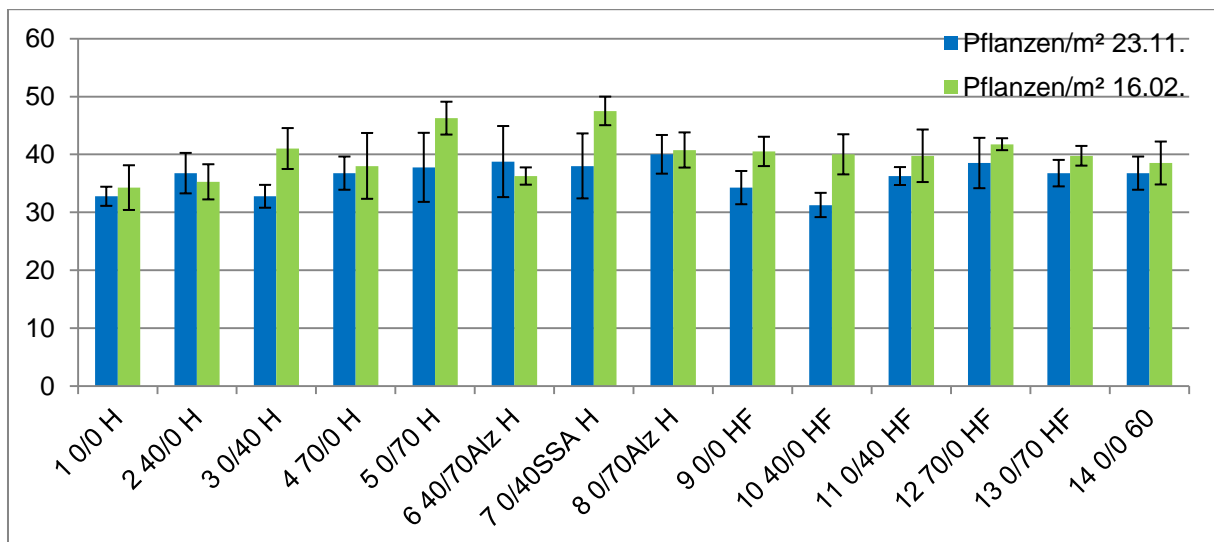


Abbildung 38 Mittelwerte der Rapspflanzen je Quadratmeter Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Die zeitige Aussaat und ein milder Witterungsverlauf in den Herbstmonaten ermöglichte es den Pflanzen bis zum 23.11.2011 bereits im Durchschnitt aller Varianten 120 kg N ha^{-1} aufzunehmen. Die Frostphase im Februar hatte nahezu ohne schützende Schneeeauflage auf die Rapspflanzen eingewirkt. Das Resultat zeigte sich bei der Bonitur am 16.02.2012. Der Verlust an Biomasse und damit einhergehend aufgenommener N-Menge betrug durchschnittlich 33 %, die Spannweite reichte von -6% in Var. 7 und 58% in Var. 1.

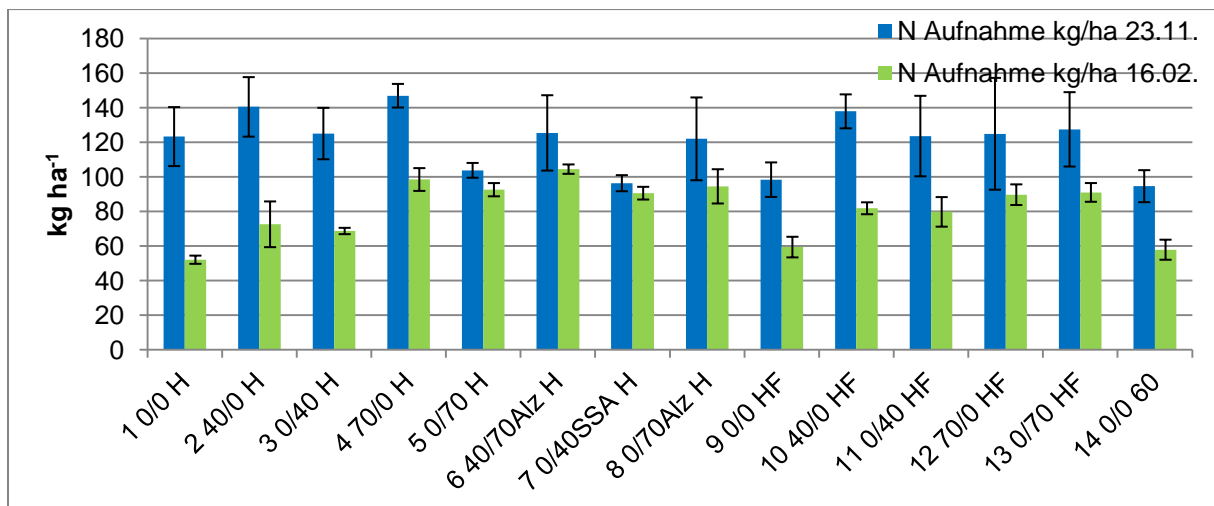


Abbildung 39 Mittelwerte der von den Rapspflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge in kg N ha^{-1} , kalkuliert aus FM mit dem Faktor 50. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

In Abbildung 40 ist die Anzahl der Blätter je Pflanze am 23.11.2011 und 16.02.2012 abgebildet. Durch die Frostphase gingen lediglich 2 Blätter je Pflanze verloren. Mit 11 Blättern pro Pflanze war die Entwicklung im Herbst etwas über dem Soll.

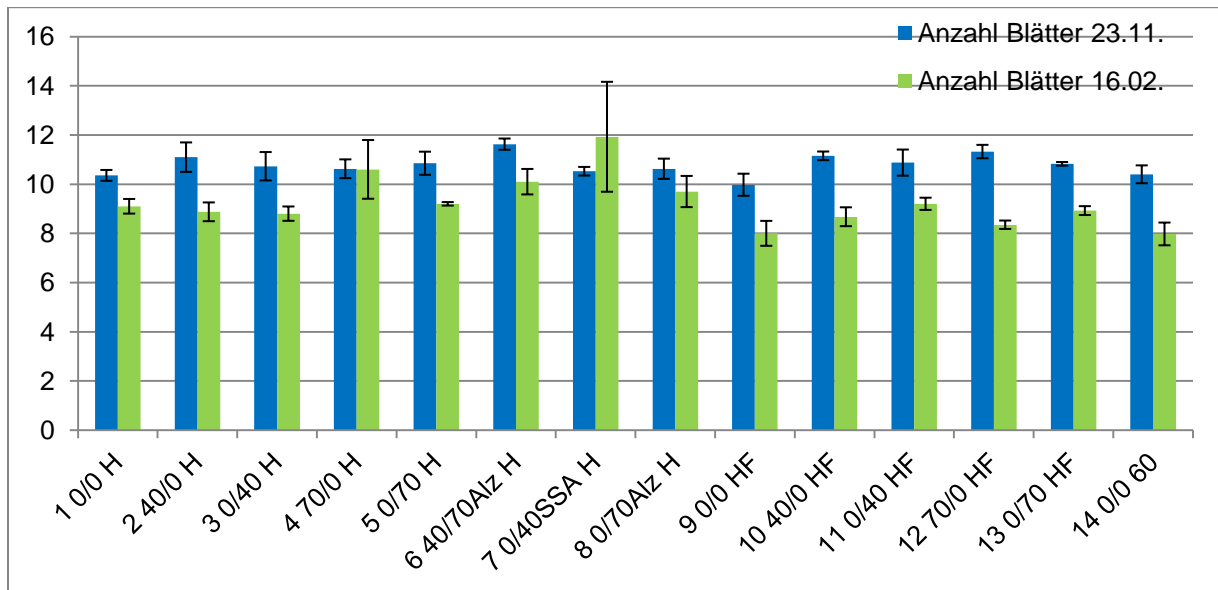


Abbildung 40 Mittelwerte der Blattanzahl pro Pflanze. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Die kräftige Entwicklung im Herbst zeigt sich auch am WHD in Abbildung 41. Bis zum 23.11.2012 konnten die Pflanzen einen mittleren WHD von 12 mm aufweisen. Der milde Winter führte zu einem weiteren kräftigen Wachstum, so dass im Durchschnitt aller Varianten am 16.02.2012 ein WHD von 15 mm zu verzeichnen war. Den größten WHD wiesen die Pflanzen der Var. 6 mit knapp 20 mm auf.

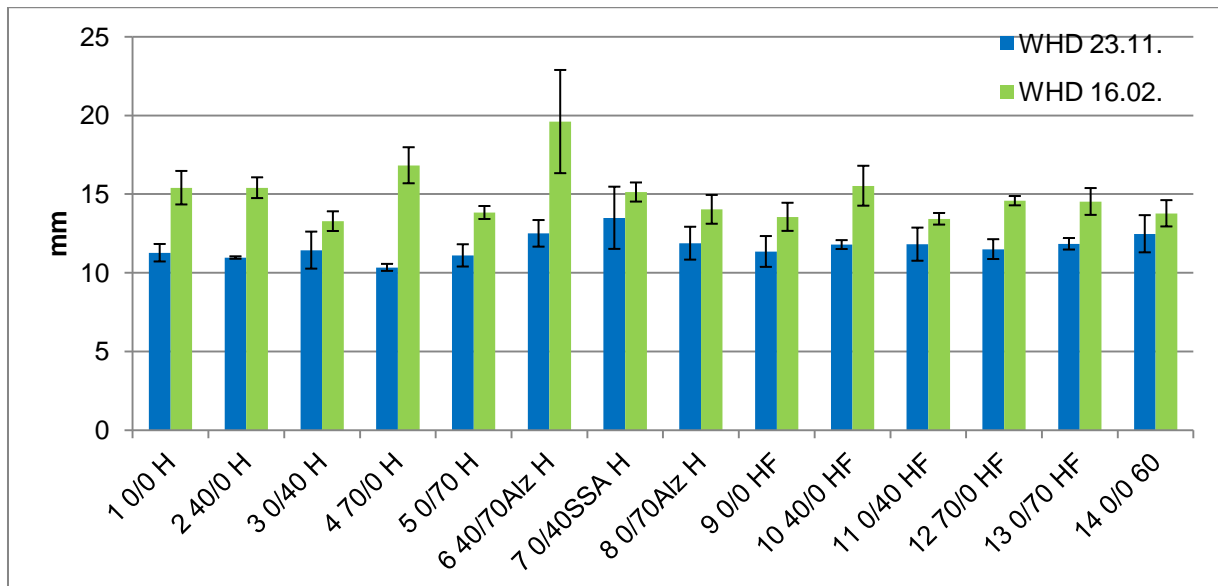


Abbildung 41 Mittelwerte Wurzelhalsdurchmessers pro Pflanze in mm. Werte für Herbst (23.11.2011) und Frühjahr (16.02.2012) am Standort Bahrdorf. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

Auf dem Versuchsfeld Kleibreite in Bahrdorf wurden ebenfalls Bodenproben zu drei Zeitpunkten (Vegetationsende, Vegetationsanfang und nach der Ernte) zur N_{min} -Analyse entnommen. Zum ersten Beprobungstermin am 24.11.2011 lagen die Werte der ungedüngten Variante 1 mit 38 kg N ha^{-1} auf dem gleichen Niveau, wie die Varianten 2 und 4, die zum frühen Zeitpunkt gedüngt wurden. Die spätgedüngten Varianten 3 und 5 lagen abhängig von

der Düngermenge bei 62 bzw. 80 kg N ha⁻¹. Die Proben aus den Varianten 6 und 8, die zum zweiten Düngungstermin mit Alzon 46, einem „stabilisierten Stickstoffdünger“, gedüngt wurden, wiesen sehr hohe Ammoniumwerte in der oberen Bodenschicht auf. Zudem fällt der sehr hohe Nitratanteil in der unteren Bodenschicht der mit SSA gedüngten Variante 7 auf.

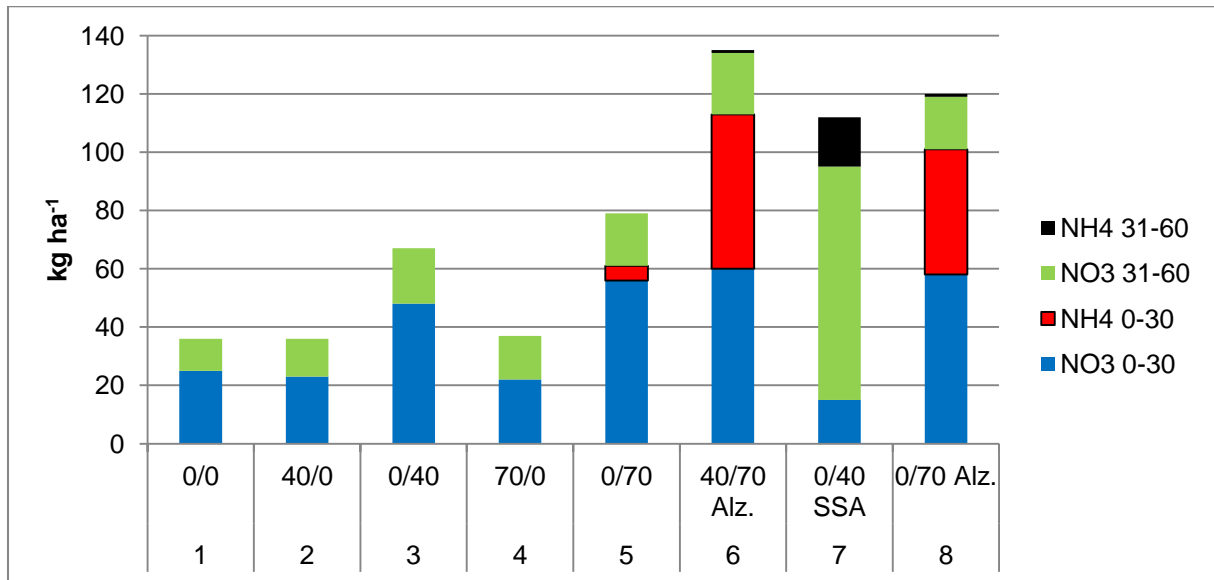


Abbildung 42 N_{min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha⁻¹ der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsende am 24.11.2011. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Zu Vegetationsbeginn lagen die N_{min}-Werte im Durchschnitt aller Varianten bei 35 kg N ha⁻¹. Die Varianten 4 und 5 wiesen dabei mit 45 kg N ha⁻¹ die höchsten Werte auf.

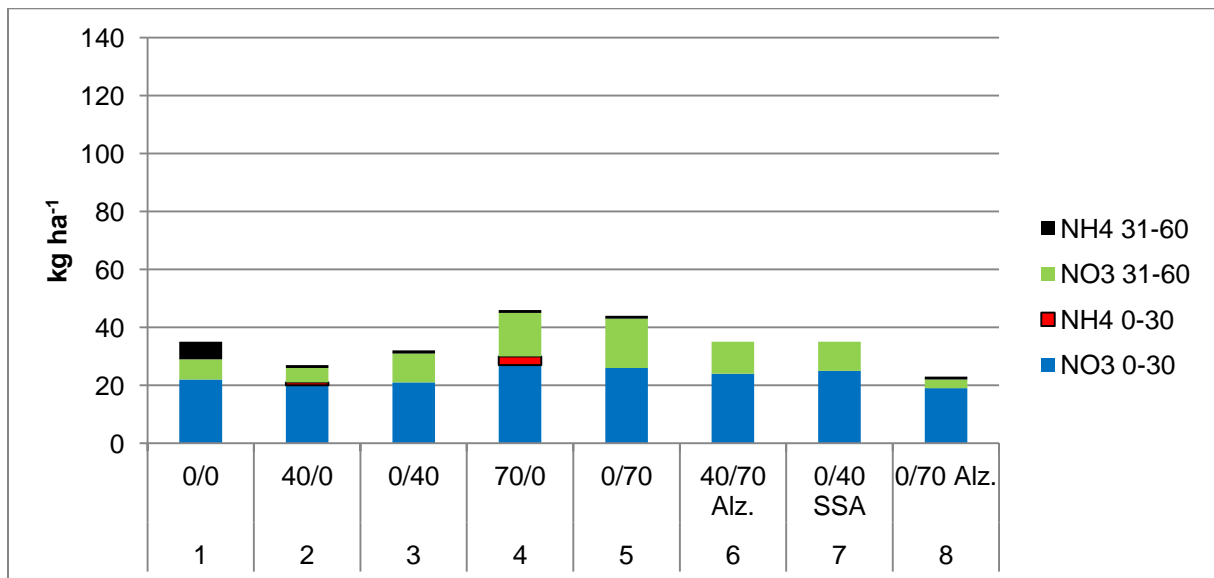


Abbildung 43 N_{min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha⁻¹ der einzelnen Düngungsvarianten zu Vegetationsbeginn am 16.02.2012. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Unmittelbar nach der Ernte fand die dritte N_{min}-Beprobung in zwei Bodenschichten statt. Die Werte lagen zwischen 40 und 60 kg N ha⁻¹.

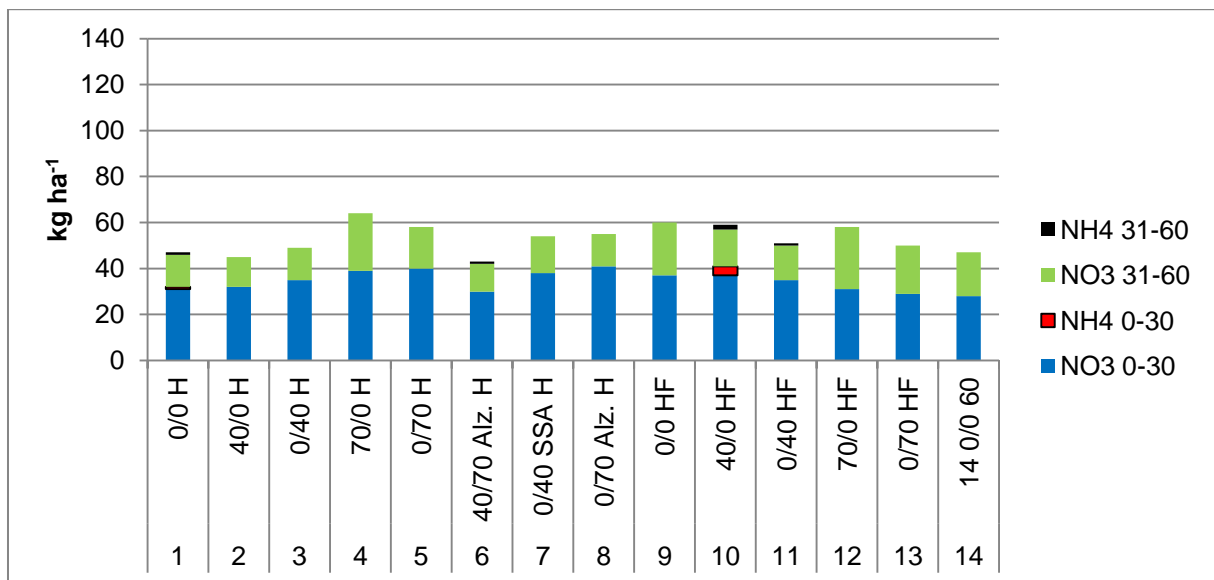


Abbildung 44 N_{\min} Werte in den Bodentiefen 0-30 sowie 31-60 cm in kg N ha^{-1} der einzelnen Düngungsvarianten nach der Ernte am 02.08.2012. Werte außerdem in Nitrat- und Ammoniumstickstoff.

Die Versuchsfläche Kleibreite erhielt im Herbst unmittelbar vor der Saat 3 t HTK ha^{-1} . Auf dieser Grundlage wurde dann zusätzlich die Herbstdüngung appliziert. Die Düngung im Frühjahr richtete sich in den Var. 1 bis 8 entsprechend der N-Aufnahme des Herbstes, sowie in den Var. 9 bis 13 vergleichbar mit dem Versuch in Sehestedt aus dem Mittelwert der Herbst- und Frühjahrs-N-Aufnahme. Aufgrund der immensen Blattverluste durch den Frost, lag die N-Menge um 8% (11) bzw. 17% (Var. 9) höher als in den vergleichbaren Varianten. Lediglich in Variante 13 konnte die N-Menge im Vergleich zu Var. 5 um 2% verringert werden. Die Schwefeldüngung im Frühjahr erfolgte mittels SSA über die gesamte Versuchsfläche, zur Blütenbehandlung wurden weitere 20 kg N ha^{-1} pflanzenschutzbegleitend appliziert. Da diese beiden Maßnahmen mittels Großtechnik erfolgten, wurde dies konstant über alle Parzellen gegeben. Rechnerisch hätte in der Variante 6 ein Frühjahrsbedarf von $57,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ bestanden, aufgrund der genannten Maßnahmen die über alles erfolgte, wurde in dieser Variante $2,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ zu viel gedüngt. Die Pflanzen in Var. 14 erhielten nur die N-Mengen, die über die ganze Fläche appliziert wurden, d.h. im Herbst 78 kg N ha^{-1} über HTK und im Frühjahr 40 kg N ha^{-1} (SSA) und 20 kg N / ha (NTS zur Blütenbehandlung).

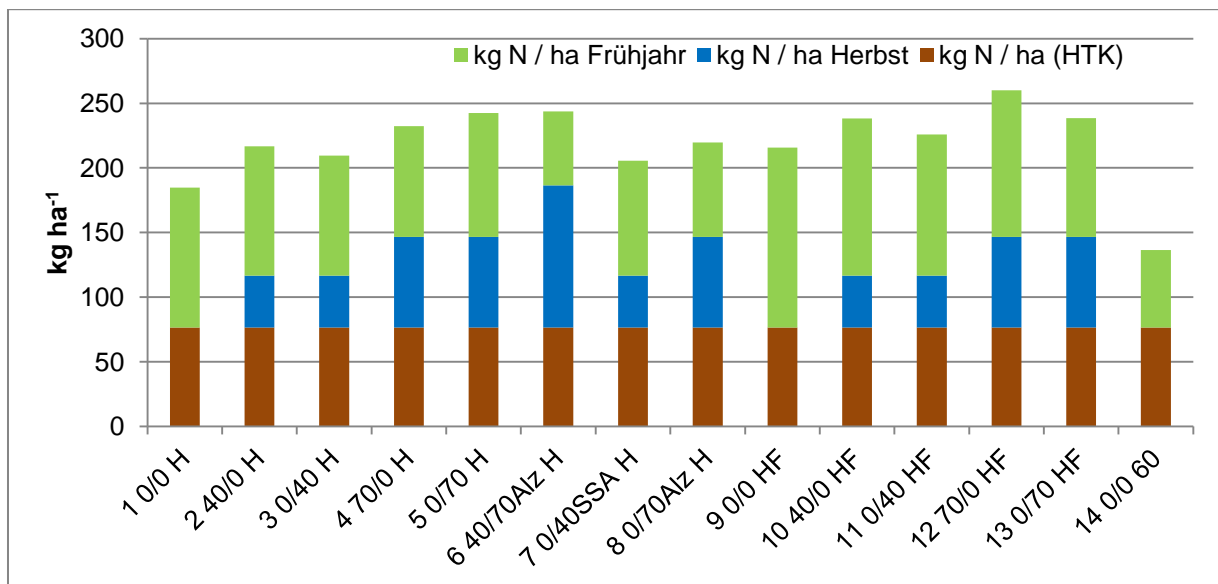


Abbildung 45 Stickstoffdüngung in kg N / ha am Standort Bahrdorf 2011. Braune Balken stehen für die organische Düngung, blaue Balken zeigen den Anteil der Herbstdüngung, die roten Balken zeigen die N-Menge im Frühjahr.

Die Ernte erfolgte am 03.08.2012. Im Durchschnitt wurden $47,7 \text{ dt ha}^{-1}$ geerntet (Abbildung 46), statistisch ist nur der geringe Ertrag von 39 dt ha^{-1} in Variante 14 signifikant von allen anderen Varianten. Die Pflanzen der Variante 14 haben im Herbst lediglich die Düngung über HTK erhalten und im Frühjahr nur die Stickstoffmenge aus SSA und NTS-Blütenbehandlung. Die Unterschiede zwischen den Varianten 1 (45 dt ha^{-1}) bis 5 (50 dt ha^{-1}) waren nicht signifikant. Tendenziell kann aber ein Anstieg mit steigender Herbstdüngung und zum späteren Termin beobachtet werden. Wurde die N-Düngung in diesem Frühjahr durch den geänderten Rechenweg erhöht, gab es zwischen den Herbstdüngungsvarianten keinen Ertragsunterschied, lediglich die ungedüngte Variante 9 wies tendenziell einen etwas niedrigeren Ertrag auf.

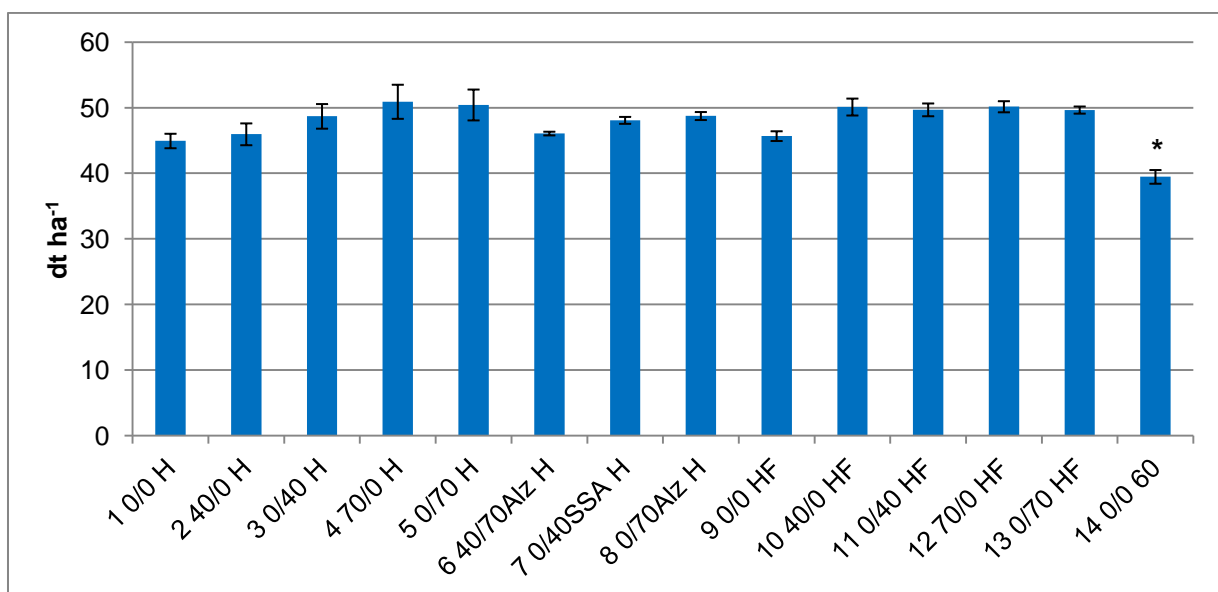


Abbildung 46 Kornertrag in dt ha^{-1} am Standort Bahrdorf 2012. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, $n=4$, $p=0,05$.

Ausgehend von dem Stickstoffentzug mit dem Erntegut und der gedüngten N-Menge in Herbst und Frühjahr wurde die N-Bilanz berechnet. Abbildung 47 zeigt, dass die N-Bilanz in Variante 14 signifikant den niedrigsten Saldo aufwies. Mit 38 kg N ha⁻¹ Bilanzüberschuss folgte Variante 1, den signifikant höchsten Bilanzüberschuss wurde in mit 95 kg N ha⁻¹ in den Varianten 6 und 12 erzielt. Tendenziell kann anhand der Bilanz erkannt werden, dass eine unterlassene zusätzliche Herbstdüngung bzw. eine Düngung zum späten Zeitpunkt für die N-Bilanz in diesem Jahr an diesem Standort günstiger ausfiel, als eine frühe Düngung.

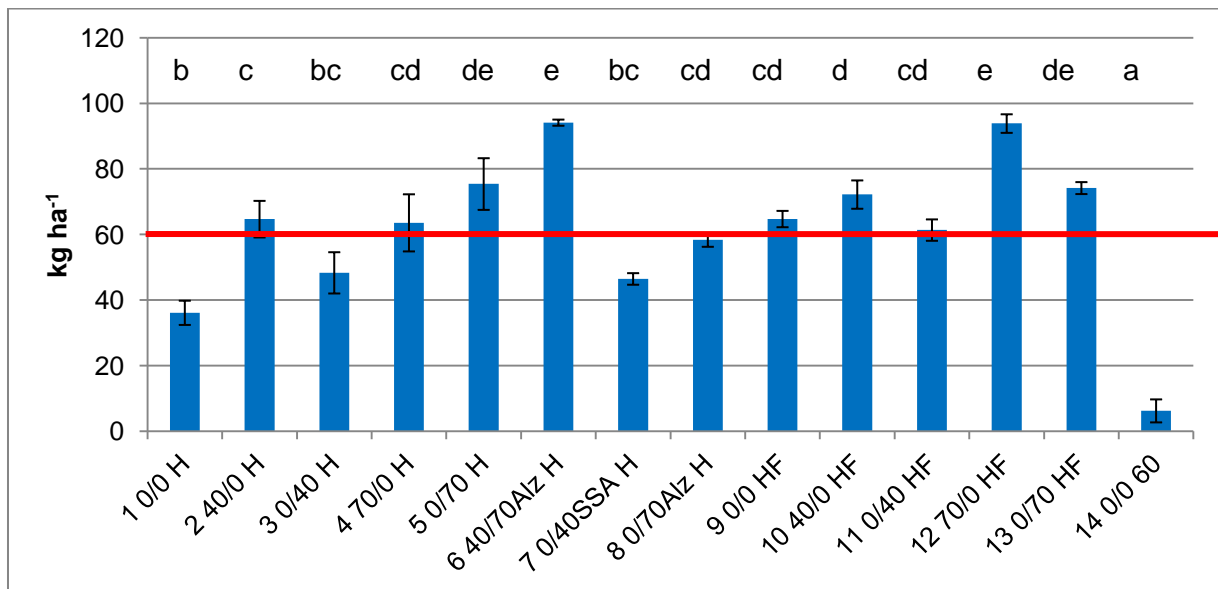


Abbildung 47 Stickstoffbilanz aus Zu- und Abfuhr in kg N ha⁻¹ am Standort Bahrdorf 2012. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler, n=4, p=0,05.

3.5 954-2012 Precision Farming Versuch Bahrdorf

Der Großflächenversuch, der sich mit der Fragestellung einer sensorgestützten Stickstoffdüngung beschäftigte, lag auf der gleichen Fläche wie der Kleinparzellenversuch. In letzterem wurde die Entwicklung der Pflanzen anhand von umfangreichen Einzelpflanzenbonituren erfasst und vorab beschrieben. Die Entwicklung der Einzelpflanzen war somit hinreichend erläutert und spielte in diesem Versuchsansatz eine untergeordnete Rolle. Auf die Darstellung einzelner Boniturparameter aus dem Großflächenversuch wird an dieser Stelle verzichtet. Die einzelnen Düngungsvarianten im Herbst und Frühjahr wurden im Kapitel 2.2.2 in Abbildung 1, Abbildung 2 und 0 erläutert.

Damit die Genauigkeit der Ertragskartierung des Mähdreschers kontrolliert werden kann, wurden die Erträge der einzelnen Varianten gewogen. In Abbildung 48 sind zunächst die Erträge der Mähdrescherkartierung (rote Balken) als ein Durchschnittswert über die jeweilige Variante dargestellt. Die blauen Balken zeigen das gewogene Ertragsergebnis.

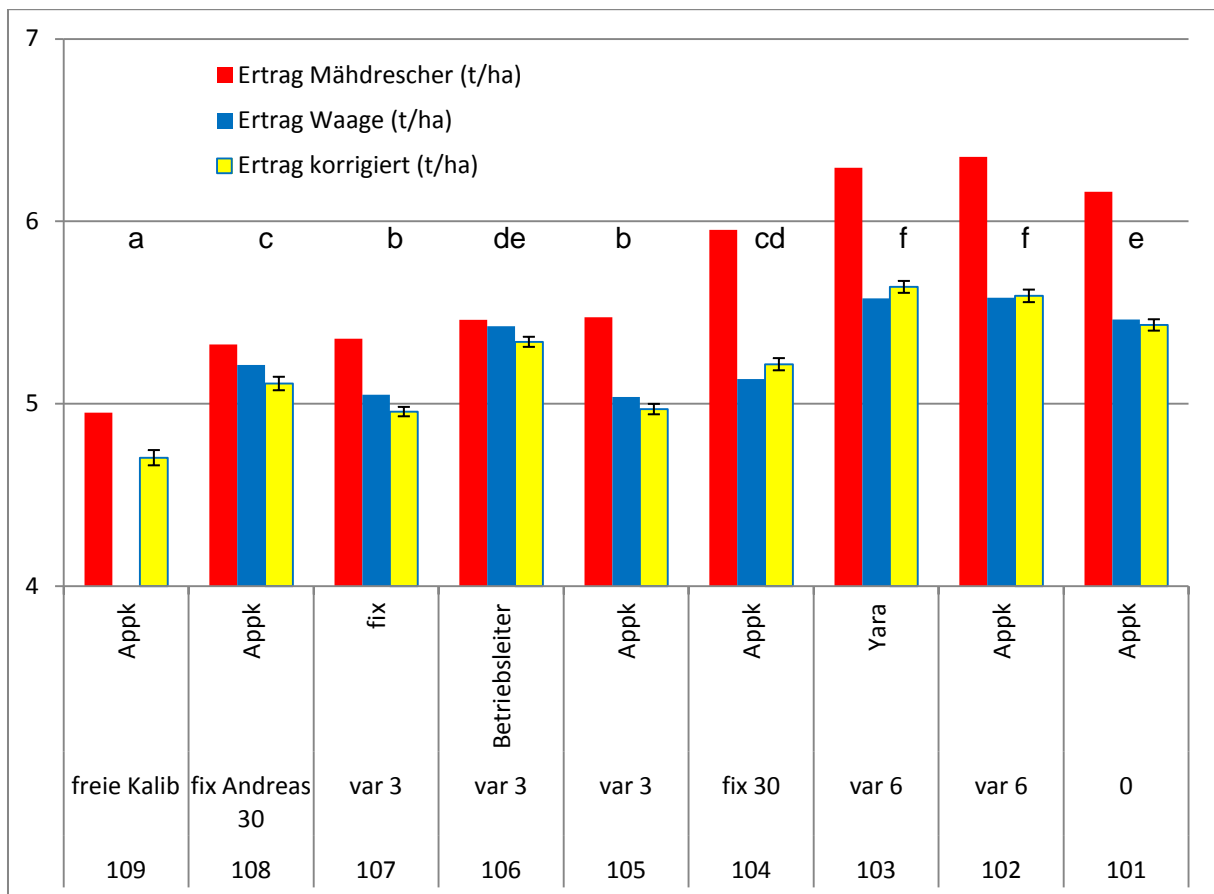


Abbildung 48 Kornerträge der jeweiligen Düngungsvarianten Alle Werte auf 91% TM korrigiert

Es zeigt sich, dass die Abweichung mit rund 11% in den Varianten 105 bis 101 deutlich größer waren, als in den Varianten 108 bis 106, dort betrug die Abweichung nur 5%. Durch eine Korrektur der Ertragsmesspunkte mit der für die jeweilige Variante entsprechenden Abweichung aus Waage und Drescher konnten die kartierten Werte an das echte gewogene Ergebnis genähert werden. In den Varianten 101 bis 107 waren jeweils rund 550 einzelne Messpunkte aufgezeichnet. In den Varianten 108 und 109 waren es circa 200, hier stand nur eine Fahrgassenbreite (36m) zur Verfügung, die anderen Varianten wiesen eine Breite von 72 m auf. Die höchsten Erträge wurden mit $5,6 \text{ t ha}^{-1}$ in den Varianten 102 und 103 erzielt. Hier wurde im Herbst nach einer sechsstufigen Applikationskarte ($20\text{-}40 \text{ kg N ha}^{-1}$) gedüngt. Im Frühjahr wurde in Variante 102 mit einer Applikationskarte im Offlineverfahren unter Berücksichtigung der N-Aufnahme im Herbst gedüngt, in Variante 103 kam der Online-Algorithmus von Yara zum Einsatz. Mit $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ folgt als nächstes die Variante 101, bei der im Herbst mit Ausnahme der HTK-Düngung, die über die ganze Fläche erfolgte, keine zusätzliche Düngung stattgefunden hat. Die Betriebsleitervariante ließ sich mit $5,3 \text{ t ha}^{-1}$ nicht signifikant von der Variante 101 bzw. 104 unterscheiden. Die Erträge der Varianten 105 und 107 sind mit $4,9 \text{ t ha}^{-1}$ die zweitniedrigsten. Der geringste Ertrag wurde mit $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ in Variante 109 erzielt.

In Abbildung 50 sind die korrigierten Werte Ertragskartierung der Varianten in einer sogenannten Rasterkarte dargestellt. Diese wurde durch ein statistisches Interpolationsverfahren aus den räumlich ungleichmäßig verteilten Messpunkten berechnet (Kriging).

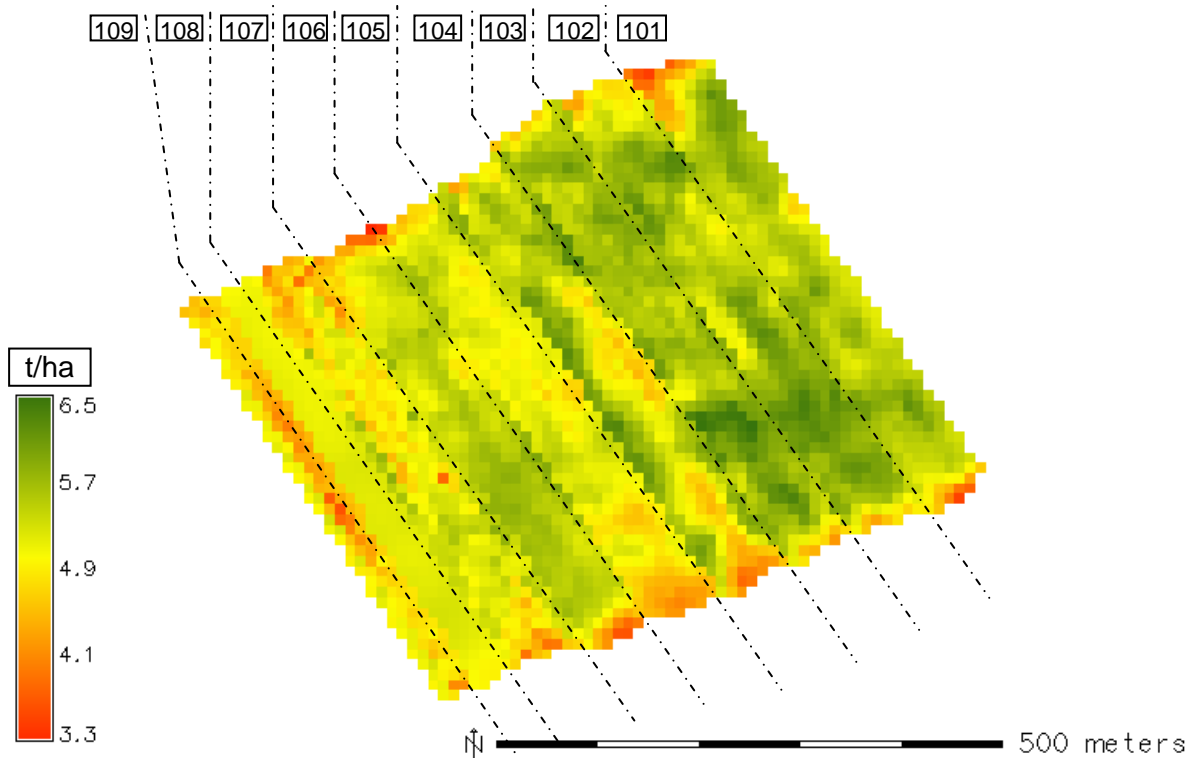


Abbildung 49 Rasterkarte der Ertragswerte Kleibreite 2012

Im ersten Eindruck ist eine streifenartige Struktur zu erkennen. Diese Streifenstruktur begründet sich in der Berechnungsmethode. Die Ertragskarten der Varianten wurden einzeln interpoliert, da sich sonst die unterschiedlichen Varianten im räumlichen Schätzverfahren gegenseitig beeinflussen würden. Der Anblick einer zusammenhängenden Fläche kommt durch die 100%ige Passgenauigkeit der Interpolationsmasken zu Stande.

Auffällig scheint die Häufigkeit der grünen Schätzwerte (hoher Ertrag) im östlichen Bereich. Wie bereits in Abbildung 49 erkennbar heben sich auch hier die Varianten 101, 102 und 103 deutlich ab.

Es bleibt weiterhin zu ergründen ob sich die unterschiedlichen Düngungsvarianten in den Rasterkarten an Hand von beschreibenden statistischen Kenngrößen mit sowie mit einer Teststatistik charakterisieren und unterscheiden lassen. Dazu wurden die interpolierten, also geschätzten Daten der Rasterkarten aus Abbildung 50 ausgewertet. In Abbildung 51 sind Ergebnisse dieser Auswertung dargestellt.

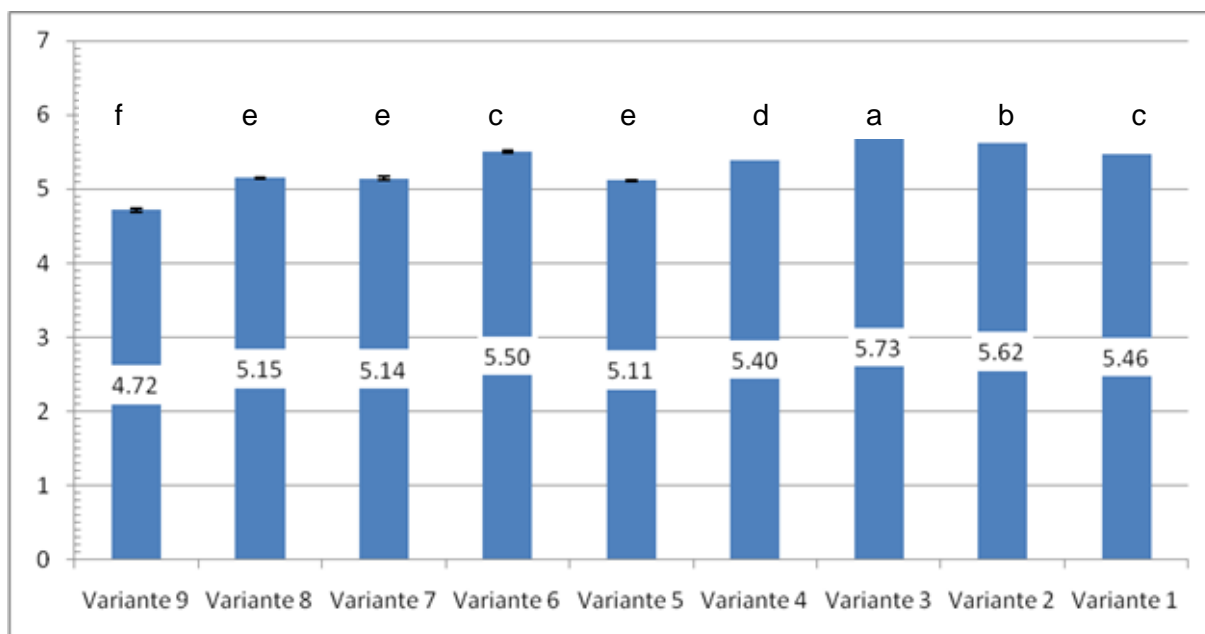


Abbildung 50 Mittelwerte der korrigierten Ertragswerte in t ha⁻¹ (Standardabweichung in Form von Fehlerbalken, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Varianten, p = 0,05)

Es zeigt sich, dass die Unterschiede innerhalb der einzelnen Varianten ausgeprägter als in der Betrachtung der Messwerte sind (vgl. Abb. 49). Einzig die Varianten eins und sechs sind bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von fünf Prozent nicht unterscheidbar.

Wird die Rangfolge der Erträge ermittelt, dann liegt diese entsprechend der alphabetischen Reihenfolge der Gruppierungsbuchstaben. Bei einem Blick auf die Datenbeschriftung in der Mitte der Balken fällt der recht geringe Unterschied zwischen den ersten vier Rängen auf. Mit einer Spanne von 270 kg ha⁻¹ liegen diese doch recht eng beieinander. Nicht zuletzt deshalb lässt sich insgesamt das Ertragsniveau als hoch und innerhalb der Varianten als relativ ähnlich charakterisieren. Einzig die Variante neun fällt mit circa einer Tonne Ertragsunterschied stark ab.

Die statistische Sicherheit der dargestellten Unterschiede zwischen den Varianten liegt regelmäßig in der großen Wiederholungsanzahl begründet. Auch in vorangegangenen Versuchsjahren konnten bei ähnlichen Versuchsanstellungen diese hohen Signifikanzniveaus beobachtet werden. Pflanzenbaulich ist das Ertragsniveau von über fünf Tonnen als sehr zufriedenstellend festzuhalten.

Ergebnisse

Durch die teilflächenspezifischen Düngungen sowohl im Herbst 2011, als auch im Frühjahr 2012, ist es möglich, die Stickstoffbilanz für Teilflächen des Versuchsschlages zu rechnen. Ebenso wie die Ertragsdaten wurde diese Auswertung in einer Auflösung von zehn mal zehn Metern erstellt:

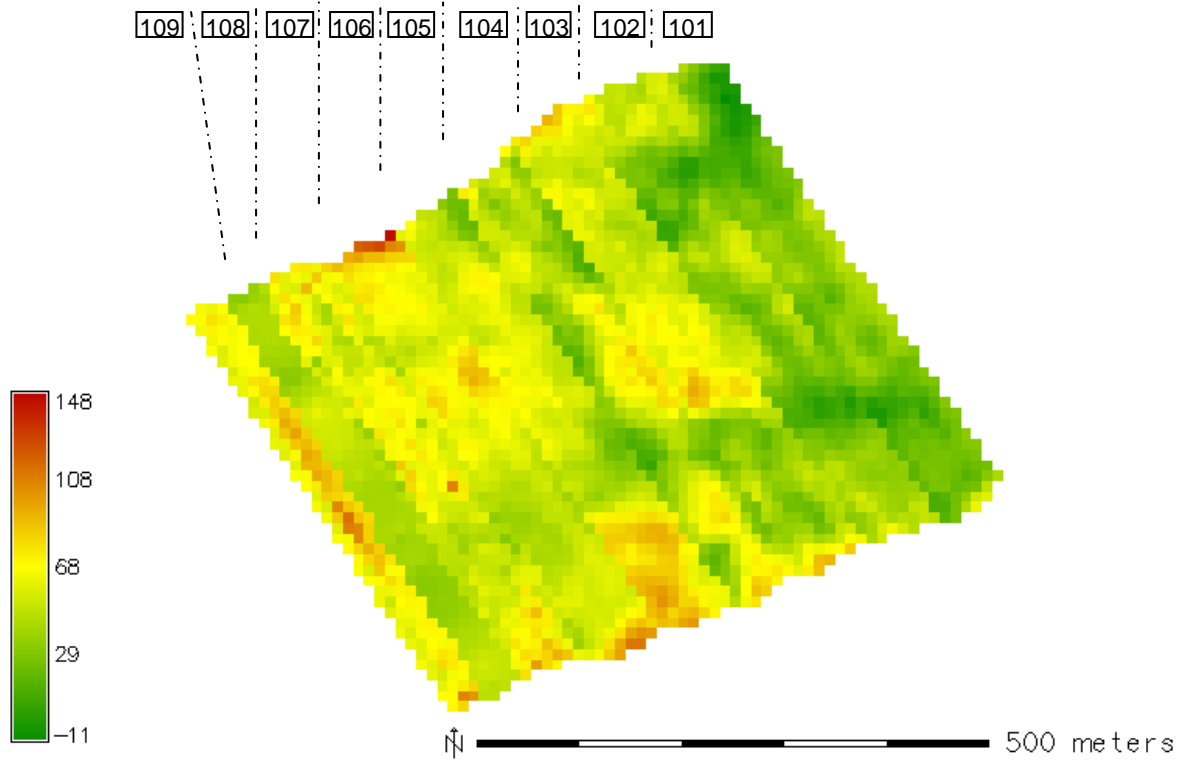
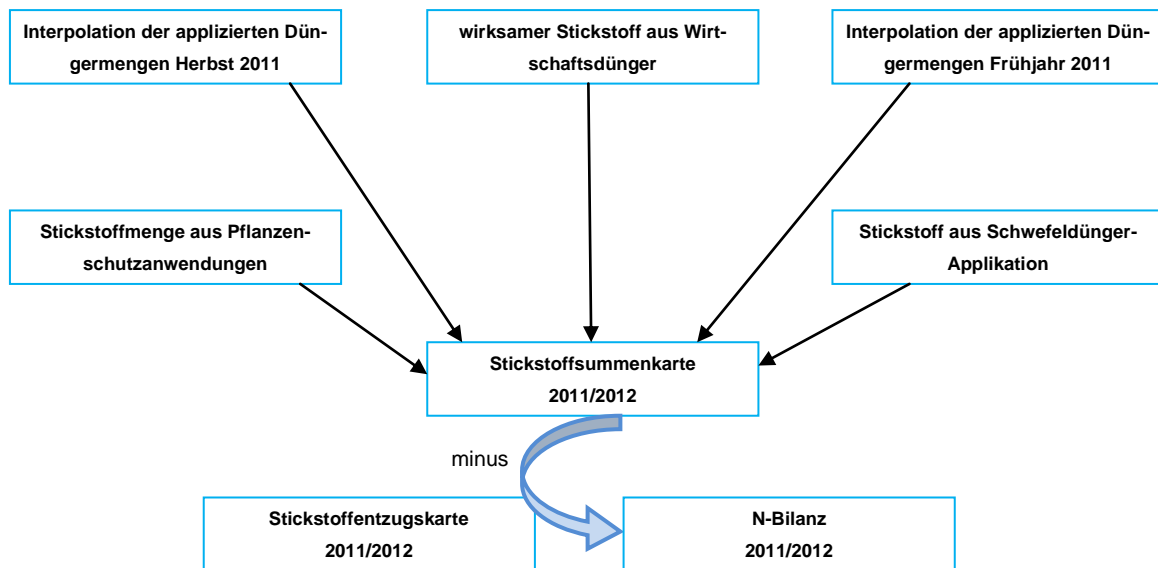


Abbildung 51 Rasterkarte der Stickstoffbilanz

Die dargestellten Bilanzwerte wurden nach folgendem Schema ermittelt:



Ein wesentlicher Punkt dieser Rechnung auf der Flächenebene liegt darin, dass alle Messdaten in Form von ungleichmäßig im Raum verteilten Punkten vorliegen, welche in eine regelmäßiges Gitter mit vorgegebener Zellgröße interpoliert werden müssen.

Alle anderen im Schema aufgezeigten Stickstoffmengen müssen über den gesamten Versuchsbereich und damit über alle Varianten als konstante Mengen einbezogen werden. Neben der Möglichkeit der grafischen Darstellung als Rasterkarte liegt das Interesse hier ebenso auf der statistischen Auswertung der Schätzwerte. In Abbildung 52 zeigt sich, dass die ertraglich besten Varianten nicht unbedingt mit einer niedrigen Stickstoffbilanz verbunden sind:

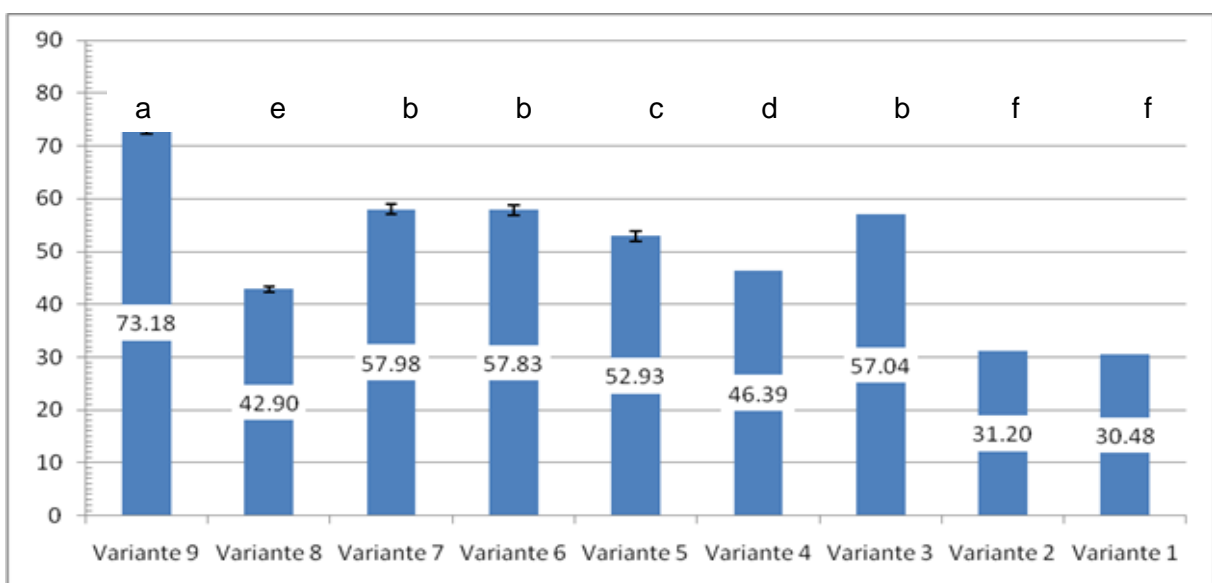


Abbildung 52 Mittelwerte der Stickstoffbilanzwerte in kg ha⁻¹ (Standardabweichung in Form von Fehlerbalken, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Varianten, $p = 0,05$).

Aus Abbildung 50 und Abbildung 52 lässt sich ableiten, dass die Variante zwei mit einem korrigierten Kornertrag von $5,62 \text{ t ha}^{-1}$ und einer N-Bilanz von $31,2 \text{ kg ha}^{-1}$ in der Kombination aus einem hohen Ertrag und einer möglichst ausgeglichenen Stickstoffbilanz das beste Ergebnis lieferte. Auf dem zweiten Rang mit einem etwas geringeren Ertrag von $5,46 \text{ t ha}^{-1}$ und einer N-Bilanz von $30,48 \text{ kg ha}^{-1}$ liegt Variante eins gefolgt von Variante 8 mit einem Ertrag von $5,15 \text{ t ha}^{-1}$ und einer N-Bilanz von $42,90 \text{ kg ha}^{-1}$. Den besten Kornertrag konnte mit der Düngung von Variante drei erzielt werden, jedoch liegt hier die Stickstoffbilanz mit $57,04 \text{ kg ha}^{-1}$ relativ hoch. Die Variante 9 liegt in der N-Bilanz mit 73 kg ha^{-1} deutlich über dem in der Düngeverordnung §6 geforderten dreijährigen Mittel von 60 kg ha^{-1} . Die Varianten 1, 2, 4 und 8 liegen deutlich darunter, während die Varianten 3, 6 und 7 nur knapp darunter lagen. Die Anzahl der Gruppen liegt genau wie bei der Auswertung der geschätzten Ertragswerte bei sechs.

4 Diskussion

4.1 Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Pflanzenentwicklung im Herbst und ihre Überwinterungsleistung

Im Versuchsjahr 2011 waren die Rapspflanzen im Herbst auf dem Standort Schinkel sehr stark unterentwickelt. Die aufgenommene Stickstoffmenge (s. Abbildung 8) lag im Durchschnitt bei 10 kg N ha^{-1} und damit deutlich unter der Sollmenge von 50 kg N ha^{-1} . Der Winter sorgte für weitere Pflanzenausfälle und Reduzierung der oberirdischen Biomasse, so dass die aufgenommene N-Menge um 50% sank.

Die Rapspflanzen in Bahrdorf konnten, anders als die in Schinkel über die Wintermonate moderat weiterwachsen. Zum einen waren die Ausgangsbedingungen im Herbst für eine gute Überwinterung besser, da die Pflanzen die Zielentwicklung von 8-10 Blättern (Abbildung 20) erreichen konnten, der WHD (Abbildung 21) lag knapp unter den geforderten 8-10mm und die Pflanzen hatten fast die geforderte Menge an Stickstoff (50 kg N ha^{-1} Abbildung 18 und Abbildung 19) aufgenommen. Die geforderten Zielentwicklungsparameter die eine sichere Überwinterung garantieren sollen, wurden auf dem Standort Schinkel nicht erreicht, neben einem zu kleinen WHD (Abbildung 11) war die Biomassebildung und damit die N-Aufnahme mit 10 kg N ha^{-1} (Abbildung 8 und Abbildung 9) deutlich unter der Sollmenge.

Der Winter 2011/2012 blieb über einen langen Zeitraum hinweg ohne Frost, sodass die Pflanzen die schlechten Startbedingungen in Sehestedt aufholen konnten, die starke Frostphase im Februar 2012 konnten die Pflanzen aufgrund einer Schneeeauflage in Sehestedt sehr gut überstehen. Zu Vegetationsbeginn wurden dann die Parameter am 16.02.2012 wieder erhoben. Hatten die Pflanzen im November aufgrund der Blattzahl je Pflanzen (Abbildung 30) eigentlich das Soll von 8 bis 10 Pflanzen erreicht, so waren sie dennoch deutlich unterentwickelt, was sich zum einen an dem WHD von 5 mm (Abbildung 31) und der N-Aufnahme von rund 19 kg N ha^{-1} (Abbildung 29) verdeutlichen lässt. Der Parameter Anzahl Blätter je Pflanze ist ohne Berücksichtigung weiterer Daten nicht unbedingt geeignet um die Entwicklung von Rapspflanzen zu beurteilen. Ebenso zeigte der erhobene Parameter Wurzelhalsdurchmesser keinen Einfluss auf die Überwinterungs- bzw. Ertragsleistung von Rapspflanzen. Dies hat jedoch zwei Gründe. Zum einen waren die Pflanzen in Sehestedt zwar deutlich unterentwickelt im Herbst, der milde Winter in 2011 ließ aber ein weiteres Wachstum der Pflanzen zu. Die strenge Frostphase im Januar/Februar 2012 überstanden die kleinen Pflanzen in Sehestedt aufgrund einer kräftigen Schneedecke (>10cm) sehr gut, sodass sie nach dem Auftauen unbeschadet weiter wachsen konnten. Anders sah es auf den Pflanzen

in Bahrdorf im gleichen Jahr aus. Hier waren die Pflanzen der strengen Frostphase ohne Schneedecke ausgesetzt. Damit einhergehend war der Blattverlust mit nahezu 100% zu bezeichnen. Den Wiederaustrieb mussten die Pflanzen dann aus der kräftig entwickelten Wurzel realisieren. Aufgrund dieser stark unterschiedlichen Bedingungen kann keine eindeutige Aussage über die optimale Entwicklung des Wurzelhalsdurchmessers an dieser Stelle getroffen werden.

In beiden Jahren konnte auf den Versuchsstandorten die Wirkung der Stickstoffdüngung im Herbst nicht an den erhobenen Pflanzenparametern weder zu Vegetationsende noch zu –beginn erkannt werden. Dennoch traten auf dem leichten Standort in Schinkel auch in Abhängigkeit der Düngungsmethode im Frühjahr deutliche Ertragseffekte auf.

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

4.2.1 Faktor 50 zur Berechnung der im Pflanzenbestand befindlichen N-Menge ausgehend von der Frischmasse:

Die Korrelation von Frischmasse in Bezug auf die von den Pflanzen aufgenommene N-Menge ist im Herbst sehr gut. Für die N-Kalkulation dieser Versuche wurde die FM (kg m^{-2}) mit dem Faktor 50 multipliziert um auf eine N-Menge in kg ha^{-1} zu kommen. Betrachtet man die aus der über die Frischmasse je Fläche kalkulierten aufgenommen N-Mengen (Abbildung 8) mit denen der Laboranalyse (Abbildung 9), so fällt auf, dass die Tendenz gleich verläuft. Für den Standort Schinkel ist aber der Faktor 50 nicht der exakt richtige. Wird der Faktor aus den Analyseergebnissen ermittelt, so liegt dieser bei 60. Dies zeigt sich auch auf dem Versuchsstandort Hohmorgen in Bahrdorf (Abbildung 18 und Abbildung 19), dort wäre der Kalkulationswert laut Analyse 64 gewesen. Im zweiten Versuchsjahr wurde auf dem Standort in Bahrdorf laut Analyse ein Umrechnungsfaktor von 37 ermittelt. Allerdings muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die aufgenommenen N-Werte aus der Analyse extrapolierte Werte darstellen. Es wurden je Parzelle zehn Pflanzen entnommen, gewaschen, abgetrocknet und danach die Frischmasse gewogen. Anschließend wurden die Proben im Trockenschrank bei 60 und 105°C getrocknet, die Trockenmasse gewogen und anschließend im Labor mittels NIRS der N-Gehalt in der TM analysiert. Danach wurde auf kg N / ha zurückgerechnet.

4.2.2 Berechnungsansatz vs. konstante Düngung nach Düngeverordnung

Auf den Standorten Schinkel und Hohmorgen wurde die Stickstoffmenge im Frühjahr zum einen nach der Sollwertmethode festgelegt zum anderen wurde der Ansatz der Berücksichtigung der im Herbst aufgenommenen N-Menge gewählt. Bei letzterem wird unterstellt, dass

nach Abzug von 50 kg N / ha für eine optimale Entwicklung, die verbleibende Menge zu 70% im Frühjahr angerechnet werden kann.

Bei Betrachtung der Erträge wird sichtbar, dass bei dem Berechnungsansatz der Stickstoffdüngung im Frühjahr unter Berücksichtigung der im Herbst gebildeten Biomasse, auf dem Standort Schinkel auch in der ungedüngten Variante 1 kein signifikant niedrigerer Ertrag realisiert wurde, als in den gedüngten Varianten 2 bis 8, die Differenz von 5 dt ha⁻¹ ist nicht signifikant. Es ist demnach möglich, mit dem Berechnungsmodell verändert nach Cetiom erstens eine unterlassene Herstdüngung zu kompensieren und zweitens die gedüngte Menge im Herbst sofern sie von den Pflanzen aufgenommen wurde teilweise bei der Frühjahrsdüngung wieder anzurechnen.

4.2.3 Vergleich der Methoden zur Anrechnung des aufgenommen Stickstoffs

Die Stickstoffdüngung im Frühjahr 2012 wurde in den Varianten 1 bis 8 wie im Vorjahr mittels des Korrekturwertes der im Herbst aufgenommenen Stickstoffmenge berechnet. Eine Änderung zum Vorjahresplan bestand darin, dass die Varianten 9 bis 13 nicht mehr fest nach der Sollwertmethode gedüngt wurden, sondern der echte Cetiomansatz herangezogen wurde, bei dem der Korrekturwert aus dem Mittelwert der im Herbst und Frühjahr aufgenommenen N-Menge berechnet wird. Die N-Aufnahme der Pflanzen auf dem Standort Sehestedt war bis zum 23.11.2011 mit 19 kg N ha⁻¹ deutlich unter dem Soll von 50 kg N ha⁻¹. Zu Vegetationsbeginn war lediglich ein Zuwachs von 2,6 kg N ha⁻¹ messbar gewesen. Dieser geringe Anstieg veränderte auf dem Standort Sehestedt die Frühjahrsdüngung nicht, so dass die Varianten mit gleicher Herstdüngung auch im Frühjahr die gleiche Menge Stickstoff erhalten haben. Anders verhielt sich dieser Zusammenhang auf der Versuchsfläche Kleibrei in Bahrdorf, dort wurde aufgrund des extremen Blattverlustes die Frischmasse um 50 % reduziert, was folglich in einem Anstieg der Düngung um 25-30% resultierte. Tendenziell zeigte sich dort, dass die Erträge etwas angestiegen sind, aber die erhöhte Düngung sich vor allem negativ in der Bilanz niederschlägt. Es zeigt aber auch, dass bei einem nahezu 100% Blattverlust, trotz der schnellen Mineralisierung der abgestorbenen Blätter ein leichter Zuschlag auf die N-Düngung im Frühjahr gerechtfertigt ist. Treten geringere Blattverluste auf, so kann ein Zuschlag unterbleiben.

4.3 Einfluss der Stickstoffdüngung im Herbst auf die Ertragsleistung von Winterraps auf unterschiedlichen Böden

Der Einfluss der Stickstoffberechnungsverfahren auf die Ertragsleistung von Winterraps auf dem leichten Standort Schinkel 2010/2011 wird bei Betrachtung der Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 deutlich. Die im Herbst nicht gedüngten Pflanzen der Variante 1 konnten aufgrund der an die gebildete Frischmasse zu Vegetationsende angepassten, höheren

Düngung im Frühjahr einen Mehrertrag von 16% im Vergleich zur konstant gedüngten Variante 9 erzielen.

Anders verhält es sich bei dem Düngungsansatz der Sollwertmethode, dort konnte eine einmalige Düngung von 40 kg N ha⁻¹ im zeitigen Herbst bereits einen um 11 dt ha⁻¹ signifikant höheren Ertrag erzielen, als ohne Herbsdüngung. Eine zeitige Düngung von 70 kg N ha⁻¹ (Var. 12) konnte den Ertrag nicht noch weiter steigern. Ungünstig ist der Düngungstermin am 31.10. ausgefallen, der Ertragsanstieg um 5 dt ha⁻¹ in Var. 11 ist nicht signifikant zu Var. 9, eine erhöhte Düngung (70 kg N ha⁻¹) zu diesem Zeitpunkt brachte 6,5 dt ha⁻¹ Mehrertrag, allerdings war dieser Anstieg nicht statistisch absicherbar.

Auf den besseren Böden in Bahrdorf und Sehestedt konnte durch eine Herbsdüngung kein Mehrertrag realisiert werden. Obwohl gerade im Herbst 2011 auf dem Standort in Bahrdorf die Pflanzen in der ungedüngten Variante deutlichen Stickstoffmangel zeigten, konnte eine Düngung keinen Mehrertrag realisieren. Es bleibt demnach festzuhalten, dass auf besseren Böden immer eine gewisse Stickstoffnachlieferung vorhanden ist und somit eine Düngung im Herbst keine positiven Ertragsergebnisse liefert. Der Einfluss der Einzelpflanzenentwicklung auf die Notwendigkeit einer Herbsdüngung konnte in den beiden Jahren nicht klar differenziert werden. Festzuhalten bleibt, dass auf leichten Böden, die nur einen geringen Anteil Stickstoff nachliefern können, eine Herbsdüngung stark positive Effekte auf den Ertrag hat. Eine Abgrenzung anhand von Bodengüte bzw. Bodenpunkte ist nicht endgültig definierbar. Eine Grenze scheint jedoch im Bereich um 30/35 Bodenpunkten zu liegen.

4.4 Eignung des Einsatzes von Precision farming tools zur Stickstoffdüngung von Winterraps

Zuerst bleibt zu klären, ob diese höheren Erträge in Bodenunterschieden zu ergründen sind. In Abbildung 54 ist dazu die Karte der EM38 Kartierung des Versuchsbereiches abgebildet:

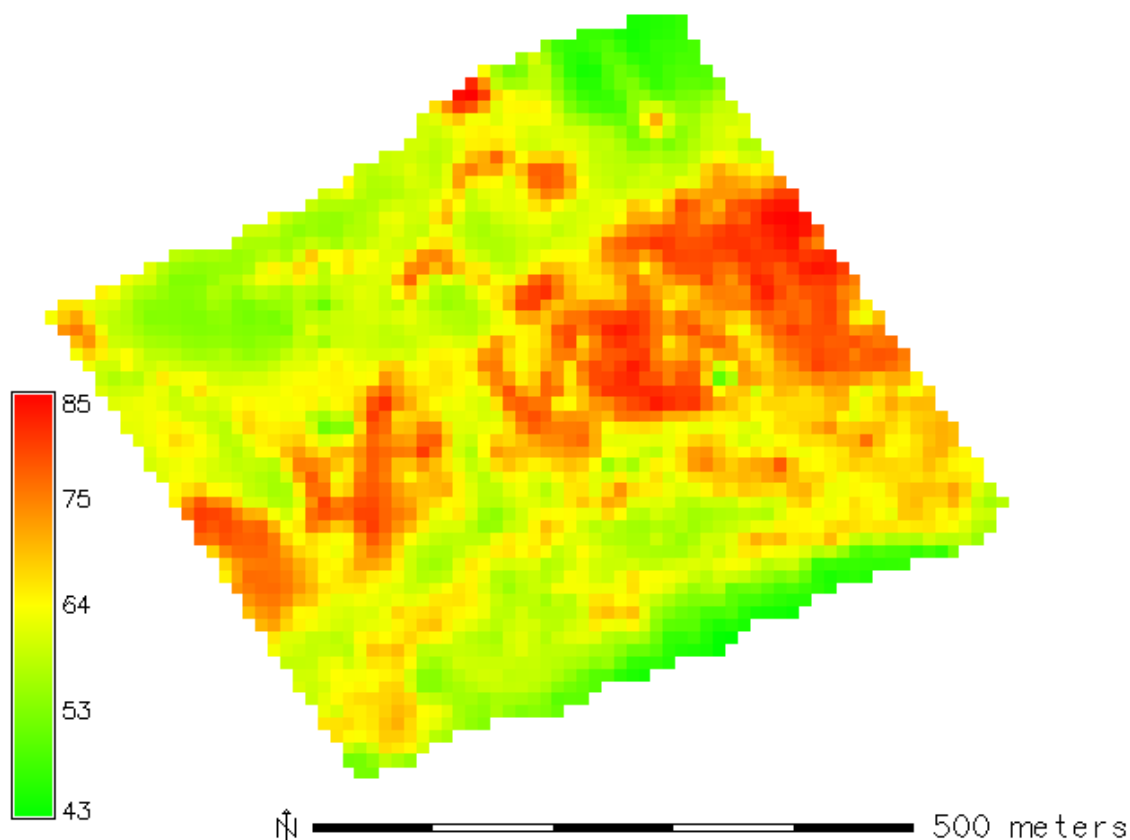


Abbildung 53 Rasterkarte EC 25 Werte aus dem Jahr 2006

Zu erkennen ist ein deutlicher Nord-Süd Drift. Messtechnisch ist der nördliche dem südlichen Bereich sehr ähnlich. In der Praxis wird aber ersichtlich, dass im Süden eine Lehmauflage auf einer eher sandigen Schicht zu finden ist. Offensichtlich wird der EC25 Wert durch diese tieferen Schichten beeinflusst, was sicherlich auch mit der Messtiefe von 2,5 m zu begründen ist. In den ertraglich höheren Varianten im Osten liegen mit den in Abbildung 54 ersichtlichen roten Bereichen auch die etwas besseren Böden.

Offensichtlich scheint die Interpretation des Zusammenhanges auf der dargestellten logarithmischen Farbskala auf Grund der hohen Anzahl der dargestellten Schätzpunkte gewissen Grenzen zu unterliegen. Deshalb wurde unter der Annahme eines linearen Zusammenhanges der Pearsonsche Maßkorrelationskoeffizient (Korrelation) zwischen den EM38- und den Ertragsschätzpunkten ermittelt. Mit 0,25 ist dieser als schwach festzuhalten.

Um die Größe des Zusammenhanges darstellen zu können, wurde das Bestimmtheitsmaß als Quadrat der Korrelation berechnet. Das Ergebnis von 0,06 kann wie folgt interpretiert

werden: sechs Prozent der Ertragsschätzpunkte können anhand der EM38-Schätzpunkte erklärt werden. Dieser Zusammenhang ist als wechselseitig zu betrachten, das heißt es können ebenso sechs Prozent der EM38-Schätzpunkte mit den Ertragsschätzpunkten erklärt werden. Insgesamt ist die Stärke des Zusammenhanges als gering einzustufen. Diese Erkenntnis zeigte sich auch in den vergangenen Versuchsjahren in der Auswertung der entsprechenden Ergebnisse. Die unterschiedlichen Messebenen (in diesem Fall EM38 und die Ertragskartierung) besitzen leider meist einen zu geringen Zusammenhang, der für eine Interpretation von Unterschieden nicht ausreicht. In der Ergebnisdiskussion werden die mit dem EM38 gemessenen Bodenunterschiede deshalb nicht weiter im Detail betrachtet.

Aus produktionstechnischer Sicht sollte im Winterraps als Ziel ein Düngungsregime mit einem sicheren und standorttypischen Ertrag in Kombination mit einer ausgeglichenen Stickstoffbilanz definiert werden. Deshalb ist die Variante zwei auch als produktionstechnisch günstigste hervor zu heben.

Dies ist pflanzenbaulich mit mehreren Aspekten zu begründen. Im direkten Vergleich zu der Variante fünf scheint zum einen die variable Düngung Ende Oktober mit sechs Klassen den Düngungsbedarf besser abgedeckt zu haben als die Düngung mit drei Klassen. Wahrscheinlich konnte auf die Unterschiede im Bestand mit Schritten von vier Kilogramm pro Hektar differenzierter reagiert werden, als mit Schritten von zehn Kilogramm pro Hektar.

Zum Anderen fällt der Zeitpunkt der Düngergabe stark ins Gewicht. Die Varianten acht und neun fallen ertraglich ab, liegen aber auch in der N-Bilanz deutlich höher als die Varianten eins und zwei. Die zeitige Düngung hat hier einen ertragsmäßig schlechten Einfluss. Außerdem wurde durch die freie Kalibrierung in der Variante neun zu viel gedüngt. Die Variante vier liegt im Mittelfeld. Mit 30 kg Stickstoff pro Hektar Ende Oktober konnte nicht der gesamte Stickstoff ertraglich umgesetzt werden. Die Variante eins brachte wegen der ausgebliebenen Herbsdüngung die niedrigste Stickstoffbilanz hervor. Dieser Unterschied lässt sich nicht absichern, ganz im Gegensatz zu dem Unterschied im Ertrag (vgl. Abbildung 50 und Abbildung 52).

Alle bisher aufgezeigten Varianten lassen sich direkt vergleichen, denn sie wurden im Frühjahr alle gleichermaßen mit einem einheitlichen Algorithmus gedüngt. Bleibt die Frage der Frühjahrsdüngung zu klären. 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 Yara Algorithmus in Variante drei verrechnet online die im Frühjahr auf den Teilflächen befindlichen Reflexionsinformationen. Auf Grund der sehr niedrigen Temperaturen Ende Februar 2012 konnten jedoch nicht optimale Messbedingungen vorgefunden werden. Die offizielle Sensorberatung schlussfolgerte dementsprechend: es sollte bis zu einem Wiederergrünen mit der Düngung gewartet werden. Aus diesem Grund

wurde die konstante Düngung mit SSA vorgezogen, damit mit der variablen Harnstoffdüngung ausreichend Blattmasse vorhanden war.

Erklärtes Ziel in dem vorliegenden Versuch war es aber, die durch den Pflanzenbau und die dazugehörigen Einflussfaktoren geschaffenen Rahmenbedingungen durch die Sensortechnik optimal auszunutzen. Die Pflanzenbauberatung wies darauf hin, dass im Stress befindliche Pflanzen gefördert werden müssen. Sicherlich musste die Frage eines Totalverlustes des Versuchsbestandes bedacht werden, da bei derart großen Frostschäden, wie den vorgefundenen, die Auswirkungen stärker als im Normalfall sind. Jedoch ist diese Frage aus ökonomischer Sicht eher als eine Frage nach der absoluten Höhe der Stickstoffgabe zu stellen.

Nach eingehender Prüfung bestanden kaum mehr Bedenken bezüglich der Frostschäden und es musste diskutiert werden, wie der Bestand am besten zu fördern sei. Die für den Standort übliche Vorsommertrockenheit stellt eine weitere Herausforderung dar, vereinfacht jedoch auch die Problemstellung: Um eine ausreichende Düngewirkung zu erzielen muss die Feuchtigkeit zu Vegetationsbeginn genutzt werden. Deshalb wurde die Variante drei auch zum gleichen, pflanzenbaulich richtigen Termin wie alle anderen Varianten online gedüngt. Mit dem besten Ertrag im gesamten Versuch ist diese Variante nicht als schlecht zu charakterisieren, aber die von den Sensorherstellern so oft beworbene Stickstoffbilanz fällt wesentlich höher aus.

Die Variante sieben und die Düngung nach der üblichen betrieblichen Planung ist im Mittelfeld zu finden. Es lässt sich sicher diskutieren, wie stabil die statistisch abgesicherten Ertragsunterschiede sind. Werden diese Ergebnisse aber auf größere Flächen mit vielleicht noch größeren Unterschieden im Bestand übertragen, dann lässt sich ganz deutlich vermuten, dass die konstanten Düngungen der Gefahr unterlaufen, größere Stickstoffüberhänge zu erwirken.

Direkt miteinander vergleichen lassen sich bei der Auswertung der Frühjahrsdüngung nur die Varianten mit gleicher Herbsdüngung (zwei und drei bzw. fünf bis sieben). Klarer Fokus lag auf dem Vergleich der Applikationskarte mit einer festen und der ortsüblichen Betriebsvariante und auf der direkten Gegenüberstellung mit dem Onlineverfahren von Yara. Dieser Onlinealgorithmus ist ebenso neu, wie die seit 2012 angebotene Herbstkartierung mit nachfolgender Applikation im darauffolgenden Frühjahr. Obwohl im Herbst 2011 nichts von diesen Produktneuheiten bekannt war, wurden sie in den Versuch integriert (Yara Online Algorithmus), beziehungsweise stand die Herbstkartierung mit Offline-Applikation aus pflanzenbaulicher Sicht im Fokus. Die Unterschiede zu der festen Düngungsvariante und der Betriebsvariante lassen sich mit einer detaillierteren Betrachtung des Pflanzenbestandes erklären. Der Vorteil der Applikationskarte liegt zum einen in der Einbeziehung der pflanzenbaulich evaluierten Sollwertmethode und zum Anderen in der Unabhängigkeit von der Situation im Frühjahr. Neben der in 2012 anzutreffenden starken Frostschäden sind auch oft schlecht befahrbare Schläge ein Problem in der Praxis. Die Applikationskarte ermöglicht eine rechtzeitige

Düngerapplikation unabhängig von dem Zustand des Pflanzenbestandes zu Beginn der Vegetation.

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 Werte 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 interpretierbar 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.

5 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
- 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.