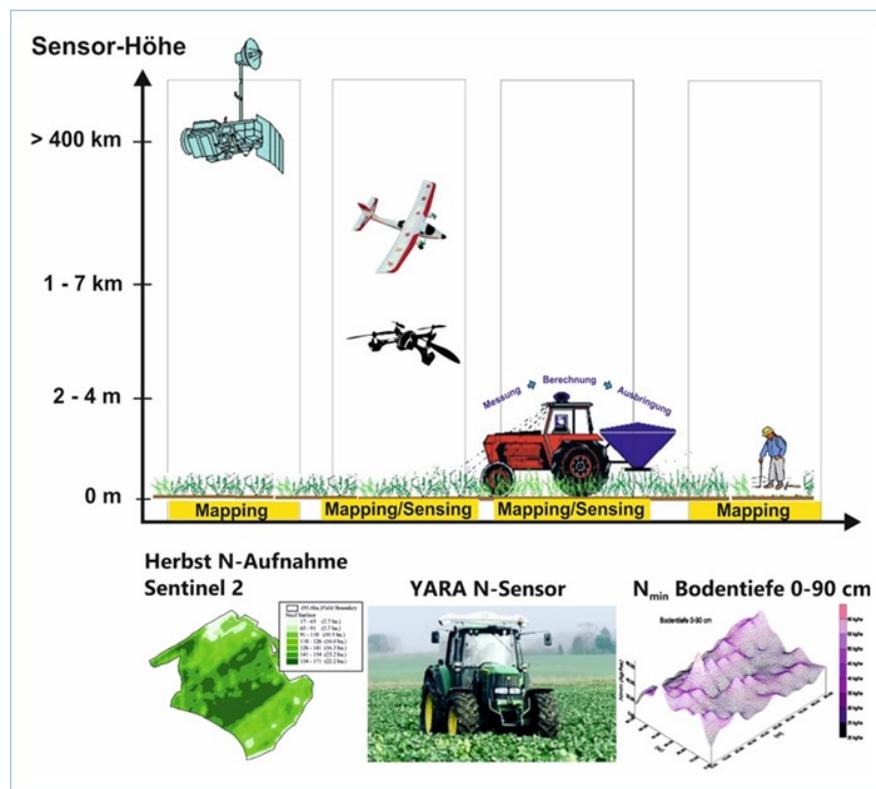




Rationalisierungs-Kuratorium
für Landwirtschaft

Düngung

Herbst N-Aufnahme als Indikator für die Frühjahrsdüngung bei Winterraps



Prof. Dr. Yves Reckleben

Abschlussbericht

Düngung – Herbst N-Aufnahme als Indikator für die Frühjahrsdüngung bei Winterraps

September 2020

Prof. Dr. Yves Reckleben

ist Lehrstuhlinhaber für das Fachgebiet Landtechnik in der Außenwirtschaft an der Fachhochschule Kiel – Fachbereich Agrarwirtschaft in Osterrönfeld

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

Herausgeber:

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

Albert Spreu

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

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

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

Inhalt	Seite
1. Einleitung	608
2. Stand des Wissens	609
2.1. Bestimmung der Aufgenommenen N-Menge im Herbst	610
2.1.1. Frischmassewiegung mit Rapool N-Waage	610
2.1.2. YARA IRIX (früher ImageIT) App zur optischen Bestandeskontrolle	611
2.1.3. N-Sensoren am Traktor zur teilflächenspezifischen Bestandeskontrolle	612
2.1.4. Satellitenbildsysteme zur Bestimmung der Biomasse und N-Aufnahme	612
2.2. Fazit technische Möglichkeiten zur Bestimmung der N-Aufnahme im Herbst	614
3. Ergebnisse	615
3.1. Ergebnisse anderer Studien zur Düngung von Winterraps.....	615
3.2. Unterschiede in der Herbst N-Aufnahme	618
3.3. Effekte der teilflächenspezifischen Variation der Frühjahrs N-Gabe.....	620
4. Schlussfolgerungen	623
5. Literatur.....	624

1. Einleitung

Die moderne zukunftsorientierte Landwirtschaft muss immer effizienter mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen umgehen, um sich am Weltmarkt und in der Gesellschaft behaupten zu können. Einflussgrößen auf Ertrag und Inhaltsstoffe (er)kennen und gezielt darauf reagieren, ist seit jeher das Prinzip der Landwirtschaft. Dies lässt sich im Rahmen der teilflächenspezifischen Produktion mehr und mehr in die Tat umsetzen.

Verschiedenartige Einflüsse wirken auf den Ertrag und die qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe (z.B. Protein-, Stärke- oder Öl-Gehalt) von Nutzpflanzen. Eine konstante, schlageinheitliche Bewirtschaftung führt zu einer bodenbedingten Heterogenität in Ertrag und Inhaltsstoffen, die je nach Witterung verstärkt oder abgeschwächt wird (Reckleben 2004). Eine gezielte teilflächenspezifische Applikation von Dünger, besonders bei der Stickstoffdüngung, führte in den letzten Jahren zu einer Verbesserung Nährstoffausnutzung und damit zu ausgeglichenen Nährstoffbilanzen. Eine bedarfsgerechte Ernährung der Kulturpflanzen und die damit verbundene Verbesserung der Nährstoffeffizienz – also der eingesetzten Nährstoffmenge in Bezug auf die Erntemenge – ist seit jeher das Anliegen einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion. Das notwendige Maß sichert den sorgsamen Umgang mit der Natur und eine verbesserte, ökonomisch tragfähige Produktion auch bei schwankenden Weltmarktpreisen.

Die gesellschaftliche Akzeptanz kann durch eine nachhaltige Produktion mit dem bewussten, sorgsamen Einsatz von Produktionsmitteln erreicht werden. Besonders die mineralische und organische Düngung befindet sich derzeit in einem Umbruchprozess. Die Neugestaltung der Düngeverordnung zum Mai 2020 und die damit verbundenen Auflagen zur schlagweisen Planung und Dokumentation sowie die Einhaltung von Höchstmengen sind wesentliche Bestandteile der gesetzlichen Auflagen, die es zu erfüllen gilt.

Als Einflussgrößen auf die Variabilität von Ertrag und Inhaltsstoffen werden neben dem genetischen Potential, der Saatstärke, der Boden, die Nährstoffversorgung und besonders die Stickstoffdüngung angesehen. Nachfolgend sollen an charakteristischen Beispielen Effekte verdeutlicht werden. Der Boden in seiner Eigenschaft als Einflussgröße auf Ertrag und Inhaltsstoffe ist nicht konstant. Zufällige – in zeitlicher und räumlicher Ausprägung - variable Ereignisse wie die Witterung können in einem Jahr positiv und im nächsten Jahr negativ wirken, bedingt durch die Heterogenität des Standortes.

Nachfolgend sollen die Ergebnisse von verschiedenen Untersuchungen dargestellt werden und der Frage nach der richtigen Intensität der Stickstoffdüngung im Frühjahr anhand von im Herbst gemessenen N-Aufnahmen anhand von Sensormessungen dargestellt werden.

2. Stand des Wissens

Die Anforderungen an eine wirtschaftlich erfolgreiche und gleichzeitig umweltgerechte N-Düngungsstrategie zu Winterraps werden in Zukunft deutlich steigen. Einerseits soll nach der Dünge VO die N-Bilanz im dreijährigen gleitenden Mittel den Grenzwert von 50 kg N/ha nicht überschreiten, eine Vorgabe, die in Fruchtfolgen mit Winterraps auch in gut geführten Ackerbaubetrieben ohne umfangreichen Einsatz organischer Dünger nicht immer erfüllt wird. Raps weist auf Grund seines vergleichbar geringen N-Entzuges mit dem Samen (ca. 134 kg N/ha bei einem Ertrag von 40 dt/ha) einen hohen Bilanzüberschuss auf und der Transfer dieses N-Überschusses in die übliche Folgefrucht Winterweizen gelingt häufig nur unvollständig (Sieling et al. 2012).

Versuche mit unterschiedlicher Herbst- und Frühjahrsdüngung in verschiedenen Teilen Deutschlands (SH, BW, MV und SA) zeigen, dass bei Raps eine zuverlässige Ertragsprognose in Folge großer jahres- oder witterungsbedingter Einflüsse nur schwer möglich ist. Daher können nur langjährige Ertragserfahrungen die Grundlage für eine ökonomisch und ökologisch belastbare N-Düngeempfehlung bilden. Die Stickstoffdüngung im Herbst ist durch die gültige Düngeverordnung erheblich eingeschränkt. Aber: in manchen Fällen ist eine Düngung erlaubt. So zum Beispiel zu Winterraps bis zum ersten Oktober, wenn die Aussaat bis zum 15. September erfolgt. Raps benötigt im Herbst einen guten Start. Langjährig organisch gedüngte Standorte liefern in der Regel gut nach und stellen dem Raps ausreichend Stickstoff zur Verfügung. Auch die Entwicklung der Vorfrucht und verbliebene Erntereste auf dem Feld sind zu berücksichtigen. Wie man sich auch entscheidet, es darf nicht mehr als 60 Kilogramm Gesamt-Stickstoff oder 30 Kilogramm Ammonium-Stickstoff gedüngt werden. Ausgenommen von diesen Obergrenzen sind Mist und Kompost. Begrenzend ist, was zuerst erreicht ist. Bei allen Düngemitteln ist der Gesamt-Stickstoffgehalt zu berücksichtigen. Das heißt, auch bei Gülle und Gärest dürfen im Herbst keine gasförmigen Verluste abgezogen werden.

Während eine Herbst-N-Gabe vornehmlich der Etablierung des Rapsbestandes und einer ausreichenden Vorwinterentwicklung dient, nimmt die N-Düngung im Frühjahr maßgeblich Einfluss auf:

- die Regeneration und Blattneubildung der Rapspflanzen,
- die Knospenbildung,
- die Reduktion der Seitenachsen,
- die Vermeidung eines vorzeitigen Abwerfens von Knospen und Blüten sowie
- die N-Speicherung in Blättern und Stängeln.

Bei der Frühjahrsdüngung unterscheidet man zwischen einer N-Startgabe und einer der sog. Ertragsdüngung. Die Höhe der N-Startgabe muss sich nach dem Saatzeitpunkt, der hiervon abhängigen Vorwinter-Entwicklung und somit der hiermit korrespondierenden N-Aufnahme im Herbst ausrichten. So können jahresabhängig im Zuge der Frühjahrsdüngung Zu- und Abschläge in Abhängigkeit von einer schwachen oder üppigen Herbstentwicklung berücksichtigt werden, da einem sehr gut entwickelten Rapsbestand unterstellt wird, dass er bereits im Herbst größere Mengen an Stickstoff aufgenommen hat, der zum Teil bei der Berechnung der Frühjahrsdüngung berücksichtigt werden muss (Mokry 2016).

1.1. Bestimmung der Aufgenommenen N-Menge im Herbst

Für eine bedarfsgerechte, effiziente Düngergabe im Frühjahr lohnt sich ein Blick in die Rapsbestände. Die Frage wie viel Stickstoff wurde im Herbst und im Frühjahr vom Bestand aufgenommen ist von großer Bedeutung um Düngergaben im kommenden Jahr besser planen zu können. Daher lohnt es sich, die Stickstoff-Aufnahme in den Rapsbeständen zu kontrollieren. Weder eine zu hohe Düngergabe noch eine zu geringe Gabe wirken sich positiv auf die Entwicklung des Bestandes und auf die Umwelt aus. Düngen man zu viel Stickstoff, kann der Bestand nicht alle Nährstoffe aufnehmen, sodass ein Teil in das Grundwasser ausgewaschen wird. Zudem verringert sich der Ölgehalt des Rapskorns. Der Bestand wird unter Umständen krankheitsanfälliger, verliert an Standfestigkeit und reift später ab. Eine zu geringe Stickstoff-Düngung kann sich wiederum negativ auf die Stängelbildung, den Schotenansatz und das Korngewicht auswirken.

1.1.1. Frischmassewiegung mit Rapool N-Waage

Bei dieser Methode ernten Sie an verschiedenen Stellen im Rapsfeld von einem Quadratmeter die Frischmasse und wiegen das Pflanzenmaterial.



Abbildung 1: N-Waage Rapool zur Wiegung von 1 m² Biomasse

Anhand des Gewichts (Abbildung 1) kann dann die aufgenommene Menge an Stickstoff bestimmt werden.

Ein normaler Rapsbestand bringt etwa ein Kilogramm Frischmasse pro Quadratmeter auf die Waage. Das entspricht einer aufgenommenen Stickstoffmenge von rund 50 Kilogramm pro Hektar. In diesem Fall wäre im Frühjahr eine normale Stickstoffgabe angemessen. Weicht das Gewicht jedoch von dem einen Kilogramm ab, dann hat der Bestand dementsprechend auch mehr oder weniger als 50 Kilogramm Stickstoff pro Hektar aufgenommen. 70 Prozent dieser Differenz wird dann auf die Düngung im Frühjahr angerechnet:

2 kg FM pro m² (entspricht 100 kg N/ha): Das sind 50 Kilogramm Stickstoff pro Hektar mehr als bei einem normalen Bestand. Somit können etwa 70 Prozent dieser Menge, also 35 Kilogramm Stickstoff pro Hektar, bei der Düngung im Frühjahr eingespart werden.

0,5 kg FM pro m² (entspricht 25 kg N/ha): Das sind 25 Kilogramm Stickstoff pro Hektar weniger als normal, somit können rund 70 Prozent dieser Menge auf die Frühjahrsdüngung angerechnet werden. In diesem Fall würde der schwächer entwickelte Raps einen Zuschlag von 17,5 kg N/ha erhalten.

Die eigenen Wiegeergebnisse der Rapsfrischmasse trägt man in den Rapool N-Rechner ein: <https://www.rapool.de/index.cfm/action/gauge.html>.

1.1.2. YARA IRIX (früher ImageIT) App zur optischen Bestandeskontrolle

Die Yara-App ImageIT – heute IRIX, liefert vergleichbare Ergebnisse. Das zeigen eigene Versuche der Fachhochschule Kiel am Fachbereich Agrarwirtschaft. Die

Messwerte der Versuchsserie in Schleswig-Holstein, bei beide Methoden (vgl. 1.1.1 und 1.1.2) auf über 30 Praxisschlägen von der Marsch über die Geest bis ins östliche Hügelland getestet und miteinander verglichen wurden. Anstatt die Frischmasse ernten und wiegen zu müssen, reicht es bei der App, den Rapsbestand ein paar Mal mit dem Smartphone zu fotografieren. Die App berechnet dann aus dem Bodenbedeckungs-grad die Frischmasse und daraus wiederum die bisherige Stickstoff-Aufnahme. Anschließend erhält man eine Empfehlung für die Stickstoff-Düngung.

1.1.3. N-Sensoren am Traktor zur teilflächenspezifischen Bestandes-kontrolle

Auch Pflanzensensoren für die Stickstoffdüngung (Greenseeker, Isaria oder YARA N-Sensor) können am Traktor montiert während der Überfahrt die Bestände und die Unterschiede im Reflexionsverhalten je nach Sensorsystem vor oder neben dem Traktor kontinuierlich erfassen.

Von N-Sensoren werden zum einen die einfallende Lichtmenge (Globalstrahlung) und zum anderen das vom Bestand reflektierte Licht erfasst (Reckleben 2014). Daraus können dann von der Lichtintensität unabhängige Reflexionsgrade errechnet werden. Die Reflexionsgrade geben Aufschluss über den Chlorophyllgehalt und die Photosynthese Aktivität, denn je mehr Pigmente im Blatt enthalten sind, desto größer ist der Absorptionsquerschnitt für die lichtabhängige Phase der Photosynthese. Die Absorptionsmaxima, der an der Lichtreaktion beteiligten Pigmente, liegen im blauen und roten Spektralbereich des sichtbaren Lichtes. Wenn dem sichtbaren weißen Licht blaue und rote Lichtanteile durch Absorption im Chloroplast entzogen werden, so bleibt die Komplementärfarbe grün zurück, woraus sich die Blattfärbung erklärt. Mit der Reflexion im sichtbaren Licht (450-700 nm) lassen sich die Pflanzenfarbstoffe, besonders Chlorophyll, bestimmen und im nahen Infrarotbereich (700-900 nm) die interzellulären Zwischenräume und Blattflächen (Biomasse).

1.1.4. Satellitenbildsysteme zur Bestimmung der Biomasse und N-Aufnahme

Diese Erdbeobachtungsmission der European Space Agency (ESA) besteht aus zwei baugleichen Umweltsatelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B, die getrennt voneinander gestartet und, um 180 Grad versetzt, in dieselbe Umlaufbahn eingebracht wurden. Alle fünf Tage decken beide Satelliten den weltweiten Zustand der Landoberflächen und ihrer Vegetation zwischen 84 Grad nördlicher und 56 Grad südlicher Breite ab.

Die Sentinel-2 Satelliten liefern optische Daten in hoher Auflösung, die als Grundlage für operationelle Dienste in den Bereichen Landwirtschaft (Landnutzung und -bedeckung, Ernteprognosen, Wasser- und Düngerbedarf), Forstwirtschaft (Bestandsdichte, Gesundheitszustand, Waldbrände), Überwachung von Gewässern, Raumplanung, und Katastrophenmanagement dienen. Zentrales Element von Sentinel-2 ist der Multispectral Imager (MSI) – das Auge des Umweltsatelliten. Die hochauflösende Kamera generiert optische Bilder im sichtbaren, nahen und kurzwelligen Infrarotbereich in 13 Spektralkanälen. Diese Kanäle liegen im Bereich vom sichtbaren Blau (440 Nanometer) bis zum kurzwelligen Infrarot (2190 Nanometer), mit einer Pixelauflösung von bis zu zehn Metern. Das Hightech-Werkzeug liefert kontinuierlich Aufnahmen in einem 290 km breiten Abtaststreifen. Die Kombination aus hochauflösenden Spektralkanälen, einem gigantischen Sichtfeld und einer regelmäßigen weltweiten Abdeckung alle zehn (Sentinel-2A) beziehungsweise fünf Tage (Sentinel-2A/B) ermöglicht neue Anwendungsperspektiven für Landoberflächen und Vegetation.

Ernteprognosen und Klimaszenarien

Die Multispektralkamera von Sentinel-2 verfügt über drei schmale Bänder im roten Spektralbereich, die andere Fernerkundungssatelliten nicht besitzen. Vegetation weist nämlich innerhalb eines Jahres einen typischen und sehr starken Anstieg der Reflexion vom roten zum nahen Infrarotbereich auf. Da die Veränderungen je nach Pflanzenart und Jahreszeit unterschiedlich stark ausgeprägt sind, lassen sich nicht nur Pflanzenarten unterscheiden und bestimmen, sondern auch deren Chlorophyll- und Blattwassergehalt und damit deren Gesundheitszustand. Dies wiederum erlaubt Rückschlüsse auf das Wachstum der Pflanzen und ermöglicht eine Verbesserung von Ernteprognosen. Sentinel-2 liefert aber auch Informationen über den Blattflächenindex. Das ist eine Schlüsselgröße für die Abschätzung der Biomasse und der damit verbundenen Verdunstungsrate und die Absorption von Kohlendioxid. Sie beschreibt den Einfluss von Vegetation auf die Abflussbildung. Wie viel Regenwasser Blätter abfangen hängt von der Art der Pflanzen, ihrer Dichte und der Jahreszeit ab. Davon wiederum hängt ab, wie viel Wasser den Boden erreicht oder vorher durch Verdunstung verloren geht.

1.2. Fazit technische Möglichkeiten zur Bestimmung der N-Aufnahme im Herbst

Die vorgestellten Systeme zur Bestimmung der Biomasse und aufgenommenen N-Menge im Herbst/Frühjahr unterscheiden sich methodisch, die punktuelle N_{min}-Probe und die Frischmasseschritte/Wiegungen mit der Rapool N-Waage sind die einzigen direkten Analysen. Die mineralische Stickstoffuntersuchung erfolgt im Labor mit zeitlichem Versatz zur Probenahme. Die Frischmassewiegung erfolgt im Feld und liefert enge Korrelationen zum N-Gehalt in der Pflanze, hier wäre ebenfalls eine Laboranalyse für eine direkte N-Bestimmung im Pflanzenmaterial notwendig. Die optischen Analysemethoden von der App bis zum Satelliten variieren in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Anwendung bis hin zu Sichtbedingungen, wie nachfolgende Tabelle verdeutlicht.

Tabelle 1: Vergleich der Systeme zur Bestimmung der N-Aufnahme in räumlicher und zeitlicher Auflösung (n. Reckleben 2014, ergänzt)

	N _{min} -Probe	N-Waage (Rapool)	IRIX früher Image IT (YARA)	N-Sensoren			Sentinel 2
				Green-seeker	Isaria	YARA N-Sensor	
Messfläche [m ²]	0.00056	1	0.5	2.44	1.44	7.4	100
Wiederholung (n)	-	3-4	4-20	∞	∞	∞	∞
Anteil der Messung am Gesamtbestand [%] *	-	-	-	10.2	6.0	30.8	100
Messhäufigkeit	vor Veg. Beginn	Herbst/ Frühjahr	Herbst/ Frühjahr	bei jeder Überfahrt			alle 3-5 Tage
* bei 24 m Fahrgassenweite							

Die Unterschiede (vgl. Tabelle 1) bei den eingesetzten Systemen liegen vor allem in der Anzahl der Messungen und der Messhäufigkeit. Während am Fahrzeug montierte Sensoren während der Überfahrt kontinuierlich die Messfläche Scannen, kommen die N-Waage und die IRIX (früher ImageIT) App bei jedem Messtermin auf relativ kleine Stichprobenumfänge. Sofern die Bewölkung einen fehlerfreien Blick in den Bestand ermöglicht haben die Satellitenbildsysteme die höchste räumliche und zeitliche Auflösung.

2. Ergebnisse

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse entstammen den Untersuchungen verschiedener Institutionen und den eigenen Erhebungen der letzten beiden Jahre auf verschiedenen Standorten in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen. Das Ziel die N-Effizienz bei der Rapsdüngung durch die Berücksichtigung der N-Aufnahme im Herbst zu steigern und damit die zugeführte N-Menge zu reduzieren ist ein wesentlicher Aspekt in der gesellschaftlichen Bewertung.

Dabei dürfen die Bewertungen nicht nur auf den Winterraps bezogen, sondern die gesamte Fruchtfolge betrachtet werden. Es sind die Vorgaben der Düngeverordnung (N-Salden ≤ 50 kg/ha) stets einzuhalten. Mehrjährige Versuche (2015-2018) der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern (Bull 2018) zeigen eine einfache Lösung besteht in einer Reduzierung der N-Düngung. Damit ist naturgemäß eine Erhöhung der N-Effizienz (Quotient aus N-Abfuhr und N-Düngung) und so die Reduzierung verbleibender N-Salden verbunden. Eine langfristige Erhöhung der N-Effizienz auf über 90 % erfolgt jedoch zulasten des Humusvorrates im Boden und ist deshalb genauso unerwünscht wie hohe N-Salden. Mit abnehmenden Humusgehalten wird langfristig das Ertragspotenzial des Standortes verringert, so dass diese Strategie bei N-Effizienzwerten > 90 % nicht nachhaltig ist.

Besonders beim Winterraps, der sich durch hohe N-Salden in der Fruchtfolge auszeichnet liegt der Schluss nahe, dass die aus dem Boden vor dem Winter aufgenommene N-Menge zu reduzierten N-Gaben im Frühjahr und damit zu einer verbesserten N-Effizienz beitragen und damit die Fruchtfolge im N-Saldo entlasten kann.

2.1. Ergebnisse anderer Studien zur Düngung von Winterraps

Zahlreiche Untersuchungen zeigen die Potentiale zur Reduktion der Düngermenge durch die Bestimmung der aufgenommenen N-Menge im Herbst (Sieling et al. 2009, 2012; Schliephake 2011; Sauermann 2015; Frahm et al. 2016; Mokry 2016).

Die Beziehung zwischen der Frischmasse im Herbst und der darin enthaltenen (dem Boden entzogenen) N-Menge ist linear, wie nachfolgende Abbildung zeigt.

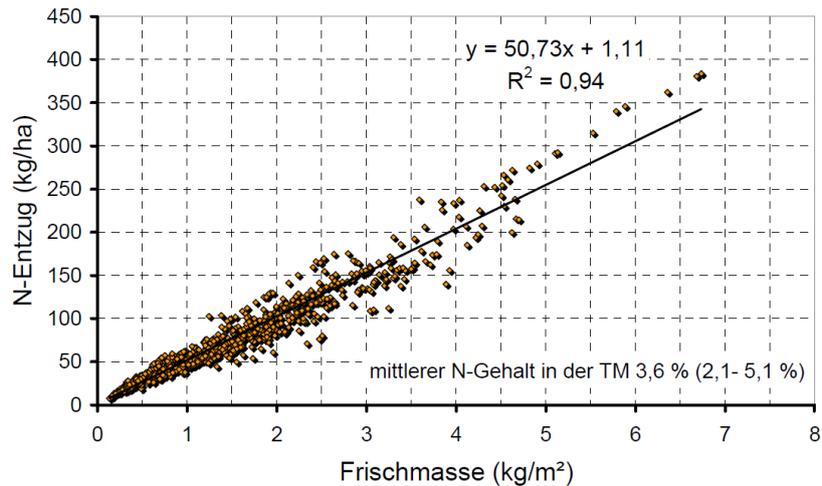


Abbildung 2: Beziehung zwischen Frischmasse [kg/m²] im Herbst und oberirdisch aufgenommener N-Menge [kg/ha] (Schliephake 2011)

Die Steigung der Regressionsgeraden für die Sächsischen Ergebnisse in Abbildung 2 beträgt etwa 51 kg entzogene Stickstoffmenge je Kilogramm Frischmasse. Andere Untersuchungen (vgl. Sieling et al. 2009) haben hier Steigungen von 45 kg ermittelt.

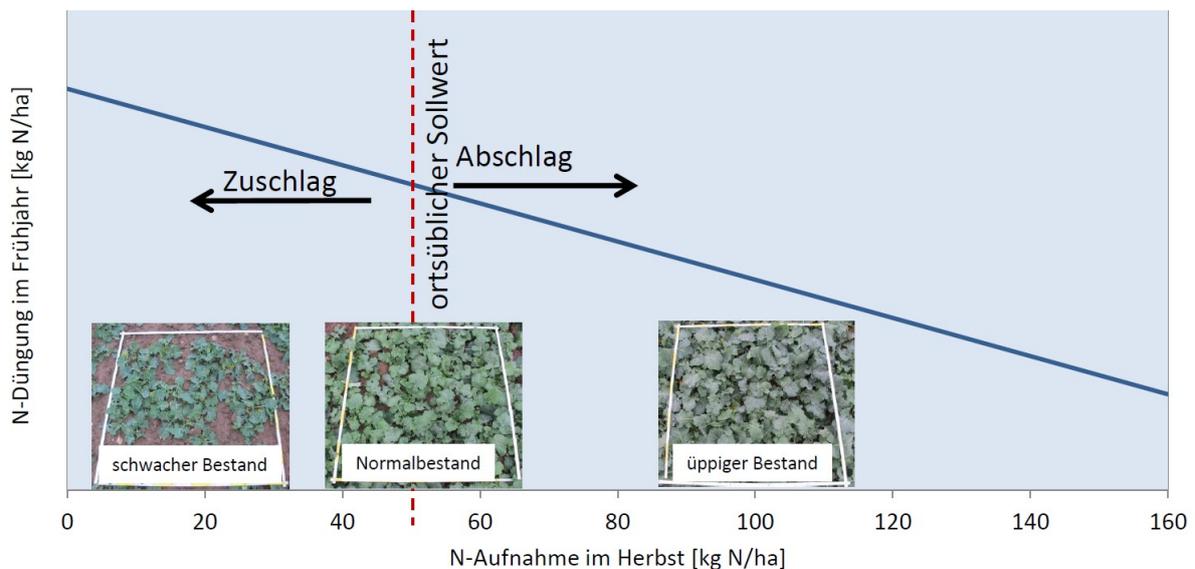


Abbildung 3: Korrektur der N-Gabe im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme im Herbst – Basiswert 50 kg N/ha für den Normalbestand, (Leborius 2016)

Ist der Bestand vor dem Winter normal entwickelt (1 kg FM/m²) hat er etwa 50 kg Stickstoff aufgenommen (vgl. Abbildung 2). Ist er üppiger entwickelt, so können im Frühjahr etwa 70 % der Differenz aus der aufgenommenen N-Menge im Herbst und dem Basiswert von der optimalen Düngermenge des Standortes abgezogen werden. Sollte der Bestand im Herbst schwächer entwickelt sein (vgl. Abbildung 3) dann muss siebzigprozentige Differenz im Frühjahr zur ortsüblichen Düngermenge addiert werden.

Die in Abbildung 3 dargestellten Zusammenhänge gilt es im Rahmen dieser Studie unter Praxisbedingungen zu überprüfen. Daher ist für die vorliegende Untersuchung die Frage nach der geeigneten Technik zur Bestimmung der Bestandesentwicklung/der oberirdischen Biomasse im Herbst von großer Bedeutung. Die in Kapitel 1.2 dargestellte Tabelle 1 zeigt die für die Praxis wichtigen Zusammenhänge bezogen auf Stichprobenumfang und Repräsentativität von verschiedenen Messsystemen.

Die geltenden gesetzlichen Vorgaben fordern für die schlagspezifische Düngeplanung einen ortsüblichen Ertrag für die Kultur/Fruchtfolge als Ziel zu formulieren und hierfür die ortsübliche Düngermenge festzulegen. Die ortsübliche Düngermenge ist dabei abhängig vom Aussattermin, vom Standort, der Fruchtfolge und dem Zieldertrag. Zusätzlich ist die N_{\min} -Menge (0-90 cm) im Boden zum Vegetationsbeginn im Frühjahr zu bestimmen – oder für die Region typische Annahmen (der Officialberatung) – und von der ortsüblichen Düngermenge abzuziehen.

Die Biomasse im Herbst vor der Bestandesruhe zu erfassen kann mit verschiedenen Werkzeugen erfolgen wie die in Kapitel 1.2 dargestellte Tabelle 1 zeigt.

Im Rahmen dieser Untersuchung sollen die gängigen Systeme YARA N-Sensor (YNS) und das Sentinel 2 Satellitenbildsystem verglichen werden. Grundsätzlich arbeiten beide reflexionsoptisch und berührungslos. Der Zusammenhang zwischen der gemessenen Biomasse und der aufgenommenen N-Menge ist in der nachfolgenden Abbildung

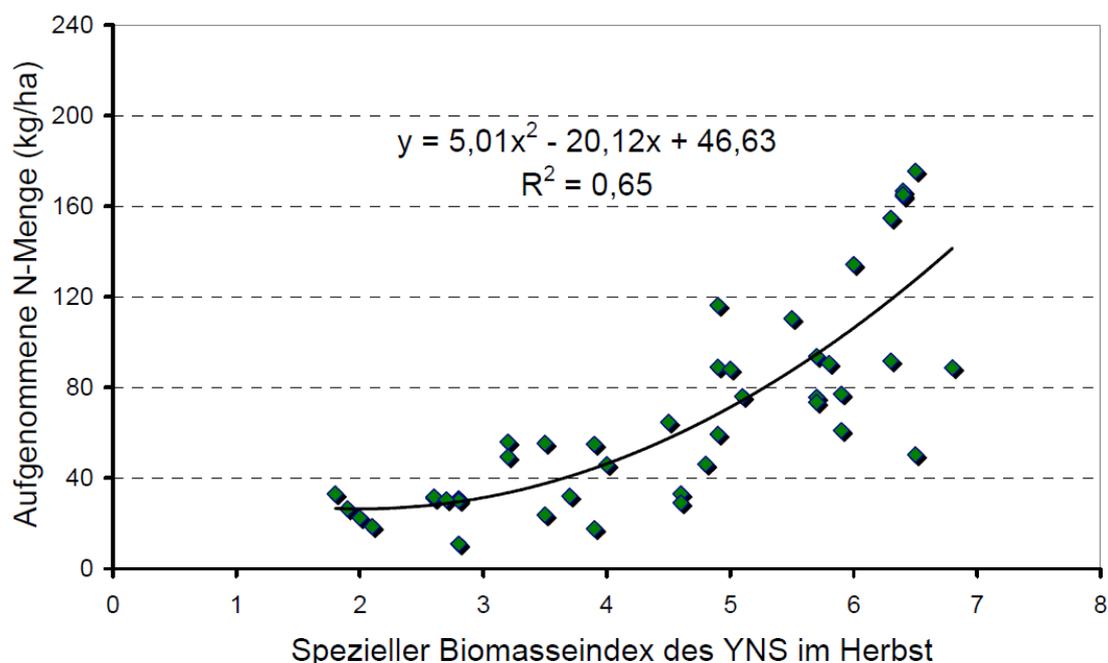


Abbildung 4: Beziehung zwischen dem Biomasseindex und der in der oberirdischen Biomasse ermittelten Stickstoffmenge (Schliephake 2011)

Der in Abbildung 4 dargestellte Biomasseindex des YNS im Herbst reicht 1,8 bis 7,0. Dabei ist 1,8 ein schwacher Bestand der weniger als 40 kg N/ha aufgenommen hat und 7,0 ein üppiger Bestand, der schon bis zu 170 kg N/ha aufgenommen hat. Die Abbildung zeigt, dass kein linearer Zusammenhang gemessen wurde und die Streuung bei einzelnen Biomasseindexwerten in der N-Aufnahme recht groß ist. Das Bestimmtheitsmaß des Zusammenhangs zeigt, dass 65 % der N-Aufnahme im Herbst durch die Biomasse abgebildet werden können. Die Streuung kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst sein wie Schliephake 2011 anmerkt. Hierbei sind vor allem Bestandesunterschiede durch verschiedene Bodeneigenschaften bedingt. Außerdem werden bei der Messung mit dem YNS erfassten Messflächen mit punktuellen Pflanzenschnitte in Beziehung gesetzt. Die in Tabelle 1 dargestellte Messfläche von 7,4 m² wird hier mit einer kleineren (meist 0,5 bis 1 m²) ganzflächig abgeernteten Fläche verglichen.

2.2. Unterschiede in der Herbst N-Aufnahme

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen wurden verschiedene Praxisflächen in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen betrachtet, bei denen alle gleichermaßen mit YNS und Sentinel 2 Messungen durchgeführt werden konnten und zusätzlich Vor-Ort Bonituren mit der N-Waage und der IRIX App durchgeführt wurden.

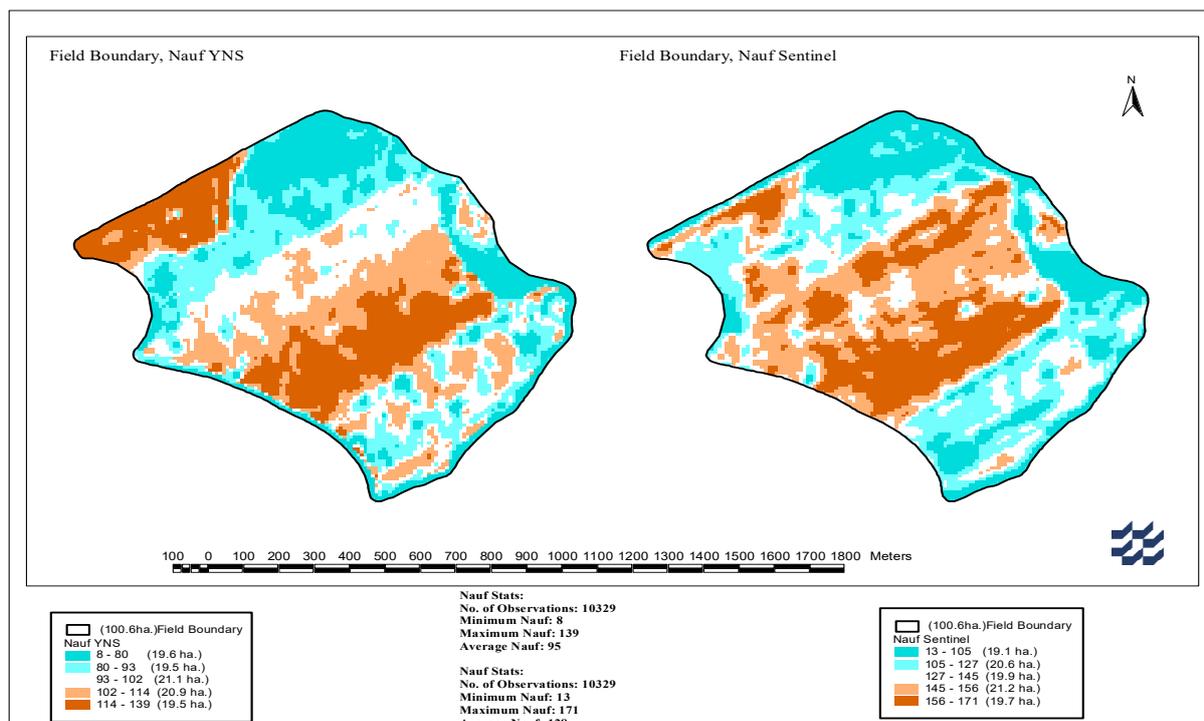


Abbildung 5: Systemvergleich YNS und Sentinel 2 zur Bestimmung der Herbst N-Aufnahme einer Praxisfläche

Die dargestellten Beispielflächen zeigen mit beiden Systemen zur Herbst N-Aufnahmebestimmung einen ähnlichen Trend. Die schlagspezifischen Zonen hohe und niedrige N-Aufnahmen werden in ähnlicher Weise erfasst, einzig die die Detailschärfe in den einzelnen Teilflächen ist unterschiedlich. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) ist bei der linearen Regression mit 77 % recht hoch. Die fehlenden 23 % sind aufgrund der unterschiedlich Erfassungsgenauigkeit (vgl. *Tabelle 1*) bedingt. Die geringeren Anteile in der erfassten Gesamtfläche beim YNS bedingen hier eine größere Ungenauigkeit in der Prognose der aufgenommenen N-Mengen (vgl. (Schliephake 2011))

Die nachfolgende Tabelle zeigt das Ergebnis der in Abbildung 5 dargestellten grafischen Auswertung.

Tabelle 2: Ergebnisse der deskriptiven statistischen Analyse der Beispielfläche in Abbildung 5

	N-Aufnahme [kgN/ha]	
	<i>Sentinel 2</i>	<i>YNS</i>
$\bar{\emptyset}$	128	95
σ	31.77	20.36
VK [%]	24.82	21.43
R^2	0.77	
Steigung	0.48	
Max.	171	139
Min.	13	8

Die gemessenen N-Aufnahmeraten im Herbst beeinflussen die im Frühjahr zu düngende N-Menge, wie die nachfolgende *Tabelle 3* zeigt.

Tabelle 3: Unterschiede in der Frühjahrsdüngermenge [kg N/ha] aufgrund der unterschiedlichen N-Aufnahmeraten im Herbst

	Bestand			
	<i>schwach</i>	<i>gut</i>	<i>sehr gut</i>	<i>üppig</i>
errechneter Stickstoffbedarf [kg/ha]*	200	200	200	200
<i>N_{min} (0-90 cm) [kg/ha]</i>	20	20	20	20
N-Düngebedarf [kg/ha]	180	180	180	180
gemessene N-Aufnahme im Herbst [kg/ha]	25	50	100	150
<i>Zuschlag(+)/Abschlag (-) auf N-Düngebedarf im Frühjahr[kg/ha]</i>	17.5	0	-35	-70
Streumenge [kg/ha]	197.5	180	145	110

* für 40 dt/ha

Der errechnete Stickstoffbedarf in Abhängigkeit von der Ertragserwartung (in dem Beispiel 40 dt/ha) von 200 kg/ha wird um die gemessene N_{\min} Menge im Boden reduziert. Der daraus resultierende Stickstoff Düngebedarf wird dann durch einen Zu-/Abschlag korrigiert, der sich aus der im Herbst gemessenen N-Aufnahme errechnet. Ein im Herbst gut versorgter Bestand hat im Durchschnitt 50 kg N/ha aufgenommen hier beträgt der Zu-/Abschlag 0 kg N/ha. Mit höheren Aufnahmeraten (vgl. *Tabelle 3*) werden diese abzüglich der durchschnittlichen 50 kg N gerechnet. Also bei einem sehr gut versorgten Bestand 100 kg N-Aufnahme – 50 kg N-Aufnahme im Normalbestand die im Ergebnis erhaltenen 50 kg N/ha werden zu 70 % im Frühjahr angerechnet, also kann der zu düngende Wert um 35 kg Stickstoff pro Hektar reduziert werden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass bei einem im Herbst schwach versorgten Bestand im Frühjahr 17,5 kg N/ha mehr als der errechnete Düngebedarf ausgebracht werden dürfen. Das bedingt einen Mehraufwand in schwächer versorgten Beständen und eine Einsparung in sehr gut (-35 kgN/ha) oder üppig (-70 kg N/ha) versorgten Beständen.

2.3. Effekte der teilflächenspezifischen Variation der Frühjahrs N-Gabe

Die Effekte einer teilflächenspezifisch variierenden N-Nachlieferung und damit N-Aufnahme im Herbst können so in der Betrachtung zu einer teilflächenspezifischen Anpassung der Düngeintensität im Frühjahr führen, wie nachfolgende Abbildung veranschaulicht.

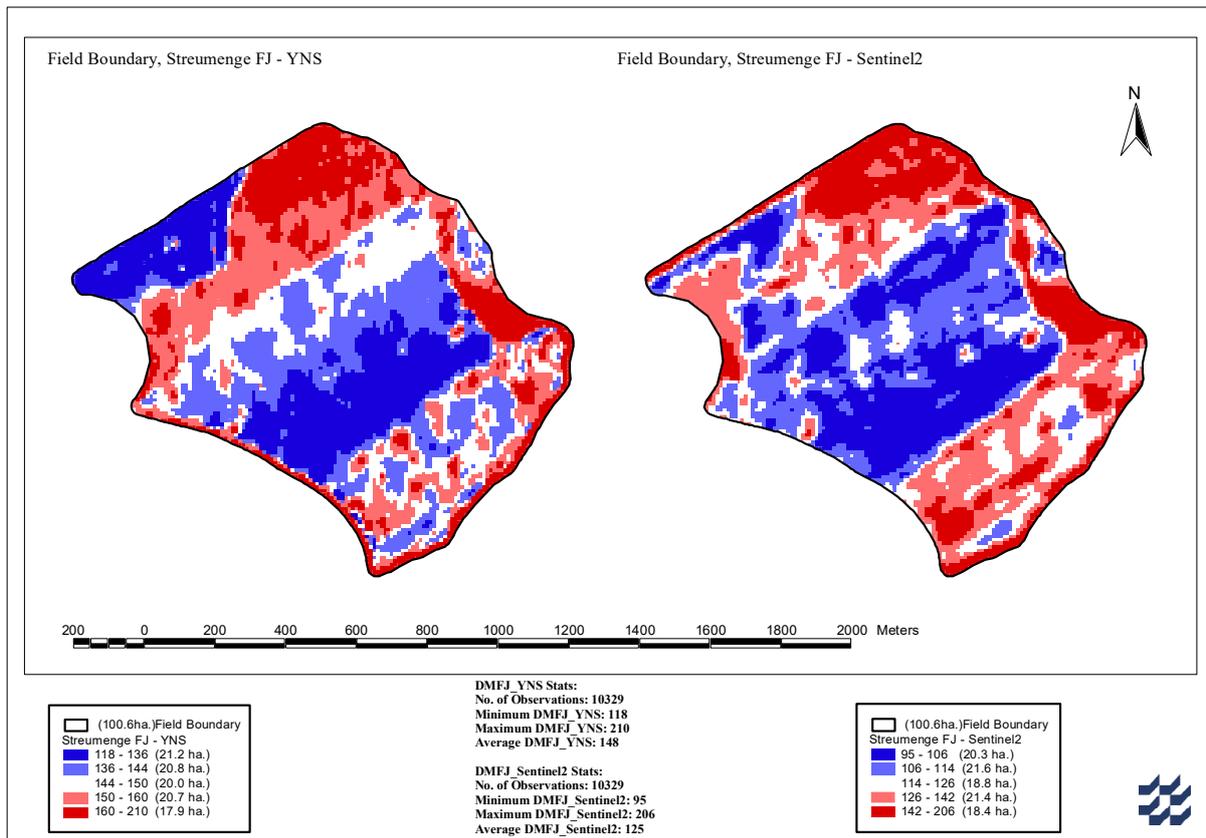


Abbildung 6: Teilflächenspezifische Variation der Streumengen im Frühjahr – in Abhängigkeit von der Herbst N-Aufnahme, mit verschiedenen Messsystemen erfasst

Die mittleren im Frühjahr ausgebrachten Stickstoffmengen unterscheiden sich. Der Yara N-Sensor (YNS) hat im Mittel 148 kg N ausgebracht also 32 kg Stickstoff weniger als der Durchschnittsbestand (vgl. *Tabelle 3*). Die mittlere ausgebrachte N-Menge mit der Sentinel 2 Bemessung der Herbst N-Aufnahme hat aufgrund der ganzflächigen Erfassung des Bestandes die Teilflächen kleinräumiger differenziert betrachtet und zu niedrigeren Ausbringmengen geführt – diese lagen im Mittel auf dem betrachteten Beispielschlag bei 125 kg N/ha – also 55 kg Stickstoff weniger als die durchschnittliche Streumenge im gut entwickelten Bestand.

Die Häufigkeitsverteilungen der ausgebrachten Stickstoffmengen im Frühjahr sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

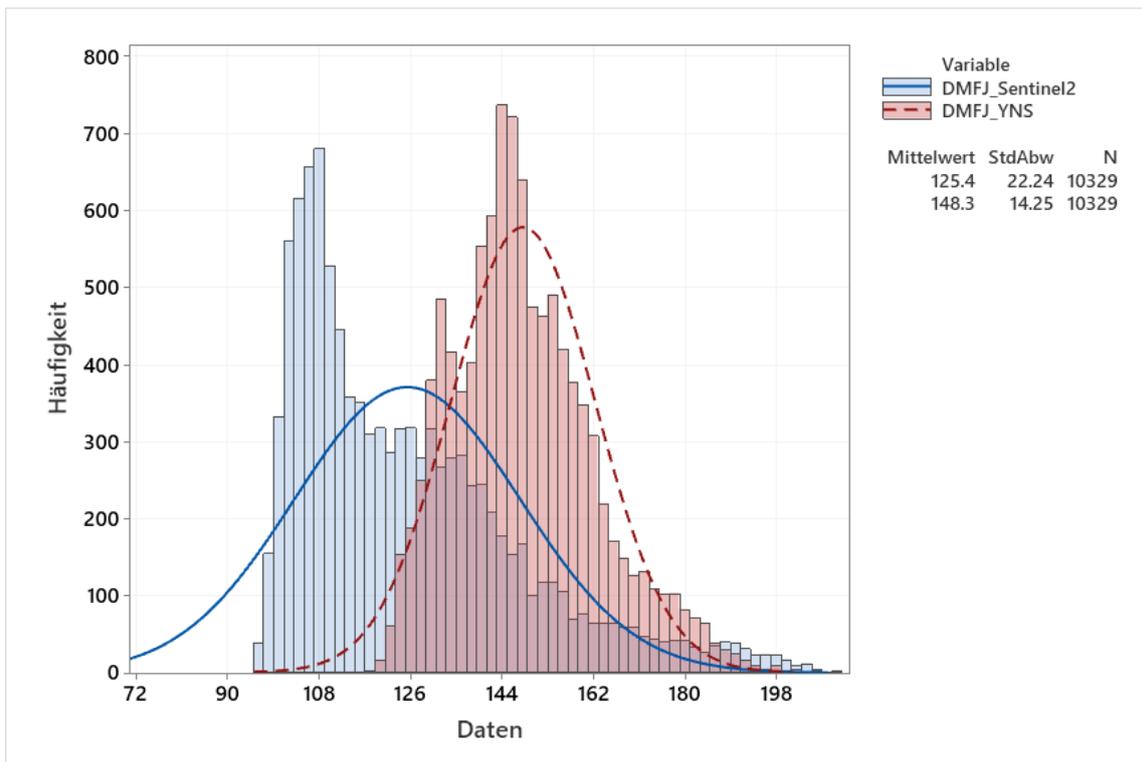


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der ausgebrachten Stickstoff-Mengen im Frühjahr beider Messsysteme zur Herbst N-Aufnahme

Die Häufigkeitsverteilungen sind als Normalverteilung dargestellt. Es zeigt sich beim YNS, dass die Häufigkeitsverteilung fast normalverteilt ist und er Mittelwert von 148 Kg N/ha mit einer Standardabweichung von 14,25 leicht linksgipfelig ist. Die Sentinel 2 Verteilung ist ebenfalls (in blau) auf eine Normalverteilung abgetragen. Es fällt auf, dass eine Vielzahl von Messwerten links vom Mittelwert (125 kg N/ha) liegt und die Standardabweichung mit 22,24 höher ist. Es bleibt aber festzustellen, dass nur eine Fläche von 10 bis 12 ha von der Gesamtfläche (100,6 ha) mit der berechneten N-Menge für den Normalbestand gedüngt wurde. Die verbleibenden 88 bis 90 % der Fläche wurden reduziert gedüngt, was zu einer erheblichen Mineraldüngereinsparung geführt hat.

Im Ertrag haben sich in den betrachteten Jahren und auf den Versuchsstandorten dieser Untersuchung durch die reduzierte Frühjahrs-Stickstoffdüngung keine schlechteren Ergebnisse gezeigt. Damit sind die Einsparungen an Mineraldünger als viel relevanter für die Ökonomie und vor allem die Ökologie zu erachten.

2.4. Schlussfolgerungen

Die teilflächenspezifische Anpassung der Stickstoff Düngermenge im Frühjahr zu Winterraps stellt eine Möglichkeit dar, die N-Effizienz zu steigern und mineralischen Dünger effizienter einzusetzen. Dabei spielt die aufgenommene Stickstoffmenge im Herbst eine wesentliche Rolle. Die Bestimmung der aufgenommenen N-Menge kann auf verschiedene Weise erfolgen – durch direkte Bestimmung oder durch indirekte berührungslose Systeme mit reflexionsoptischen Sensoren am Traktor (YNS) oder am Satellit (Sentinel 2). Untersuchungen von (Sieling et al. 2009, 2012; Schliephake 2011; Leborius 2016) zeigen allesamt, dass erhebliche Unterschiede in der Herbstentwicklung zu einer deutlichen Einsparung an ausgebrachtem mineralischem Stickstoff im Frühjahr führen.

Das konnte in eigenen Erhebungen ebenfalls bestätigt werden. Die in dieser Schrift dargestellte Beispielfläche von 100,6 ha konnte auf rund 90 Prozent der Gesamtfläche mit weniger Stickstoff als der errechneten Düngemenge versorgt werden. Die Einsparungen betragen zwischen 20 und 90 kg Stickstoff bezogen auf die im durchschnittlichen Bestand zu applizierenden 180 kg N/ha. Diese Einsparung rechtfertigt schnell den Mehraufwand für Satellitenbild oder YARA N-Sensor, aber auch die IRIX-App oder die oberflächige Verwiegung der oberirdischen Biomasse vor Winter ist bei diesem Ergebnis allemal gerechtfertigt. Im Rahmen dieser Erhebung wurden auf insgesamt 736 ha Winterraps in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen mehrjähriger Versuche zur Bewertung der Fragestellung angelegt und ausgewertet. Alle Ergebnisse bestätigen den in dieser Schrift dargestellten Trend.

Die in den eigenen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse belegen deutlich, dass jede Form (punktuelle oder ganzflächig) der Bestimmung der aufgenommenen N-Menge im Herbst zu einer deutlichen Reduzierung der mineralischen Frühjahrsdüngung führt. Mit zunehmenden Stichprobenumfang bzw. mehr Messfläche an der Gesamtfläche nimmt die Genauigkeit zu. Besonders die satellitenbildbasierte Auswertung der Sentinel 2 Daten hat zu einer deutlich differenzierteren Betrachtung der einzelnen Teilflächen beigetragen. Der entscheidende Vorteil dieser Herangehensweise liegt auf der Hand, denn durch die kontinuierliche Satellitenbildauswertung im 3 bis 5 tägigen Rhythmus führt zu einer hohen Messwertdichte, die auch eine kontinuierliche Betrachtung der Bestandesentwicklung unter nassen Befahrbarkeitsbedingungen oder im späteren Vergetationsverlauf möglich macht und damit die Ertragsprognose ermöglicht.

3. Literatur

- Bull, I. 2018. Fruchtfolge erweitern oder Düngung reduzieren – Was bringt das für die N-Bilanz? Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Gülzow-Prüzen.
- Frahm, A., F. Köslin-Findeklee, and F. Antony. 2016. Wie viel Stickstoff braucht Raps wirklich? *Bauernblatt Schleswig-Holstein* (4. Juni): 36–38.
- Leborius, K. 2016. *Teilflächenspezifische Anwendung N-stabiler Dünger im Raps auf Grundlage biomasseabhängiger N-Bedarfsermittlung im Herbst*, Lutherstadt Wittenberg, 2016. <https://www.duengerfuchs.de/>. Accessed 16 July 2020.
- Mokry, M. 2016. *Düngung zu Winterraps. Überprüfung der N-Düngung in mehrjährigen Feldversuchen*. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).
- Reckleben, Y. 2004. Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. VDI-MEG (424).
- Reckleben, Y. 2014. Sensoren für die Stickstoffdüngung - Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz. *Journal für Kulturpflanzen* 66 (2): 42–47. doi: 10.5073/JFK.2014.02.02.
- Sauermann, W. 2015. Raps: Stickstoff düngen nach Frischmasse - Aus-dem-heft - Acker - top agrar online - Nachrichten und Preise für die Landwirtschaft. *topagraronline* 28.10.: 1–3.
- Schliephake, W. 2011. *Anforderungen an eine teilschlagspezifische N-Düngung unter besonderer Berücksichtigung einer umweltorientierten Nährstoffversorgung auf trockenen Standorten*. Abschlussbericht DBU (AZ25389-34). Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).
- Sieling, K., W. Sauermann, and H. Kage. 2009. Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial. Abschlussbericht, CAU Kiel, Kiel. Accessed 12 July 2020.
- Sieling, K., W. Sauermann, and H. Kage. 2012. *Wie lässt sich die N-Düngung zu Winterraps optimieren?* Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU, Kiel.