

Abschlussbericht

EIP-Agri Projekt

RESIDUE

Möglichkeiten der teilflächenspezifischen
Stickstoffdüngung für den Freilandgemüsebau

EU-Reg. Nr.: 276 03 403 000 0096

Laufzeit: 15.02.2020 bis 30.04.2023

Autoren:

Dr. Hendrik Führs, Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Friederike Wellhausen, Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Vollständiger Projekttitlel:

„Nachhaltige Ressourcennutzung durch Reduzierung der Stickstoffzufuhr mittels teilflächenspezifischem Düngemanagement bei den Kulturen Brokkoli und Eissalat mit Hilfe bildgebender Sensorik“

Datum: 30.04.2023



Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzdarstellung.....	1
1.1.	Ausgangssituation und Bedarf.....	1
1.2.	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	2
1.3.	Mitglieder der OG.....	3
1.4.	Projektgebiet	3
1.5.	Projektlaufzeit und Dauer	3
1.6.	Budget	3
1.7.	Ablauf des Verfahrens	3
1.8.	Zusammenfassung der Ergebnisse/ Abstract	4
2.	Eingehende Darstellung	5
2.1.	Verwendung der Zuwendung	5
2.1.1.	Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte	5
2.1.2.	Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen	6
2.2.	Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	7
2.2.1.	Ausgangssituation	7
2.2.2.	Projektaufgabenstellung	8
2.3.	Ergebnisse der OG in Bezug auf	8
2.3.1.	Gestaltung der Zusammenarbeit.....	8
2.3.2.	Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG.....	8
2.3.3.	Gestaltung der weiteren Zusammenarbeit der OG-Mitglieder nach Projektabschluss ..	9
2.4.	Ergebnisse des Innovationsprojekts.....	9
2.4.1.	Zielerreichung.....	9
2.4.2.	Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis	10
2.4.3.	Projektverlauf.....	11
2.4.3.1.	Versuchsstandorte.....	11
2.4.3.2.	Versuchsaufbau & Datenerfassung	11
2.4.4.	Versuchsergebnisse	14
2.4.4.1.	Versuchsergebnisse 2020.....	14
2.4.4.2.	Versuchsergebnisse 2021	15
2.4.4.3.	Versuchsergebnisse 2022	16
2.4.5.	Gesamtergebnisse und Einordnung der Ergebnisse.....	17
2.4.6.	Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Themen	20
2.4.7.	Nebenergebnisse.....	21
2.4.8.	Arbeiten ohne Ergebnis.....	21

2.4.9. Weitere Verwendung von Investitionsgütern.....	21
2.5. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	21
2.6. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	21
2.7. Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	21
3. Danksagung	23

Tabellenübersicht

Tabelle 1: Mitglieder der OG sowie deren Zugehörigkeit zu Arbeitspaketen.....	3
Tabelle 2: Aufgabenplan.....	5
Tabelle 3: Gegenüberstellung von Budget und tatsächlichen Ausgaben aufgeteilt nach OG-Mitgliedern	6
Tabelle 5: Versuchsansätze 2020-2022	12
Tabelle 6: Übersicht über Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt RESIDUE.....	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Praxisbetriebe in Niedersachsen.....	11
Abbildung 2: Managementzonenkarte einer Versuchsfläche, Festlegung der Probenahmebereiche für die teilflächenspezifische Grundbodenanalyse, Streukarte für Kalk (von links nach rechts)	13
Abbildung 3: Multicopter vor Brokkolibestand.....	13
Abbildung 4: Entnahme von Boden- und Pflanzenproben im Eissalat.....	14

1. Kurzdarstellung

1.1. Ausgangssituation und Bedarf

Niedersachsen ist das drittgrößte Gemüseanbaugbiet der Bundesrepublik Deutschland. Insgesamt werden ca. 40 Gemüsekulturen statistisch erfasst. Im Vergleich zum Ackerbau sind damit das Kulturspektrum und die Produktionsverfahren vielfältig.

Die Vermarktung von frischem Gemüse ist an die Qualität der Gemüseerzeugnisse gebunden. Zum einen sind Grundanforderungen an die Qualität in Vermarktungsnormen festgeschrieben (EU- und UNECE-Normen). Um das Gemüse vermarkten zu können, müssen diese Vermarktungsnormen eingehalten werden. Zum anderen hat der Lebensmitteleinzelhandel zusätzliche eigene Qualitätsanforderungen entwickelt. Auch diese Kriterien werden entsprechend durch den Handel geprüft. An den Ergebnissen dieser Überprüfungen ist die Vermarktung der Produkte gebunden. Entsprechen z. B. der Salat oder der Brokkoli nicht den Kriterien, so sind die Produkte im Lebensmitteleinzelhandel nicht zu vermarkten.

Vor allem mit Blick auf die Qualitätsanforderungen für die Vermarktung (allen voran Gesundheit, Größe/Größensortierung und Ausfärbung) kann Stickstoff eine entscheidende Rolle zugesprochen werden¹. Viele Freilandgemüsekulturen werden in der Regel zum Zeitpunkt des stärksten vegetativen Wachstums geerntet. Um marktfähige Qualitäten zu erhalten, ist ein entsprechender Ressourceneinsatz notwendig. Neben Pflanzenschutzmaßnahmen und Wasserversorgung spielt vor allem die Nährstoffversorgung, allem voran die Stickstoffversorgung, eine entscheidende Rolle.

Auf Fachebene wurde für den deutschen Gemüsebau das sogenannte N_{\min} -Sollwertsystem entwickelt². Dieses Verfahren beinhaltet unter anderem einen N_{\min} -Mindestvorrat im Boden. „Unter N_{\min} -Mindestvorrat wird die N-Menge verstanden, die im durchwurzelteten Bodenbereich vorhanden sein muss, um die N-Versorgung bis zum Erntezeitpunkt sicherzustellen.“³ Dieser Wert ist aus Erfahrungswerten von N_{\min} -Resten im Boden zum Zeitpunkt der Ernte abgeleitet. Neben diesem erforderlichen N_{\min} -Mindestvorrat tragen gerade im intensiven Gemüsebau enge Gemüsefruchtfolgen und hohe N-Mengen in Ernterückständen zu einem erhöhten Austragungspotential von Stickstoff in Umweltkompartimente bei⁴. Dies ist eine systemimmanente Herausforderung. Die Problematik ist seit langem bekannt und wird entsprechend wissenschaftlich untersucht.⁵

Mit der Ausweisung der nitratsensiblen sog. „Roten Gebiete“ im Rahmen der Düngeverordnung und der damit verbundenen 20-prozentigen Reduzierung der tatsächlichen Düngung unter den ermittelten N-Düngebedarf stellt sich im Freilandgemüsebau für viele Produktionsverfahren jedoch die Frage der Machbarkeit. Für viele Kulturen des Freilandgemüsebaus könnte eine vorgeschriebene Reduzierung der Düngung unter das fachlich ermittelte Düngebedarfsniveau nicht nur zu einer Verringerung des Flächenertrages führen, sondern aufgrund der geringen oder gar keiner Vermarktungsmöglichkeit zu

¹ Wiesler, F, Laun, N, Armbruster M (2008): Integriertes Stickstoffmanagement – eine Strategie zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung im Gemüsebau, Agrarspektrum (4), 95 - 108

² Feller, C, Fink, M, Laber, H, Maync, A, Paschold, P, Scharpf, HC, Schlaghecken, J, Strohmeyer, K, Weier, U, Ziegler, J (2011) Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.

³ Ebenda

⁴ Wiesler, F, Laun, N, Armbruster M (2008): Integriertes Stickstoffmanagement – eine Strategie zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung im Gemüsebau, Agrarspektrum (4), 95 - 108

⁵ s. z.B. International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetable Crops; Editors C.R. Rahn, R.D. Lillywhite, S. De Neve, M. Fink, C. Ramos (2001), Potsdam, Germany

einem wirtschaftlichen Totalausfall, da zwar prinzipiell eine ernte- und verzehrfähige Kultur vorliegt, diese aber nicht oder nur teilweise abgesetzt werden kann.

1.2. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der dargestellten Ausgangssituation verfolgt das Projekt „RESIDUE“ das Ziel, praxisnahe Lösungen für eine Reduzierung des Stickstoffeinsatzes im Gemüsebau möglichst ohne Qualitätsverluste am Endprodukt zu erarbeiten. Zu diesem Zweck sollen die Potentiale von technologischen Innovationen näher untersucht werden, die die bereits bestehenden Möglichkeiten eines zielgerichteten Einsatzes von Düngemitteln im Gemüsebau weiter ergänzen und optimieren können.

Das System der teilflächenspezifischen Düngung verfolgt die Strategie, nicht den gesamten Acker einheitlich zu bewirtschaften, sondern Unterschiede des Bodens und der Ertragsfähigkeit innerhalb des Feldes zu berücksichtigen. Durch die stärker an den Bedarf der Pflanzen auf den Teilflächen angepasste Düngung soll eine Über- oder Unterversorgung vermieden werden. Dies birgt das Potential, die Effizienz der N-Düngung zu steigern und gleichzeitig das Risiko der Nährstoffauswaschung zu reduzieren.⁶

Für die teilflächenspezifische Düngung kommen in diesem Projekt zwei unterschiedliche bildgebende Verfahren zum Einsatz. Mithilfe von Drohnenbefliegungen soll der aktuelle Nährstoffversorgungszustand der Pflanzen erfasst werden. Der an der Drohne befestigte Multispektralsensor misst dafür die Reflexion des Pflanzenbestandes. Das Reflexionsverhalten von Pflanzen, also der Anteil der unterschiedlichen Lichtwellenlängen, die von der Pflanze absorbiert, reflektiert oder transmittiert werden, ist Grundlage optischer Analyseverfahren. Die Reflexionswerte der verschiedenen Wellenlängenbereiche werden zueinander in Verhältnis gesetzt und zu sogenannten Vegetationsindices verrechnet. Diese Vegetationsindices ermöglichen Aussagen zu verschiedenen agronomischen Parametern wie Chlorophyll- und N-Gehalt, Biomasse, Bodenbedeckung und Blattfläche. Vegetationsindices sind allerdings dimensionslos - sie geben zwar Auskunft, wo Unterschiede in der Fläche vorliegen, jedoch ohne den tatsächlichen Nährstoffbedarf zu quantifizieren. Aus diesem Grund ist zunächst eine Kalibration der Indexwerte notwendig. Im Projekt erfolgt dies mithilfe begleitender Boden- und Pflanzenanalysen. Ziel ist es, aus den so ermittelten Daten Applikationskarten für eine entsprechende Düngetechnik zu erstellen.

Das zweite bildgebende Verfahren, welches im Projekt zum Einsatz kommt, ist die Auswertung von Satellitendaten. Über mehrere Jahre und Fruchtfolgen hinweg wird mithilfe von Satelliten der Biomasseaufwuchs auf der Fläche gemessen. So kann eine Einteilung in Hoch- und Niedrigertragszonen erfolgen. Diese Managementzonenkarten bilden im Projekt die Grundlage für eine teilflächenspezifische Grundbodenanalyse auf Phosphor, Kalium und Magnesium, sowie den pH-Wert des Bodens. Ziel ist eine Anpassung der Grunddüngung, um homogenere Ausgangsbedingungen für das Pflanzenwachstum zu schaffen.

Beide Verfahren werden im Ackerbau bereits seit einigen Jahren erforscht und stetig weiterentwickelt. Für den Freilandgemüsebau stehen bisher jedoch erst wenig Erfahrungswerte mit dieser Precision Farming-Technik zur Verfügung. Das Projekt bildet daher eine wichtige Daten- und Erfahrungsgrundlage.

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen zusätzlich verschiedene Applikationsverfahren untersucht werden. Dies umfasst die Applikation der Grund- und Kopfdüngung mittels Streifendüngung und

⁶ KTBL, DRUECKER, H. (2016): Precision Farming – Sensorgestützte Stickstoffdüngung. KTBL Heft 113, Darmstadt

Blattdüngung. Verfahren, die bereits seit einiger Zeit vorhanden, aber noch nicht vollständig in der Praxis adaptiert worden sind.

1.3. Mitglieder der OG

In Tabelle 1 sind die am Projekt beteiligten OG-Mitglieder aufgeteilt nach den jeweiligen Arbeitspaketen sowie deren Ansprechpartner dargestellt.

Tabelle 1: Mitglieder der OG sowie deren Zugehörigkeit zu Arbeitspaketen

OG-Mitglied		Ansprechpartner
Arbeitspaket I Leitung & Koordination	Projektleitung	Dr. Hendrik Führs
	OG Z – LWK Niedersachsen, Projektkoordination	Friederike Wellhausen
	OG 1 - LWK Niedersachsen, Versuchsleitung	Friederike Wellhausen
Arbeitspaket II Praxisbetriebe	OG 2 - Mählmann Gemüsebau GmbH & Co. KG	Dr. Carsten Vorsatz
	OG 3 - AMG Agrarmanagement GmbH (in Zusammenarbeit mit Behr AG)	Dr. Georg Mevenkamp Annalena Schuller
Arbeitspaket III Satellitendaten- auswertung	OG 4 - Agravis Raiffeisen AG	Frank Uwihs Jens Fleige Gerald Siemers [Henrik Volker, ausgesch.] [Andreas Könemann, ausgesch.]
Arbeitspaket IV Drohneinsatz	OG 5 - Agrarpohl	Jan-Philip Pohl
Arbeitspaket V Vernetzung	OG 6 - Wissenschaftliche Kordinierungsstelle Transformationsforschung Agrar, Universität Vechta (trafo:agrar)	Dr. Barbara Grabkowsky Kathrin Mieck

1.4. Projektgebiet

Das Innovationsprojekt bezieht sich auf Innovationen mit Bezug auf Erzeugnisse nach Anhang 1 des AEU-Vertrages (landwirtschaftliche Urproduktion oder 1. Stufe der Verarbeitung und Vermarktung).

1.5. Projektlaufzeit und Dauer

Bewilligungszeitraum: 13.02.2020 – 30.04.2023

Projektstart: 01.06.2020 (Corona bedingt verspätete Besetzung der Stelle der Versuchsleitung)

1.6. Budget

Gesamtvolumen: 362.142,00 €

Fördervolumen: 100 % Vollfinanzierung (362.142,00 €)

1.7. Ablauf des Verfahrens

Das Projekt wurde im Jahr 2020 gestartet. Die Projektleitung oblag dem Fachbereich „Beratung und Qualitätsmanagement im Gartenbau“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. In den Jahren 2020, 2021 und 2022 wurden praktische Feldversuche auf den Flächen der beiden Gemüsebaubetriebe

Mählmann Gemüsebau GmbH & Co. KG und Behr AG (in Zusammenarbeit mit AMG Agrarmanagement GmbH) durchgeführt. Die bildgebende Sensorik lag im Arbeitsbereich der OG-Mitglieder Agravis Netfarming GmbH (Satellitenbilder) und Agrarpohl (Drohnenbefliegung). In jährlichen Projekttreffen wurden die Ergebnisse der Versuche intensiv diskutiert und die Versuchsanstellung entsprechend angepasst.

Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt wurden im Rahmen verschiedener Fachveranstaltungen, Feldtage und Tagungen präsentiert und Artikel in Fachzeitschriften sowie auf der Projektwebsite veröffentlicht. Zudem konnte im Rahmen mehrerer Austauschtreffen mit anderen (EIP)-Projekten ein gutes Netzwerk aufgebaut werden. Das Gartenbaukompetenzzentrum in Gülzow als assoziierter Projektpartner führte in 2021 eigene Versuche zur Fernerkundung mittels Drohnentechnik durch. Im Fokus standen dabei die Themen Abschätzung der Nährstoffversorgung (am Beispiel Weißkohl) und Einfluss von Sorten auf die Eignung verschiedener Indices (am Beispiel Brokkoli). Die Ergebnisse dieser Versuche waren ein wertvoller zusätzlicher Input für das Projekt RESIDUE.

Die Thematik wurde bei einem Treffen im September 2020 mit dem damaligen Staatssekretär des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Prof. Dr. Ludwig Theuvsen, und Vertretern der Branche auf einem Projektbetrieb erläutert.

Im Rahmen der Abschlussveranstaltung mit allen OG-Mitgliedern, die am 29.03.2023 als Hybridveranstaltung in Hannover-Ahlem stattfand, wurden noch einmal die Erfahrungen und Ergebnisse aus den Versuchen diskutiert und ein Fazit zum Projektverlauf gezogen. Des Weiteren wurde ein Ausblick auf Möglichkeiten der Weiterführung des Projektansatzes gegeben (vgl. Anlage 1).

1.8. Zusammenfassung der Ergebnisse/ Abstract

Das Projekt RESIDUE untersuchte die Einsatzmöglichkeiten einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mithilfe bildgebender Sensorik im Freilandgemüsebau. Diese Techniken bergen das Potential, die Effizienz der N-Düngung zu steigern und das Risiko der Nährstoffauswaschung zu reduzieren. Zur Identifikation der unterschiedlichen Teilflächen kommt Drohnen- und Satellitentechnik zum Einsatz. Im Vergleich zum Ackerbau stehen für den Freilandgemüsebau wenig Erfahrungswerte zur Verfügung. Im Rahmen des Projekts konnten in mehreren Versuchen Ergebnisse für die Beispielkulturen Brokkoli und Eissalat gewonnen werden. Als zentrale Herausforderung hat sich die Kalibration der Drohnen Daten erwiesen. In mehreren Versuchen konnten gute Zusammenhänge zwischen Indices und Stickstoffgehalt der Pflanzen festgestellt werden. Ein eindeutiger Rückschluss auf den N-Gehalt anhand der Indices ist jedoch noch nicht möglich. Folgende Aspekte konnten für zukünftige Forschung identifiziert werden: Eignung der Indices in Hinblick auf Sorten und Wachstumsstadien, Einfluss anderer Faktoren auf die Indices, Zeitpunkt der Befliegung und Nachlieferungspotential des Bodens.

The project RESIDUE aimed at investigating the possibilities for implementation of site specific nitrogen (N) fertilization by using imaging sensors in field vegetable production. These techniques hold the potential to increase the N-fertilization efficiency and to reduce the risk of nitrate leaching. For identification of specific sites drone- and satellite techniques are used. Compared to agricultural crops there is little information available. Some results could be gained for the vegetables broccoli and ice lettuce. The central challenge was the calibration of the data obtained from the drone. In a number of trials correlations have been found between indices calculated from drone data and the N content of the plants. But a robust conclusion from the indices to the N-content of the plants was not possible. Several aspects have been identified to be important for future research on this topic: suitability of the indices for specific varieties and growth stages, effect of other factors influencing the indices, time frame for data collection, the potential of the site to mineralize N.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung

2.1.1. Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte

In Tabelle 2 sind die Arbeitspakete und die zugehörigen Aufgabenbereiche dargestellt. Nahezu alle Arbeitsschritte des Projekts wurden wie geplant durchgeführt.

Tabelle 2: Aufgabenplan

	Aufgaben	Erledigt
Arbeitspaket I Leitung & Koordination	Projektleitung (LWK) - Antragsverfahren - Administrative Aufgaben - Repräsentanz nach innen und außen	ja
	Projektkoordination (LWK) - Ansprechpartner für OG-Mitglieder - Organisation Projekttreffen - Terminkoordination - Dissemination von Ergebnissen - Mittelabrufung & Berichterstellung - Öffentlichkeitsarbeit - Vernetzung nach innen & außen	ja
	Versuchsleitung (LWK) - Versuchsplanung & -anlage - Entnahme von Boden- und Pflanzenproben - Aufbereitung der Proben - Datenerfassung, -aufbereitung - Statistische Datenauswertung	ja
Arbeitspaket II Praxisbetriebe	- Auswahl & Bereitstellung der Flächen - Übermittlung von Flächen- und Kulturdaten - betriebsübliche Kulturführung - Anlage von Düngeparzellen	ja
Arbeitspaket III Drohneinsatz	Agravis Netfarming - Auswertung von Satellitendaten - Erstellung von Managementzonenkarten - Teilflächenspezifische Bodenprobenentnahme durch DL	ja
Arbeitspaket IV Satellitendaten- auswertung	Agrarpohl - Flugplanung - Vermessung & GPS-gestützte Georeferenzierung d. Parzellen - Einsatz Multicopter mit Spektralsensor - Datenaufbereitung & -auswertung - Erstellung von Zonenkarten	ja
Arbeitspaket V Vernetzung	trafo:agrar - Vernetzung zw. Wissenschaft & Praxis - Wissenstransfer	ja

2.1.2. Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Die Auflistung der einzelnen Ausgaben und der zahlenmäßige Nachweis der Kosten des Projekts erfolgte mittels verbindlicher Beleglisten. Die finanziellen Positionen zur Umsetzung des EIP Agri-Projektes sind in Tabelle 3 dargestellt. Diese beziehen sich auf die gesamte Projektlaufzeit von 2020 bis 2023. Im Laufe des Projekts wurden z. T. Mittelumwidmungen notwendig. Daher wurde für einzelne OG-Mitglieder eine kostenneutrale Verschiebung der Mittel innerhalb der OG beantragt.

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Budget und tatsächlichen Ausgaben aufgeteilt nach OG-Mitgliedern

OG-Mitglied		Budget (EUR)	Ausgaben (EUR) (förderf. Betrag)
OG Z	Ausgaben der Zusammenarbeit		
5.2.1	Personalausgaben	52.103,00	36.304,06
5.2.2	Öffentlichkeitsarbeit	16.708,00	450,92
5.2.3	Reisekosten	5.530,00	0,00
5.2.4	Verwaltungspauschale (15 %)	7.815,00	5.445,61
	Summe OG Z	82.156,00	42.200,59
OG 1	Ausgaben LWK Niedersachsen		
5.3.1	Personalausgaben Versuchsleitung	156.309,00	147.812,16
5.3.1	Personalausgaben Probenehmer	21.000,00	1.529,28
5.3.2	wiss. Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests	38.700,00	17.728,92
5.3.6	Ausrüstungsgegenstände	700,00	533,92
5.3.4	Reisekosten	4.350,00	4.844,62
	Summe OG 1	221.059,00	172.448,90
OG 2	Mählmann Gemüsebau GmbH & Co. KG		
5.3.1	Personalausgaben	0,00	1500,00
5.3.3	Nutzungskosten, Material- & Bedarfsmittel bei Unternehmen der Urproduktion	1000,00	0,00
5.3.4	Reisekosten	500,00	0,00
	Summe OG 2	1.500,00	1500,00
OG 3	AMG Agrarmanagement GmbH		
5.3.1	Personalkosten	0,00	2000,00
5.3.3	Nutzungskosten, Material- & Bedarfsmittel bei Unternehmen der Urproduktion	1.500,00	0,00
5.3.4	Reisekosten	500,00	0,00

	Summe OG 3	2000,00	2000,00
OG 4	Agravis Raiffeisen AG		
5.3.1	Personalkosten	0,00	0,00
5.3.2	wiss. Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests	15.327,00	3.840,42
	Summe OG 4	15.327,00	3.840,42
OG 5	Agrarpohl		
5.3.1	Personalkosten	29.700,00	37.250,00
5.3.2	wiss. Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests	7.900,00	275,84
5.3.4	Reisekosten	2000,00	1.800,00
	Summe OG 5	39.600,00	39.325,84
OG 6	Trafo:agrar		
5.3.4	Reisekosten	500,00	7,20

2.2. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1. Ausgangssituation

Von der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) im Jahr 2020 und den in diesem Zuge ausgewiesenen nitratsensiblen, sog. „roten“ Gebieten sind auch viele Gemüsebaubetriebe betroffen. Nach geltendem Recht muss in diesen Gebieten der zuvor ermittelte Düngebedarf um 20 % im Durchschnitt der in den roten Gebieten liegenden Flächen reduziert werden. Die Vermarktung von frischem Gemüse ist an die Qualität der Erzeugnisse gebunden. Zum einen sind Grundanforderungen an die Qualität in Vermarktungsnormen festgeschrieben (EU- und UNECE-Normen), zum anderen hat der Lebensmitteleinzelhandel zusätzliche eigene Qualitätsanforderungen entwickelt. Um diese Qualitätskriterien erfüllen zu können, ist eine ausreichende Nährstoffversorgung unerlässlich. Viele Gemüsekulturen werden im vollen vegetativen Wachstum geerntet. Um zu diesem Zeitpunkt das vom Handel geforderte Gewicht, die Größe und die Ausfärbung zu erzielen, muss ein gewisser N_{\min} -Mindestvorrat im Boden vorliegen. Eine Stickstoffunterversorgung birgt das Risiko von Qualitätsverlusten und kann somit unter Umständen zur Nichtvermarktbarkeit der Kultur führen. Für viele Produktionsverfahren des Freilandgemüsebaus stellt sich vor diesem Hintergrund somit die Frage der Machbarkeit.

Als ein möglicher Lösungsansatz wird das System der teilflächenspezifischen Düngung betrachtet. Dabei wird die Strategie verfolgt, nicht den gesamten Acker einheitlich zu bewirtschaften, sondern Unterschiede des Bodens und der Ertragsfähigkeit innerhalb des Feldes zu berücksichtigen. Durch die stärker an den Bedarf der Pflanzen auf den Teilflächen angepasste Düngung wird eine Über- oder Unterversorgung vermieden. Dies steigert die Effizienz der N-Düngung und reduziert das Risiko der Nährstoffauswaschung. Die Identifikation der unterschiedlichen Teilflächen im Feld erfolgt mithilfe moderner Drohnen- und Satellitentechnik. Beide Verfahren werden im Ackerbau bereits seit einigen Jahren erforscht und stetig weiterentwickelt. Für den Freilandgemüsebau stehen bisher jedoch erst wenig Erfahrungswerte mit dieser Precision Farming-Technik zur Verfügung. Das Projekt bildet daher eine wichtige Daten- und Erfahrungsgrundlage.

2.2.2. Projektaufgabenstellung

Im Rahmen des Projekts werden die Einsatzmöglichkeiten bildgebender Sensorik für den Freilandgemüsebau untersucht. Dabei sollen die Chancen aber auch Grenzen dieses Systems speziell im Hinblick auf seine Eignung für den Freilandgemüsebau aufgezeigt werden. Im Fokus steht dabei auch die praktische Anwendbarkeit im Feld.

Als die drei Teilziele des Projekts wurden folgende Punkte formuliert:

- 1) Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung anhand von Applikationskarten, die auf Vegetationsindices basieren.
- 2) Teilflächenspezifische Grunddüngung (P, K, Mg, Kalk) anhand von Managementzonenkarten, die auf Satellitendaten und einer teilflächenspezifischen Grundbodenanalyse basieren.
- 3) Erprobung präziser Ausbringungstechniken bspw. in Form von platzierter Düngung, Blattdüngung etc.

2.3. Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1. Gestaltung der Zusammenarbeit

Grundsätzlich lag die Verantwortung für die Versuchsplanung, -organisation und -durchführung bei der Versuchskoordination und -leitung bei der LWK Niedersachsen.

Dazu wurden jährliche Austauschtreffen organisiert und sowohl in Untergruppen als auch im gesamten Projektkonsortium mit allen Projektpartnern die bereits vorliegenden Ergebnisse diskutiert. Darauf aufbauend wurde die Planung für die Folgesaison entsprechend gemeinsam erarbeitet und abgestimmt. Im Rahmen von Protokollen, Präsentationen und Zwischenberichten wurden die Ergebnisse zusammengefasst und verschriftlicht und allen OG-Mitgliedern zur Verfügung gestellt. Im Laufe der Saison fand - je nach Bedarf und Anlass - ein regelmäßiger Austausch aller Projektpartner untereinander (telefonisch, per Mail, Videokonferenz etc.) statt. Aufgrund der Corona Pandemie und der großen Entfernungen zwischen den jeweiligen Standorten wurden die Projekttreffen i. d. R. in digitaler Form mittels Videokonferenz abgehalten.

Die einzelnen OG-Mitglieder agierten dann bei der konkreten Umsetzung ihres Arbeitspaketes weitgehend während der Saison selbständig und eigenverantwortlich. Die OG Z führte alle für das operative Geschäft notwendigen Informationen von den einzelnen OG-Mitgliedern zusammen und koordinierte falls nötig das operative Geschäft.

2.3.2. Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG

Durch die Zusammenarbeit als OG konnten die Expertise und die Perspektive der verschiedenen OG-Mitglieder in das Projekt einfließen. Aus dem Kreis der beteiligten Betriebe stammte letztlich auch die ursprüngliche Idee zur Beantragung des Projekts, um frühzeitig Lösungsansätze für eine reduzierte Düngung zu erarbeiten. Bereits während der Planung des Projekts wurde die Praxisnähe in den Fokus gerückt. Der Projektansatz sollte stets auch die praktische Umsetzbarkeit auf dem Feld im Blick behalten. Dieser „on-farm-research-Charakter“ wurde durch die direkte Zusammenarbeit mit den beiden Praxisbetrieben und die Anlage der Versuche auf Praxisschlägen erfüllt. Ein weiterer Vorteil durch die Zusammenarbeit als OG lag in der Vernetzung der jeweiligen Projektpartner. Ebendiese Vernetzung auch mit anderen Projekten und Organisationen konnte zudem über das EIP-Netzwerk erreicht werden. Durch die Teilnahme an EIP-Netzwerk-Treffen, EIP-Workshops für operationelle Gruppen oder Fachmessen wie der innovate!now konnte das Projekt auch bundesweit und fachübergreifend bekannt gemacht werden.

2.3.3. Gestaltung der weiteren Zusammenarbeit der OG-Mitglieder nach Projektabschluss

Im Rahmen des Projekt-Abschlusstreffens am 29.03.2023 in Hannover wurde auch die Frage nach den Möglichkeiten der weiteren Zusammenarbeit der OG-Mitglieder nach Projektabschluss diskutiert. Die OG-Mitglieder waren sich einig, dass die Thematik der teilflächenspezifischen Düngung mittels bildgebender Sensorik weiterhin einen vielversprechenden Ansatz darstellt, um die Effizienz der N-Düngung im Freilandgemüsebau zu steigern und so zum einen den Düngemiteleinsatz reduzieren zu können und gleichzeitig Nährstoffausträgen vorzubeugen. In welcher Form eine solche Zusammenarbeit im Weiteren realisiert werden kann, konnte noch nicht abschließend geklärt werden. Die Projektpartner werden jedoch über den Projektzeitraum hinaus in Kontakt stehen.

Im Projektverlauf wurde zunehmend deutlich, dass begleitend ein Versuchswesen auf Basis von Exaktversuchen notwendig werden könnte, um eine ausreichende Datengrundlage für Kalibrationen zwischen N-Versorgung und Pflanzenindices zu erhalten. Eine Fortführung im Rahmen eines EIP-Projekts wird vor allem aufgrund der vermuteten notwendigen grundlagenwissenschaftlichen Ausrichtung und damit der fehlenden für eine EIP-Förderung notwendigen Praxisausrichtung jedoch von den Projektpartnern nicht weiter verfolgt (vgl. Anlage 1). Die Projektpartner können solche Datenerhebungen und Auswertungen so nicht leisten. Weitere auf Forschung und Entwicklung spezialisierte Partner und Institutionen wären notwendig, um die erforderlichen Probenahmen, Analysen und Auswertungen finanziell und personell leisten zu können.

2.4. Ergebnisse des Innovationsprojekts

2.4.1. Zielerreichung

Grundsätzlich stand mit den unter Punkt 2.2.2 formulierten Teilzielen das Gesamtziel im Vordergrund, das Verfahren der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mithilfe bildgebender Sensorik hinsichtlich seiner Eignung für die Anwendung im Freilandgemüsebau zu testen. Besonders vor dem Hintergrund, dass für dieses Verfahren erst sehr wenige Erfahrungswerte mit gemüsebaulichen Kulturen vorliegen, sollte das Projekt wichtige Ergebnisse und Erfahrungswerte liefern. Dabei sollte auch stets die Umsetzbarkeit in der Praxis im Fokus stehen.

Das Gesamtziel konnte im Rahmen des Projekts RESIDUE erreicht werden. In praktischen Versuchen konnten zahlreiche Daten und Erfahrungen mit bildgebender Sensorik für die beiden Beispielkulturen Brokkoli und Eissalat gesammelt werden. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse erfolgt unter Punkt 2.4.3 Projektverlauf. Neben den Möglichkeiten für den Gemüsebau wurden im Rahmen des Projekts jedoch auch die Herausforderungen dieses Verfahrens identifiziert. Als zentraler Aspekt hat sich die Kalibration der Vegetationsindices ergeben, die neben der N-Versorgung durch vielfältige andere Faktoren beeinflusst wird. Dieser Punkt erfordert noch eine umfassende (grundlagen-)wissenschaftliche Bearbeitung. Für den zukünftigen Einsatz wird auch die Vielfalt der angebauten Kulturen, Sorten und Kulturverfahren des Gemüsebaus weiterhin eine Schwierigkeit darstellen.

Von den drei formulierten Teilzielen (vgl. 2.2.2 Projektaufgabenstellung) stand somit das erste Teilziel „Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mithilfe von Applikationskarten auf Grundlage von Vegetationsindices“ im Fokus des Projekts. Hier wurde eine umfassende Daten- und Erfahrungsgrundlage geschaffen. Eine Ausrichtung der Kopfdüngung anhand von Applikationskarten konnte nur annäherungsweise umgesetzt werden. Von einer Bearbeitung des Teilziels 3 „Erprobung präziser Ausbringungstechniken“ wurde im Rahmen des Projekts aufgrund der unterschiedlichen Maschinenausstattung der Betriebe und fehlender finanzieller Mittel abgesehen. Des Weiteren war die Erfüllung der Teilziele 1 und 2 Voraussetzung für die Umsetzung von Teilziel 3.

2.4.2. Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis

Folgende Abweichungen vom Geschäftsplan ergaben sich im Laufe des Projekts:

- (1) Aufgrund der Corona Pandemie und der dadurch verspäteten Besetzung der Position der Versuchsleitung konnte das Projekt erst zum 01.06.2020 starten. Dennoch wurden insgesamt acht der ursprünglich geplanten zehn Versuche im Jahr 2020 durchgeführt. Die Betriebe leisteten Vorarbeit durch Anlage von Vorversuchen (Streifenversuche ohne Wiederholung).
- (2) Ursprünglich sollten auf beiden Betrieben Versuche mit beiden Beispielkulturen durchgeführt werden. Aufgrund der großen Entfernung zu den Brokkoliflächen im Betrieb Behr am Standort Gresse (Mecklenburg-Vorpommern) wurde in Abstimmung mit allen OG-Mitgliedern der Schwerpunkt der Brokkoliversuche auf den Betrieb Mählmann und der Eissalatversuche auf den Betrieb Behr (Standort Ohlendorf) gelegt. Dieses Vorgehen wurde in den Folgejahren beibehalten.
- (3) Als **zentrale Fragestellung** hat sich im Laufe des Projekts **die Kalibration der Drohrendaten** anhand der N-Versorgung der Pflanze bzw. des Bodens dargestellt. Daher lag dort auch im weiteren Projektverlauf der Fokus der Versuche. Da eine belastbare und zufriedenstellende Ableitung der Stickstoffversorgung anhand der Indices nicht möglich war, konnte entgegen der Planung zu Projektbeginn keine Kopfdüngung mithilfe von Applikationskarten erfolgen. Im letzten Projektjahr 2022 wurde dies jedoch auf Parzellenebene anhand von Schätzwerten durchgeführt.
- (4) Von einer Erprobung präziser Applikationstechniken wurde aufgrund der unterschiedlichen Maschinenausstattung der Betriebe und fehlender finanzieller Mittel abgesehen. Zudem war die Erfüllung der Teilziele 1 und 2 Voraussetzung für die Umsetzung dieses Teilziels. In 2021 wurden hierzu erste Erfahrungen in Tastversuchen auf dem Betrieb Mählmann gewonnen. Die OG 5 Agrarpohl erstellte für zwei Brokkoliflächen Applikationskarten, anhand derer die anschließende Kopfdüngung appliziert wurde. Im Fokus stand hierbei die Frage der technischen Umsetzbarkeit mithilfe des im Betrieb verwendeten Flüssigdüngesystems. Eine Auswertung der Ernte hat nicht stattgefunden.
- (5) Die Auswertung der Satellitendaten ergab i. d. R. bereits eine optimale und weitgehend homogene Grundnährstoffversorgung der Flächen. Eine Anpassung der Grunddüngung mithilfe der Managementzonenkarten wurde daher nicht durchgeführt. Dennoch dienten die Karten als zusätzliche Basis zur Einschätzung der Flächenheterogenität. Die Karten lieferten wichtige Erkenntnisse in Bezug auf die - neben Stickstoff - übrigen Faktoren, die Einfluss auf die Indices ausgeübt haben, da sie den Biomasseaufwuchs der vergangenen Jahre zeigen und Hinweise auf unterschiedliche Ertragspotentiale geben. Aufgrund der häufig sehr kurzfristigen Flächenauswahl und -belegung konnten 2022 keine Grundbodenuntersuchungen durch die OG 4 Agravis Netfarming durchgeführt werden.
- (6) Statt der ursprünglich geplanten zehn Versuche (fünf Versuche pro Betrieb) wurde 2022 mit den OG-Mitgliedern eine Reduzierung der Anzahl der Versuche vereinbart, die dann mit in einem größeren Umfang beprobt wurden, um die Frage der Kalibration tiefergehend zu bearbeiten.

2.4.3. Projektverlauf

2.4.3.1. Versuchsstandorte

Die Umsetzung der Versuche erfolgte auf den Flächen der beiden am Projekt beteiligten Gemüsebaubetriebe Mählmann GmbH & Co. KG sowie der Behr AG (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).



Abbildung 1: Lage der Praxisbetriebe in Niedersachsen

Der Betrieb Mählmann hat seinen Betriebssitz im Oldenburger Münsterland. Die Region ist geprägt durch Geest- und Moorböden. Vorherrschend sind Geestplatten und Endmoränen mit Sandlöß- und Lehmgebieten sowie fluviatilen und glazifluviatilen Ablagerungen. Im Süden schließen sich Talsandniederungen und Urstromtäler an. Als Bodentypen sind Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksanden über Geschiebelehm, Parabraunerden aus Sandlössen über glazifluviatilen Sanden vorherrschend sowie Podsole aus älteren Flugsanden über Talsanden im Süden der Region⁷. Der Betriebssitz Cappeln profitiert von einer Löss-Lehm-Zunge, hier können auch die

Bodenarten lehmiger Sand (IS) oder schluffiger Lehm (uL) vorgefunden werden⁸. Die Bodengüte variiert je nach Bodentyp im Schnitt zwischen 30 bis 50 Bodenpunkten⁷. Das Relief der Landschaft ist eben bis flachwellig mit Geländehöhen zwischen 2 und 55 m über Meeresebene. Durch die Lage im Übergangsbereich zwischen dem kontinentalen Klima im Süden und Osten und dem maritimen Klima der Nordseeküste ist der Standort durch gemäßigt-seeklimatisch, beeinflusst durch feuchte Nordwestwinde von der Nordsee, geprägt⁹. Durch die vorherrschende landwirtschaftliche Produktion im Gebiet sind die Böden oftmals langjährig organisch gedüngt.

Die Versuche auf dem Betrieb Behr fanden am Standort Ohlendorf in der Gemeinde Seevetal im Landkreis Harburg statt. Der Landkreis grenzt im Nordosten an die Marschgebiete der Unterelbe und umfasst im Süden Teile des Naturparks Lüneburger Heide sowie im Nordwesten Teile der Stader Geest¹⁰. Auch in dieser Region sind Geestplatten und Endmoränen mit Lehmgebieten oder fluviatilen und glazifluviatilen Ablagerungen vorherrschend. Als Bodentypen sind überwiegend Pseudogley-Podsole oder Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksanden über Geschiebelehm, vereinzelt auch Podsol-Braunerden aus Geschiebedecksanden über glazifluviatilen Sanden anzutreffen. Die Ackerzahl beträgt im Schnitt zwischen 30 bis 40 Bodenpunkten⁷.

⁷ NIBIS® Kartenserver (2023): Allgemeine Bodenkarten - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover

⁸ Dr. Carsten Vorsatz, Mählmann Gemüsebau GmbH & Co. KG. E-Mail vom 12.04.2023

⁹ Hoffmeister (1930): Das Klima Niedersachsens. Veröffentlichungen der wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft zum Studium Niedersachsens. Reihe B, Heft 6, Hannover.

¹⁰ Landkreis Harburg (Hrsg.) (2012): Landkreis Harburg; Landkreis Harburg Selbstverlag, Winsen (Luhe)

2.4.3.2. Versuchsaufbau & Datenerfassung

Die Versuchsansätze und das -design der einzelnen Projektjahre sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die Versuchsergebnisse wurden im Rahmen von jährlichen Projekttreffen allen OG-Mitgliedern vorgestellt und bildeten die Grundlage für die Anpassung der Versuchsansätze der Folgejahre. Daher variierten die Versuchsansätze leicht von Jahr zu Jahr.

Die Versuche wurden unter realen Produktionsbedingungen durchgeführt. Das bedeutet, die Anlage der Varianten erfolgte auf Flächen mit praxisüblicher Größe und gebräuchlichen landwirtschaftlichen Maschinen. Während die Parzellen im ersten Versuchsjahr 2020 als Exaktversuch in Form einer randomisierten Blockanlage mit vierfacher Wiederholung angelegt wurden, konnte dieser Ansatz in den Folgejahren aufgrund finanzieller und personeller Grenzen nicht aufrechterhalten werden. Stattdessen wurden Großparzellen ohne echte Wiederholungen angelegt.

Bei den Brokkoliversuchen wurden bevorzugt Flächen ausgewählt, auf denen zuvor Wintergetreide angebaut wurde, um mögliche Düngeeffekte nicht durch eine verstärkte Nachlieferung aus einer gemüsebaulichen Vorkultur zu überdecken.

Tabelle 4: Versuchsansätze 2020-2022

Jahr	2020	2021	2022
Ziel	Kalibration der Drohnendaten	Kalibration der Drohnendaten	Kalibration der Drohnendaten
Versuchsansatz	Anlage von Düngeparzellen mit abgestufter N-Startdüngung	Anlage d. Versuchsparzellen anhand von „on-field“-Zonenkarte d. Gesamtfläche	Anlage von Düngeparzellen mit abgestufter N-Düngung & Nachdüngung anhand von Drohnenkarte
Versuchsdesign	Randomisierte Blockanlage 4-fache Wiederholung 3 Versuchsglieder Parzellengröße: 6,60 m x 10 m (Brokkoli) 12,0 m x 10 m (Eissalat) Anzahl Versuche: 8	Anlage von Großparzellen & Nullparzelle keine Wiederholung 4 Versuchsglieder Parzellengröße: 16,2 m x 50 m (Brokkoli) 12,0 m x 50 m (Eissalat) Anzahl Versuche: 10	Anlage von Großparzellen zur Pflanzung & zur Kopfdüngung keine Wiederholung 4 Versuchsglieder (Brokkoli) 7-11 VG (Eissalat) Parzellengröße: 16,2 m x 50 m (Brokkoli) 12,0 m x 50 m (Eissalat) Anzahl Versuche: 6

Satellitendatenauswertung

Sobald die Flächenauswahl durch die Betriebe stattgefunden hat, wurden die Daten an die OG 4 Agravis Netfarming weitergeleitet. Für die ausgewählten Flächen wertete die OG Satellitendaten der vergangenen Fruchtfolgen aus (10-15 Jahre im Rückblick) und erstellte Managementzonenkarten, die sich auf den Biomasseaufwuchs der letzten Jahre bezogen. So können unterschiedliche Ertragspotentiale (Ertragsfähigkeitszonen) innerhalb der Fläche errechnet und ausgewiesen und eine Einschätzung zur Schlagheterogenität getroffen werden. Auf Basis dieser Managementzonenkarten

wurden die Teilbereiche für eine teilflächenspezifische Grundbodenanalyse festgelegt. Anhand der Ergebnisse wurden Streukarten für die Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie Kalk erstellt.

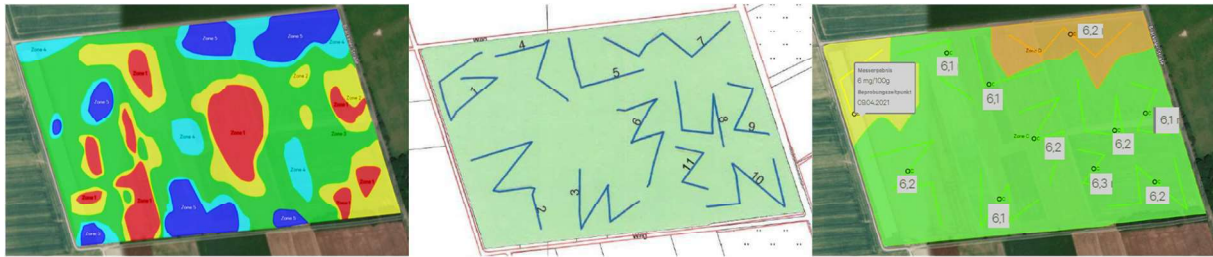


Abbildung 2: Managementzonenkarte einer Versuchsfläche, Festlegung der Probenahmebereiche für die teilflächenspezifische Grundbodenanalyse, Streukarte für Kalk (von links nach rechts)

Drohnenbefliegung

Die Drohnenbefliegungen wurden immer zum Zeitpunkt der Kopfdüngung der Kulturen, also bei Brokkoli ca. 3,5 Wochen nach Pflanzung und beim Eissalat ca. 10-14 Tage nach Pflanzung durch die Firma Agrarpohl durchgeführt. Verwendet wurde ein Quadrocopter, an dem der Sensor RedEdgeMX der Firma MicaSense Inc. verbaut ist. Der Sensor misst passiv die Lichtreflexion des Pflanzenbestandes in fünf verschiedenen spektralen Lichtbändern. Diese sind Blau (475 nm, 20 nm Bandbreite), Grün (560 nm, 20 nm Bandbreite), Rot (668 nm, 10 nm Bandbreite), Red Edge (717 nm, 10 nm Bandbreite) und Nahinfrarot (840 nm, 40 nm Bandbreite). Durch einen Tageslichtsensor und einen Weißabgleich wird die Vergleichbarkeit der Daten unabhängig von der tagesaktuellen Einstrahlung sichergestellt. Die Flughöhe über den Versuchspartellen betrug i. d. R. 20 m, die Gesamtfläche wurde in einer Höhe von ca. 90 m überflogen. Für die Berechnung der Vegetationsindices wurden die Reflexionsmittelwerte der Parzellen herangezogen. Vor Flugbeginn wurden die Parzellen per RTK-GPS am Boden eingemessen. Der Quadrocopter arbeitete ebenfalls mit einem RTK-GPS-System, sodass die Parzellen georeferenziert auf 2 cm genau erfasst werden konnten.



Abbildung 3: Multicopter vor Brokkolibestand

Datenerfassung & Probenahme

Für die Kalibration der Vegetationsindices wurden begleitend zur Drohnenbefliegung Boden- und Pflanzenproben entnommen. Die N_{min} -Probenahme erfolgte mithilfe eines Pürckhauer Bohrstocks in den Schichttiefen 0-30 cm und 30-60 cm mit sechs Einstichen pro Parzelle. Die anschließende Analyse wurde durch das Labor der LUFA Nord-West in Hameln nach der Methode VDLUFA I, A 6.1.4.1; 2002

durchgeführt. Für die Pflanzenproben wurden 20 Pflanzen pro Parzelle entnommen, das Frischmassegewicht der Einzelpflanzen bestimmt und eine Mischprobe aus ca. 1000 g frischem Pflanzenmaterial eingewogen. Diese wurden anschließend im Trockenschrank bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und das Trockengewicht erfasst. Die folgende Analyse auf den Gesamtstickstoffgehalt erfolgte nach der Methode Stickstoffbestimmung nach Dumas (VDLUFA III, Methode 4.1.2, VDLUFA 2004) durch das Labor der LUFA Nord-West Hameln.



Abbildung 4: Entnahme von Boden- und Pflanzenproben im Eissalat

Im ersten und letzten Versuchsjahr 2020 und 2022 wurde im Eissalat zusätzlich eine Datenerfassung zur Ernte durchgeführt. Diese umfasste neben der Befliegung und Probenahme zudem eine Ertrags- und Qualitätserfassung. Grundlage für die Qualitätserfassung waren die Standards der EU- bzw. UNECE-Norm für Eissalat sowie ein Mindestgewicht von 500 g/Kopf zur Einstufung in Klasse I.

Im letzten Versuchsjahr 2022 wurde im Eissalat annäherungsweise die geplante Ausrichtung der Kopfdüngung anhand der Applikationskarte aus der Drohnenbefliegung durchgeführt. Die Gesamtfläche wurde in vier Stufen von sehr gut bis schlecht eingeteilt. In jedem Teilbereich wurden zwei repräsentative Versuchspartellen angelegt. Ausgehend von der Höhe der betriebsüblichen Nachdüngung wurde für die als „schlecht“ und „mittel“ eingestuften Bereiche ein Aufschlag der Kopfdüngung festgelegt. Die als „gut“ bzw. „sehr gut“ eingestuften Bereiche erhielten einen Abschlag der Kopfdüngung bzw. in den sehr guten Bereichen entfiel die Kopfdüngung. Zum Zeitpunkt der Ernte wurden in diesen Partellen sowie in den betriebsüblich nachgedüngten Referenzpartellen Boden- und Pflanzenproben entnommen sowie eine Beurteilung von Ertrag und Qualität durchgeführt.

2.4.4. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse der drei Versuchsjahre werden im Folgenden stichpunktartig dargestellt. Detaillierte Auswertungen sind in Form einer Ergebnispräsentation beigefügt (vgl. Anlage 2).

2.4.4.1. Versuchsergebnisse 2020

- Aufgrund der Corona Pandemie und der dadurch verspäteten Besetzung der Stelle der Versuchsleitung konnte das Projekt erst zum 01.06.2020 starten. Dennoch wurden insgesamt acht der ursprünglich geplanten zehn Versuche durchgeführt. Die Betriebe leisteten Vorarbeit durch Anlage von Vorversuchen (Streifenversuche ohne Wdh.).
- Zentrales Versuchsziel für 2020 war es, eine Datengrundlage zu schaffen, um die Pflanzenindices aus der Drohnenbefliegung anhand von Boden- und Pflanzenproben zu kalibrieren.
- Zu diesem Zweck wurden Versuchspartellen innerhalb der Praxisfläche angelegt. Diese erhielten eine abgestufte Startstickstoffdüngung, um Standortheterogenitäten in der Fläche zu simulieren.

Diese wurden zum Zeitpunkt der Kopfdüngung mit der Drohne befliegen. Parallel wurden Boden- und Pflanzenproben entnommen.

- Die Versuche mit Brokkoli wurden schwerpunktmäßig auf dem Betrieb Mählmann und die Versuche mit Eissalat schwerpunktmäßig auf dem Betrieb Behr angelegt. Ursache hierfür war die Lage der Brokkoliflächen im Betrieb Behr am weiter entfernt liegenden Standort in Gresse (Mecklenburg-Vorpommern). Diese Aufteilung wurde in den Folgejahren aus den genannten Gründen beibehalten.
- In der Kultur Brokkoli wurde sich auf eine Befliegung und Probenahme zum Kopfdüngungstermin (3,5-4 Wochen nach Pflanzung) beschränkt, da bereits zu diesem Zeitpunkt aussagekräftige Ergebnisse erwartet wurden.
- Bei der Kultur Eissalat wurde auch eine Abstufung der Kopfdüngung vorgenommen und eine zweite Befliegung zum Erntezeitpunkt durchgeführt, da aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Pflanzen zum Kopfdüngungstermin (10-14 DAP) noch nicht mit Unterschieden gerechnet wurde.
- In der Kultur Eissalat wurde zusätzlich eine Ertrags- und Qualitätsbewertung zur Ernte durchgeführt.

- Es wurden Korrelationen zwischen N-Gehalt in der Pflanze (% N in TM) und den einzelnen Vegetationsindices berechnet.
- In 2020 konnte keine eindeutige Korrelation zwischen den Vegetationsindices aus der Drohnenbefliegung und dem Stickstoffgehalt in der Pflanze festgestellt werden. Lediglich ein Brokkoliversuch lieferte gute positive Korrelationen.
- Im Vergleich mit verschiedenen Literaturquellen deuteten die festgestellten Stickstoffgehalte in der Pflanzenmasse darauf hin, dass sowohl Brokkoli als auch Eissalat in allen Düngestufen gut versorgt waren (3 - 5% N in der TM).
- Auch in der Ertragsauswertung der Eissalatversuche konnten keine Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Düngestufen festgestellt werden. Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen begründeten sich wahrscheinlich in Standortunterschieden und unterschiedlichen Erntezeitpunkten.
- In den Zonenkarten der Befliegung der Gesamtflächen konnten jedoch Unterschiede in der Fläche ausgewiesen werden. Dies bildete die Grundlage für den Versuchsaufbau im zweiten Versuchsjahr 2021.

2.4.4.2. Versuchsergebnisse 2021

- Statt der Anlage von Düngeparzellen wurden die Versuchspartellen anhand von „on-field“-Zonenkarten der Gesamtfläche festgelegt
 - zuerst wurde die Gesamtfläche mit der Drohne zum Zeitpunkt der Kopfdüngung befliegen
 - die Daten aus der Befliegung wurden in vorläufiges Kartenmaterial überführt, welches die Identifizierung unterschiedlicher Zonen im Feld ermöglicht
 - anhand dessen wurden Bereiche im Feld für die Entnahme von Pflanzenmaterial und Bodenproben festgelegt. Die Anzahl der Probenahmebereiche war dabei abhängig von der Flächenheterogenität
- Zusätzlich wurden Nullparzellen im Feld zur Standortcharakterisierung (Abschätzung der N-Nachlieferung) angelegt.
- Parallel zur Drohnenbefliegung wurden Pflanzen- und Bodenproben entnommen und das Frischmassegewicht der Einzelpflanzen bestimmt.
- Die Proben wurden anschließend im Labor analysiert. Die Analyseergebnisse wurden für eine Korrelationsberechnung mit den Vegetationsindices genutzt.

- In der Einzelbetrachtung konnten in fast allen Versuchen sehr gute Korrelationen zwischen Nt Pflanze (kg N/ha) (kalkuliert aus N in der TM und hochgerechnetem FM-Ertrag) mit Indices festgestellt werden. Besonders die Indices NDVI, NDRE und GLI lieferten gute Ergebnisse; der CCCI hingegen eher nicht.
- Ebenfalls sehr gute Korrelationen konnten zwischen Gesamtaufwuchs (dt FM/ha) und Bedeckungsgrad (BG %) mit den Indices NDVI, NDRE und GLI erreicht werden.
- Die Gesamtbetrachtung der Versuche lieferte jedoch nur mäßige Korrelationen zw. Nt Pflanze (kg N/ha) und Indexwerten. Es ist also noch kein eindeutiger und robuster Rückschluss auf den N-Gehalt in der Pflanze anhand von Indices möglich.
- Die Nullparzellen waren nicht in allen Versuchen erkennbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zu diesem frühen Zeitpunkt der N-Bedarf der Pflanze noch durch Bodenvorrat abgedeckt werden kann.
- Die Erfassung von Einzelpflanzengewichten war sinnvoll, da hinsichtlich des Stickstoffgehalts (% N in TM) zwischen den Varianten kaum Unterschiede festgestellt werden konnten, bei Betrachtung der Stickstoffmengen (kg N/ha) jedoch deutliche Unterschiede erkennbar waren.
- Dies deutete darauf hin, dass der N-Status der Pflanzen durch die Pflanzenindices erst abgebildet werden konnte als auch die Frischmasse mit einbezogen wurde bzw. nicht die Nährstoffkonzentration der Pflanze entscheidend war, sondern die kalkulatorisch entzogene N-Menge. Bereits im Versuchsjahr 2020 konnte eine gute Korrelation zwischen Indices und Bedeckungsgrad festgestellt werden. Somit scheinen die Indices mehr auf die Pflanzenmasse zu reagieren und weniger auf den N-Status der Pflanze selbst. Damit wäre die Korrelation mit der entzogenen N-Menge (kg N pro ha) „nur“ ein indirekter Hinweis auf die N-Versorgung der Pflanze.
- Die Ertragszonenkarten auf Grundlage der Satellitendatenauswertung waren nur teilweise mit den Ergebnissen der Drohnenkarten konform. Hier werden aber zwei unterschiedliche Zeitpunkte und Kulturen betrachtet. Des Weiteren spielen die Witterungsverhältnisse und Kulturansprüche der Einzeljahre eine Rolle für die Einschätzung der Ertragsfähigkeit von Teilflächen. Die Grundbodenuntersuchungen zeigten eine insgesamt relativ homogene und gute Versorgung der Flächen mit Grundnährstoffen.
- In vielen Versuchen zeigte sich, dass häufig andere Faktoren (z.B. Wasserversorgung, Bodeneigenschaften, Standort etc.) einen größeren Einfluss auf die Bestandsentwicklung hatten als die N-Versorgung.
- Als Nebenergebnis kann festgehalten werden, dass Unkrautbewuchs die Einschätzung der Vegetationsindices stark beeinflussen kann. Bereiche mit verstärktem Unkrautbewuchs werden aufgrund der „Grünfärbung“ und des Biomasseaufwuchses als besonders „gute“ Bereiche eingestuft.

2.4.4.3. Versuchsergebnisse 2022

Eissalat

- Es konnten zum Teil gute Korrelationen zwischen N-Gehalt in der Pflanze (kg N/ha) und den Pflanzenindices festgestellt werden. Die Ergebnislage ist vergleichbar mit den Vorjahren.
- Die Eissaltpflanzen sind grundsätzlich zum Zeitpunkt der Kopfdüngung noch relativ klein, sodass die Pflanzengröße einen stärkeren Einfluss auf die Indices hatte als die Ausfärbung, die jedoch am besten Aufschluss über die N-Versorgung der Pflanze gibt.
- In den als „gut“ bzw. „sehr gut“ eingestuften Bereichen hatte die Reduzierung der Kopfdüngung keine negativen Effekte auf den Ertrag und die Qualität des Eissalates zur Folge.

- Die Erhöhung der Kopfdüngung in den als „schlecht“ bzw. „mittel“ eingestuften Bereichen konnte nur im Einzelfall zu einer Verbesserung von Ertrag und Qualität im Vergleich zur betriebsüblichen Nachdüngung führen. Ursache für das schlechtere Pflanzenwachstum waren daher in den übrigen Fällen offensichtlich nicht in der Stickstoffversorgung begründet, sondern konnten auf Einflüsse durch Wasserverfügbarkeit oder Standorteffekte zurückgeführt werden.
- Unterschiede, die sich zum Zeitpunkt der Kopfdüngung im Pflanzenwachstum feststellen ließen, glichen sich häufig bis zur Ernte an. Standorteffekte waren jedoch häufig auch zum Zeitpunkt der Ernte noch feststellbar.

Brokkoli

- Die Brokkoliversuche waren im Jahr 2022 stark durch die Dürre beeinflusst. Die geplante Auswertung zur Ernte konnte aus diesem Grund nicht durchgeführt werden.
- Auch die Auswertungen zum Zeitpunkt der Kopfdüngung waren stark durch die Trockenheit beeinflusst. Die Pflanzen waren häufig noch sehr klein und eventuelle Düngeeffekte wurden durch den Trockenstress überlagert.

2.4.5. Gesamtergebnisse und Einordnung der Ergebnisse

Als zentrale Herausforderung hat sich die Kalibration der Drohnendaten erwiesen. In mehreren Versuchen konnten gute Zusammenhänge zwischen Indices und dem Stickstoffgehalt der Pflanzen festgestellt werden. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse zwischen den Versuchen war jedoch nicht gegeben. Ein eindeutiger Rückschluss auf den N-Gehalt anhand der Indices ist somit noch nicht möglich. Häufig wurden Unterschiede in der N-Versorgung auch durch andere wesentliche Faktoren des Pflanzenwachstums wie z. B. Wasserverfügbarkeit, Bodenbeschaffenheit o. ä. überdeckt. Die genaue Kenntnis der Flächen und der erfahrene Blick des Anbauers auf seine Kultur bleiben also unersetzlich.

Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Eignung der unterschiedlichen Indices. Je nach Kultur ergeben sich verschiedene Schwierigkeiten: bei sehr kleinen Pflanzen muss der Einfluss der Bodenreflexion unbedingt berücksichtigt werden. Die Pflanzengröße spielt hier häufig eine größere Rolle als die Ausfärbung der Blätter. Bei sehr großen bzw. dichten Pflanzenbeständen hingegen weisen einige Indices einen Sättigungseffekt auf (z. B. NDVI). Unterschiede in der N-Versorgung können in diesem Fall nicht mehr sicher erkannt werden.

Ein weiterer Faktor ist der richtige Zeitpunkt der Befliegung. Die Pflanzen müssen groß genug sein, damit sich Unterschiede in der N-Versorgung überhaupt im Chlorophyllgehalt der Pflanzen widerspiegeln. In sehr frühen Wachstumsstadien sind i. d. R. bereits geringe N-Mengen für die Versorgung der Kultur ausreichend. Andererseits darf der Zeitpunkt der Befliegung auch nicht zu spät gewählt werden. Ein Durchfahren mit der entsprechenden Düngetechnik muss noch möglich sein, ohne größere Schäden an der Kultur zu verursachen. Außerdem müssen die Pflanzen noch in der Lage sein, die N-Gabe sinnvoll zu verwerten; Defizite zu Beginn der Kultur können im Nachhinein häufig nicht mehr ausgeglichen werden.

Einige der zuvor genannten Aspekte (Einfluss anderer Faktoren als die N-Versorgung auf die Indices, Eignung der Indices in Hinblick auf die Sorten und das Wachstumsstadium/die Pflanzengröße, Zeitpunkt der Befliegung, Nachlieferungspotential der Versuchsflächen) wurden auch in anderen Studien angemerkt.

Nach Pfenning et al. (2013)¹¹ steht die Intensität der Grünfärbung in unmittelbarem Zusammenhang mit dem N-Gehalt in Pflanzengeweben und kann bei Reflexionsmessungen als Aussage zur N-Versorgung genutzt werden, bevor Chlorosen auftreten. Die Autoren zeigen in ihrer Studie, dass Reflexionsmessungen auch bei Brokkoli den N-Versorgungsstatus von Brokkoliblättern zeitnah beschreiben können und diese im Zusammenhang mit dem Ertrag stehen. Eine Messung des sogenannten b-Parameters (beschreibt den Grün-Gelb-Anteil einer Farbe) im Bereich von 510 – 780 nm ist dabei geeignet, ein Düngungsmodell zur Bemessung der N-Menge zu erstellen. Grundsätzlich ist die Nutzung von Reflexionsmessungen also möglich.

In einer Projektarbeit mit Brokkoli (Robert, 2020)¹², die ebenfalls auf dem an diesem Projekt teilnehmenden Betrieb Mählmann stattfand und sich mit Reflexionsmessungen mittels Drohne befasste, konnten - im Gegensatz zu den Versuchen des vorliegenden Berichtes - in verschiedenen über die Wachstumsaison verteilten Versuchsansätzen Unterschiede in der N-Versorgung (% N in der TM) sowie der Aufnahme (kg N ha^{-1}) zwischen 30 und 48 Tagen nach Pflanzung gefunden werden. In einem ersten Versuchsansatz im April 2019 waren aber auch nach 34 Tagen keine Unterschiede zu finden. Dies deutet darauf hin, dass zu Beginn der Saison noch sehr viel N aus der Bodensubstanz nachgeliefert wurde. Nur in dem späten Versuchsansatz konnten in den Nullparzellen N-Gehalte $< 3\%$ in der TM gefunden werden, die auf einen echten Mangel hinweisen. Die Befliegungen mit der Drohne erfolgten zu unterschiedlichen Wachstumsstadien (vor und zum Reihenschluss). In diesen Versuchsreihen war ein sehr heterogenes Bild aufzufinden. Lediglich im letzten Versuchsansatz mit Befliegung im August konnten alle Indices gute Korrelationen mit der N-Aufnahme (kg N ha^{-1}) zeigen. Wurde jedoch die (nicht praxisübliche) Nullparzelle aus den Berechnungen entnommen, sanken die Bestimmtheitsmaße der Korrelationen. Zudem bewegten sich die Werte der Indices nur in einer sehr geringen Spannweite, die nicht überinterpretiert werden sollten. Der NDVI sowie der CCCI zeigten in diesem Versuch Korrelationen. In den übrigen Versuchen war dies so nicht der Fall. Die Ergebnisse der Projektarbeit zeigen damit ähnliche Herausforderungen wie im vorliegenden Bericht.

Eine große Rolle spielt also die Stickstoffnachlieferung. Diese ist nur schwer abzuschätzen. Besonders auf langjährig organisch gedüngten Flächen oder Flächen mit engen Gemüsefruchtfolgen ist mit einer erhöhten N-Nachlieferung aus dem Boden zu rechnen. Temperatur und Wasserverfügbarkeit beeinflussen diese maßgeblich. Auch im Projekt konnte eine hohe N-Nachlieferung aus dem Boden festgestellt werden. Es lag in Einzelfällen (dort wo auch die reduziert gedüngten Parzellen bzw. Nullparzellen zum Zeitpunkt der Kopfdüngung N-Gehalte in der TM $> 3 - 5\%$ aufwiesen) bereits zur Startdüngung ein ausreichender N_{min} -Gehalt vor. Dies wurde in der betriebsüblichen Düngepraxis bereits berücksichtigt. Eine Reduzierung der Startgabe ist vor diesem Hintergrund jedoch auch immer mit einem erhöhten Produktionsrisiko verbunden, da auftretende Mangelsituationen ggfs. nicht mehr ausgeglichen werden können und z.B. Aufblüher oder lose Köpfe die Folge sind. Dies ist gleichbedeutend mit fehlender Vermarktungsfähigkeit.

Aus Versuchen am Gartenbaukompetenzzentrum Gülzow¹³ mit sechs Brokkolisorten und drei verschiedenen N-Versorgungsstufen (230 kg N/ha , 310 kg N/ha und 390 kg N/ha), die im selben Zeitraum und mit derselben technischen Ausstattung erfolgten wie im vorliegende Projekt, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

¹¹ Pfenning J, Graeff-Hönninger S, Claupein W (2013) Sensorgestützte Stickstoffdüngung bei Brokkoli, Aktuelle Versuchsergebnisse und Informationen aus Baden-Württemberg 2013, 49 - 54

¹² Robert M (2020): Nutzung verschiedener Sensortechniken und Vegetationsindices zur Optimierung der Stickstoffdüngung und -verteilung innerhalb von Brokkoliflächen (*Brassica oleracea* var. *Italica*), Projektbericht im Rahmen des B.Sc.-Studiiums an der Hochschule Osnabrück

¹³ K. Katroschan, F. Besand, GKZ Gülzow, Persönliche Mitteilungen beim Projekttreffen im März 2022

- Der Index GLI scheint bei hoher N-Versorgung einen Sättigungswert zu erreichen
- Die Indices NDVI und CCCI steigen mit zunehmender N-Versorgung an
- Der Index CCCI erscheint als der Index, der am besten zwischen den N-Stufen differenzieren kann
- Eine Varianzanalyse von Sorte x N-Versorgung zeigte, dass alle Indices gleich belastbar sind, unabhängig von der N-Versorgung, d.h. es gibt keine sortenspezifischen Effekte hinsichtlich der N-Versorgung
- Eine Varianzanalyse von Sorte x Befliegungszeitpunkt zeigte, dass der CCCI bei unterschiedlichen Befliegungszeitpunkten gleich belastbar bleibt; alle anderen Indices variieren in Abhängigkeit vom Zeitpunkt

Der Index CCCI (canopy chlorophyll content index) soll den „Laub“-N-Gehalt detektieren (Annahme ist dabei, dass der Chlorophyllgehalt mit dem N-Status korreliert). In einer Studie von Fitzgerald et al. (2010)¹⁴ wird in einer kurzen Literaturstudie in der Einleitung die gute Nutzbarkeit des CCCI für die Bestimmung des Laubstickstoffs beschrieben. Gleichzeitig wird jedoch darauf verwiesen, dass die Frage nach der Aussagekraft der Beziehung zwischen CCCI und dem N-Status (auch saison-, standort- und speziesübergreifend) noch nicht geklärt ist.

In der vorliegenden Studie lieferte der CCCI regelmäßig keine Korrelationen (speziell im Versuchsjahr 2021). Die anderen Indices zeigten bessere Korrelationen. Dies war vor allem dann der Fall, wenn der N-Gehalt in der TM anhand der ebenfalls ermittelten Frischmasse der Einzelpflanze auf den Hektar hochgerechnet wurde, also eine Verbindung zwischen N-Gehalt und Aufwuchs erzeugt wurde.

In derselben Studie von Fitzgerald et al. (2010)¹⁵ mit Weizen wurde ebenfalls der Frage nachgegangen, inwiefern und inwieweit ein Einbezug von Aufwuchs und N-Gehalt zu robusteren Korrelationen führen kann. Dazu wurde der Laub-N-Index (CNI - canopy nitrogen index) entwickelt, der die Biomasse normalisiert und N-Verdünnungseffekte im Laubdach korrigiert.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass eine direkte Verbindung von Messungen des Stickstoffs anhand von „remote“ Methoden, die die Einheit Stickstoff/Fläche (z.B. g m⁻²) nutzen, und dem N-Gehalt in der Pflanze (% N im Laub), keine geeignete Methode zur Abschätzung der Pflanzenkonzentration ist, wenn nicht zuerst der N-Verdünnungseffekt aufgrund des Biomasseaufwuchses in verschiedenen Wachstumsstadien einbezogen wird. Die Autoren schlagen daher vor, dass eine Kombination aus einer Modellierung der Biomasse (aufgrund der Tatsache, dass es im Feld kaum direkt zu messen ist) mit der Nutzung von „remote sensing“ eine Möglichkeit sein könnte, um Verdünnungseffekte aufgrund unterschiedlicher Wachstumsstadien herauszurechnen. Dies könnte ein Ansatz für zukünftige Versuchsansätze sein.

Eine weitere Herausforderung des vorliegenden Projekts lag darin, andere Einflussgrößen von den N-Effekten abzugrenzen. El-Shikha et al. (2007)¹⁶ untersuchten bei Brokkoli die Möglichkeiten von „remote sensing“ bei der Unterscheidung zwischen Wasser- und Stickstoffmangel. Auch in dieser Studie wurde deutlich, dass der CCCI unabhängig vom Wasserversorgungsstatus sehr gut den N-Status darstellen kann. Gleichzeitig zeigte sich, dass Vegetationsindices wie der NDVI innerhalb der Saison nicht immer zwischen -N/-Wasser und +N/-Wasser Behandlungen unterscheiden konnte. Die Autoren schlagen dabei vor, dass die Vegetationsindices genutzt werden könnten, um Wachstumshemmungen zu erkennen und dann der CCCI zum Einsatz kommt, um zu schauen, ob die Wachstumshemmung auf

¹⁴ Fitzgerald G, Rodriguez D, O’Leary G (2010): Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI), *Field Crops Research* 116, 318 - 324

¹⁵ ebenda

¹⁶ El-Shikha DM, Waller P, Hunsaker D, Clarke T, Barnes E (2007): Ground-based remote sensing for assessing water and nitrogen status of broccoli, *Agricultural and Water Management* 92, 183 - 193

N-Mangel zurückzuführen ist. Bei multiplen Stresssituationen kommt aber auch diese Vorgehensweise an ihre Grenzen. Im vorliegenden Projekt wurden die auf dem Biomasseaufwuchs der vergangenen Jahre basierenden Managementzonenkarten (MZK) zuallererst dafür genutzt, Ertragsunterschiede in der Fläche zu untersuchen und zu schauen, ob die Unterschiede auf den pH-Wert und den Nährstoffstatus zurückzuführen sind. Anhand der MZK wurde die Bodenuntersuchung vorgenommen und darauf aufbauend versucht, eine möglichst homogene Nährstoffversorgung herzustellen und die pH-Werte anzugleichen. Eine genauere Betrachtung der Flächen hinsichtlich ihres Ertragspotentials in den Vorjahren hat jedoch auch weitere Anwendungsmöglichkeiten, die hier nicht weiter untersucht wurden. Eine detailliertere Betrachtung der Flächenhistorie ggfs. auch aufgeteilt in Einzeljahre kann vertiefte Erkenntnisse über Teilflächen liefern.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden die beiden Gemüsekulturen Brokkoli und Eissalat aufgrund ihrer unterschiedlichen Reaktion/Empfindlichkeit auf die Stickstoffversorgung während bestimmter Zeitpunkte in der Bestandsentwicklung, ihrer N-Aufnahmekinetik in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium und hinsichtlich ihrer flächenmäßigen Bedeutung für den Gemüsebau und den Handel ausgewählt. Es hat sich in der praxisnahen Herangehensweise gezeigt, dass ein zielführender Einsatz bildgebender Verfahren zumindest in diesen Kulturen von vielen Faktoren abhängt. Die bildgebenden Verfahren haben prinzipiell das Potential, zusätzlich zu anderen saisonbegleitenden Verfahren, zur Ermittlung des N-Versorgungsstatus der Pflanzen (z.B. Düngefenster, kulturbegleitende N-Messungen in Boden und Pflanze (Stichwort Reflexionsmessung)) zu einer Steigerung der N-Effizienz auf der Fläche beizutragen. Grundsätzlich bleiben folgende Punkte offen und sollten in einer Kombination aus grundlagenorientierter und praxisbezogener Forschung in zukünftigen Projekten bearbeitet werden:

- Können die Indices die N-Versorgung der (Einzel-)Pflanze (N in der Pflanzenmasse) tatsächlich und reproduzierbar widerspiegeln?
- Können bildgebende Verfahren Mangelsituationen schneller detektieren als andere kulturbegleitende Untersuchungen? Ansonsten wäre eine Einführung in die Praxis nur schwierig zu vermitteln.
- Ist der Zeitpunkt der Kopfdüngung der richtige Zeitpunkt für eine Befliegung oder braucht es eine Kinetik?
- Wie wirken sich Sortenunterschiede aus (Erstellen von Datenbanken)?
- Wie kann das N-Nachlieferungspotential des Standortes möglichst ohne Steigerung des Produktionsrisikos berücksichtigt werden? Die zentrale Schwierigkeit für die Anwendung optischer Analyseverfahren im Gemüsebau insgesamt liegt jedoch vor allem in der großen Vielfalt der Kulturen, Sorten und Anbauverfahren. Um die Technik für verschiedene Kulturen nutzbar zu machen, ist eine wiederholte Kalibration notwendig (Datenerfassung und Bildung von Datenbanken).
- Wie kann eine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Stressoren (z.B. Wasser, Krankheiten, Nährstoffe) mittels bildgebender Verfahren ermittelt werden? Und wie lassen sich Daten aus der Flächenhistorie (z.B. via der hier im Projekt genutzten Managementzonenkarten) besser integrieren?

2.4.6. Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Themen

Gemäß EIP-Zielen nach Nr. 1.3 der EIP-Richtlinie:

- Beitrag für eine wettbewerbsfähige, nachhaltig wirtschaftende Land- und Ernährungswirtschaft
- durch die Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Landwirtinnen, Landwirten, Forscherinnen, Forschern, Beraterinnen, Beratern sowie Unternehmen des Agrar- und Nahrungsmittelsektors

Gemäß niedersächsischen thematischen Schwerpunkten:

Das Projekt hat Bedeutung für die regionale Entwicklung der ländlichen Räume in Niedersachsen, insbesondere mit Bezug auf die RIS3 Strategie Niedersachsen und die jeweilige regionale Handlungsstrategie, insbesondere:

- Land- und Ernährungswirtschaft, Grundwasser- und Gewässerbelastungen durch Düngung sowie der Klimaauswirkungen durch Emissionen,
- Ländliche Innovationssysteme - Stärkung der Innovationspotenziale in ländlichen Räumen

Die Innovation des Projektes liegt vor allem in der Anwendung neuer Techniken. Die Nutzung eines teilflächenspezifischen Düngemanagement bei in Niedersachsen gemüsebaulich bedeutsamen Kulturen wie Brokkoli und Eissalat mit Hilfe bildgebender Sensorik zur Reduzierung der N-Überhänge hat bisher nicht stattgefunden. Die zur Verfügung stehenden Techniken wurden in dem Projekt auf diese Nutzung hin untersucht und unter Produktionsbedingungen getestet und bewertet. Dabei steht die praktische Umsetzung und die Machbarkeit auf den Gemüsebetrieben im Mittelpunkt.

2.4.7. Nebenergebnisse

Als ein Nebenergebnis kann festgehalten werden, dass Unkrautbewuchs die Ergebnisse der Drohnenbefliegung maßgeblich beeinflussen können. Bereiche im Feld, die einen verstärkten Unkrautbewuchs aufwiesen, wurden aufgrund der stärkeren Grünfärbung als besonders gute Bereiche identifiziert. Dies muss beim Einsatz der Drohnentechnik berücksichtigt werden.

2.4.8. Arbeiten ohne Ergebnis

keine

2.4.9. Weitere Verwendung von Investitionsgütern

keine

2.5. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Das Verfahren der teilflächenspezifischen Düngung mithilfe optischer Sensorik ist ein vielversprechender Ansatz zur Optimierung des Stickstoffeinsatzes. Durch die Initiierung des Projekts aus der Praxis heraus wurde verdeutlicht, dass die Betriebe die derzeitigen und zukünftigen Herausforderungen des Stickstoffeinsatzes im Freilandgemüsebau erkannt haben und frühzeitig aktiv werden. Im Rahmen des Projekts hat sich gezeigt, dass bis zum Einsatz dieses Verfahrens in der Praxis jedoch noch einige offene Fragestellungen geklärt werden müssen. Das Projekt RESIDUE konnte hierfür wichtige Datengrundlagen schaffen, Möglichkeiten und Grenzen aufzeigen, sowie Ansätze zur Weiterentwicklung und zukünftiger Forschung benennen.

2.6. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Projekt können als Basis für eine weitere Bearbeitung der Fragestellung genutzt werden. Es konnten die Möglichkeiten aber auch die Grenzen dieses Verfahrens speziell im Hinblick auf seine Eignung für den Freilandgemüsebau identifiziert werden.

2.7. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Informationen und Ergebnisse aus dem Projekt wurden über verschiedene Kommunikationswege verbreitet. Dazu zählten z. B. Webseiten, Social-Media-Kanäle (Facebook/Twitter), Filmaufnahmen, Fachveranstaltungen, Feldtage oder Artikel in Fachzeitschriften. Eine ausführliche Liste zur Öffentlichkeitsarbeit ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht über Öffentlichkeitsarbeit für das Projekt RESIDUE

Jahr	Maßnahme
2020	<ul style="list-style-type: none"> - Projektwebsite der Landwirtschaftskammer Niedersachsen - Projektwebsite & Twitteraccount OG 5 Agrarpohl - EIP-Agri-Website & EIP-Projektbroschüre - Digitaler Elevator-pitch für innovate!-Messe - Treffen mit Staatssekretär Theuvsen & Branchenvertretern - Austauschtreffen EIP-Projekt „Precise nitrogen“ - Filmaufnahmen & Interview für WDR-Beitrag „RESET“
2021	<ul style="list-style-type: none"> - Feldtag „Digitales Nährstoffmanagement im Freilandgemüsebau“ - Artikel zu Feldtag auf Projektwebsite & Facebookseite der LWK - Artikel zu Feldtag im Magazin Gemüse - Newsletter trafo:agrar - Teilnahme Workshop Bodensensorik DVS
2022	<ul style="list-style-type: none"> - Teilnahme Feldtag & Branchentreff Gemüsebau GKZ Gülzow - Projektkolloquium LVG Ahlem - VLK-Projekttreffen - Austauschtreffen mit EIP-Projekt OPTIKO (NRW) - Teilnahme und Präsentation beim Ahlemer Forum
2023	<ul style="list-style-type: none"> - Fachartikel im Magazin Gemüse (02/23) - Abschlussbericht

3. Danksagung

Wir danken der Europäischen Innovationspartnerschaft "Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft" (EIP Agri) für die Förderung des Projektes.

Vielen herzlichen Dank auch an das Team des Project Management Office der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für die Unterstützung bei den verwaltungstechnischen Herausforderungen, die sich im Rahmen eines EIP-Projektes ergeben.

Danken wollen wir außerdem Dr. Benjamin Kowalski und Fabian Storm vom Innovationszentrum Niedersachsen GmbH sowie Frau Dr. Leonie Göbel von der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume für die umfassenden Möglichkeiten der Vernetzung und des Austauschs.

Unser besonderer und größter Dank geht an alle Mitglieder der OG für ihr Engagement, ihre Bereitschaft und ihre Zeit, die sie in das Projekt investiert haben. Ohne den Beitrag jedes Einzelnen wäre das Projekt nicht möglich gewesen.

Friederike Wellhausen & Dr. Hendrik Führs

Anlagen:

Anlage 1 – Protokoll des Projektabschlusstreffens am 29.03.2023

Anlage 2 – Zusammenstellung Versuchsergebnisse 2020-2023

Ort, Datum

Unterschrift Projektkoordinator