



UFOP-SCHRIFTEN | AGRAR

# ABSCHLUSSBERICHT

Steigerung der N-Effizienz im Rapsanbau  
durch präzise Stickstoffdüngung

## Autoren

M.Sc. Josephine Bukowiecki, Dr. Klaus Sieling, Prof. Dr. Henning Kage  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



# **Steigerung der N-Effizienz im Rapsanbau durch präzise Stickstoffdüngung**

## **Abschlussbericht**

**für die**

**Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V.**

M.Sc. Josephine Bukowiecki

Dr. Klaus Sieling

Prof. Dr. Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Acker- und Pflanzenbau

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel

E-Mail: [bukowiecki@pflanzenbau.uni-kiel.de](mailto:bukowiecki@pflanzenbau.uni-kiel.de)

[kage@pflanzenbau.uni-kiel.de](mailto:kage@pflanzenbau.uni-kiel.de)

Tel.: 0431/880-4398

Kiel im März 2021

## Inhalt

0. Zusammenfassung.....	2
1. Einleitung.....	3
2. Material und Methoden .....	4
2.1. Standorte & Versuchsanlagen .....	4
2.2. Fernerkundungsdaten .....	4
2.3. Kalibration der Drohnendaten auf die vorwinterliche N-Aufnahme .....	5
2.4. Drohnenbasierte Düngeversuche.....	5
2.5. Vergleichende Betrachtung von Drohnen- und Satellitendaten .....	6
2.6. Verwendete Daten & Statistische Auswertung.....	7
3. Ergebnisse & Diskussion .....	8
3.1. Kalibration der Drohnendaten auf die vorwinterliche N-Aufnahme .....	8
3.2. Drohnenbasierte Düngeversuche.....	8
3.3. Vergleichende Betrachtung von Drohnen- und Satellitendaten .....	10
3.3.1. Informationsgehalt .....	10
3.3.2. Datenverfügbarkeit .....	10
3.4. Öffentlichkeitsarbeit.....	12
4. Abschlussbemerkung.....	12
5. Quellen .....	13
6. Publikationen.....	13

## 0. Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war es, mittels Drohnen ermittelter Spektraldaten einen bereits vorliegenden Algorithmus zur Steigerung der N-Effizienz durch teilflächenspezifische Düngung von Raps in der Praxis anzuwenden. Weiterhin sollten Verfahren der drohnen- und satellitengestützten Datenerhebung hinsichtlich der witterungsbedingten Einschränkungen bei der Datenbereitstellung und der Informationsgüte der gelieferten Daten miteinander verglichen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass drohnenbasierte Multispektraldaten auf die N-Menge in Winterrapsbeständen kalibriert werden können und dass diese Kalibration genutzt werden kann, um die vorwinterliche N-Aufnahme auf Betriebsschlägen zu kartieren. Darauf aufbauend wurden auf mehreren Betriebsschlägen teilflächenspezifische Düngeversuche angelegt, die den Nutzen der Drohnen- und die Wirksamkeit des teilflächenspezifischen N-Algorithmus in der Praxis bestätigten. Zudem wurden Probleme der satellitenbasierten Datenerhebung aufgezeigt, sowohl im Hinblick auf den Informationsgehalt der generierten N-Karten wie auch auf die Datenverfügbarkeit.

## 1. Einleitung

Das Projekt 'Steigerung der N-Effizienz im Rapsanbau durch präzise Stickstoffdüngung' hatte zum Ziel, die Nutzung von Fernerkundungsdaten für eine teilflächenspezifische N-Düngung von Winterraps unter Praxisbedingungen mittels eines bereits bestehenden Düngelgorithmus' zu bewerten. Es wurde erwartet, dass hierdurch ein Potential zur Verbesserung der N-Effizienz im Winterrapsanbau demonstriert und somit die Attraktivität des Rapsanbaus erhöht werden kann. Insbesondere vor dem Hintergrund der neuen Düngeverordnung und der Ausweisung roter Gebiete ist dies bei der für seine problematischen N-Salden und hohen N-Bedarf bekannten Kultur (Henke et al. 2007, Ziesemer et al. 2017) von hohem Interesse.

Ausgangspunkt der Arbeiten waren umfangreiche Vorarbeiten der Abteilung Acker- und Pflanzenbau des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: Nach der erfolgreichen Einführung eines Systems der Stickstoffdüngung im Raps in Frankreich, das auf der Berücksichtigung der N-Aufnahme vor der ersten N-Gabe basiert, wurden in den Jahren 2005-2009 im Rahmen eines UFOP-Projektes (*Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial*) die dem zugrunde liegenden Mechanismen näher untersucht. Es wurde demonstriert, dass auch unter deutschen Bedingungen die enge Korrelation der vorwinterlichen Herbst-N-Aufnahme mit der optimalen Düngemenge eine schlag- und jahresspezifische Düngeanpassung ermöglicht (Sieling et al. 2009). Hierdurch waren z.T. deutliche N-Einsparungen ohne Ertragsreduktion möglich. N-Aufnahme und N<sub>min</sub> im Frühjahr korrelierten hingegen schwächer bzw. gar nicht mit der optimalen N-Düngemenge.

Im Rahmen mehrerer Folgeprojekte wurde gezeigt, dass eine nicht-destruktive Erhebung der N-Aufnahme mittels spektraler Daten teilflächenspezifisch möglich ist (Müller et al. 2008) und diese mittels traktor-basierter Messungen flächenhaft bereitgestellt werden können (Pahlmann et al. 2017). Zudem wurde ein teilflächenspezifischer Düngelgorithmus entwickelt, um neben einer jahres- und schlagspezifischen Anpassung auch kleinräumige Unterschiede innerhalb eines Schlags in der Düngeplanung berücksichtigen zu können (Pahlmann et al. 2017).

Gerade im fraglichen Vorwinter-Zeitraum ist die für diesen Düngeansatz nötige Datenerhebung jedoch schwierig. Flächenleistung und Befahrbarkeit schränken den Einsatz traktor-basierter Technik ein. Die derzeitige rapide Entwicklung im Bereich der Fernerkundung hat das Potential, diese Datenlücke zu schließen. Es stellt sich jedoch die Frage nach Aussagekraft und Anwendbarkeit der derzeit auf dem Markt verfügbaren Drohnentechnik und der von der ESA kostenlos zur Verfügung gestellten Satellitenbilder (Sentinel-2). In einem Vorgängerprojekt von 2017-2020 (*Steigerung der N-Effizienz im Ackerbau durch sensor- und*

*modellgestützte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung*) wurde bereits wertvolle Vorarbeit geleistet, an die im Rahmen dieses Projektes in den Jahren 2020-2021 angeknüpft wurde.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Standorte & Versuchsanlagen

In den Vorwinterzeiträumen 2017 und 2018 erfolgten in Parzellenversuchen auf dem Versuchsgut Hohenschulen umfangreiche Beprobungen zu Kalibration der Drohnen Daten. Um eine möglichst große Variation in der N-Aufnahme zu erfassen, wurden Saatzeitpunkt und Herbst-N-Gabe variiert. Zusätzlich erfolgten im Herbst 2017, 2018 und 2019 Arbeiten auf insgesamt 13 Betriebsschlägen in ganz Schleswig-Holstein (Abb.1).

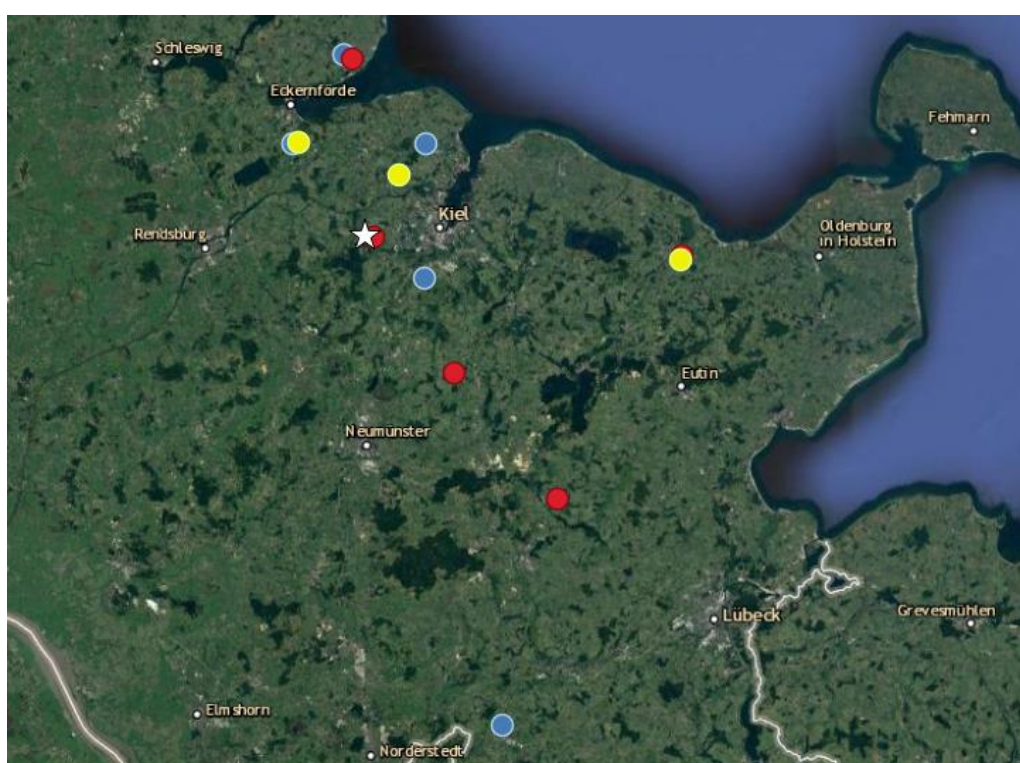


Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte (weiß: Versuchsgut Hohenschulen, blau: Betriebsschläge 2017/18, gelb: Betriebsschläge 2018/19, rot: Betriebsschläge 2019/20)

### 2.2. Fernerkundungsdaten

Eine eBee+-Drohne (senseFly) diente als Trägersystem für eine Parrot Sequoia Kamera (Parrot Drones SAS, Frankreich, Paris). Diese Multispektralkamera erfasste die Reflektion in vier Bändern: Grün (550 nm), Rot (660 nm), Red Edge (735 nm) und Nahem Infrarot (NIR, 790 nm). Die erfasste Auflösung variierte je nach Flughöhe und betrug bei den Parzellenversuchen 8 cm x 8 cm (~80 m Flughöhe) und bei den Betriebsschlägen 12 cm x 12 cm (~100 m Flughöhe). Die Bilder wurden nach den jeweiligen Befliegungen mit dem Programm eMotion 3 vorverarbeitet und anschließend mit der Software Pix4Dmapper (Pix4D SA., Switzerland)

prozessiert und zu Orthogonalkarten zusammengefügt. Mittels RINEX-Dateien wurden die Karten dabei georeferenziert.

Die verwendeten Sentinel-2-Daten wurden kostenlos vom Sentinel Hub EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>) heruntergeladen. Das gewählte Format waren L2A-Produkte (um atmosphärische Effekte korrigiert) in den Bändern Grün (B3: 560 nm, Auflösung: 10 m x 10 m), Rot (B4: 665 nm, Auflösung: 10 m x 10 m), Red Edge (B6: 740 nm, Auflösung: 20 m x 20 m) und NIR (B8: 842 nm, Auflösung: 10 m x 10 m).

### 2.3. Kalibration der Drohrendaten auf die vorwinterliche N-Aufnahme

An jedem Beprobungstermin (insg. 22 Termine) erfolgte vor und nach der Probenahme eine Drohnenbefliegung. Der zweite Flug diente dabei der Verortung der Probenahmestellen innerhalb des Schlags, so dass die Spektraldaten des ersten Fluges möglichst exakt extrahiert werden konnten. Die beprobten Referenzstellen umfassten jeweils 1 m<sup>2</sup>. Die entnommene Frischmasse wurde getrocknet, verwogen und ihre N-Konzentration bestimmt.

Die destruktiv bestimmten N-Mengen wurden über die Berechnung von Vegetationsindizes mit den Reflexionswerten der jeweiligen Beprobungsstelle in Verbindung gebracht. Die Daten von 2017 und 2018 dienten hierbei der Kalibration, während die Daten von 2019 zur Evaluation genutzt wurden.

### 2.4. Drohnenbasierte Düngeversuche

Das Versuchsdesign für die Praxisversuche umfasste in vierfacher Wiederholung drei Düngevarianten (Abb. 2): einheitlich betriebsüblich, einheitlich angepasst und teilflächenspezifisch angepasst. Die 12 genutzten Fahrgassen waren jeweils mindestens 180 m lang. Die N-Variation erfolgte in der 2. N-Gabe und wurde in flüssiger, mineralischer Form ausgebracht. Die Höhe der betriebsüblichen Gabe wurde in Absprache mit den Betrieben und entsprechend der DüV festgelegt. Die Teilflächendüngung wurde entsprechend des teilflächenspezifischen Düngealgorithmus von Pahlmann et al. (2017) und den im Herbst drohnenbasiert erfassten N-Aufnahmekarten berechnet und variierte in 3 m-Abständen entlang der Fahrtrichtung. In der einheitlich angepassten Variante wurde der Mittelwert der teilflächenspezifischen Empfehlung ausgebracht. Das dient zum einen der Kontrolle, ob die beobachteten Unterschiede zwischen den beiden anderen Varianten tatsächlich der teilflächenspezifischen Ausbringung oder aber nur der veränderten N-Mengen zuzuschreiben sind. Zum anderen kann die flächenhaft angepasste N-Düngung als Modell dafür betrachtet werden, wie in der Praxis auch ohne Teilflächentechnik auf großflächigere Unterschiede in der Bestandesentwicklung reagiert werden kann, etwa in Senken/auf Kuppen oder in einzelnen Fahrgassen. Zur Ernte wurden die Streifen einzeln gedroschen, der Ertrag erfasst und Proben zur Bestimmung von Feuchtigkeit, Öl- und Proteinkonzentration genommen.

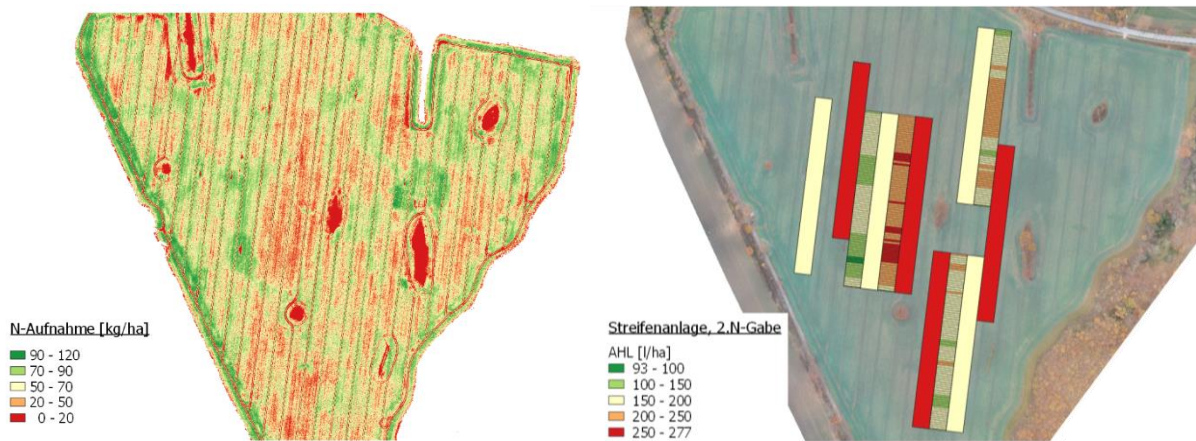


Abbildung 2: Mittels Drohnendaten und Kalibration erstellte N-Aufnahmekarte (links) und darauf basierend erstellter Düngeplan für einen Betriebsschlag in 2018 (rechts).

## 2.5. Vergleichende Betrachtung von Drohnen- und Satellitendaten

Destruktive Probenahmen sind für die Evaluation von Satellitenaufnahmen aufgrund fragwürdiger Flächenrepräsentativität, hohen Arbeitsaufwands bei den Beprobungen und der Schwierigkeit, sie zeitlich auf die Satellitenaufnahme abzustimmen, nicht geeignet. Als Lösung wurde der Ansatz entwickelt, Satellitenbildern mit den bereits evaluierten drohnenbasierten N-Aufnahmekarten zu kalibrieren. Hierfür wurden nur jene Daten genutzt, bei denen Satellitenüberflug und Drohnenbefliegung weniger als eine Woche voneinander entfernt erfolgten (2017 und 2018: 2 Termine, 2019: 4 Termine). Da die Satellitenbildauflösung nicht für die Abbildung von Parzellenversuchen geeignet ist (hier: Parzellengröße = 7 m x 3 m, Sentinel-2-Auflösung = 10 m x 10 m - 20 m x 20 m), wurden zudem nur die Betriebsschlags-Daten verwendet. Die Spektralkarten beider Fernerkundungssysteme wurden in dem gleichen 10 m x 10 m-Raster zusammengefasst, Vegetationsindizes berechnet, mittels der Drohnenkalibrationen die entsprechenden Bestandesparameter berechnet und die satellitenbasierten Vegetationsindizes darauf kalibriert (2017, 2018: Kalibration, 2019: Evaluation).

Neben dem Informationsgehalt ist die Datenverfügbarkeit im Vorwinterzeitraum der wichtigste Faktor für den Düngeansatz. Die wichtigsten Einschränkungen für die Sentinel-2-Datenerhebung sind das Wiederkehrintervall und die Bewölkung. Das heißt, zu der Uhrzeit, zu der die Satellitenbildaufnahme durchgeführt wird (in Schleswig-Holstein ca. 11 Uhr), muss der Himmel möglichst wolkenfrei sein. Für den Einsatz der Drohne ist es hingegen entscheidend, dass ausreichend gute Bedingungen über einen gewissen Zeitraum gegeben sind, um die Befliegung durchzuführen. Für die Analyse wurde angenommen, dass ein Zeitfenster von drei Stunden nötig ist, um die Drohne vorzubereiten und einen sehr großen Betriebsschlag zu erfassen. Während dieses Zeitfensters darf es weder regnen noch dürfen Windstärken >12 m/s auftreten. Eine zusätzliche Limitation entsteht durch den Einsatz der Sequoia-



Kamera, die laut Herstellerangabe nur bei Einstrahlungsbedingungen  $>24 \text{ W/m}^2$  verlässlich Daten liefert.

Um zu analysieren, wie stark diese Faktoren die Datenerhebung der beiden Fernerkundungssysteme einschränken, wurden Wetterdaten vom Deutschen Wetterdienst (<ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC>) für die Jahre 2017, 2018 und 2019 bezogen. Untersucht wurde jeweils der Zeitraum 1. November bis 15. Dezember, da in dieser Phase die Herbst-N-Aufnahme bereits ausreichend fortgeschritten ist, ohne dass eine frost-induzierte Seneszenz zu erwarten ist, die die spektrale Interpretation verhindern würde.

## 2.6. Verwendete Daten & Statistische Auswertung

Die Extraktion von Spektralwerten erfolgte in QGIS, Version 3.8.0 (QGIS Development Team, 2018), ebenso die Erstellung der Düngedateien. Die weiterführenden Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R (R, 2017) durchgeführt: Zur Kalibration der Spektralwerte auf die N-Aufnahme wurden verschiedene Vegetationsindizes getestet und mittels verschiedener Genauigkeitsparameter ( $R^2$ , MAE: mittlerer absoluter Fehler) verglichen. Aus den Daten der Streifenversuche wurden N-Bilanz und N-Ertragsleistung berechnet und diese varianzanalytisch ausgewertet (Annahme: bei 40 % Öl, 9 % Feuchte, 375 €/t, Düngerpreise zum jeweiligen Düngezeitpunkt von <https://www.agrarheute.com/>).

### 3. Ergebnisse & Diskussion

#### 3.1. Kalibration der Drohrendaten auf die vorwinterliche N-Aufnahme

Für die Anwendung in der Praxis ist ein termin- und standort-übergreifender Zusammenhang zwischen vorwinterlicher N-Aufnahme und Multispektraldaten erstrebenswert. Hierbei zeigten sich allerdings bei einigen Terminen Probleme. Als wahrscheinlichste Ursache wurden die Einstrahlungsbedingungen während der Befliegung identifiziert: Das Red Edge-Band, das nur Reflektionen eines sehr schmalen Wellenlängenbereiches erfasst, lieferte unter niedrigen Einstrahlungsbedingungen termin-spezifisch beeinträchtigte Werte. Der Schwellenwert für das Auftreten dieser Probleme lag nach unseren Beobachtungen bei  $125 \text{ W/m}^2$  (deutlich über den Herstellerangaben von  $24 \text{ W/m}^2$ ). Eine Sonneneinstrahlung von  $>125 \text{ W/m}^2$  wurde im Vorwinterzeitraum selbst mittags z.T. nicht überschritten.

Unter Ausschluss der Daten beinträchtigter Termine war es möglich, eine stabile Kalibration zu erhalten. Der Vegetationsindex NIR/Rot lieferte hierbei in der Evaluation mit einem MAE von  $8.3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  das beste Resultat (Abbildung 3). Auch die Möglichkeit, einen Flug bei schlechten Einstrahlungsbedingungen mittels Beprobung separat zu kalibrieren, wurde erfolgreich getestet. Hierbei bedurfte es allerdings genug Proben, um die Variation auf dem Schlag abdecken.

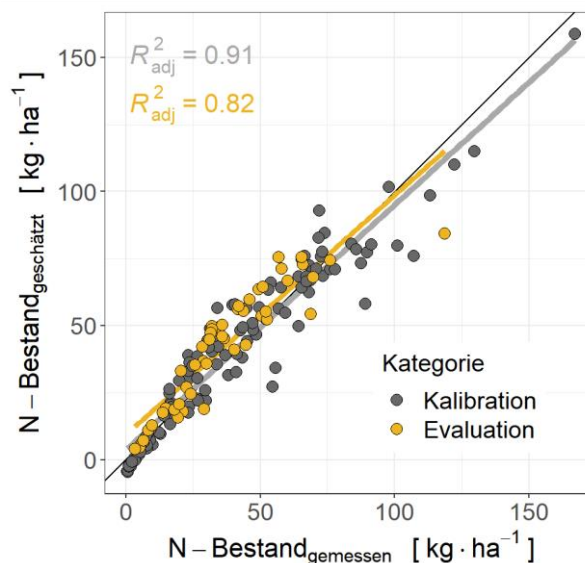


Abbildung 3: 1:1-Darstellung der Ergebnisse der NIR/Rot-Kalibration.

#### 3.2. Drohnenbasierte Düngerversuche

Schwierige Witterungsbedingungen und Etablierungsprobleme verhinderten zum Teil die Versuchsanlage. Insgesamt wurden sieben Versuche angelegt; drei in 2019, vier in 2020. Durch starke Standorts- und Jahresunterschiede bildeten diese Flächen ein breites Spektrum unterschiedlicher vorwinterlicher Bestandesentwicklung ab, auf die mit der 2. N-Gabe reagiert wurde: So wurde 2020 an zwei Standorten in der einheitlich angepassten Variante die 2. N-Gabe um über 40% reduziert, während auf einem Standort ein Zuschlag von 4% erfolgte. Im

Mittel führten die Anpassungen entsprechend der vorwinterlichen N-Aufnahme zu einer Entlastung der N-Bilanz um circa 20 kg N/ha (Abbildung 4). Im ertragsstarken Jahr 2020 wurde an drei Standorten eine nahezu ausgeglichene N-Bilanz erreicht (-9 bis +4 kg N/ha). Während bei der einheitlichen Anpassung der N-Gabe jedoch eine mittlere Ertragsreduktion um 0.5 dt/ha und damit eine Verringerung der N-kostenfreien Leistung um 15 ct/ha in Kauf genommen werden musste, konnte mit der teilflächenspezifischen Applikation ein Mehrertrag von 1.4 dt/ha bzw. 71.8 €/ha erzielt werden.

Es muss betont werden, dass aufgrund der unterschiedlichen Versuchsbedingungen die Ergebnisse zwischen den Jahren, Schlägen und auch Wiederholungen stark variierten. Die einheitliche Anpassung (hier: Reduktion) führte an drei Standorten zu einer Verringerung der N-kostenfreien Leistung, die teilflächenspezifische Anpassung an einem Standort. Zudem kann nicht davon ausgegangen werden, dass mittels des hier vorgestellten Ansatzes zuverlässig ausgeglichene N-Bilanzen erzielt werden - das ertragsstarke Jahr 2020 ist eher als Ausnahmejahr anzusehen.

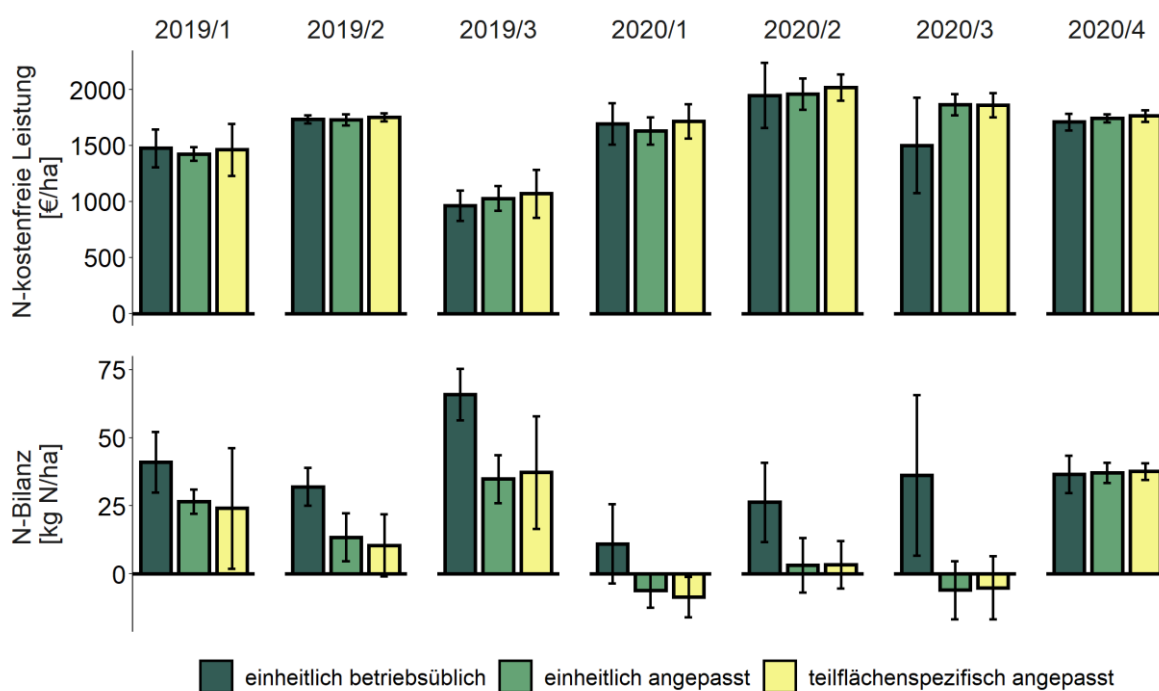


Abbildung 4: Mittelwert und Standardabweichung der N-kostenfreien Leistung und N-Bilanz der einzelnen Standorte und Düngervarianten.

### 3.3. Vergleichende Betrachtung von Drohnen- und Satellitendaten

#### 3.3.1. Informationsgehalt

Als bester Ansatz zur Kalibration der Sentinel-2-Daten auf die vorwinterliche N-Aufnahme erwies sich ein exponentielles Modell mit dem NDVI als Vegetationsindex (N-Bestand =  $a \cdot \exp(b \cdot \text{NDVI})$ ). Allerdings wurden auch bei den damit berechneten N-Aufnahmen Probleme identifiziert (Abbildung 5): Die für die teilflächenspezifische N-Düngung relevante Variation der Herbst-N-Aufnahme wurde deutlich unterschätzt (um mindestens 19 kg N/ha, und am deutlichsten bei Betriebsschlag 4/Kalibration um 82 kg N/ha). Zudem variierte diese Abweichung deutlich zwischen den einzelnen Terminen. Es wird vermutet, dass dies auf eine unzureichende atmosphärische Korrektur der Satellitenbilder zurückgeführt werden kann.

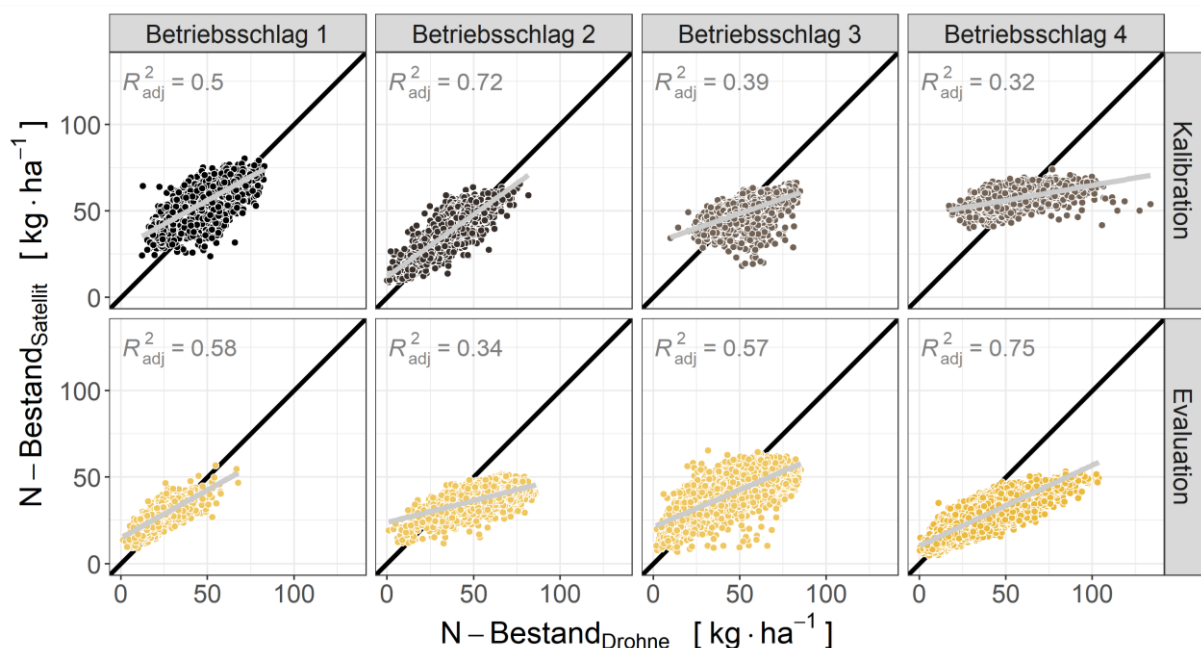


Abbildung 5: Korrelation von drohnenbasiert erfasster und satellitenbasiert berechneter N-Aufnahme

#### 3.3.2. Datenverfügbarkeit

Da die Praxistauglichkeit der drohnenbasierten Datenerhebung durch die Notwendigkeit einer termin-spezifischen Kalibration eingeschränkt werden würde, wurde die eingangs definierte Einstrahlungs-Restriktion für einen Drohneneinsatz von 24 W/m<sup>2</sup> auf 125 W/m<sup>2</sup> hochgesetzt (siehe „3.1 Kalibration der Drohnen­daten auf die vorwinterliche N-Aufnahme“). Dies reduzierte die Anzahl der für eine Drohnenbefliegung geeigneten Zeitfenster stark (Abbildung 6). Dennoch wurden in allen drei Vorwinterzeiträumen mindestens acht mögliche Flugtage identifiziert.

Für die satellitenbasierte Datenerhebung stellte sich die Wolkenbedeckung als starke Einschränkung heraus (Abbildung 7): In den drei Versuchsjahren war der Himmel über

Schleswig-Holstein im Zeitraum Oktober bis Mitte Dezember um 11 Uhr nur an 5 Tagen wolkenlos. Und nur in 2018 und 2019 stimmte einer dieser Tage mit dem Wiederkehrintervall eines Sentinel-2-Satelliten überein. Selbstverständlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass an Tagen teilweiser Wolkenbedeckung Daten gewonnen werden können. Die lokale Datenverfügbarkeit kann aber nicht als gesichert betrachtet werden.

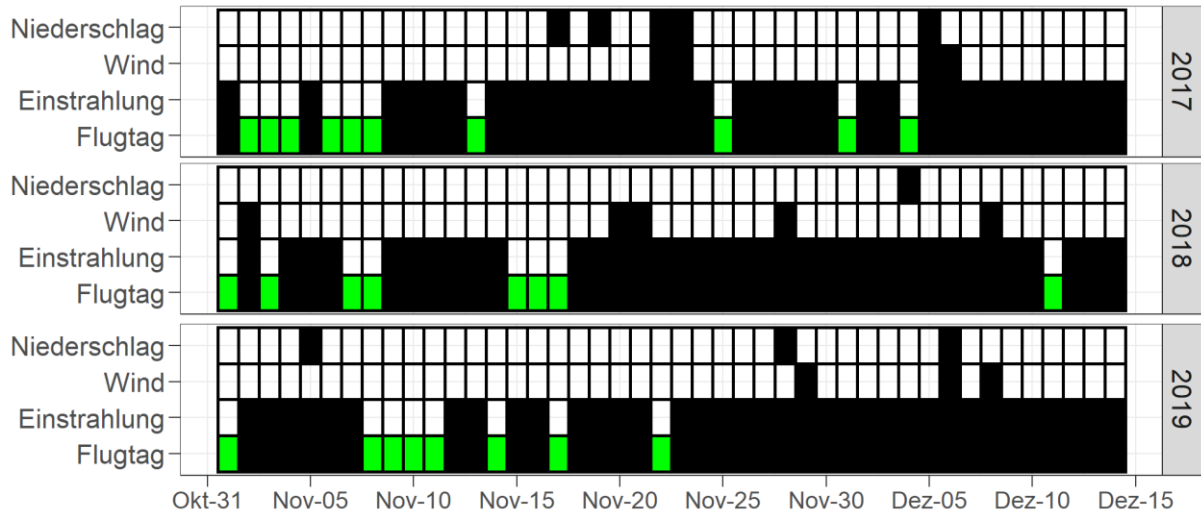


Abbildung 6: Zeitfenster für die drohnengestützte Spektraldatenerhebung. Ein weißer Kasten kennzeichnet, dass der Witterungsfaktor ermöglicht 3-stündiges Befliegungsfenster, schwarz wenn nicht. Grün markiert Tage, an denen alle Anforderungen im selben Zeitfenster erfüllt sind.

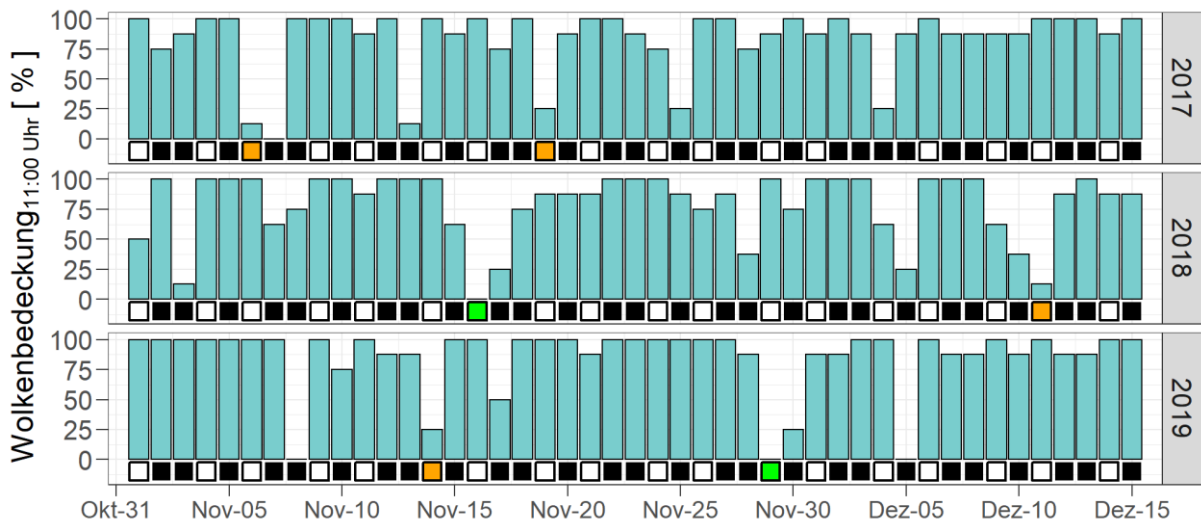


Abbildung 7: Wolkenbedeckung um 11 Uhr (Wiederkehrzeitpunkt der Sentinel-2) in den drei Untersuchungszeiträumen. Die Kästchen zeigen die Sentinel-2 basierte Datenerhebung auf (schwarz: Sentinel-2 nicht vor Ort, weiß: Sentinel-2-Aufnahme bei hoher Bewölkung/orange: bei niedriger Bewölkung/grün: bei wolkenlosen Bedingungen)

### 3.4. Öffentlichkeitsarbeit

Durch das Testen der drohnenbasierten Teilflächendüngung auf Praxisflächen wurde das Konzept erfolgreich in die Praxis kommuniziert: Mehrmals nahmen die teilnehmenden Betriebsleiter an den vorwinterlichen Drohnenbefliegungen teil, kamen zu Besprechungen an die Universität Kiel und zeigten sich interessiert daran, das Konzept auch nach Projektende weiter zu verwenden. Um weitere Betriebe zu erreichen, wurden zudem Ergebnisse in der Zeitschrift Raps (Bukowiecki et al. 2019, 2020) veröffentlicht. Zusätzlich wurden die Ergebnisse auf praxisnahen Tagungen (Agritechnica 2019, Ackerbautag des Westfälisch-Lippischer Landwirtschaftsverband e.V. 2021) und wissenschaftlichen Konferenzen (Nitrogen Workshop 2018, International Rapeseed Congress 2019, Gemeinsames Rapskolloquium Schleswig-Holstein - Mecklenburg-Vorpommern 2019) präsentiert.

## 4. Abschlussbemerkung

Mit der novellierten DüV und der Ausweisung roter Gebiete steht die Praxis vor neuen Herausforderungen bei der Düngeplanung. Durch die Studien von Sieling et al. (2009) und Pahlmann et al. (2017) hat der Winterrapsanbau mit dem teilflächenspezifischen Düngealgorithmus ein Werkzeug, das einen Kompromiss zwischen reduzierter N-Düngung und Absicherung des Ertragsniveaus bietet.

Die Wirksamkeit dieses Ansatzes wurde in dieser Studie erneut bestätigt. Trotz großer standort- und jahresspezifischer Variabilität konnte unter Praxisbedingungen gezeigt werden, dass eine Verbesserung der N-Bilanz nicht zu Lasten eines wirtschaftlichen Rapsanbaus gehen muss. Zudem wurde demonstriert, dass drohnenbasierte N-Aufnahmekarten als Datengrundlage für diesen Ansatz genutzt werden können. Eine termin- und standortübergreifende Kalibration für die drohnenbasierte Erfassung der vorwinterlichen N-Aufnahme wurde entwickelt und getestet, so dass die Umsetzung dieser Methodik in der Praxis theoretisch keiner weiteren Beprobungen bedarf. Zudem ergab eine Analyse der witterungsbedingten Einschränkungen, dass die drohnenbasierte Datenerhebung trotz schwieriger Bedingungen im Vorwinterzeitraum möglich ist.

Demgegenüber kann auf Grund von Wolkenbedeckung die lokale Datenverfügbarkeit von Sentinel-2-Daten nicht als gesichert angesehen werden. Deren Evaluation mit Drohnen-Daten zeigte, dass die teilflächenspezifische N-Variation satellitenbasiert stark unterschätzt wird. Zudem wurde ein termin-spezifischer Effekt in den Satelliten-Daten aufgezeigt der näherer Untersuchung bedarf.

## 5. Quellen

Bukowiecki, J., Kage, H. (2019): Drohnengestützte Erfassung der N-Herbstaufnahme von Winterraps. Raps 37, Heft 1.

Bukowiecki, J., Kage, H. (2020): Drohnenbasierte Düngung zu Winterraps - Optimale Düngung durch bedarfsgerechte Verteilung? Raps 38, Heft 4.

Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K., & Kage, H. (2007). Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *The Journal of Agricultural Science*, 145(5), 455-468.

Müller, K., Böttcher, U., Meyer-Schatz, F., & Kage, H. (2008). Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems engineering*, 101(2), 172-182.

Pahlmann I., Böttcher U., Kage H., (2017). Developing and testing an algorithm for site-specific N fertilization of winter oilseed rape. *Computers and Electronics in Agriculture* 136, 228-237.

Sieling, K., Sauermann, W., Kage, H., & Schleswig-Holstein, L. (2009). Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial. Abschlussbericht für die Union zur Förderung von Öl-und Proteinpflanzen e. V.

Ziesemer, A., 2017. Optimale Rapsfruchtfolgen und Produktionstechniken.

## 6. Publikationen

Aus den Tätigkeiten innerhalb des Projektes sind bisher 4 Publikationen hervorgegangen, von denen 2 in landwirtschaftlichen Fachjournalen und 2 in wissenschaftlichen Journalen erschienen sind.

Bukowiecki, Josephine; Kage, Henning (2019): Drohnengestützte Erfassung der N-Herbstaufnahme von Winterraps. Möglichkeiten und Herausforderungen. In Raps 37 (1), 1-3.

Bukowiecki, Josephine; Kage, Henning (2020): Drohnenbasierte Düngung zu Winterraps. Optimale Düngung durch bedarfsgerechte Verteilung? In Raps 38 (4).

Bukowiecki, Josephine; Rose, Till; Ehlers, Ralph; Kage, Henning (2020): High-Throughput Prediction of Whole Season Green Area Index in Winter Wheat With an Airborne Multispectral Sensor. In *Front. Plant Sci.* 10 (1798). DOI: 10.3389/fpls.2019.01798.

Bukowiecki, Josephine; Rose, Till; Kage, Henning (2021): Sentinel-2 Data for Precision Agriculture? An UAV-Based Assessment. In *Sensors* 21 (8). DOI: 10.3390/s21082861.



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON  
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de