

Innovationsprojekt:

## Neuartiges Sensorsystem zur teilflächenspezifischen Stickstoff- applikation auf Basis von IoT-Sensornetzwerken und Bildanalysen

Kurzbezeichnung:

### Precise Nitrogen

## Abschlussbericht

Projektkoordinator:  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Bezirksstelle Braunschweig  
Helene-Künne-Allee 5  
38122 Braunschweig

Ansprechpartnerin: Madlen Grobe  
Telefon: 0531 / 28997-240  
E-Mail: Madlen.Grobe@lwk-niedersachsen.de

Das Projekt wird im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft "Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft" (EIP Agri) gefördert.

## Inhalt

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 1         | Kurzdarstellung .....   | 5  |
| 1.1       | Ausgangssituation und Bedarf.....   | 5  |
| 1.2       | Projektziel und konkrete Aufgabenstellung.....  | 5  |
| 1.3       | Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG).....  | 5  |
| 1.4       | Projektgebiet .....   | 7  |
| 1.5       | Projektlaufzeit und Dauer .....   | 7  |
| 1.6       | Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen).....   | 7  |
| 1.7       | Ablauf des Verfahrens.....  | 7  |
| 1.8       | Zusammenfassung der Ergebnisse .....  | 8  |
| 2         | Eingehende Darstellung .....  | 9  |
| 2.1       | Verwendung der Zuwendung .....  | 9  |
| 2.1.1     | Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit der OG ..... | 9  |
| 2.1.2     | Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen .....   | 10 |
| 2.2       | Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn.....  | 11 |
| 2.2.1     | Ausgangssituation.....  | 11 |
| 2.2.2     | Projektaufgabenstellung.....  | 12 |
| 2.3       | Ergebnisse der OG in Bezug auf.....   | 12 |
| 2.3.1     | Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet? .....  | 12 |
| 2.3.2     | Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?<br>13  |    |
| 2.3.3     | Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?.....  | 13 |
| 2.4       | Ergebnisse des Innovationsprojekts .....  | 13 |
| 2.4.1     | Zielerreichung .....  | 13 |
| 2.4.2     | Abweichung zwischen Planung und Ergebnis .....  | 14 |
| 2.4.3     | Projektverlauf .....  | 14 |
| 2.4.3.1   | Flächenauswahl .....  | 15 |
| 2.4.3.2   | Teilflächeneinteilung .....   | 16 |
| 2.4.3.3   | Versuchsdesign.....   | 17 |
| 2.4.3.3.1 | Exaktversuche .....   | 17 |
| 2.4.3.3.2 | Großflächenversuche.....  | 18 |
| 2.4.3.3.3 | Beprobungsdesign .....  | 19 |
| 2.4.3.4   | Sensorik.....   | 20 |
| 2.4.3.4.1 | Aufbau und Funktionsweise .....   | 20 |
| 2.4.3.4.2 | Einbau und Platzierung der Sensorik .....   | 20 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.4.3.5   | Felduntersuchungen .....  | 22 |
| 2.4.3.5.1 | Multispektralaufnahmen mittels Drohne .....                           | 22 |
| 2.4.3.5.2 | Pflanzenbeprobungen .....   | 23 |
| 2.4.3.5.3 | Lagerungsdichte .....   | 24 |
| 2.4.3.5.4 | Grundnährstoffe & Frühjahrs-Nmin .....                                | 25 |
| 2.4.3.5.5 | Pflanzenproben .....  | 25 |
| 2.4.3.5.6 | Nitrachek .....   | 25 |
| 2.4.3.5.7 | Rohproteinuntersuchungen .....  | 26 |
| 2.4.3.5.8 | Nach-Ernte-Nmin .....   | 27 |
| 2.4.3.6   | Erstellung der Applikationskarten .....                               | 28 |
| 2.4.3.7   | Datentransfer und Applikation .....                                   | 29 |
| 2.4.3.8   | Beerntung der Großflächenversuche .....                               | 29 |
| 2.4.3.9   | Datenauswertung .....   | 29 |
| 2.4.3.9.1 | Soll/Ist-Auswertung der N-Applikation .....                           | 29 |
| 2.4.3.9.2 | Auswertung der Pflanzenbeprobungen .....                              | 30 |
| 2.4.3.9.3 | Drohnenauswertung .....   | 32 |
| 2.4.3.9.4 | Betrachtung der Sensordaten .....                                     | 33 |
| 2.4.3.9.5 | Vergleich von N-Angebot, Ertrag und N-Effizienz .....                 | 35 |
| 2.4.3.9.6 | Biomasseschätzung auf Basis von Sentinel-2-Zeitreihen .....           | 44 |
| 2.4.4     | Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Themen .....          | 45 |
| 2.4.5     | Nebenergebnisse .....   | 45 |
| 2.4.6     | Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben ..... | 47 |
| 2.4.7     | Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern .....              | 48 |
| 2.5       | Nutzen der Ergebnisse für die Praxis .....                            | 48 |
| 2.6       | (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse .....                | 48 |
| 2.7       | Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....        | 48 |
| 2.8       | Kommunikations- und Disseminationskonzept: .....                      | 48 |
| 3         | Anhang .....  | 51 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Lage der Projektbetriebe gekennzeichnet durch einen roten Stern. ....   | 7  |
| Abbildung 2: Vorgehen in den Versuchsjahren 2020/21 und 2021/22.....   | 8  |
| Abbildung 3: Übersicht über die verschiedenen Teilschritte im Projektverlauf. ....   | 15 |
| Abbildung 4: Simplifizierte Darstellung der Vorgehensweise zur Teilflächeneinteilung. ....   | 16 |
| Abbildung 5: Rammkernsondierung auf dem Versuchsschlag am 24.08.2020 in Klein Dahlum.<br>.....   | 17 |
| Abbildung 6: von links nach rechts: (1) Bohrkern auf Versuchsschlag in Klein Dahlum, (2)<br>Ansprache der verschiedenen Bodenhorizonte durch Dr. Lorenz, (3) Bohrkernquerschnitt in<br>ca. 1,40 m Tiefe zeigt zahlreiche Grobporen und eine starke Durchwurzelung..... | 17 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 7: Darstellung der Versuchsstreifen auf den Schlägen Großer Berg (links) und Suedfeld (rechts).  | 18 |
| Abbildung 8: Platzierung der Versuchsvarianten auf den Schlägen Großer Berg (links) und Sued-berg (rechts).  | 19 |
| Abbildung 9: Beprobungsdesign für das Versuchsjahr 2022 auf dem Schlag Suedfeld.   | 20 |
| Abbildung 10: Climavi-Mikroklimasensor im Weizenbestand.   | 20 |
| Abbildung 11: Einbau der IoT-Mikroklimasensoren im N-Düngungssteigerungsversuch 612 am 27.03.2020 auf der Domäne Schickelsheim.  | 21 |
| Abbildung 12: Sensorplatzierung im Versuchsjahr 2022 (Foto: Hunze).  | 22 |
| Abbildung 13: BBCH-Stadien zum Zeitpunkt der Drohnenflüge auf der Fläche Suedfeld.   | 23 |
| Abbildung 14: Zählrahmen zur Feldbeprobung (Foto: Löwe).   | 24 |
| Abbildung 15: Entwicklung der Nitratgehalte im Pflanzensaft von Ende März bis Anfang Juni 2021 auf dem Versuchsschlag Großer Berg in Ampleben.   | 26 |
| Abbildung 16: Proteingehalte im Versuchsjahr 2021.   | 26 |
| Abbildung 17: Proteingehalte im Versuchsjahr 2022.   | 27 |
| Abbildung 18: Nach-Ernte-Nmin-Gehalte auf vier Versuchsschlägen in dem Versuchsjahr 2021 in je einer Kernprobeparzelle pro Variante.   | 27 |
| Abbildung 19: Nach-Ernte-Nmin-Gehalte auf den acht Versuchsschlägen in dem Versuchsjahr 2022 in den verschiedenen Düngevarianten.  | 28 |
| Abbildung 20: Schematische Darstellung des Workflows zur Erstellung der Applikationskarten am Beispiel des Schlages Laubhagen (2022).  | 28 |
| Abbildung 21: Workflow der Soll/Ist-Auswertung (links) anhand des Beispielschlages Olla (rechts).  | 30 |
| Abbildung 22: Vergleichender Boxplot der LAI-Messungen auf dem Suelfeld pro beprobten BBCH-Stadium.  | 30 |
| Abbildung 23: Vergleichender Boxplot der feuchten Biomasse auf dem Suelfeld pro beprobten BBCH-Stadium.  | 31 |
| Abbildung 24: Vergleichender Boxplot der N-Gehalte (Trockenmasse) auf dem Suelfeld pro beprobten BBCH-Stadium.   | 31 |
| Abbildung 25: NDVI der Fläche Suedfeld zu verschiedenen Zeitpunkten abgeleitet aus Multispektralaufnahmen mittels Drohne. Vorgewende und Randbereiche der Teilflächeneinteilung wurden ausgeblendet. Teilflächeneinteilung in blau dargestellt.          | 32 |
| Abbildung 26: Zunehmende teilflächenspezifische Abreife des Weizenbestandes im Versuchsjahr 2022 auf der Fläche Suedfeld. Orthomosaik, die vorgenommene Teilflächeneinteilung ist in pink dargestellt.   | 33 |
| Abbildung 27: Anzahl empfangener Datenpakete (Sollwert 144 je Tag) im Einbauzeitraum 2021 auf dem Schlag Großer Berg.  | 33 |
| Abbildung 28: Datenübertragungsrate des Messparameters Bodenfeuchte der Mikroklimasensoren im Einbauzeitraum 2022 je Versuchsfläche. n entspricht der Anzahl installierter Sensoren je Fläche.   | 34 |
| Abbildung 29: Lineare Regression der Bodentemperaturmessung in 10 cm Tiefe zweier benachbart positionierter Mikroklimasensoren mit $R^2 = 0.987$ .   | 34 |
| Abbildung 30: Vergleich unterschiedlicher Messparameter und -höhen benachbarter Mikroklimasensoren, erfasst als $R^2$ einer linearen Regression des Messparameters zweier Sensoren. Punkte stellen Einzelwerte da und dienen als Ergänzung der Boxplots. | 35 |
| Abbildung 31: Geringfügig differenzierte N-Düngung in der zweiten und dritten N-Gabe je Teilfläche A-F auf der Versuchsfläche Olla. Düngevarianten, die in einzelnen Teilflächen nicht vorhanden waren, werden ohne Werte dargestellt.                   | 36 |
| Abbildung 32: N-Angebot je Teilfläche A-E der Versuchsfläche Südfeld in 2022, differenziert nach Versuchsvarianten.  | 37 |
| Abbildung 33: Mittleres N-Angebot in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngevariante ( $\hat{=}$ 100 %) eines jeden Schlages bestehend aus Nmin im Frühjahr und den N-   |    |

|  |    |
|--|----|
| Düngergaben in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte.....   | 37 |
| Abbildung 34: Ertragsdaten der Fläche Suedfeld als A) Rohdaten, B) korrigiert auf 14 % Kornfeuchte und gemittelt je Gittereinheit (Arbeitsbreite x Arbeitsbreite) und C) Gitter differenziert nach Zugehörigkeit zu einem Versuchsstreifen oder Überlappungszone des Schleuderstreuers. .... | 38 |
| Abbildung 35: Mittlerer Kornertrag $\pm$ SD je Versuchsvariante der Fläche Suedfeld. *Kornertrag korrigiert auf 14 % Feuchtigkeit. ....  | 38 |
| Abbildung 36: Kornertrag je Teilfläche und Düngevariante (Mittelwert $\pm$ SD) der Fläche Suedfeld. n zeigt die Anzahl der dem Mittelwert zugrunde liegenden Versuchsstreifen einer Düngevariante. *Kornertrag korrigiert auf 14 % Feuchtigkeit. ....  | 39 |
| Abbildung 37: Mittlerer Kornertrag in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngevariante ( $\triangleq$ 100 %) eines jeden Schlages in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte je Schlag der Versuchsvariante. ....                        | 40 |
| Abbildung 38: A) Ackerzahl der Bodenschätzung und B) Topographie der Versuchsfläche Suedfeld. ....   | 40 |
| Abbildung 39: C) Messverlauf des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens in 30 cm Tiefe für die Teilflächen C und E erfasst mit je zwei Mikroklimasensoren Climavi Soil (Agvolution GmbH) je Teilfläche im Jahr 2022. ....  | 40 |
| Abbildung 40: N-Effizienz als Produktivität je eingesetzter Einheit N-Angebot auf der Versuchsfläche Suedfeld. ....  | 41 |
| Abbildung 41: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$ SD) je Versuchsfläche in A) 2021 und B) 2022. ....  | 42 |
| Abbildung 42: Mittlere N-Effizienz in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngevariante eines jeden Schlages ( $\triangleq$ 100 %) eines jeden Schlages in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte je Schlag der Versuchsvariante. ....   | 42 |
| Abbildung 43: Zusammenhang zwischen Ackerzahl der Bodenschätzung und dem erfassten Ertrag auf den Versuchsflächen ohne Beregnung im Jahr A) 2021 und B) 2022 sowie C) auf den Versuchsflächen mit und ohne Beregnung 2022. ....  | 43 |
| Abbildung 44: Zeitserie des LAI auf dem Suedfeld auf Basis von Sentinel-2 Daten. ....  | 44 |
| Abbildung 45: Zeitserie der überirdischen Biomasse auf dem Suedfeld auf Basis von Sentinel-2 Daten. ....   | 44 |
| Abbildung 46: Validierung der LAI-Abschätzung (links) und Validierung der Biomasseabschätzung (rechts) auf Basis des GP mittels Vorprozessierung. ....   | 45 |
| Abbildung 47: Informationsschild in Ampleben. ....   | 50 |

## **Tabellenverzeichnis**

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Arbeitsplan.....  | 9  |
| Tabelle 2: Aufstellung der finanziellen Positionen.....                                    | 10 |
| Tabelle 3: Projekttreffen. ....  | 12 |
| Tabelle 4: Übersicht über die Versuchsschläge. ....  | 15 |
| Tabelle 5: Übersicht zum Sensoreinbau beider Versuchsjahre (*Eingebaute Platzhalter). .... | 22 |
| Tabelle 6: Zeitpunkte Drohnenflüge 2022. ....  | 23 |
| Tabelle 7: Zeitpunkte der Feldbeprobungen. ....  | 24 |
| Tabelle 8: Düngebedarfsermittlung für die Versuchsschläge 2021 und 2022. ....              | 25 |
| Tabelle 9: Verwendete Düngetechnik und Isobusterminals. ....                               | 29 |
| Tabelle 10: Verwendung von Investitionsgütern. ....  | 48 |

# 1 Kurzdarstellung

## 1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Kleinräumig heterogene Bodeneigenschaften können dazu führen, dass einzelne Bereiche eines Schlages eine überzogene bzw. zu geringe Stickstoff-(N)-Düngung erhalten. Die teilflächenspezifische N-Düngung optimiert die räumliche N-Verteilung innerhalb eines Schlages, steigert damit die N-Effizienz und verringert potentiell diffuse N-Austräge in die Umwelt. Eine immer passende Düngestrategie gibt es nicht, denn die mikrobielle N-Mineralisation (N<sub>min</sub>) und auch die Entwicklung der Bestände variiert bekanntlich witterungsbedingt von Jahr zu Jahr.

## 1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

### **Titel des Projektes:**

Precise Nitrogen: Ein neuartiges Sensorsystem zur teilflächenspezifischen Stickstoffapplikation auf Basis von IoT-Sensornetzwerken und Bildanalysen.

### **Title of the project:**

Precise Nitrogen: A novel sensor system for site-specific nitrogen application based on IoT sensor networks and image analysis.

Das Ziel des Projektes ist die Optimierung der N-Effizienz im Winterweizen unter Berücksichtigung des teilflächenspezifischen Mikroklimas in Boden und Bestand. Dieses soll als Ableitung konkreter Handlungsempfehlung bei der N-Düngerapplikation im Winterweizen dienen.

## 1.3 Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)

### **Koordination und OG-Mitglied 1:**

Die Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen (Bezirksstelle Braunschweig) ist mit der Koordination von Precise Nitrogen betraut. Zudem ist die LWK auch OG-Mitglied und ist verantwortlich für die Erhebung der Feldmessdaten sowie für die Akquise und Betreuung der teilnehmenden Projektbetriebe. Beide Aufgaben wurden von Projektbeginn bis Ende Februar 2022 von der Projektbearbeiterin Linda Tandler übernommen. Seit dem 14.04.2022 ist ihre Nachfolgerin Madlen Grobe. Die administrative Abwicklung wird durch das LWK-Projekt Management Office (PMO) in Oldenburg übernommen. Hierbei ist Insa Weers Hauptansprechpartnerin, wobei Kirsten Backhaus sowie Nadine Schön ebenfalls mit dem Projekt vertraut sind.

### **OG-Mitglied 2:**

Die Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Agrartechnik, bringt eigene Drohnen- und Kamerasysteme in das beantragte Projekt mit ein. Hiermit sollen auf den Versuchsflächen, zusätzlich zu vorhandenen Satellitendaten, hochauflösende Multispektralaufnahmen generiert werden. Zudem wird Wissenstransfer durch die Lehre und Zugang zu universitären Einrichtungen ermöglicht. Die Abteilung Agrartechnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Frank Beneke, wurde zu Projektbeginn kommissarisch durch Patrick Gremmes vertreten. Seit dem 01.07.2020 haben die wissenschaftlichen Mitarbeitenden Eike Hunze und Luisa Pommerehne diese Aufgabe übernommen.

Zudem besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Agvolution GmbH, die kein offizielles OG-Mitglied ist, jedoch als Herstellerin und Lieferantin der Mikroklimasensoren und Betreiberin des Ökosystemmodells eng ins Projekt eingebunden ist. Ansprechpartner bei der Agvolution GmbH sind Andreas Heckmann und Dr. Munir Hoffmann.

**OG-Mitglied 3:**

Das Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung (FLF) des Julius Kühn-Instituts (JKI) ist für die Erstellung eines Bewertungsschemas für den Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft zuständig. Zudem sollen Qualitätsparameter bzw. Mindestanforderungen definiert werden und dienen somit erstmalig für eine objektive Beurteilung die das Potenzial dieser neuen Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis darstellen. Federführend bringt sich das JKI bei der Erarbeitung der notwendigen Vegetationsindizes in das Projekt ein. Zudem ist das JKI für die geostatistische Auswertung der produktionsintegrierten Großflächenversuche zuständig. Zu Projektbeginn wurde das JKI durch Dr. Holger Lilienthal vertreten. Aufgrund des unerwarteten Versterbens von Dr. Lilienthal im Mai 2020 wurde die kommissarische Bearbeitung des Projekts von Dr. Heike Gerighausen und Dr. Burkhard Stever-Schoo übernommen. Seit November 2020 ist der wissenschaftliche Mitarbeiter Dennis Löwe mit der Bearbeitung der Projektaufgaben betraut. Das Vorhaben wird weiterhin von Frau Dr. Heike Gerighausen begleitet und bei Bedarf durch fachlichen Beistand unterstützt.

**OG-Mitglied 4:**

Das Netzwerk Ackerbau Niedersachsen (NAN) e. V. sorgt für die Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung mit inhaltlich verwandten Projekten. Zudem ist das NAN für die Verbreitung bzw. Veröffentlichung der Projektergebnisse zuständig. Zu Projektbeginn wurde das NAN durch Dr. Jens Wester vertreten, der zum 30.06.2021 beim NAN ausgeschieden ist. Im Juli 2021 war interimistisch Volker Hahn als Vorsitzender des Vorstands im NAN Ansprechpartner für das Projekt Precise Nitrogen. Seit 01.08.2021 hat Hilmar Freiherr von Münchhausen als Geschäftsführer des NAN die oben beschriebenen Projektaufgaben übernommen.

**OG-Mitglied 5-7:**

Die teilnehmenden Projektbetriebe stellen die Schläge für die Großflächenversuche sowie die notwendige Technik zum teilflächenspezifischen Ausbringen der Produktionsmittel zur Verfügung. Zudem obliegt ihnen die Führung der Bestände und die Beerntung der Großflächenversuche mit Ertragskartierung. Die Güterverwaltung Reinau (GV Reinau) (Betriebsteil Beierstedt) wird durch Betriebsleiter Axel Reupke sowie Stellvertreter Christian Renneberg vertreten und stellt Praxisversuchsflächen zur Erprobung des Farm-Management-Systems zur Verfügung. Weitere Projektbetriebe sind der Betrieb Jörg Schrieber aus Lehre, das Rittergut Amleben (Betriebsleiterin Helene Kahl) und der Betrieb Hagen Reinbeck-Grube in Velstove. Zudem werden auf den Schlägen der Domäne Schickelsheim (Betriebsinhaber Kaspar Haller) bestehende Exaktversuche durch Precise Nitrogen begleitet.

**OG-Mitglied 8:**

Die LUFA Nord-West sorgt für fachliche Unterstützung der OG-Mitglieder. Dieses wird in Person von Dr. Frank Lorenz geleistet. Zu Beginn des Projekts wurde Dr. Frank Lorenz dem OG-Mitglied 1 zugeordnet. Ab dem zweiten Halbjahr 2020 wurde er offiziell ins Projektkonsortium aufgenommen.

## 1.4 Projektgebiet

Die Umsetzung der Versuche erfolgte auf vier landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen. Zwei der Betriebe liegen im Landkreis Helmstedt, einer im Landkreis Wolfenbüttel und ein weiterer Betrieb in der Nähe von Wolfsburg. Zusammenfassend gehören alle Betriebe zu der Region Braunschweig. Die genauen Standorte sind der nebenstehenden Abbildung 1 zu entnehmen. Die Anwendung des Bodensensornetzwerks sollte auf möglichst verschiedenen Standorten, die sich in Bodenart, Humusgehalt und Bewässerung unterscheiden, erprobt werden. Durch die unterschiedliche Lage der Betriebe werden viele verschiedene Bodenarten abgedeckt: von überwiegend sandigen homogenen Böden mit einer Bonität von 18-30 Bodenpunkten, die größtenteils beregnet werden, bis sehr heterogenen Böden mit Bodenpunkten im Bereich von 40-90, konnte ein sehr breites Gebiet erprobt werden. Auch sandige Böden ohne Beregnung konnten berücksichtigt werden. Die heterogenen Gegebenheiten der niedersächsischen Ackerbauregion werden durch die Lage der beteiligten Projektbetriebe gut repräsentiert.



Abbildung 1: Lage der Projektbetriebe gekennzeichnet durch einen roten Stern.

## 1.5 Projektlaufzeit und Dauer

Der Bewilligungszeitraum des EIP-Projektes startete am 28.02.2020 und endete am 30.04.2023. In der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung vom 14.11.2019 war der Projektstart am 01.01.2020 vorgesehen. Somit startete das Projekt mit einer leichten Verspätung.

## 1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

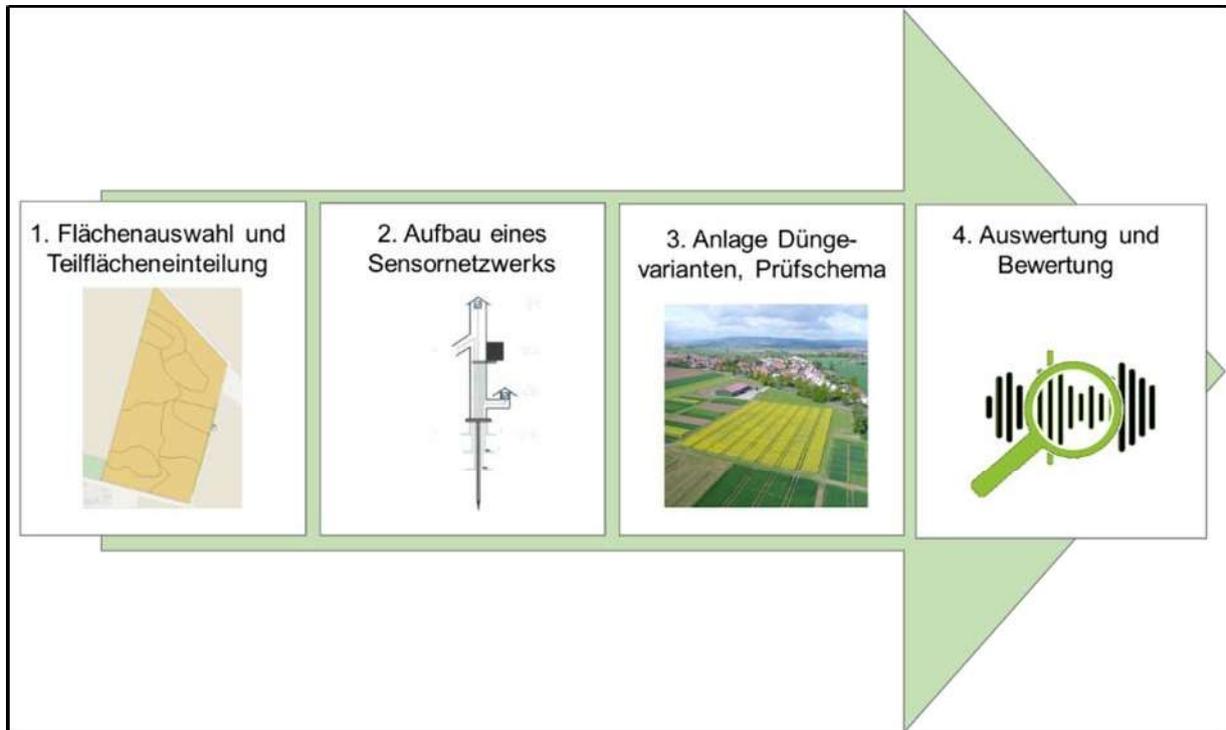
Das beantragte Gesamtbudget des Projektes beläuft sich auf **maximal 469.024,25 €** im Rahmen einer Vollfinanzierung.

## 1.7 Ablauf des Verfahrens

Der generelle Ablauf des Projektverfahrens lässt sich in vier Blöcke teilen (Abbildung 2): Die Flächenauswahl und Teilflächeneinteilung, den Aufbau des Sensornetzwerks, die Anlage von Düngevarianten und Erarbeitung von Prüfschemata sowie die Auswertung und Bewertung der Ergebnisse. Eine intensive Betrachtung der Einzelschritte erfolgt ab Kapitel 2.4.3.

In 2020 sowie 2021 wurden Exaktversuche durch Precise Nitrogen begleitet. Die Anlage der Großflächenversuche erfolgte in den Versuchsjahren 2020/2021 und 2021/2022 auf den Schlägen der teilnehmenden Projektbetriebe. Der Versuchsablauf begann mit der Flächenauswahl und Teilflächeneinteilung auf den Versuchsschlägen. Nach erfolgter Auswahl wurden die Sensoren auf den Schlägen verbaut. Die Projektbetriebe legten verschiedene Düngevarianten im Winterweizen an. Auf den Schlägen erfolgten zudem vegetationsbegleitende Untersuchungen. Abschließend wurden die Versuche ausgewertet und bewertet. Das Vorgehen gleicht sich in beiden Versuchsjahren. Lediglich einzelne Schritte wurden durch Erfahrungen des ersten Versuchsjahres angepasst und verbessert. Während der Projektlaufzeit wurde regelmäßig in Fachzeitschriften sowie in sozialen Medien über das Projekt berichtet. Die Ergeb-

nisse und Erfahrungen des Projektes wurden im Rahmen einer Abschlussveranstaltung (Tagung: „Stickstoffdüngung auf den Punkt (aus)gebracht.“) einem breiten Publikum vorgestellt. Eine Methodenübersicht gibt einen Überblick über bereits auf dem Markt zur Verfügung stehende, teilflächenspezifische Ansätze zur N-Applikation.



**Abbildung 2: Vorgehen in den Versuchsjahren 2020/21 und 2021/22.**

### 1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Anwendung moderner Sensorik dazu beitragen kann, die teilflächenspezifische N-Applikation zu optimieren. Jedoch gilt es noch viele Hindernisse zu überwinden, damit die vorgestellten Technologien in der landwirtschaftlichen Praxis Einzug halten. So zeigte sich im Projektverlauf, dass die genutzten Modelle noch nicht vollständig ausgereift waren und weiterer Optimierung bedürfen, um z.B. auf Extremwetterereignisse zu reagieren. Dennoch konnten die erzielten Ergebnisse das Potential dieser Technologie widerspiegeln, Erfahrungen messbar machen und auf weitere Fortschritte in der Zukunft hoffen lassen. Abseits davon konnte das Projekt erfolgreich eine Verbindung zwischen Wissenschaft und Praxis herstellen und von den Erfahrungen beider Seiten profitieren. Es zeigte sich, dass die Vernetzung zwischen Wissenschaft und Praxis auch ein integraler Bestandteil folgender Projekte sein muss, um Technologien zu entwickeln, welche die landwirtschaftliche Realität widerspiegeln. Abschließend lässt sich jedoch feststellen, dass weitere Forschung notwendig ist, um die Ergebnisse des Projektes zu validieren, zu erweitern und die vorhandenen Technologien weiterzuentwickeln.

In conclusion, it can be said that the use of modern sensor technology can help to optimize site-specific nitrogen application. However, there are still many obstacles to overcome before the technologies presented can be implemented in agricultural practice. During the course of the project, it became apparent that the models used were not yet fully developed and needed further optimization, e.g. to react to extreme weather events. Nevertheless, the results achieved could reflect the potential of this technology, make experience measurable and give hope for further progress in the future. Apart from this, the project successfully established a link between science and practice and benefited from the experiences of both sides. It became

clear that networking between science and practice must also be an integral part of subsequent projects in order to develop technologies that reflect agricultural reality. Ultimately further research is needed to validate and extend the results of the project and to further develop the existing technologies.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit der OG

Alle Arbeitsschritte wurden in der Projektlaufzeit, bis auf einige wenige Teilschritte, vollumfänglich umgesetzt, welche in Tabelle 1 dargestellt sind. Anstelle eines Leitfadens wurde eine Methodenübersicht erstellt. Die Begründung hierfür ist im Kapitel 2.4.5. nachzulesen.

**Tabelle 1: Arbeitsplan.**

| OG-Mitglied  | Arbeiten   | Umsetzung  |
|--------------|--|--|
| Koordination | Koordination der Arbeiten zwischen den OG-Mitgliedern<br>Vorbereitung und Organisation der bzw. Teilnahme an OG-Treffen<br>Zusammenstellung der Unterlagen und Nachweise für Teil- und Schlussauszahlungsanträge und Verwendungsnachweise<br>Zusammenfassung und Aufbereitung der Ergebnisse   | ja<br>ja<br>ja<br>ja                                   |
| 1            | Anlage und Betreuung von kleinparzelligen Steigerungsversuchen zur Ermittlung der optimalen Stickstoffaufwandsmenge und der Großflächenversuche<br>Durchführung von Bestandskontrollen<br>Düngebedarfsermittlung mittels Nitrachek, N-Tester, ISIP-Prognosemodell<br>Erarbeitung eines Fragebogens sowie die Durchführung der Befragung zum Nutzen/Praxistauglichkeit der Fernerkundung<br>Zusammenfassung der Ergebnisse und Erarbeitung eines "Leitfaden fernerkundungsbasierte, teilflächenspezifische Stickstoff- und Pflanzenmittelapplikation"   | ja<br>ja<br>ja<br>ja<br>teilweise<br>(OG übergreifend) |
| 2            | Bereitstellen von Kamertechnik und Drohnen zum Erstellen von hochauflösenden Ertragskarten der Testflächen<br>Überprüfung und Bewertung der mittels Drohnen und Satellitendaten identifizierten unterschiedlichen Teilflächen innerhalb eines Schlages<br>Bereitstellung eines Funksensornetzwerks - FarmInspector - zur Messung von Temperaturen und Feuchten im Feldbestand  | ja<br>ja<br>ja   |
| 3            | Erstellung eines Bewertungsschemas für den Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft<br>Aufbereitung und kostenlose Bereitstellung des Zugangs der Sentinel Satellitendaten für Deutschland im Rahmen des Projekts<br>Durchführung eigener Referenzspektralmessungen (Feldspektrometer, Drohne) und vergleich mit Produkten die am Markt verfügbar sind<br>Definition von Standards für die Erfassung und Auswertung der Drohnen und Satellitendaten und Bewertung der vorhandenen Auswertungsansätze auf ihre Eignung, Defizite und Potentiale<br>Erarbeitung/Definition von geeigneten Vegetationsindizes für die Kombination der Bildanalysedaten und IoT-Sensordaten | ja<br>ja<br>ja<br>ja<br>nein<br>ja (OG übergreifend)   |
| 4            | Unterstützung der geostatistischen Auswertung der Versuchspartzellen<br>Mitarbeit bei der Öffentlichkeitsarbeit, insbesondere der Verbreitung der Ergebnisse   | ja   |

| <b>OG-Mitglied</b> | <b>Arbeiten</b>  | <b>Umsetzung</b>            |
|--------------------|--|-----------------------------|
|                    | Unterstützung bei der fachlichen Projektverwaltung und der fachlichen Koordination<br>Information für Netzwerkarbeit zu möglichen Partnern des Precision Farming   | ja<br>ja                    |
| 5-7                | Bereitstellung der Versuchsflächen, Bereitstellung der Technik für eine teilflächenspezifische Ausbringung der Produktionsmittel<br>Bestandsführung und -ernte mit Ertragskartierung<br>Mitarbeit bei der Erarbeitung eines Bewertungsschemas und eines Leitfadens um Umgang mit Fernerkundung<br>Teilnahme an OG-Treffen und Öffentlichkeitsarbeiten und -veranstaltungen | ja<br>ja<br>teilweise<br>ja |
| 8                  | Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Teilflächenauswahl  | ja                          |

### 2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Die Auflistung der einzelnen Ausgaben und der Nachweis der Kosten des Projekts erfolgte mittels verbindlicher Beleglisten. Die finanziellen Positionen des EIP Agri-Projektes sind als Nettobeträge in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Aufstellung der finanziellen Positionen.**

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>Ausgaben Koordination</b>                                     | <b>EUR</b>        |
| 5.2.1 Personalausgaben   | 17.427,90         |
| 5.2.2 Öffentlichkeitsarbeit                                      | 3.437,62          |
| 5.2.3 Reisekosten  | 15,00             |
| 5.2.4 Verwaltungskostenpauschale                                 | 2.614,19          |
| <b>Summe</b>   | <b>23.494,71</b>  |
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 1</b>                                    | <b>EUR</b>        |
| 5.3.1 Personalausgaben   | 60.152,90         |
| 5.3.2 wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests | 37.529,10         |
| 5.3.3 Nutzungskosten, Material und Bedarfsmittel                 | -                 |
| 5.3.4 Reisekosten  | 1.984,14          |
| 5.3.6 Kauf oder Leasing Instrumente                              | 823,91            |
| <b>Summe</b>   | <b>100.490,05</b> |
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 2</b>                                    | <b>EUR</b>        |
| 5.3.1 Personalausgaben   | 96.790,45         |
| 5.3.2 wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests | -                 |
| 5.3.3 Nutzungskosten, Material und Bedarfsmittel                 | -                 |
| 5.3.4 Reisekosten  | 2.918,90          |
| 5.3.6 Kauf oder Leasing Instrumente                              | 31.555,43         |
| 5.3.5 Zukauf von Patenten  | -                 |
| <b>Summe</b>   | <b>131.264,78</b> |
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 3</b>                                    | <b>EUR</b>        |
| 5.3.1 Personalausgaben   | 99.032,16         |
| 5.3.2 wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests | -                 |
| 5.3.3 Nutzungskosten, Material und Bedarfsmittel                 | -                 |
| 5.3.4 Reisekosten  | -                 |
| 5.3.6 Kauf oder Leasing Instrumente                              | -                 |
| <b>Summe</b>   | <b>99.032,16</b>  |

|  |                 |
|--|-----------------|
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 4</b>                                    | <b>EUR</b>      |
| 5.3.1 Personalausgaben   | 8.039,38        |
| 5.3.2 wissenschaftliche Studien, Untersuchungen, Analysen, Tests | -               |
| 5.3.3 Nutzungskosten, Material und Bedarfsmittel                 | -               |
| 5.3.4 Reisekosten  | 598,56          |
| 5.3.6 Kauf oder Leasing Instrumente                              | -               |
| <b>Summe</b>   | <b>8.637,94</b> |
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 5-7</b>                                  | <b>EUR</b>      |
| 5.3.3 Nutzungskosten, Material und Bedarfsmittel                 | -               |
| 5.3.4 Reisekosten  | -               |
| <b>Summe</b>   | <b>0,00</b>     |
| <b>Ausgaben OG-Mitglied 8</b>                                    | <b>EUR</b>      |
| 5.3.1 Personalausgaben u. Aufwandszahlungen für Selbstständige   | 640,86          |
| 5.3.4 Reisekosten  | 147,80          |
| <b>Summe</b>   | <b>788,66</b>   |

## 2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

### 2.2.1 Ausgangssituation

Die N-Düngung ist ein wesentlicher Faktor für einen auf Quantität und Qualität ausgerichteten Ackerbau. Der Bedarf an diesem Produktionsmittel hängt stark von dem zu erwartenden Ertragsniveau und dem im Boden befindlichen und durch die Pflanze nutzbaren N-Vorrat ab. Dies bedeutet, dass der N-Bedarf einer räumlichen und einer zeitlichen Variablen unterliegt. Die räumliche Variable bezieht sich auf die heterogenen Pflanzenwachstumsbedingungen innerhalb eines Feldes. Ursachen hierfür können z.B. unterschiedliche Bodenarten oder die Ausprägung des Reliefs sein. Das Ertragsniveau innerhalb dieser verschiedenen Teilbereiche kann erheblich variieren und somit auch zu deutlich differenzierten N-Bedarfen der Pflanze führen. Die zeitliche Variable bezieht sich auf die von Jahr zu Jahr stark schwankenden N-Nachlieferungen aus dem Boden, welche den Pflanzen im Zuge der Mineralisierung zur Verfügung stehen. Für die Düngeplanung ist es gängige Praxis, den im Boden verfügbaren mineralisierten Stickstoff mittels Nmin-Methode zu ermitteln. Aufgrund des starken Einflusses von Bodentemperatur und -feuchte auf die Mineralisierungsrate, ist diese Methode jedoch relativ ungenau, da die o.g. Einflüsse nicht kontinuierlich berücksichtigt werden. Die Düngeplanung basiert daher oftmals auf falschen Annahmen. Ebenfalls ist bei der zeitlichen Variabilität auch das wetterbedingte jährlich schwankende Ertragsniveau zu berücksichtigen.

Eine flächeneinheitliche N-Applikation führt in Niedrigertragszonen zu einer Überdosierung und in Hohertragszonen zu einer Unterdosierung, solange sich die ausgebrachte Düngemenge am mittleren Ertragspotenzial orientiert. Durch eine Überdosierung von N-Düngern entstehen schädliche Einträge in das Ökosystem, z.B. in Form von Nitrat und darüber hinaus unnötige finanzielle Aufwendungen für den Landwirt. Eine suboptimale Limitierung dieses Produktionsmittels hat in der Regel einen Ertragsrückgang und/oder Qualitätseinbußen zur Folge, das Potenzial wird nicht ausgeschöpft.

Um die beschriebene räumliche und zeitliche Variabilität berücksichtigen zu können, wird folglich ein System benötigt, welches zum Zeitpunkt der Applikation folgende Faktoren berücksichtigt:

- Pflanzentwicklungsstadium
- unterschiedliche Bestandsentwicklungen in den Teilflächen
- verfügbarer Stickstoff aus dem Boden (aktuell und mittelfristig)
- zu erwartendes Ertragsniveau

## 2.2.2 Projektaufgabenstellung

Durch die Berücksichtigung von kleinräumigen Bodenunterschieden und die Erhebung bzw. Zusammenführung verschiedener Daten, soll das Projekt Precise Nitrogen dazu beitragen, die N-Düngung im Winterweizen zu optimieren. Im Projekt wird das Mikroklima im Pflanzenbestand über ein IoT-Sensornetzwerk fortlaufend erfasst. Satellitendaten und vegetationsbegleitende Untersuchungen dienen dazu, die Entwicklung des Pflanzenbestandes abzubilden. Die eigentliche Innovation liegt jedoch in der Anwendung des Ökosystemmodells, welches auch als Farm-Management-System bezeichnet wird. Hierbei werden die vorhandenen Daten miteinander kombiniert und eine Ertragsprognose erstellt. Zudem werden umfassende Feldmessdaten (Ground truth data) erhoben und die Bewirtschaftungserfahrungen der Betriebsleiter einbezogen. So kann entschieden werden, ob eine geplante N-Düngung ökonomisch sinnvoll ist oder ob evtl. auch N-Gaben reduziert oder eingespart werden können. Dieses On farm-Management-System soll über die Projektlaufzeit unter Praxisbedingungen validiert werden.

## 2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

### 2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?

Über die gesamte Projektlaufzeit wurden 11 Projekttreffen und eine Abschlussveranstaltung durchgeführt (Tabelle 3), welche aufgrund der Covid-19 Pandemie teilweise online stattfinden mussten. Diese dienten zum regelmäßigen Austausch der OG-Mitglieder, Ergebnisvorstellung und Diskussion sowie erarbeiten von Lösungsansätzen bei auftretenden Problemen. Zudem wurden weitere Arbeitsschritte festgelegt und in der OG diskutiert.

**Tabelle 3: Projekttreffen.**

| Wann?      | Thema  | Wo?  |
|------------|--|--|
| 17.03.2020 | Auftakttreffen, Grobkonzept des Projekts                             | Grünes Zentrum Braunschweig                  |
| 30.03.2020 | Sachstand, Weiteres Vorgehen im Projekt                              | Skype (online)                               |
| 20.05.2020 | Sachstand, Weiteres Vorgehen im Projekt                              | Exaktversuch N-Düngung, Domäne Schickelsheim |
| 17.08.2020 | Erster Entwurf eines Prüfschemas                                     | Uni Göttingen, Abteilung Agrartechnik        |
| 08.09.2020 | Erfahrungsaustausch  | Bezirksstelle Braunschweig                   |
| 24.11.2020 | Anlage der Düngevarianten und Prüfschema auf Großflächenversuchen    | Microsoft Teams (online)                     |
| 21.04.2021 | Weiteres Vorgehen im Projekt   | Microsoft Teams (online)                     |
| 09.06.2021 | Status Quo Großflächenversuche, Versuchsplanung 2022                 | Microsoft Teams (online)                     |
| 13.09.2021 | Vorstellung des Ökosystemmodells Farmalyzer, Ergebnisauswertung 2021 | Bezirksstelle Braunschweig                   |
| 24.06.2022 | Projektjahr 2022 / Auswertungen                                      | Rittergut Ampleben                           |
| 23.01.2023 | Auswertungen Versuchsjahr 2023                                       | Bezirksstelle Braunschweig                   |
| 17.02.2023 | Abschlussveranstaltung   | Burg Warberg                                 |

Zudem fand regelmäßig ein Austausch der OG-Mitglieder über verschiedene Telekommunikationswege wie Telefon, E-Mail als auch Teams-Meetings in Kleingruppen statt. Für die gemeinsame Nutzung von Dateien, Daten und Bildmaterial wurde allen OG-Mitgliedern ein Zugang zu der gesicherten Cloud der Landwirtschaftskammer Niedersachsen „KiWiTeaming“ eingerichtet.

Die einzelnen OG-Mitglieder waren für ihre Arbeitspakete selbstständig verantwortlich. Bei Arbeitsspitzen konnte sich unter den OG-Mitgliedern unterstützt und ausgeholfen werden. Die Entscheidungen hierbei unterlagen dem Arbeitspaketverantwortlichen.

### 2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?

Durch die hohe Fachexpertise und hohe Sozialkompetenz der einzelnen OG-Mitglieder konnten viele Aufgabengebiete mit einer hohen Bearbeitungstiefe bearbeitet werden. Zudem konnten wissenschaftliche Ansätze, welche durch die OG-Mitglieder 2 und 3 bearbeitet wurden, durch die praktische Seite der OG-Mitglieder 1 + 5-7 unterstützt werden. Weiterhin konnten so Arbeitsschwerpunkte (Drohnenflüge, Biomassebeprobungen → jeweils mit Vorbereitung, Datenauswertungen, Planung von Abschlussveranstaltung) entzerrt werden und in enger Zusammenarbeit erfolgreich abgeschlossen werden. Besonders der gemeinsame Austausch zwischen den Praxisbetrieben mit den wissenschaftlichen Institutionen führte zu einem besonderen Mehrwert in der praktischen Durchführbarkeit der Feldversuche.

### 2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Durch die weitere Einschränkung der N-Düngung – Stichwort rote Gebiete – und ungewisse Preisentwicklung auf dem Düngemittelmarkt ist der Einsatz von Sensorik zur Optimierung des Stickstoffeinsatzes weiterhin aktuell. Aus diesem Grund sind alle OG-Mitglieder interessiert diesen Ansatz weiter zu verfolgen. In welchem Maß dieses umgesetzt werden kann, ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht klar definiert. Trotzdem ist eine weitere Zusammenarbeit verschiedener OG-Mitglieder vorgesehen.

- LWK ist weiterhin an EIP-Projekten interessiert.
- Auch eine weitere Zusammenarbeit mit dem NAN ist angestrebt.
- Die Abteilung Agrartechnik der Georg-August-Universität Göttingen steht für gemeinsame Projektanträge im Bereich Precision Farming ebenfalls zur Verfügung, das Julius Kühn-Institut ebenfalls.
- Die Praxisbetriebe zeigen sich ebenfalls interessiert.

## 2.4 Ergebnisse des Innovationsprojekts

### 2.4.1 Zielerreichung

Ziel des Projekts war die Erprobung eines ressourceneffizienten, teilflächenspezifischen Düngesystems, welches den aktuellen Zustand des Bestandes berücksichtigt und unnötige Nitrateinträge in das Ökosystem vermeidet. Das Projekt hatte den Anspruch neue Maßstäbe hinsichtlich der kleinräumigen Auflösung innerhalb eines Schrages, der Ermittlung der tatsächlichen N-Nachlieferung des Bodens und der Düngebedarfsermittlung zu setzen.

Aus dem Projekt konnten folgende Erkenntnisse herausgearbeitet werden:

#### **Ökosystemmodell:**

- Die Modellabschätzung (2021/2022) war mäßig, da Probleme in der Berücksichtigung von Wetterextremen vorherrschten.
- Die zu geringe Höhe der N-Auf- und Abschläge lässt kaum eine differenzierte Betrachtung zu.

#### **Sensorik:**

- Die Datenübertragung war 2021 unzureichend, 2022 jedoch signifikant besser (Wechsel des Funkstandards).
- Erkenntnis: Die Sensorik macht Erfahrungen messbar und damit verfügbar für Modelansätze!

#### **Großflächenversuche:**

- Der Teilflächeneffekt überlagerte im Vergleich zu den Düngevarianten.
- Die Düngevarianten differenzierten zu gering in der N-Menge.

- Trockenheit war der begrenzende Faktor (nicht das N-Angebot).

Bisher konnten keine eindeutigen Aussagen zur:

- Datenqualität der genutzten Sensorik,
- Verknüpfung von Sensor und Fernerkundungsdaten und
- Qualitätsunterschieden zwischen den Düngevarianten gemacht werden.

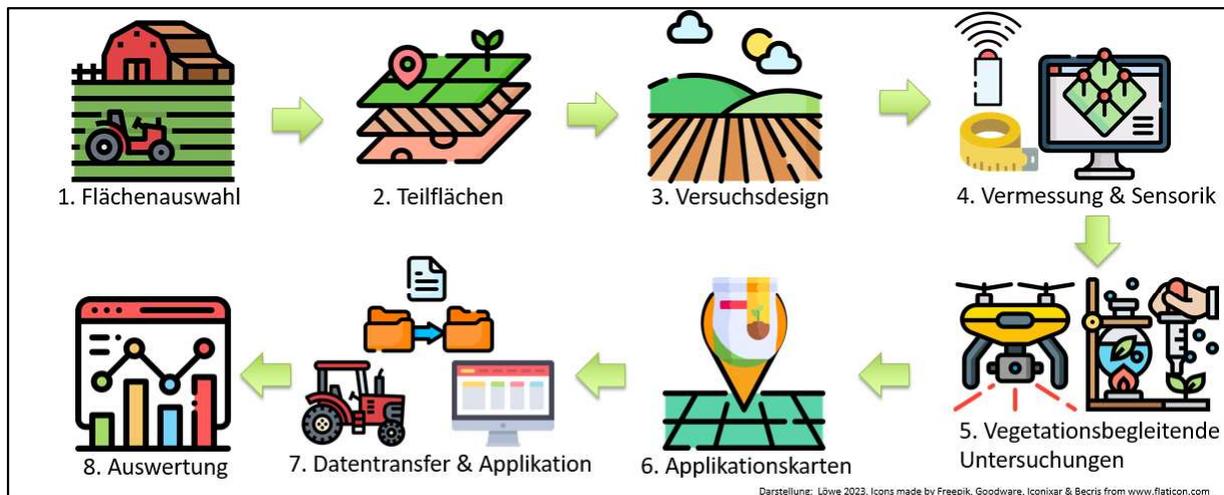
#### 2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis

- Es wurden nur zwei statt drei Versuchsjahre durchgeführt. Aufgrund personeller Veränderungen der OG-Mitglieder, der damals vorherrschenden Corona-Pandemie und der zu geringen Vorlaufzeit (Projektstart 28.02.2020) zum Anlegen von On Farm-Feldversuchen konnten im Versuchsjahr 2019/2020 keine Großflächenversuche angelegt werden.
- Eine Verknüpfung zwischen Fernerkundungsdaten und IoT-Sensordaten konnte nicht hergestellt werden. Die Datenqualität der IoT-Sensorik im Versuchsjahr 2021/2022 war für eine Verknüpfung unzureichend. Im Versuchsjahr 2022 konnte eine Verknüpfung aufgrund fehlender Projektlaufzeit nicht mehr umgesetzt werden. Stattdessen wurde auf Basis erhobener Felddaten eine Biomasse und LAI-Modellierung für das Versuchsjahr 2022 durchgeführt.
- Die Datenqualität der genutzten IoT-Sensorik konnte nicht final validiert werden, da aufgrund von Lieferschwierigkeiten nicht alle defekten Sensoren ausgetauscht werden konnten.
- Im Rahmen des Projektes sollte ein Leitfaden zur „Fernerkundungsbasierten teilflächenspezifische N-Applikation“ erarbeitet werden. Aufgrund finanzieller und personeller Mängel wurde sich darauf geeinigt, eine Übersicht: „Methoden zur Fernerkundungsbasierten teilflächenspezifischen N-Applikation“ zu erarbeiten.
- Aufgrund von Platzgründen auf den jeweiligen Versuchsschlägen konnte nicht jede Düngevariante in gleicher Zahl repliziert werden. Es wurde sich darauf geeinigt, die Varianten: Uniform, ÖSM V und ÖSM VM (vgl. 2.4.3.3.2) priorisiert zu platzieren.
- Aufgrund von finanziellen und personellen Restriktionen konnte im Versuchsjahr 2022 keine intensive Beprobung und Probenanalytik auf allen Versuchsschlägen stattfinden.
- In 2022 wurde kein Exaktversuch durch das Projekt begleitet. Allerdings kann in Exaktversuchen die Heterogenität eines Schlages nicht abgedeckt werden, weshalb dadurch keine Einbußen zu erwarten sind.
- Aufgrund der steigenden Düngerpreise fand in 2022 auf einem der Projektbetriebe die Ausbringung der Düngemittel, anstatt mit der Pflanzenschutzspritze, mit einem Schleuderstreuer statt. Durch die Überlappung konnten nicht alle Versuchsstreifen für die Auswertung genutzt werden.
- Zudem war vorgesehen eine einheitliche Vorfrucht für die Versuche zu wählen. In 2022 war allerdings auf manchen Schlägen die Vorfrucht Silomais anstelle von Zuckerrüben.

#### 2.4.3 Projektverlauf

Der Projektverlauf im Innovationsprojekt Precise Nitrogen lässt sich anhand der folgenden Übersicht erläutern (Abbildung 3). Zunächst wurden zu Beginn des jeweiligen Versuchsjahres die Versuchsflächen in Abstimmung mit den Projektbetrieben ausgewählt. Daraufhin wurden durch das OG-Mitglied 8 Teilflächen auf den Versuchsflächen identifiziert. Nach der Einteilung der Teilflächen erfolgte das Erstellen des Versuchsdesigns mit vier unterschiedlichen Düngevarianten sowie der Einbau der Sensorik je Teilfläche. Zu ausgewählten Zeitpunkten erfolgten vegetationsbegleitende Untersuchungen (Pflanzenbeprobungen und Drohnenflüge). Zeitgleich wurden durch den Technikpartner Agvolution GmbH in Zusammenarbeit mit den OG-

Mitgliedern Applikationskarten erstellt. Auf Grundlage dieser Applikationskarten wurde daraufhin die zweite und dritte N-Gabe in Winterweizen von den Projektbetrieben ausgebracht. Nach der Applikation erfolgten der Datentransfer und eine mehrstufige Auswertung. Im Folgenden werden die benannten Teilpunkte des Projektverlaufes ausführlich beschrieben.



**Abbildung 3: Übersicht über die verschiedenen Teilschritte im Projektverlauf.**

#### 2.4.3.1 Flächenauswahl

Die Flächenauswahl im Projekt fand in enger Zusammenarbeit mit den Projektbetrieben statt. Vor Aussaat wurden sowohl bilaterale Abstimmungen als auch Gruppentreffen und Feldbegehungen durchgeführt, um optimale Versuchsflächen auszuwählen. Folgende Faktoren wurden besonders bei der Flächenauswahl beachtet:

- Eine ausreichende Größe (möglichst >10 ha), um die Kartierung mittels Satellitendaten zu ermöglichen.
- Eine einheitliche Vorfrucht (Zuckerrübe).
- Kultur Winterweizen für die Versuchsdurchführung.
- Räumliche Verteilung der Teilflächenunterschiede: Auswahl möglichst heterogener Schläge, wenn möglich mit Teilflächenunterschieden quer zur Fahrrichtung, sodass möglichst alle Düngevarianten auf der Teilfläche realisiert werden können,
- Entfernung zu Straßen, baulichen Einrichtungen, sodass die Befliegung mittels Drohne möglich ist.

Insgesamt war es das Ziel auf den ausgewählten Flächen die Variabilität der Ackerflächen in der Region Braunschweig einzufangen und abzubilden. Alle ausgewählten Versuchsflächen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Übersicht über die Versuchsschläge.**

| Bezeichnung   | Projektbetrieb         | Schlaggröße | Gemarkung  | Versuchsjahr |
|---------------|------------------------|-------------|------------|--------------|
| Lehsteine     | Reinbeck-Grube         | 10,3 ha     | Brackstedt | 2021         |
| 1004-02/Lehre | Schrieber              | 16,0 ha     | Lehre      | 2021         |
| Großer Berg   | Rittergut Amleben      | 14,1 ha     | Amleben    | 2021         |
| Suedberg      | Güterverwaltung Reinau | 37,8 ha     | Kl. Dahlum | 2021         |
| Nachthude     | Güterverwaltung Reinau | 20,2 ha     | Ingeleben  | 2021         |
| Friedhof      | Reinbeck-Grube         | 14,3 ha     | Brackstedt | 2022         |
| Stahlberg     | Reinbeck-Grube         | 18,1 ha     | Brackstedt | 2022         |
| Bergstreifen  | Schrieber              | 14,4 ha     | Lehre      | 2022         |
| Laubhagen     | Schrieber              | 22,1 ha     | Lehre      | 2022         |

| Bezeichnung   | Projektbetrieb         | Schlaggröße | Gemarkung  | Versuchsjahr |
|---------------|------------------------|-------------|------------|--------------|
| Olla          | Rittergut Ampleben     | 13,4 ha     | Ampleben   | 2022         |
| Schlossbreite | Rittergut Ampleben     | 4,4 ha      | Ampleben   | 2022         |
| Suedfeld      | Güterverwaltung Reinau | 49,6 ha     | Beierstedt | 2022         |
| Lange Stücken | Güterverwaltung Reinau | 26,9 ha     | Uehrde     | 2022         |

#### 2.4.3.2 Teilflächeneinteilung

Die Teilflächeneinteilung der ausgewählten Versuchsflächen (Tabelle 4) erfolgte federführend durch das OG-Mitglied 8. Begleitend waren jedoch auch die OG-Mitglieder 1-3 beteiligt. Die Einteilung der Teilflächen erfolgte auf Basis einer großen Bandbreite an Datenquellen. Zu diesen Datenquellen zählen:

- Geologische Karten,
- Bodenkarten & Schätzungen,
- Satellitenbilddaten,
- der Topographic Wetness Index (TWI),
- Bodenleitfähigkeitsmessungen,
- Digitale Geländemodelle (DGM),
- Angaben der Betriebe zur historischen Flächennutzung,
- Erfahrungen des Erstellers

Abbildung 4 zeigt die Vorgehensweise zur Erstellung einer Teilflächeneinteilung am Beispiel des Suedfeldes. Zunächst werden die gesammelten Datenquellen gesichtet und über eine Benutzeroberfläche (z.B. ein Geoinformationssystem) übereinandergelegt. Danach wurden die verschiedenen Zonierungen miteinander verglichen und mittels Erfahrungswerte zu Teilflächen aggregiert. In einigen Bereichen der Versuchsschläge in Klein Dahlum und Ingeleben waren die vorhandenen Daten widersprüchlich. Daher führte das Projektkonsortium am 24.08.2020 eine Rammkernsondierung an ausgewählten Punkten auf ca. 1,50 m Tiefe durch (Abbildung 5 und Abbildung 6) anhand derer die Teilflächeneinteilung erneut validiert werden konnte. Im Jahr 2021 erfolgte eine sehr kleinteilige, in 2022 eine weniger kleinteilige Teilflächeneinteilung, da sich die Einteilung im Jahr 2021 als teilweise wenig praxistauglich erwies.

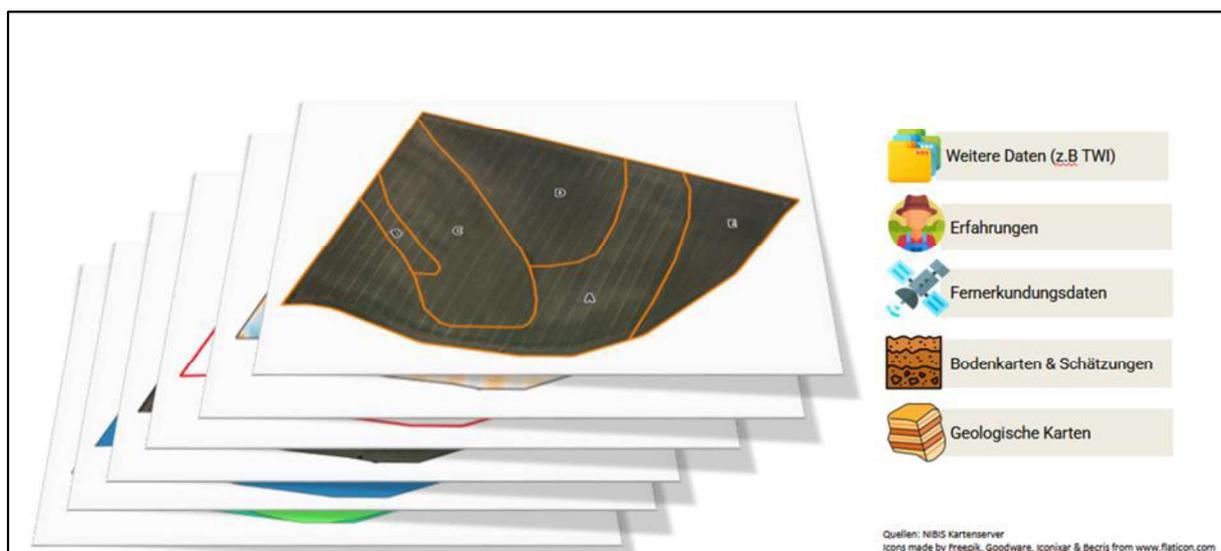


Abbildung 4: Simplifizierte Darstellung der Vorgehensweise zur Teilflächeneinteilung.



**Abbildung 5: Rammkernsondierung auf dem Versuchsschlag am 24.08.2020 in Klein Dahlum.**



**Abbildung 6: von links nach rechts: (1) Bohrkern auf Versuchsschlag in Klein Dahlum, (2) Ansprache der verschiedenen Bodenhorizonte durch Dr. Lorenz, (3) Bohrkernquerschnitt in ca. 1,40 m Tiefe zeigt zahlreiche Grobporen und eine starke Durchwurzelung.**

### 2.4.3.3 Versuchsdesign

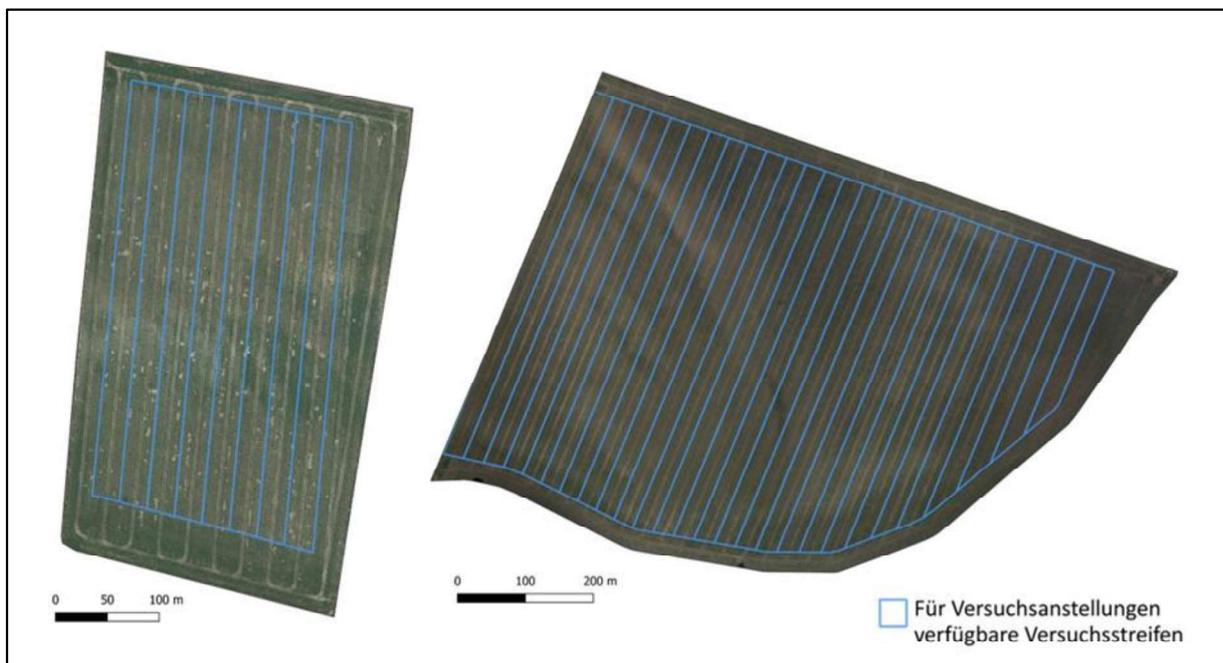
#### 2.4.3.3.1 Exaktversuche

Im Rahmen des Projektes wurden auch Exaktversuche mit in das Untersuchungsprogramm mit einbezogen. Auf Schlägen der Domäne Schickelsheim (Betriebsleiter Kasper Haller) konnten bestehende Versuche durch Precise Nitrogen begleitet werden. Hierbei wurden zwei Varianten des 612-N-Düngungsversuches 2020 mit Bodensensoren ausgestattet. Dies betraf die Variante 1 (Null-Düngung) sowie die Variante 4 (Düngung nach N-Bedarfswert). Begleitend wurden Feldmessdaten erhoben. Neben der Bonitierung der Bestände wurden am 16.04.2020, 20.05.2020, 26.05.2020 und 09.06.2020 auch die Bestandsdichte sowie die Entwicklung der Nmin-Gehalte ermittelt. Zudem wurde der Versuch zur Abreife mit einer Drohne überflogen. Die Bodenproben sowie die Entwicklungsstadien wurden mit den prognostizierten Ergebnissen des ISIP-Modells verglichen. Die Entnahme des Pflanzenmaterials diente dem Abgleich der mittels Drohne erfassten Vegetationsindizes. Leider kam es im Projektverlauf zu zeitweiligen Übertragungsfehlern der Mikroklimasensoren. 2021 konnte wie bereits im ersten Jahr auf

verschiedenen Standorten in Niedersachsen eine Ökosystemmodellvariante im 612-N-Düngungsversuch angelegt werden. Im Jahr 2022 wurden keine Exaktversuche durch den Einsatz von Sensoren begleitet. Gründe dafür liegen in der begrenzten Anzahl der Mikroklimasensoren im Jahr 2022 (Lieferschwierigkeiten) und personellen Wechsel im Projektkonsortium.

#### 2.4.3.3.2 Großflächenversuche

Zur Erprobung des Ökosystemmodells zur effizienteren N-Düngung wurden Streifenversuche angelegt. Hierzu entwickelten die OG-Mitglieder 1 und 2 verschiedene Entwürfe, welche dann im Rahmen des gesamten Projektkonsortiums diskutiert und modifiziert wurden. Final entstand ein Versuchsschema aus vier verschiedenen streifenförmigen N-Düngevarianten, welche sich sowohl in der Verteilung als auch der Menge des eingesetzten N-Düngers unterscheiden konnten. Zusätzlich wurden im Jahr 2021 pro Versuchsfläche zwei Nullparzellen angelegt. Die beispielhafte Verteilung der Versuchsstreifen auf zwei Schlägen ist in der folgenden Abbildung zu sehen (Abbildung 7) und hängt maßgeblich von der Arbeitsbreite der Feldspritze und der Feldgeometrie ab.

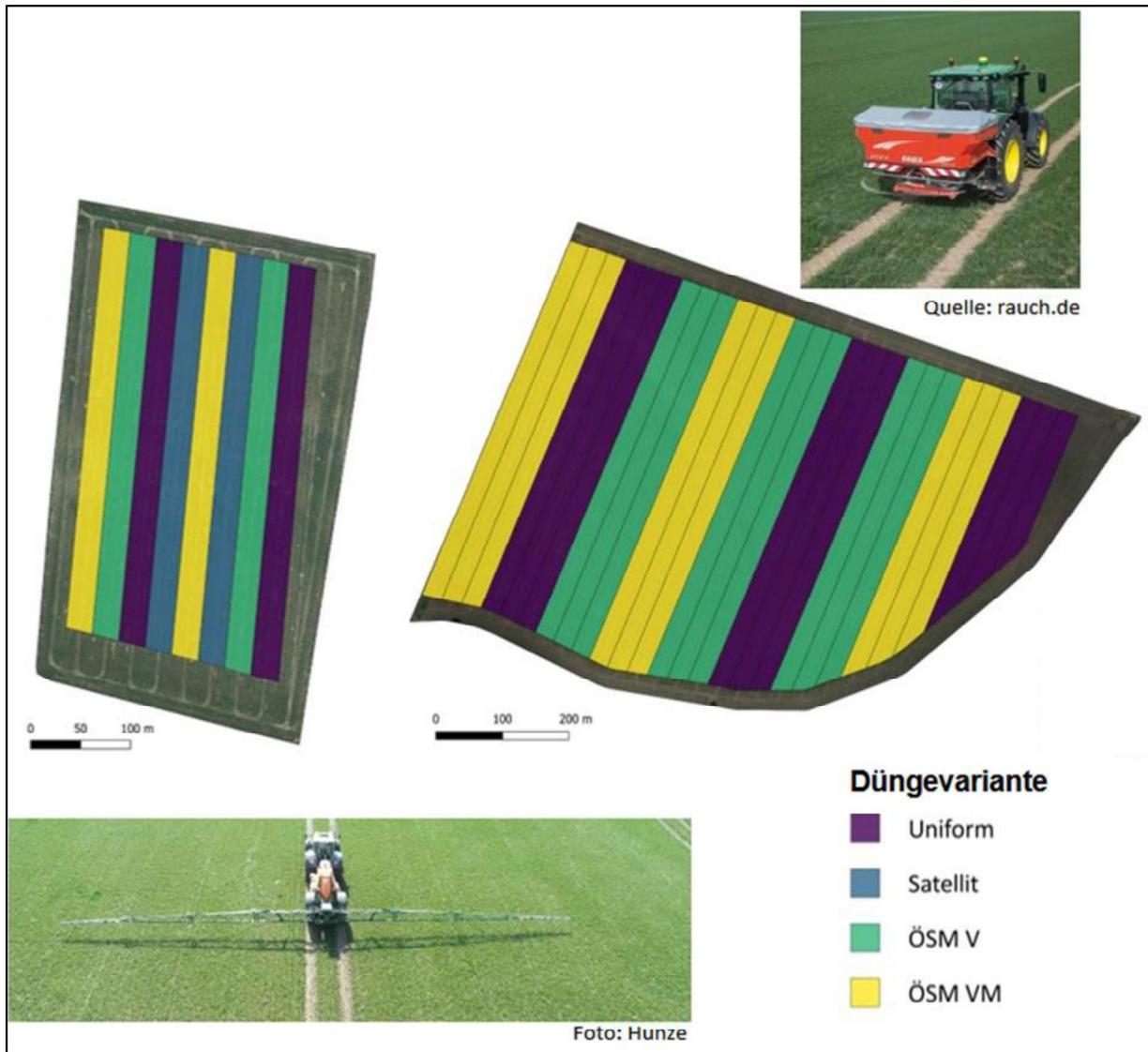


**Abbildung 7:** Darstellung der Versuchsstreifen auf den Schlägen Großer Berg (links) und Suedfeld (rechts).

Je Versuchsstreifen wurde eine Wiederholung einer Düngevariante platziert. Folgende Düngevarianten wurden für die Versuchsjahre 2021 und 2022 ausgewählt:

- **Variante 1: Uniforme Düngung:** Maximale Düngung gemäß Düngebedarfsermittlung, einheitlich auf dem Versuchsstreifen ausgebracht.
- **Variante 2: Satellit:** Änderung der Düngeverteilung im Streifen auf Basis des „normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI)“, Düngemenge entsprechend der Variante 1, Variation der Verteilung im Streifen zwischen +/- 20 %.
- **Variante 3: Ökosystemmodell V (ÖSM V):** Änderung der Düngeverteilung im Streifen auf Basis des Farmalyzer-Modells der Firma Agvolution GmbH, Düngemenge entsprechend der Variante 1.
- **Variante 4: Ökosystemmodell VM (ÖSM VM):** Änderung der Düngeverteilung im Streifen auf Basis des Farmalyzer-Modells der Firma Agvolution GmbH, Düngemenge variiert auf Basis des Farmalyzer-Modells.

Die Düngevarianten wurden randomisiert in das Streifendesign gelegt, Wiederholungen wurden in Blöcken ermöglicht. Auf Grund von geringen Schlaggrößen wurde die Variante 2: Satellit nicht auf jedem Versuchsfeld platziert. Beispielhafte Platzierungen sind in Abbildung 8 zu finden.



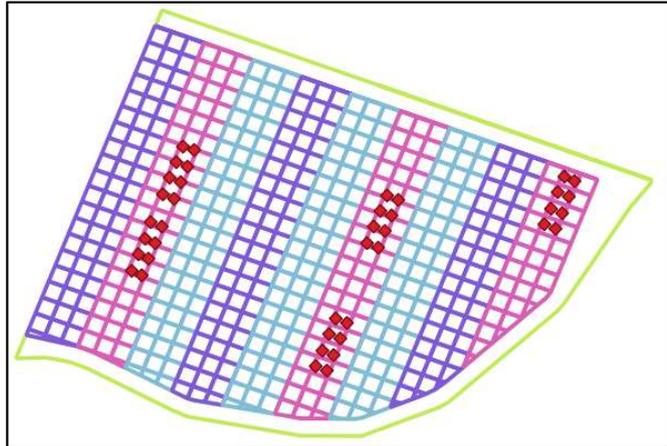
**Abbildung 8: Platzierung der Versuchsvarianten auf den Schlägen Großer Berg (links) und Suedberg (rechts).**

Während im Jahr 2021 auf allen Versuchsfeldern die N-Düngung in flüssiger Form erfolgte, stellte die GV Reinau im Jahr 2022 auf eine Applikation mittels Schleuderstreuer um. Da der Schleuderstreuer nicht eine trennscharfe Applikation bietet, wurden auf den genannten Flächen jeweils drei Arbeitsbreiten nebeneinander mit einer Düngevariante platziert (Abbildung 8, rechts), sodass der mittlere Streifen für eine spätere statistische Auswertung nutzbar ist, während die äußeren Streifen Mischungszone darstellen.

#### 2.4.3.3.3 Beprobungsdesign

Im Zuge der Vorbereitung auf das Versuchsjahr 2022 einigte sich das Projektkonsortium darauf, die Feldbeprobungen und Untersuchungen zu intensivieren. Im Hinblick auf die monetären und personellen Möglichkeiten wurde sich darauf geeinigt vier Versuchsschläge intensiv zu betrachten (Friedhof, Bergstreifen, Olla, Suedfeld). Aufgrund eines Wildschadens wurde

der Schlag "Friedhof" aus der intensiven Betreuung herausgenommen. Somit wurden im Versuchsjahr 2021/2022 drei Schläge intensiv (Multispektralaufnahmen, *in situ*-Messungen, Installation vieler Mikroklimasensoren) und fünf weitere Schläge nur extensiv (keine vegetationsbegleitenden Untersuchungen, wenige Sensoren) begleitet. Auf Basis eines Vorschlags des OG-Mitglieds 3 wurde von OG-Mitglied 2 das Beprobungsdesign entwickelt (Abbildung 9). Die Beprobung wurde immer in der uniformen Düngevariante durchgeführt. Dort wurden Beprobungseinheiten von jeweils 8 Beprobungspunkten angelegt. Je nach Schlaggröße variierte die Gesamtanzahl der Beprobungspunkte.



**Abbildung 9: Beprobungsdesign für das Versuchsjahr 2022 auf dem Schlag Suedfeld.**

#### 2.4.3.4 Sensorik

Bei der im Projekt benutzten Klimasensorik handelt es sich um Climavi-Mikroklimasensoren der Firma Agvolution GmbH. Im Folgenden werden i.d.R. die Begriffe Mikroklimasensor oder allgemein Sensorik verwendet.

##### 2.4.3.4.1 Aufbau und Funktionsweise

Bei dem Climavi-Mikroklimasensor (Abbildung 10) handelt es sich um einen, im Vergleich zu Konkurrenzprodukten, relativ kostengünstigen Sensor, welcher hauptsächlich die Bodenfeuchte und Bodentemperatur in verschiedenen Messtiefen aufnimmt. Die Messung der Bodenfeuchte kann als eine Art FDR-Messung (Frequent Domain Reflectometry) bezeichnet werden. Als eine Besonderheit gegenüber einigen anderen Produkten am Markt findet hierbei die Messung zwischen den beiden Sensorstäben statt. Der volumetrische Wassergehalt im Boden wird über die elektrische Leitfähigkeit errechnet. Die Stromversorgung des Sensors wird über eine interne Solarpaneele realisiert. Die Datenübertragung der Sensorik funktionierte 2021 über eine Funkbasisstation in Flächennähe mittels LoraWAN-Funkstandard (Mikroklimasensor Version V1), 2022 wurde auf eine Übertragung auf Basis des Mobilfunknetzes umgestellt (Version V2).



**Abbildung 10: Climavi-Mikroklimasensor im Weizenbestand.**

##### 2.4.3.4.2 Einbau und Platzierung der Sensorik

Vor den Versuchsjahren 2021/2022 wurde ein Prototyp der Sensortechnik der Firma Agvolution GmbH (Version V0) in dem bestehenden Düngersteigerungsversuch 612 der LWK Niedersachsen auf einem Standort der Domäne Schickelsheim getestet. Am 27.03.2020 konnte der Einbau einiger weniger Sensoren realisiert werden (Abbildung 11). Eine Funkbasisstation wurde an ein lokales Netzwerk eines nahegelegenen Wohnhauses angeschlossen, welche die Datenpakete der Mikroklimasensoren empfängt und sie in eine Cloud übermittelt.

In den Versuchsjahren 2021/2022 wurden die Sensoren jeweils in den Großflächenversuchen im Pflanzenbestand platziert. Hierzu wurden die im GIS festgelegten Teilflächen, die als Polygone vorlagen, um 15 m nach innen gepuffert, um Positionen eines Sensors im Randbereich einer Teilfläche zu vermeiden. Anschließend wurde je gepufferter Teilfläche im GIS randomisiert ein Standort ausgewiesen. Diese Standorte wurden dann im Feld mithilfe der freiverfügbaren App "SW Maps" angelaufen. Die Einbringung der Bodensensorik in den Boden wurde mithilfe eines Einbringtools vorgenommen. Dieses besteht aus zwei Metallstäben im Querschnitt 50x20 mm und einer Schablone zur



**Abbildung 11: Einbau der IoT-Mikroklimasensoren im N-Düngungssteigerungsversuch 612 am 27.03.2020 auf der Domäne Schickelsheim.**

Führung dieser Metallstäbe, um den durch die Bauart der Sensorik vorgegebenen Abstand zwischen den Messstäben zu halten. Die Metallstäbe werden mit hohem Kraftaufwand in den Boden getrieben. Zuvor wird mit einem Bohrstock Bodenmaterial entnommen, um starke Verdichtungen zu vermeiden. Die Metallstäbe werden nach dem Eintreiben in den Boden wieder herausgezogen, die Schablone entfernt und die Bodensensorik in die entstandenen Öffnungen im Boden eingeführt. Je nach Bodenfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Einbringung war die Installation unterschiedlich aufwendig. In 2021 wurden die Metallstäbe händisch mit einem Vorschlaghammer, in 2022 motorgetrieben mithilfe eines Schlaghammers eingebracht. Als praxistauglich für die Verwendung in der Landwirtschaft erwies sich der Prozess der Installation der Bodensensorik nicht.

In 2021 wurde in jeder identifizierten Teilfläche eines Schlags ein Sensor platziert. Die genaue Positionsbestimmung nach der Installation der Feldsensoren erfolgte mithilfe des projektseitig beschafften RTK-Messstabs. Dieser konnte durch das SAPOS-Korrektur-Signal des Landes Niedersachsen die jeweilige Position des Sensors bis auf wenige Zentimeter genau bestimmen. Durch die Benutzeroberfläche der App "SW Maps" konnte die aktuelle Position eingesehen werden. Eine detaillierte Anleitung zur Nutzung des Messstabs sowie zur Anwendung der App wurde von dem OG-Mitglied 2 erstellt. In 2022 wurden drei Sensoren je Teilfläche installiert. Diese Platzierung der Sensoren im Dreierverbund (Abbildung 12) innerhalb einer Teilfläche sollte einen Vergleich der Messwerte zwischen den Sensoren je Teilfläche ermöglichen. Im Jahr 2021 fand die Installation der Sensorik bei nassen Bodenverhältnissen statt. Bodenverdichtungen im Messbereich, ggf. hervorgerufen durch das händisch eingetriebene Einbringtool, konnten nicht ausgeschlossen werden. Um Verdichtungen aufgrund nasser Witterungsverhältnisse in 2022 auszuschließen, wurde die Installation der Sensorik bei trockenen Bodenverhältnissen im November 2021 durchgeführt. Da zu diesem Zeitpunkt die vorhandene Sensorik (Version V1) nicht funktionsbereit und die Zulieferung des Ersatzes (V2) noch ausstehend war, wurden die Sensoren der Version V1 als "Platzhalter" eingebaut. Aufgrund von Lieferengpässen konnte jedoch ein Dreierverbund mit Sensoren der Version V2 nicht umgesetzt werden, sodass während des Versuchsjahres nur zwei Sensoren der Version V2 nebeneinander je Teilfläche platziert werden konnten.



Abbildung 12: Sensorplatzierung im Versuchsjahr 2022 (Foto: Hunze).

Tabelle 5: Übersicht zum Sensoreinbau beider Versuchsjahre (\*Eingebaute Platzhalter).

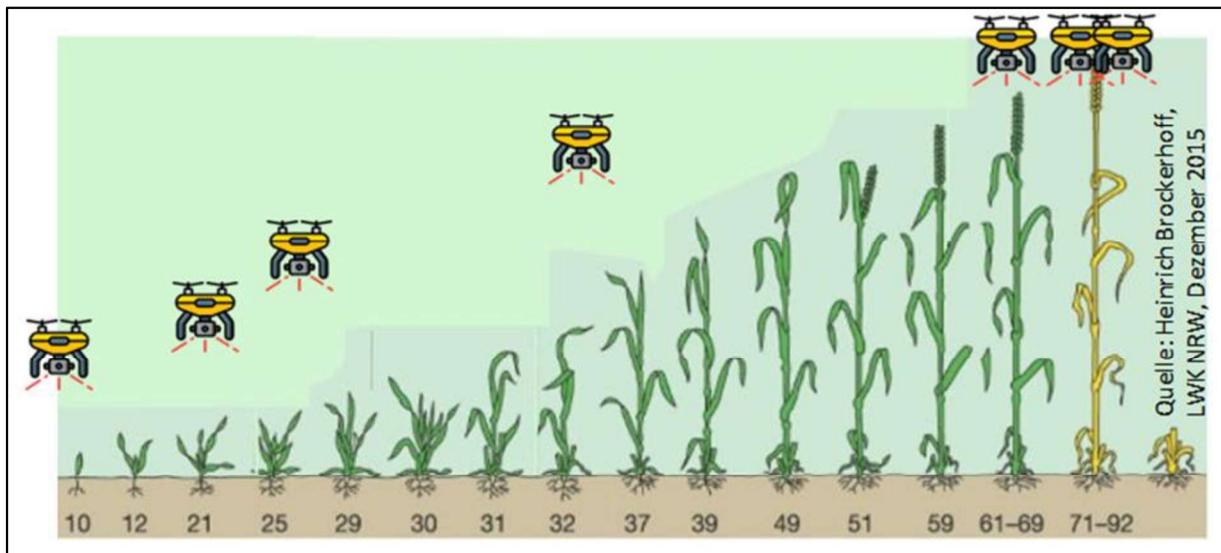
| Schlagname    | Anzahl Sensoren, Einbautiefe | Datum der Installation | Einbringung                 | Versuchsjahr |
|---------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------|
| Lehsteine     | 1 x 0-60 cm<br>2 x 0-90 cm   | 28.01.2021             | Vorschlaghammer mechanisch  | 2021         |
| 1004-02/Lehre | 5 x 0-60 cm                  | 04.02.2021             | Vorschlaghammer mechanisch  | 2021         |
| Großer Berg   | 7 x 0-90 cm                  | 28.01.2021             | Vorschlaghammer mechanisch  | 2021         |
| Suedberg      | 19 x 0-60 cm<br>2 x 0-90 cm  | 22.02.2021             | Vorschlaghammer mechanisch  | 2021         |
| Nachthude     | 5 x 0-60 cm<br>6 x 0-90 cm   | 22.02.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2021         |
| Friedhof      | 6 (9*), 0-60 cm              | 18.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Stahlberg     | 2 (2*), 0-60 cm              | 18.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Laubhagen     | 2 (2*), 0-60 cm              | 18.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Bergstreifen  | 8 (12*), 0-60 cm             | 18.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Olla          | 10 (15*), 0-60 cm            | 16.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Schlossbreite | 2 (2*), 0-60 cm              | 16.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Suedfeld      | 10 (15*), 0-60 cm            | 16.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |
| Lange Stücken | 3 (3*), 0-60 cm              | 16.11.2021             | Schlaghammer motorgetrieben | 2022         |

#### 2.4.3.5 Felduntersuchungen

##### 2.4.3.5.1 Multispektralaufnahmen mittels Drohne

Die Drohnenflüge wurden zeitlich kurz vor den Pflanzenbeprobungen zu bestimmten BBCH-Stadien (Abbildung 13) durch das OG-Mitglied 2 durchgeführt (Tabelle 6). Bei der verwendeten

Drohne handelt es sich um eine DJI M300 RTK, welche mit einer MicaSense Altum Multispektralkamera ausgestattet wurde. Die Kalkulation von Vegetationsindizes ermöglicht es, die Vegetationsdynamik und Pflanzengesundheit über den Vegetationsverlauf genau zu betrachten.



**Abbildung 13: BBCH-Stadien zum Zeitpunkt der Drohnenflüge auf der Fläche Suedfeld.**

Die Drohnenflüge wurden je nach Feldgröße und gesetzlichen Rahmenbedingungen in 45-90 m Flughöhe durchgeführt bei einer seitlichen und frontalen Überlappung der einzelnen Aufnahmen von 70-80 %. Eine Kalibrierung des Sensors wurde vor Beginn einer Flugmission, bei jeder Zwischenlandung und zum Abschluss einer Flugmission mithilfe eines kalibrierten Reflektionspanels (Micasense) durchgeführt. Eine möglichst präzise Georeferenzierung wurde durch die Verwendung des Sapos-Satellitenpositionierungsdienstes erreicht und durch zusätzliche Marker-Referenzpunkte in den Feldversuchen ergänzt. Die Einzelaufnahmen wurden mit der Fotogrammetriesoftware Agisoft Metashape (Version 1.7.3) zu einem Orthomosaik verarbeitet. Anschließend konnten die Aufnahmen zu verschiedenen Vegetationsindizes verrechnet werden.

**Tabelle 6: Zeitpunkte Drohnenflüge 2022.**

| Schlag       | Flug 1     | Flug 2     | Flug 3     | Flug 4     | Flug 5     | Flug 6     | Flug 7     |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Bergstreifen | 19.01.2022 | 03.03.2022 | 13.04.2022 | -          | -          | -          | -          |
| Olla         | 09.11.2021 | 27.02.2022 | 12.04.2022 | 16.05.2022 | -          | -          | 30.06.2022 |
| Suedfeld     | 09.11.2021 | 27.02.2022 | 12.04.2022 | 16.05.2022 | 02.06.2022 | 15.06.2022 | 30.06.2022 |
| Friedhof     | 10.11.2021 | -          | -          | -          | -          | -          | -          |

Bereits im Vegetationsverlauf können teilflächenspezifisch Wachstumsunterschiede im Pflanzenbestand ersichtlich werden. Destruktiv wären diese Unterschiede in Form von Biomasseerfassungen feststellbar. Nicht destruktiv können diese Unterschiede großflächig über die Kartierung mit der Drohne (oder einem Satelliten in geringerer Auflösung) und der Kalkulation von Vegetationsindizes erfasst werden. Auch Teilflächen können hierdurch identifiziert werden.

#### 2.4.3.5.2 Pflanzenbeprobungen

Versuchsjahr 2022 einigte sich das Projektteam darauf vegetationsbegleitende Untersuchungen auf den intensiv zu betreuenden Versuchsfeldern durchzuführen. Das geplante Versuchsetup beinhaltete die Schläge Olla und Bergstreifen jeweils kurz vor den jeweiligen N-Düngergaben zu beproben. Auf dem Schlag Suedfeld erfolgte ebenfalls eine Beprobung vor den N-

Düngegaben, zusätzlich wurden jedoch noch drei weitere Feldbeprobungen im späteren Wachstumsverlauf des Winterweizens durchgeführt. Der Schlag Suedfeld wurde besonders aufgrund seiner Größe für eine intensivere Beprobung ausgewählt. Durch die größeren Ausmaße (50 ha) ist es dort auch möglich die frei verfügbaren Daten der Sentinel-2-Satellitenkonstellation mit einer räumlichen Auflösung von 10-20 m in Wert zu setzen und die Gefahr von Mischpixeln zwischen den Varianten zu minimieren. Die erhobenen Daten wurden im weiteren Projektverlauf für die Kalibration von Satelliten- und Drohnengestützten Modellen verwendet. Die genauen Zeitpunkte der Beprobungen sowie das jeweilige BBCH-Stadium sind Tabelle 7 zu entnehmen. Im



**Abbildung 14: Zählrahmen zur Feldbeprobung (Foto: Löwe).**

Rahmen der Feldbeprobungen wurden das BBCH-Stadium, die Bestandeshöhe, der Leaf Area Index (LAI) und die oberirdische Biomasse (frisch, trocken) erfasst. Der LAI wurde mit dem LAI-2200C von LI-COR, Inc. (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA, <https://www.licor.com/>) erfasst. Für die Biomassebeprobung wurde zunächst ein Rahmen von 0,25 qm ausgelegt (Abbildung 14), in dem dann die gesamte oberirdische Frischmasse beerntet wurde. Mit steigender Biomasse im späteren Verlauf der Vegetationsperiode wurde darauf verzichtet, den ganzen Rahmen zu beernten. Stattdessen wurden alle Pflanzen im Rahmen gezählt und nur 30 Halme geerntet. Die frische Biomasse wurde im nächsten Schritt auf einer Feldwaage eingewogen und dann über das OG-Mitglied 1 an die LUFA Nord-West übermittelt. Dort erfolgte eine Ermittlung der Parameter: Gesamt-Stickstoff (N) % in Originalsubstanz (Frischmasse), Gesamt-Stickstoff (N) % in der Trockensubstanz (TS) und die TS %. Die Beprobungspunkte wurden im Frühjahr 2022 festgelegt und mit RTK eingemessen. Die Beprobung fand in fixen Abstand zu den eingemessenen Punkten statt und rotierte von Norden beginnend im Uhrzeigersinn um den Fixpunkt. Insgesamt wurden im zweiten Versuchsjahr 272 Biomasseproben durch das OG-Mitglied 3 erhoben. Organisatorisch sowie als Unterstützung bei der Beprobung stand das OG-Mitglied 1 zur Seite. Bei den Flächen Bergstreifen und Olla erfolgte die weitere Probenverarbeitung, Trocknung der Proben und anschließende Trockensubstanzbestimmung ebenfalls durch das OG-Mitglied 3. Aus kostentechnischen und zeitlichen Gründen erfolgt eine intensive Beprobung nur auf dem Schlag Suedfeld des OG-Mitglied 5 (GV Reinau).

**Tabelle 7: Zeitpunkte der Feldbeprobungen.**

| Schlag       | Datum      | BBCH  | Datum      | BBCH  | Datum      | BBCH  |
|--------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| Olla         | 01.03.2022 | 21-22 | 14.04.2022 | 23-25 | 16.05.2022 | 37    |
| Bergstreifen | 03.03.2022 | 13    | 14.04.2022 | 23    | 20.05.2022 | 33    |
| Suedfeld     | 28.02.2022 | 23    | 12.04.2022 | 25-27 | 17.05.2022 | 33    |
|              |            |       |            |       |            |       |
| Schlag       | Datum      | BBCH  | Datum      | BBCH  | Datum      | BBCH  |
| Suedfeld     | 03.06.2022 | 65    | 16.06.2022 | 71    | 04.07.2022 | 83-85 |

#### 2.4.3.5.3 Lagerungsdichte

Vor Beginn der Vegetationsperiode wurden in den Versuchsjahren 2021 und 2022 Datenerhebungen zur Lagerungsdichte im Nahbereich der Mikroklimasensoren durchgeführt. Diese Untersuchungen dienen unter anderem der Parametrisierung des Ökosystemmodells. Die Erhebung der Daten der Lagerungsdichte wurde von dem OG-Mitglied 1 durchgeführt. Hierzu wur-

den seitens des OG-Mitglied 3 Stechzylinder bereitgestellt sowie die Nutzung der institutseigenen Trockenschränke ermöglicht. Für das Versuchsjahr 2021 zeigte die Lagerungsdichte eine Bandbreite zwischen 1 und 1,6 g/cm<sup>3</sup>, wobei sich die Varianz auf den jeweiligen Schlägen als sehr gering darstellte. Für das Versuchsjahr 2022 zeigten sich Lagerungsdichten zwischen 1,3 und 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Alle beprobten Schläge zeigten eine ähnliche Verteilung der Lagerungsdichten.

#### 2.4.3.5.4 Grundnährstoffe & Frühjahrs-Nmin

Eine Untersuchung, welche zur Parametrisierung des Ökosystemmodells beitrug, war die Bodenuntersuchung in Bezug auf Nmin und die Grundnährstoffe im Frühjahr 2021 und 2022. Die Beprobung wurde an den akkreditierten Probenehmer Thorsten Brandt aus Dassel vergeben. Die LUFA Nord-West wurde mit der anschließenden Durchführung der laboranalytischen Arbeiten beauftragt. Ebenso diente die Nmin-Beprobung als Grundlage für die Düngebedarfsermittlung (DBE) für alle Versuchsschläge (Tabelle 8). Bei der DBE wurde der betrieblich erzielte Ertragsdurchschnitt der letzten Jahre sowie der über die Gesamtfläche arithmetisch gemittelte Nmin- Gehalt im Boden zugrunde gelegt.

**Tabelle 8: Düngebedarfsermittlung für die Versuchsschläge 2021 und 2022.**

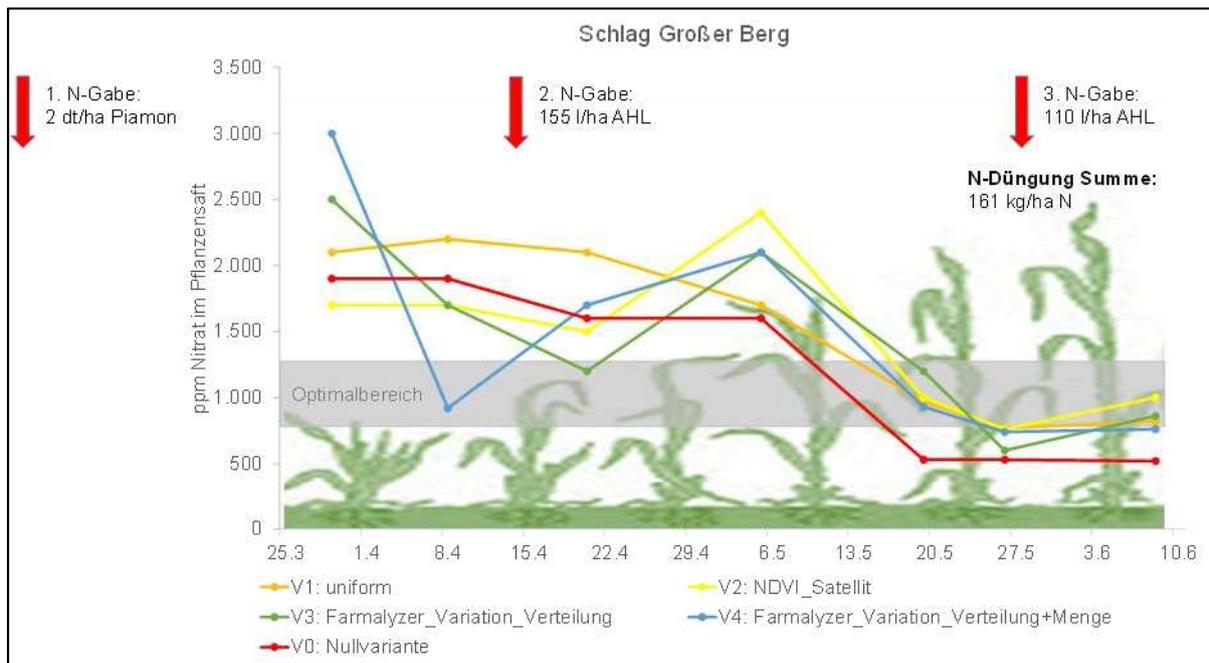
| Ver-suchs-jahr | Schlagbezeich-nung | Vor-frucht | N-Be-darfwert | Ertrags-auf-schlag | Vor-frucht | Nmin (Mit-tel) | N-Dünge-bedarf (kg/ha) |
|----------------|--------------------|------------|---------------|--------------------|------------|----------------|------------------------|
| 2021           | Lehsteine          | ZR         | 230           | 15                 | -10        | -37            | 198                    |
|                | 1004-02            | ZR         | 230           |                    | -10        | -29            | 191                    |
|                | Großer Berg        | ZR         | 230           | 10                 | -10        | -68            | 162                    |
|                | Suedberg           | ZR         | 230           | 10                 | -10        | -50            | 180                    |
|                | Nachthude          | ZR         | 230           | 20                 | -10        | -69            | 171                    |
| 2022           | Friedhof           | SM         | 230           | 0                  | 0          | -22            | 208                    |
|                | Stahlberg          | SM         | 230           | 0                  | 0          | -16            | 214                    |
|                | Bergstreifen       | ZR         | 230           | 5                  | -10        | -50            | 175                    |
|                | Laubhagen          | ZR         | 230           | 0                  | -10        | -37            | 183                    |
|                | Olla               | ZR         | 230           | 7,5                | -10        | -45            | 170                    |
|                | Schlossbreite      | ZR         | 230           | 0                  | -10        | -45            | 175                    |
|                | Suedfeld           | SM         | 230           | 20                 | 0          | -31            | 186                    |
|                | Lange Stücken      | ZR         | 230           | 20                 | -10        | -41            | 181                    |

#### 2.4.3.5.5 Pflanzenproben

Im Versuchsjahr 2021 wurden von dem OG-Mitglied 1 in einem Radius von 2,5 m Pflanzenproben um die Sensoren gezogen. So konnte ausgeschlossen werden, dass neben Stickstoff andere Makro- und Mikronährstoffe ertragslimitierend sind. In keiner der analysierten Pflanzenproben wurde ein Mangelzustand festgestellt. Da dies auch im Versuchsjahr 2022 nicht zu erwarten war, wurden in dem Versuchsjahr 2022 keine weiteren Pflanzenbeprobungen in Betracht gezogen.

#### 2.4.3.5.6 Nitrachek

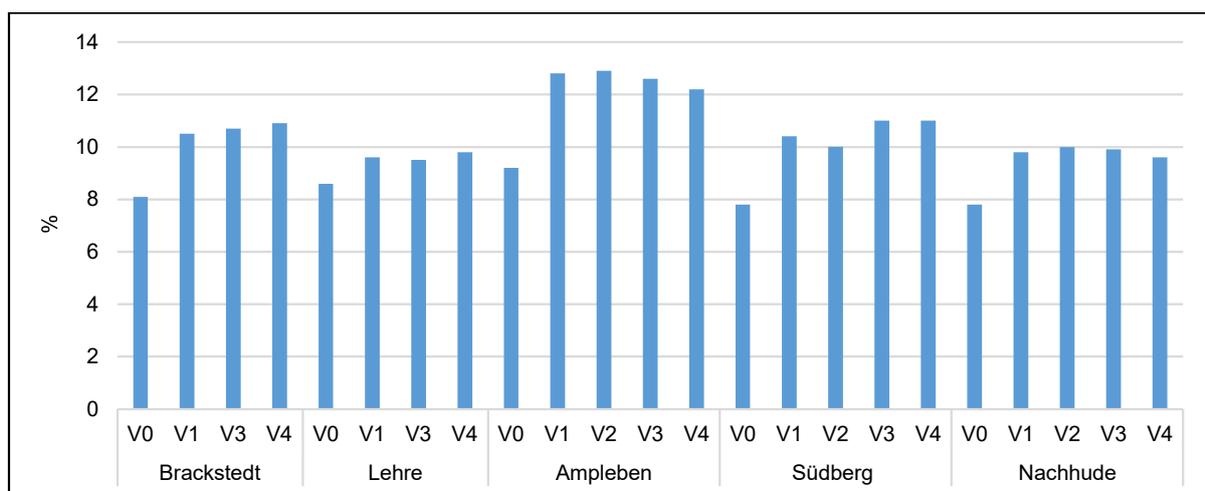
Als vegetationsbegleitende Untersuchungen wurden Nitrachek-Messungen durch das OG-Mitglied 1 durchgeführt. Hierbei wird der Nitratgehalt im Pflanzensaft bestimmt, der Rückschlüsse auf die Versorgung der Pflanze gibt. Im Versuchsjahr 2021 wurden 151 Nitratgehaltsmessungen durchgeführt. Um zu differenzieren, ob eine unterschiedliche Versorgung innerhalb der Varianten vorliegt, wurde darauf geachtet die Beprobungspartellen in der gleichen Teilfläche anzulegen. Wie aus Abbildung 15 ersichtlich hat die Entwicklung der Nitratmesswerte auf keiner Versuchsflächen eindeutige Unterschiede in den Varianten gezeigt. Aufgrund dessen wurde in dem Versuchsjahr 2022 von der intensiven Beprobung abgesehen und nur vereinzelt Nitrachek-Proben gezogen.



**Abbildung 15: Entwicklung der Nitratgehalte im Pflanzensaft von Ende März bis Anfang Juni 2021 auf dem Versuchsschlag Großer Berg in Ampleben.**

#### 2.4.3.5.7 Rohproteinuntersuchungen

Da die N-Düngung einen wesentlichen Einfluss auf den Rohproteingehalt im Korn nimmt, wurden zeitnah vor der Ernte in beiden Versuchsjahren Proben von dem OG-Mitglied 1 geerntet. Hierzu wurden im ersten Versuchsjahr 100 Ähren je Versuchsvariante geerntet. Die Spindel und Spelze wurden mittels Einzelährendreschern des OG-Mitglied 3 entfernt. Die anschließende Untersuchung der Proben wurde von der Firma Wilhelm Fromme Landhandel GmbH & Co. KG. übernommen. Wie in der nachfolgenden Abbildung 16 zu erkennen, variiert der Proteingehalt standortspezifisch sehr stark. Die Spanne reicht von ca. 10-13 %. Maßgebliche Unterschiede zwischen den Varianten über alle Versuchsschläge sind nicht feststellbar. Eine Ausnahme haben erwartungsgemäß die Nullparzellen (nur Düngung mit 1. N-Gabe) dargestellt, welche gegenüber den anderen Varianten um ca. zwei Prozentpunkte abgefallen sind.



**Abbildung 16: Proteingehalte im Versuchsjahr 2021.**

Im zweiten Versuchsjahr wurde wieder pro Versuchsvariante eine Probe geerntet. Aufgrund der Eigeninitiative eines Projektbetriebes (J. Schriever) konnte für ca. die Hälfte der Proben

ein Handmähndrescher verwendet werden. Hierdurch konnte der Arbeitsschritt des Ausdreschens zum Teil gespart werden. Die Proben, welche noch ausgedroschen werden mussten, wurden wieder vom OG-Mitglied 3 bearbeitet. Diese Schläge sind in der nachfolgenden Abbildung 17 durch ein \* gekennzeichnet. Die anschließende Analyse der Proben wurde von der Flechtorfer Mühle durchgeführt. Auch in dem Versuchsjahr 2022 sind sehr starke standortspezifische Schwankungen zu erkennen. Die Spanne reicht von ca. 10-15 %. Maßgebliche Unterschiede zwischen den N-Düngevarianten sind auch hier nicht zu erkennen.

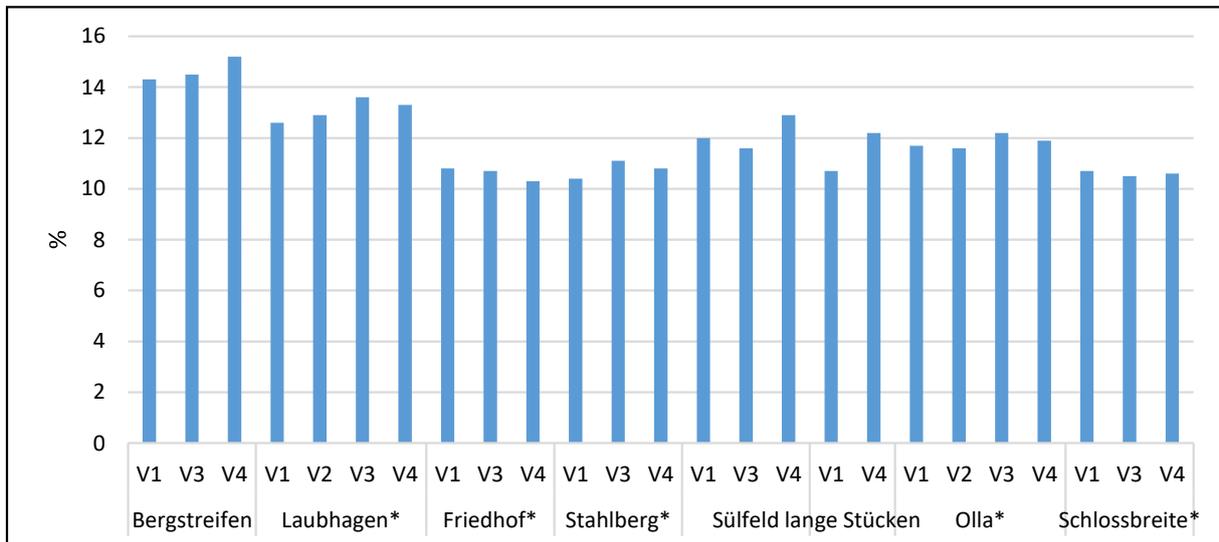


Abbildung 17: Proteingehalte im Versuchsjahr 2022.

#### 2.4.3.5.8 Nach-Ernte-Nmin

Um einen Hinweis auf möglicherweise verschiedene Umweltwirkungen der N-Düngevarianten zu erhalten, wurde der mineralische Bodenstickstoff nach der Ernte auf jedem Schlag in beiden Versuchsjahren ermittelt. Die Probenahme wurde an den Probenehmer Thorsten Brandt aus Dassel vergeben. Die anschließende Analyse der Proben wurde durch die LUFA Nord-West durchgeführt.

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse des Versuchsjahres 2021. Insgesamt lagen die Nach-Ernte-Nmin-Gehalte mit 30-50 kg/ha auf einem niedrigen Niveau. Eindeutige Unterschiede zwischen den Varianten 1-4 lassen sich aus den Ergebnissen nicht ableiten.

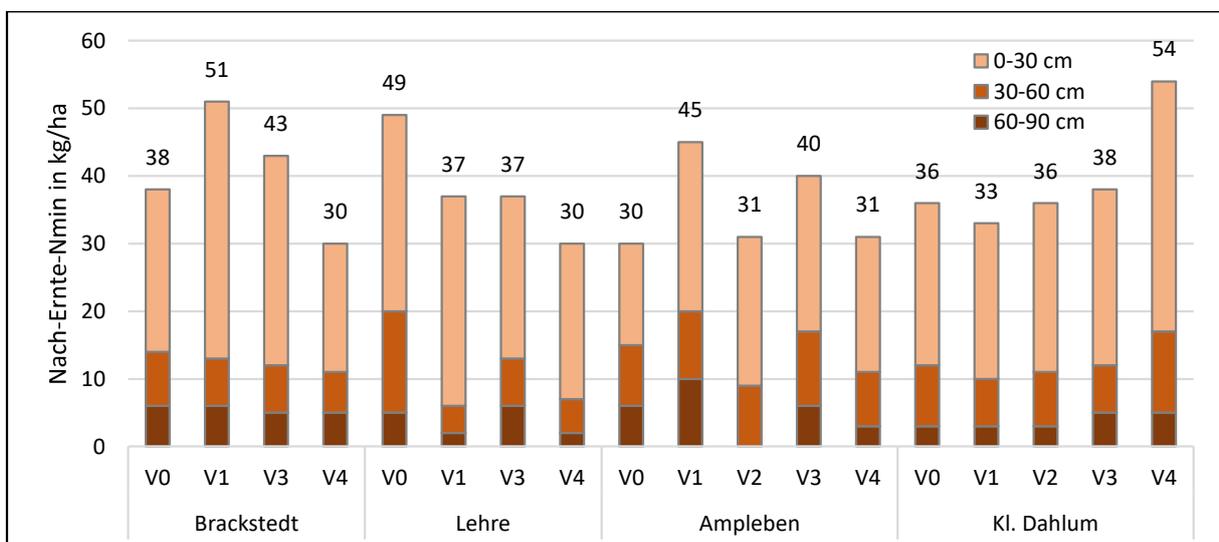


Abbildung 18: Nach-Ernte-Nmin-Gehalte auf vier Versuchsschlägen in dem Versuchsjahr 2021 in je einer Kernprobenparzelle pro Variante.

Insgesamt schwanken die Nach-Ernte-Nmin-Gehalte in dem Versuchsjahr 2022 stärker als in dem ersten Versuchsjahr. Auf dem Schlag Bergstreifen konnte die Beprobung nur bis 60 cm Tiefe durchgeführt werden. Dieses lässt sich auf die anhaltende Trockenheit zurückführen. Die Trockenheit könnte auch ein weiterer Grund für die unterschiedlichen Nach-Ernte-Nmin-Gehalte sein. Auch in dem zweiten Versuchsjahr können keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten herausgearbeitet werden.

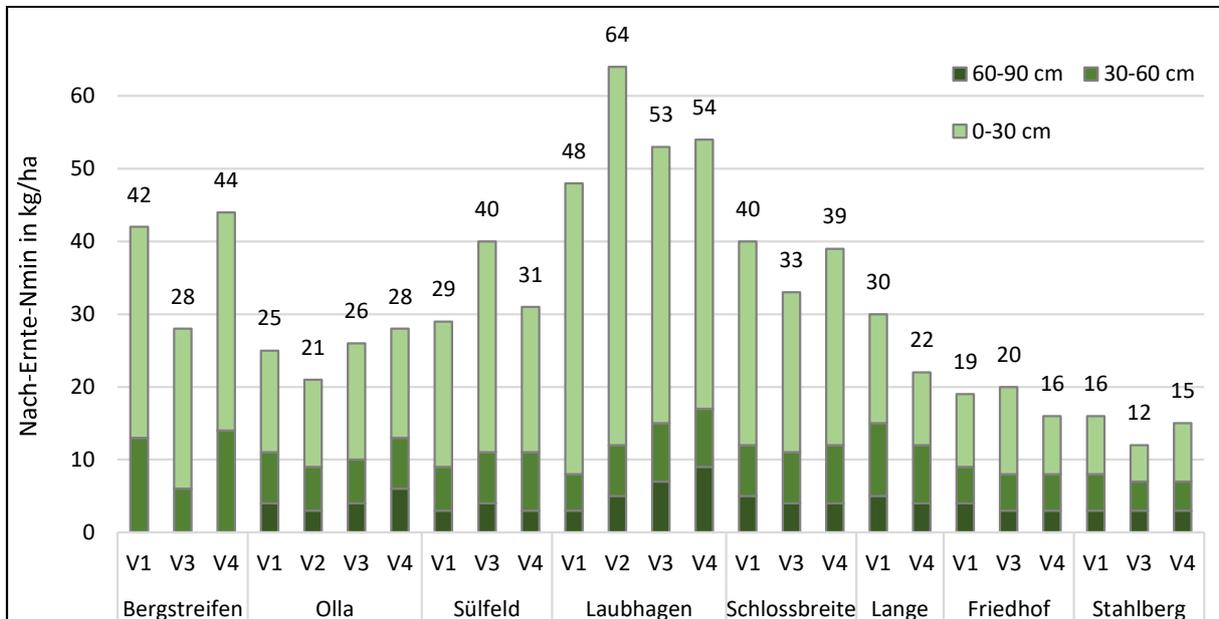


Abbildung 19: Nach-Ernte-Nmin-Gehalte auf den acht Versuchsschlägen in dem Versuchsjahr 2022 in den verschiedenen Düngevarianten.

#### 2.4.3.6 Erstellung der Applikationskarten

Die Erstellung der Applikationskarten fand federführend durch den Technikpartner Agvolution GmbH statt. OG-Mitglied 2 und 3 lieferten die nötigen georeferenzierten Basisdaten und unterstützten bei der Erstellung der Applikationskarten. Generell wurde für jede der geplanten Düngevarianten eine Karte für den gesamten Schlag erstellt (Abbildung 20).

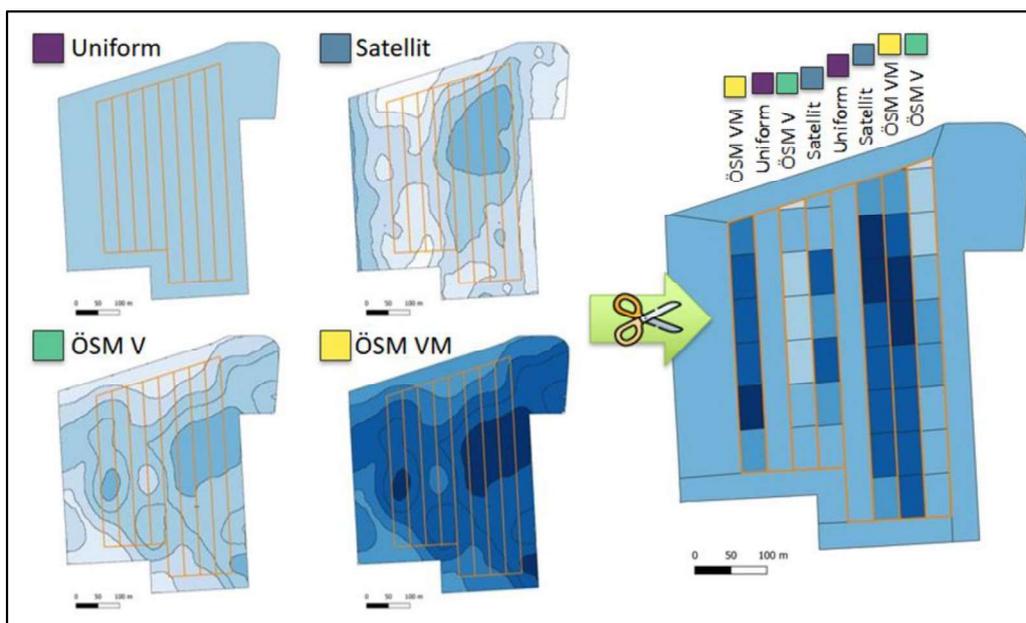


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Workflows zur Erstellung der Applikationskarten am Beispiel des Schlages Laubhagen (2022).

Diese wurden im nächsten Schritt auf das festgelegte Streifendesign zugeschnitten. Die jeweiligen Versuchstreifen wurden weiterhin noch in definierte Abschnitte unterteilt (in 2021: Arbeitsbreite x 15 m, in 2022: Arbeitsbreite x 30-45 m). Die Größe der Abschnitte wurde im Hinblick auf die technischen Limitationen der Ausbringtechnik angepasst. Die einheitliche Ausbringungsmenge innerhalb eines Abschnitts wurde als Mittelwert des im Abschnitt befindlichen Sollwerts der jeweiligen Variante bestimmt.

#### 2.4.3.7 Datentransfer und Applikation

Als Datenformat wurde i.d.R. das Format Esri-Shapefile, das Koordinatenbezugssystem WGS84 und als Geometriotyp "Polygon" verwendet. Je nach Betrieb wurden unterschiedliche Terminals und Feldspritzen/Düngerstreuer für die Düngemittelapplikation eingesetzt (Tabelle 9). Die Applikationskarten wurden per USB-Speichermedium an das Schlepperterminal übertragen und abgearbeitet. Nach der Applikation wurden die As-applied Daten gesichert und exportiert. Die meist im Format Isoxml vorliegenden Daten wurden mit dem Shape-Iso-Xml Konverter der Firma Müller-Elektronik oder betriebseigene Farmmanagementsysteme in das Format Esri-Shapefile konvertiert, um die Daten weiterführend im GIS verarbeiten zu können.

**Tabelle 9: Verwendete Düngetechnik und Isobusterminals.**

| <b>Isobusterminal</b>        | <b>Feldspritze/Düngerstreuer (2021/2022)</b> | <b>Arbeitsbreite</b> |
|------------------------------|--|----------------------|
| Fendt Varioterminal          | Horsch Leeb XY                               | 36 m                 |
| John Deere GS3               | Inuma 4000/ Agrio Mamut 6527                 | 27 m                 |
| John Deere GS4               | Amazone UX 6201                              | 33 m                 |
| Müller-Elektronik Touch 1200 | Agrio Mammut XL 7000/ Rauch Axent Axis Emc   | 30 m                 |

#### 2.4.3.8 Beerntung der Großflächenversuche

Die anschließende Beerntung der Großflächenversuche erfolgte mit vorab kalibrierter Druschtechnik der Betriebe. Dazu wurde eine definierte Fläche eines anderen Schlags bzw. ein Bereich außerhalb der Düngevarianten gedroschen und das Gewicht über eine Brückenwaage erfasst. Auf einem Versuchsschlag im Versuchsjahr 2021 kam es bei der Beerntung zu einem großen Mährescherbrand. Ein Teil der aufgezeichneten Daten weist daher Lücken auf.

#### 2.4.3.9 Datenauswertung

##### 2.4.3.9.1 Soll/Ist-Auswertung der N-Applikation

Anhand der Applikationskarten der Agvolution GmbH und der Ist-Applikation (as-applied) aus den Isobusterminals der Landwirte wurde nach den N-Applikationen ein Soll/Ist-Differenz berechnet (Abbildung 21). Dies diente vor allem dazu die Ausbringung nach Applikationskarte zu verifizieren. Während die Ergebnisse der Soll/Ist-Auswertung im Jahr 2021 teils große Differenzen zeigen, konnte die Applikation im Jahr 2022 deutlich zielgerichteter ausgeführt werden. Abbildung 21 zeigt die Soll/Ist-Differenz am Beispiel des Schlages Olla für das Jahr 2022. Im Jahr 2021 wurden die Applikationskarten noch deutlich kleinstrukturierter erstellt (Abschnitte: Arbeitsbreite x 15 m). In Fahrtrichtung wechselte demnach der Sollwert der Applikation bis zu alle 15 m. Bei größeren Sollwertunterschieden von Abschnitt zu Abschnitt konnte die verbaute Regelungstechnik nur verzögert die Ist-Ausbringungsmenge korrigieren. Die größer gewählten Abschnitte im Jahr 2022 verbesserten dies deutlich

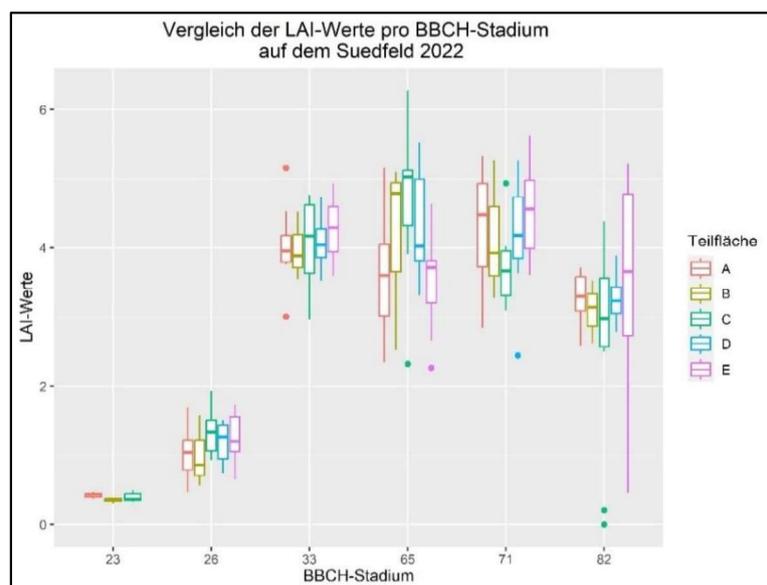


**Abbildung 21: Workflow der Soll/Ist-Auswertung (links) anhand des Beispielschlages Olla (rechts).**

#### 2.4.3.9.2 Auswertung der Pflanzenbeprobungen

Die Pflanzenproben (vgl. 2.4.3.5.2) wurden entsprechend aufbereitet. Die LAI-Messdaten wurden mittels des FV2200-Fileviewers (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA, <https://www.licor.com/>) kalibriert und prozessiert, die Daten der N-Analytik wurden durch die LUFÄ an das OG-Mitglied 1 weitergeleitet. Um einen Überblick über die Vegetationsdynamik in verschiedenen Teilflächen während der Feldsaison zu gewinnen, wurden die gemessenen Parameter für den Schlag Suedfeld pro Teilfläche und beprobten Zeitpunkt miteinander verglichen. Die Visualisierung erfolgte über ein Skript in RStudio<sup>1</sup> mittels des Zusatzpaketes ggplot2<sup>2</sup>. Generell ist zu sagen, dass ein Großteil der erhobenen Pflanzenparameter mit fortschreitender Zeit im Vegetationsverlauf eine Differenzierung pro Teilfläche erlaubte. Ein genereller Trend in Bezug auf spezifische Teilflächen ist nicht zu erkennen.

Der erhobene LAI beginnt bereits ab BBCH 26 mit zunehmender Blattbildung in der Pflanze stärker zu differenzieren (Abbildung 22). Die gemessenen Werte schwanken bei BBCH 26 zwischen 0,7 und 2. Bereits ab BBCH 33 beginnt sich ein mittleres Niveau um einen LAI von 4 einzupendeln, wobei es immer wieder Variation in höhere und niedrigere LAI-Werte gibt. Bei BBCH 65 zeigt Teilfläche C die höchsten LAI Messwerte bis zu einem LAI von 6,3. Dies setzt sich bei BBCH 71 jedoch nicht fort. Bei BBCH 82 ist eine generelle Ab-



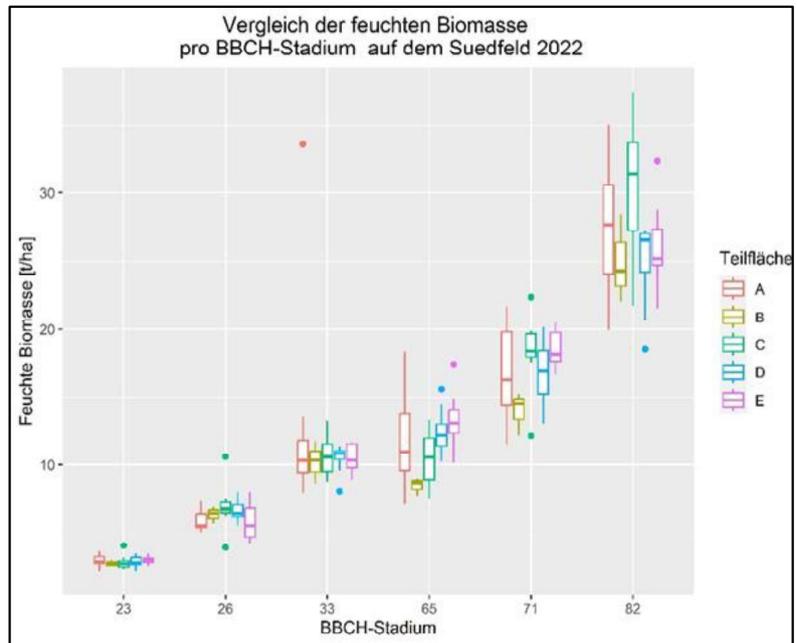
**Abbildung 22: Vergleichender Boxplot der LAI-Messungen auf dem Suedfeld pro beprobten BBCH-Stadium.**

<sup>1</sup> (<https://posit.co/downloads/>)

<sup>2</sup> (<https://ggplot2.tidyverse.org/>)

nahme der Blattichte zu erkennen, das Niveau sinkt auf einen mittleren LAI von 3. Teilfläche E bildet hier eine Ausnahme und zeigt eine große Bandbreite an Messwerten zwischen LAI 0,7 bis 5. Dies ist vor allem mit der heterogenen Entwicklung der Blattmasse in der Abreife zu begründen.

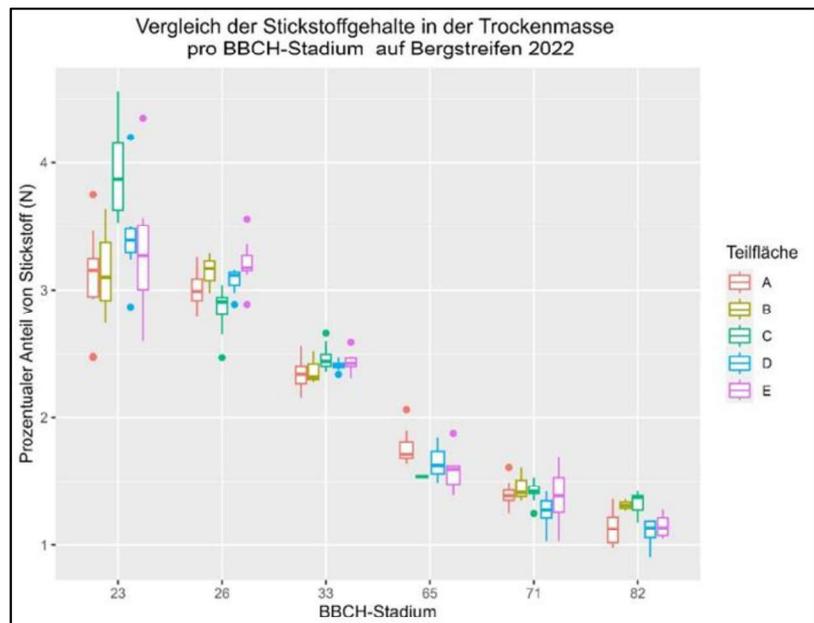
Die Differenzierung innerhalb der Biomasse beginnt zeitlich ähnlich zum LAI (Abbildung 23). Ab BBCH 26 sind erste Unterschiede auf den Teilflächen ersichtlich. Generell zeigt Teilfläche E über den Vegetationsverlauf die geringsten Schwankungen und einen stabilen Biomassezuwachs. Teilfläche A hingegen zeigt ab BBCH 33 bis zur Abreife eine große Varianz innerhalb der Biomasse. Eine Erklärung könnte in der Größe von Teilfläche A liegen, welche sich über den gesamten Schlag erstreckt. Teilfläche B zeigt generell ein eher niedriges Angebot an Biomasse, während Teilfläche C ab BBCH 65 bis zur Abreife stark variiert.



**Abbildung 23: Vergleichender Boxplot der feuchten Biomasse auf dem Suelfeld pro beprobten BBCH-Stadium.**

Die N-Gehalte in der Pflanzentrockenmasse zeigen generell einen zu erwartenden Verlauf (Abbildung 24). Mit zunehmenden Pflanzenwachstum wird mehr Stickstoff in den Bereich der Ähren und Körner verlagert und weniger Stickstoff für die Bildung von Blattmasse aufgewendet. Dadurch ergibt sich ein abnehmender Trend. Auffällig hier sind die hohen N-Gehalte in Teilfläche C bei BBCH 23. Im weiteren Vegetationsverlauf zeigen sich immer wieder Differenzen zwischen den Teilflächen, es ist jedoch kein systematisches Verhalten zu erkennen.

Insgesamt konnte mit den Pflanzenbeprobungen ein Eindruck über die Varianz zwischen den Teilflächen im Vegetationsverlauf gewonnen werden. Zusätzlich wurden die Daten in der Modellierung verwendet (vgl. 2.4.3.9.6).



**Abbildung 24: Vergleichender Boxplot der N-Gehalte (Trockenmasse) auf dem Suelfeld pro beprobten BBCH-Stadium.**

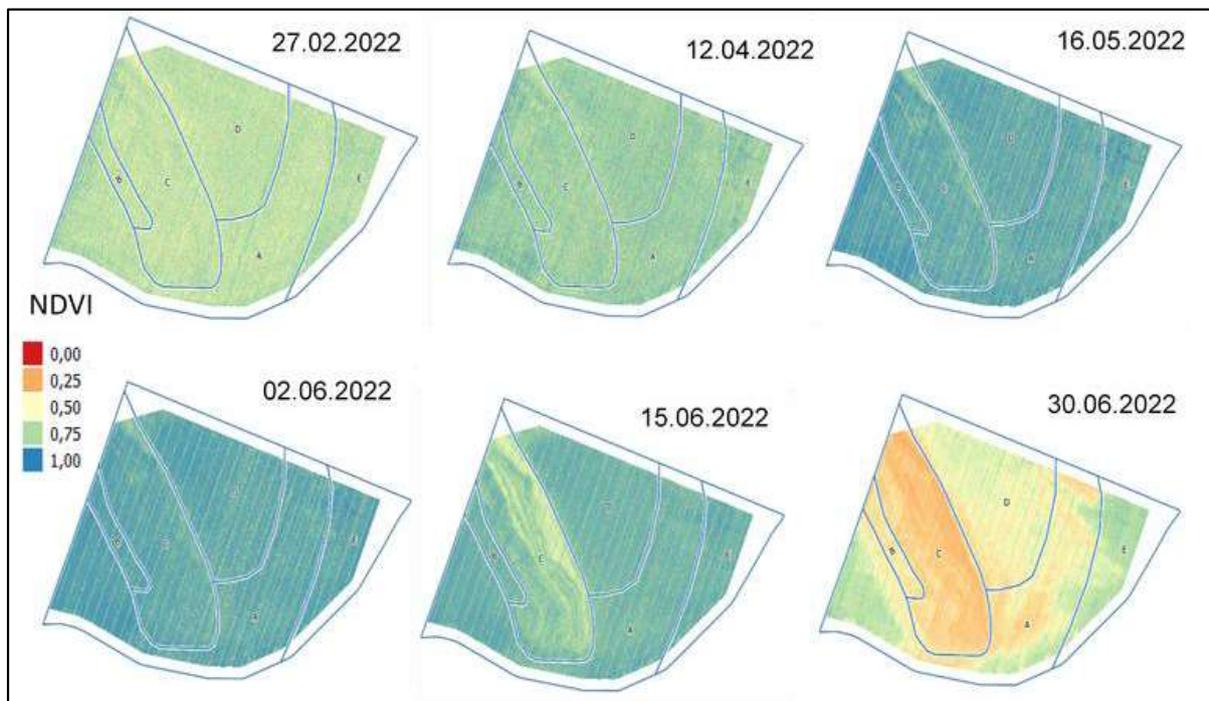
### 2.4.3.9.3 Drohnenauswertung

Durch die Betrachtung von Vegetationsindizes (VI) aus Multispektralaufnahmen, die u.a. mit Bändern im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich berechnet werden können, können Teilflächenunterschiede teils früher oder auch deutlicher wahrgenommen werden. Der in der Fernerkundung bzw. in der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung am häufigsten verwendete VI ist der normalized difference vegetation index (NDVI), bei dem die reflektierte Strahlung im sichtbaren Rot und im nahen Infrarot einbezogen werden:

$$1) \text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-R}{\text{NIR}+R}$$

Zur Differenzierung der Düngung werden VI eingesetzt, welche eine hinreichende Korrelation der verwendeten Indizes zur vorhandenen Biomasse, zum Chlorophyllgehalt oder der N-Aufnahme des Bestandes annehmen. Für die Versuchsvariante Satellit wurde jeweils eine Sentinel-2 Aufnahme vor dem entsprechenden Düngetermin genutzt, indem die Aufnahme zum NDVI verrechnet und auf dieser Grundlage zoniert und die Düngung differenziert wurde.

Auch aus den Multispektralaufnahmen mittels Drohne können VI abgeleitet werden, so auch der NDVI (Abbildung 25).



**Abbildung 25: NDVI der Fläche Suedfeld zu verschiedenen Zeitpunkten abgeleitet aus Multispektralaufnahmen mittels Drohne. Vorgewende und Randbereiche der Teilflächeneinteilung wurden ausgeblendet. Teilflächeneinteilung in blau dargestellt.**

Der NDVI zeigte im Zeitraum der Düngung kaum bzw. nur geringe Unterschiede im Bestand (vgl. Anhang 1A)). Die Aufnahmen der Fläche Suedfeld vom 02.06.2022 zeigen deutlich das bekannte Problem der Sättigung des NDVI. Die teilflächenspezifisch bedingte Abreife (15.06.2022 und 30.06.2022) wird sehr differenziert dargestellt. Einige andere VI (Anhang 1B)), wie beispielsweise der enhanced vegetation index (EVI) zeigen Bestandsunterschiede ggf. etwas sensitiver (keine Sättigung), weshalb VI als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung (bei Verwendung einer oder weniger Aufnahmen vor der Maßnahme) sorgfältig ausgewählt werden sollten. Durch die Berechnung verschiedener VI konnten die vorgenommenen Teilflächeneinteilungen überprüft werden. Berechnet wurden hierfür verschiedene VI. Bereits die RGB-Ansicht der Aufnahmen zeigte im Vegetationsverlauf die differenzierte Entwicklung des Pflanzenbestandes (Abbildung 26).



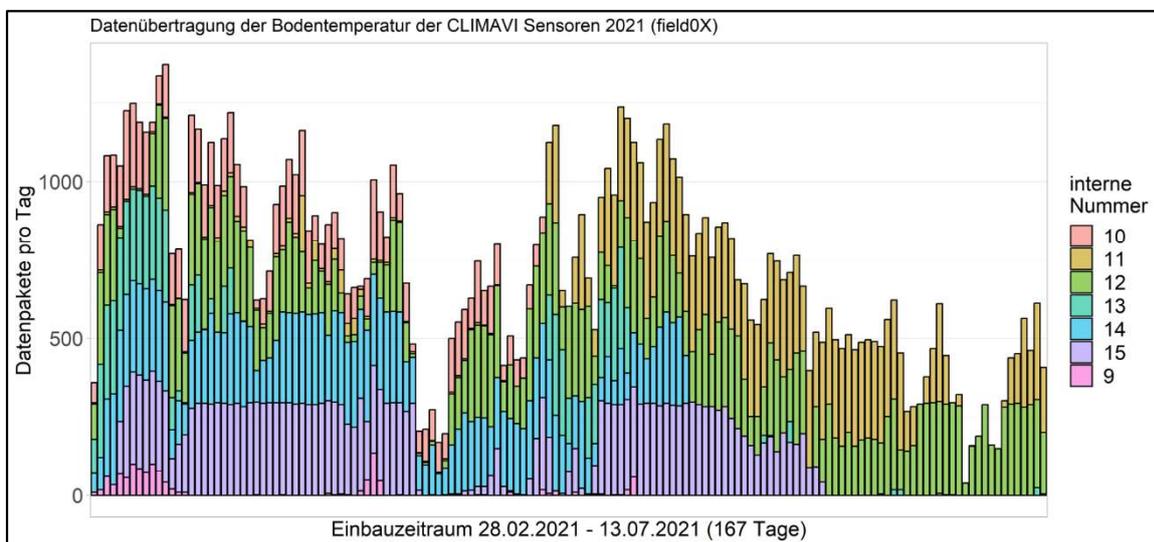
**Abbildung 26: Zunehmende teilflächenspezifische Abreife des Weizenbestandes im Versuchsjahr 2022 auf der Fläche Suedfeld. Orthomosaik, die vorgenommene Teilflächeneinteilung ist in pink dargestellt.**

Die Erstellung von Multispektralaufnahmen zum Zeitpunkt der zwischen Teilflächen differenzierten Abreife der Pflanzenbestände erwies sich als eine hinreichende beschreibende Information, um Teilflächeneinteilungen nachvollziehen zu können (vgl. Anhang 2). Daher wäre es denkbar, für die Bestimmung von Teilflächen zukünftig ebenfalls hochaufgelöste Multispektraldaten zu nutzen, wobei hier der korrekte Zeitpunkt (größtmögliche Differenzierung zwischen Teilflächen) und aussagekräftige Jahre (Trockenheit) gewählt werden sollten, um einen Mehrwert zu erzielen.

#### 2.4.3.9.4 Betrachtung der Sensordaten

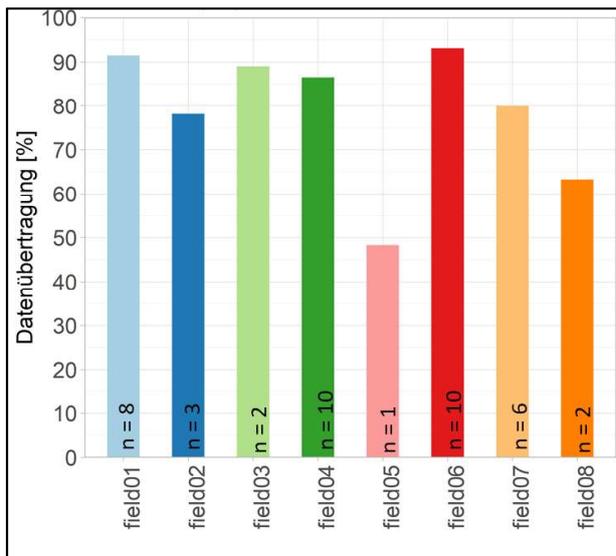
##### **Datenübertragung:**

Im Jahr 2021 wurden nur geringe Datenmengen von den im Feld verteilten Sensoren über die Knotenpunkte (Gateways) bei Verwendung des Funkstandards LoraWAN empfangen.



**Abbildung 27: Anzahl empfangener Datenpakete (Sollwert 144 je Tag) im Einbauzeitraum 2021 auf dem Schlag Großer Berg.**

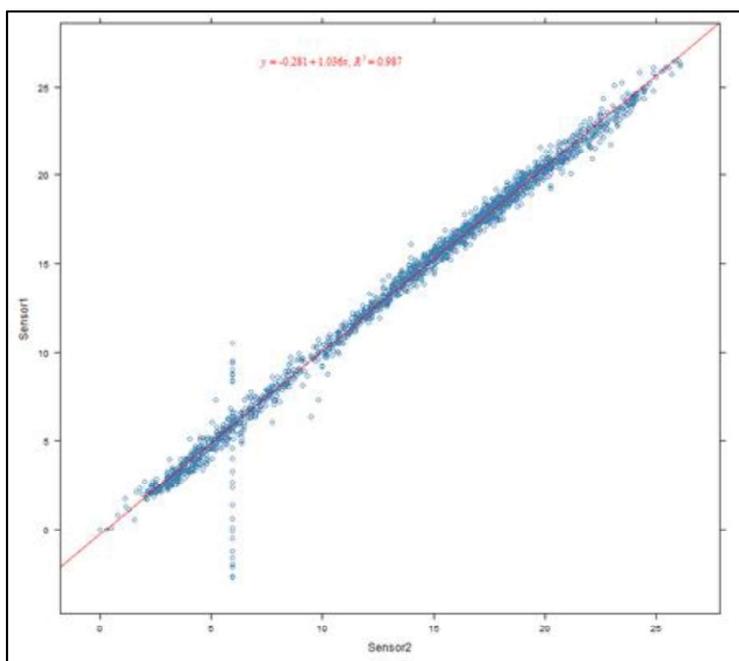
Aufgrund von technischen Ausfällen eines größeren Anteils der Sensorik (Mikroklimasensoren Version 1) im Jahr 2021 (Abbildung 27) und der schlechten Datenübertragungsleistung wurden im Jahr 2022 Mikroklimasensoren mit einer Datenübertragung per Mobilfunk genutzt. Diese Mikroklimasensoren (Version 2) zeigten sich bedeutend zuverlässiger, wenngleich einige Sensoren auch hier ausfielen (Abbildung 28). Neben einigen Komplettausfällen konnte auch bei manchen Sensoren eine geringere Übertragungsrate wegen geringerer Taktung festgestellt werden.



**Abbildung 28: Datenübertragungsrate des Messparameters Bodenfeuchte der Mikroklimasensoren im Einbauzeitraum 2022 je Versuchsfläche. n entspricht der Anzahl installierter Sensoren je Fläche.**

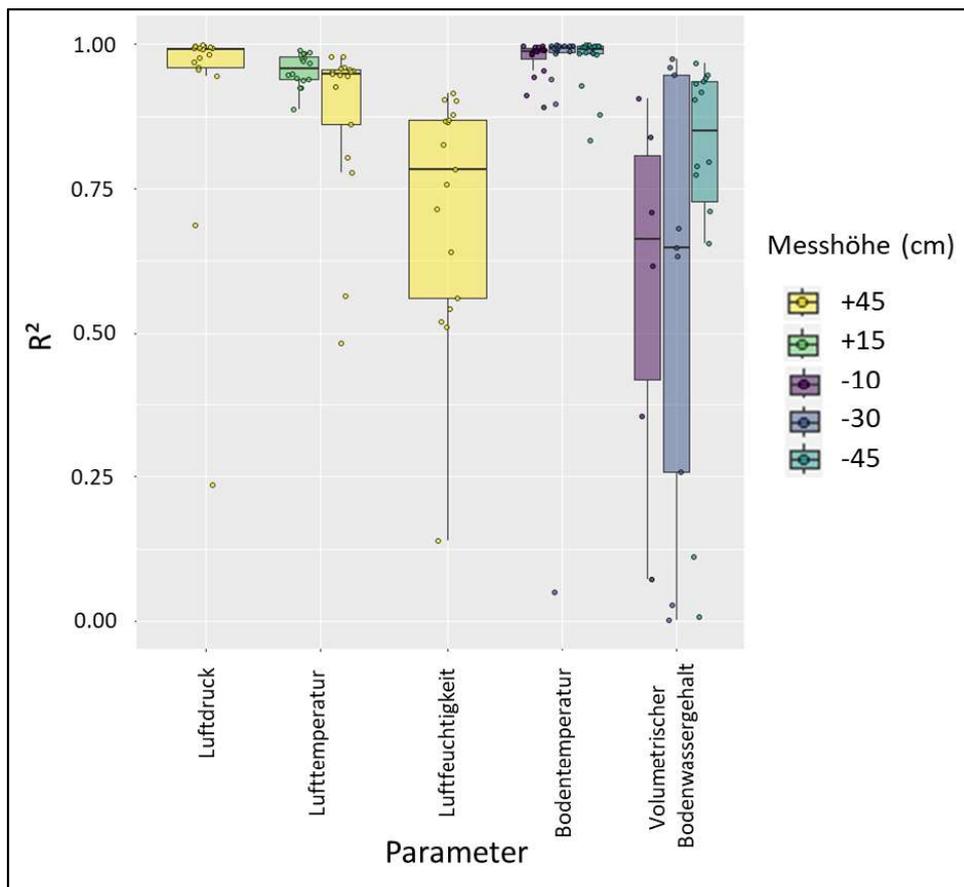
### Vergleich der Messwerte je Teilfläche:

Eine Verifizierung der Messdaten der verwendeten Mikroklimasensoren ist im praktischen Feldeinsatz nur schwierig zu erreichen. Hierzu werden zumeist Laborbedingungen genutzt. Der Vergleich von Sensoren, die in unterschiedlichen Teilflächen positioniert sind, kann ebenfalls keine Aussage zur Güte der Messungen ergeben. Als einen Ansatz der Kontrolle der unterschiedlichen Messparameter wurden daher im Jahr 2022 Mikroklimasensoren in direkter Nähe zueinander in einem Abstand von ca. 1,5 m in den jeweiligen Teilflächen installiert. Geplant war die Installation von drei Mikroklimasensoren in direkter Nähe zueinander. Realisierbar waren aufgrund von Lieferschwierigkeiten nur jeweils zwei benachbarte Sensoren. Die Messwerte zweier benachbarter Mikroklimasensoren konnten somit je Parameter und Messhöhe auf Stundenbasis verglichen werden und wurden als Bestimmtheitsmaß  $R^2$  einer linearen Regression erfasst (Abbildung 29).



**Abbildung 29: Lineare Regression der Bodentemperaturmessung in 10 cm Tiefe zweier benachbart positionierter Mikroklimasensoren mit  $R^2 = 0.987$ .**

Ausgehend von der Annahme, dass räumlich nah aneinander platzierte Sensoren gleiche Messwerte liefern sollten, ergeben sich in diesem Fall ein hoher linearer Zusammenhang und somit ein hohes  $R^2$ . In Abbildung 30 ist das Bestimmtheitsmaß als Gütemaß für die verschiedenen Messzusammenhänge dargestellt. Es fällt auf, dass die Parameter Luftdruck, Lufttemperatur und Bodentemperatur bei einem hohen Anteil der Vergleiche mit einem sehr guten  $R^2$  beschrieben werden können. Beim Parameter Luftfeuchtigkeit fällt die Streuung der Werte auf, was auf die Bauart des verbauten Luftfeuchtigkeitssensors zurückzuführen sein könnte. In Bezug auf die Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes zeigen sich zwei Gruppen: Ein Anteil der Vergleiche zeigt hohe bis sehr hohe Bestimmtheitsmaße, eine zweite Gruppe sehr schlechte lineare Zusammenhänge. Die Bodenfeuchte konnte demnach nicht in allen Teilflächen mit der gleichen Güte erfasst werden.



**Abbildung 30: Vergleich unterschiedlicher Messparameter und -höhen benachbarter Mikroklimasensoren, erfasst als  $R^2$  einer linearen Regression des Messparameters zweier Sensoren. Punkte stellen Einzelwerte da und dienen als Ergänzung der Boxplots.**

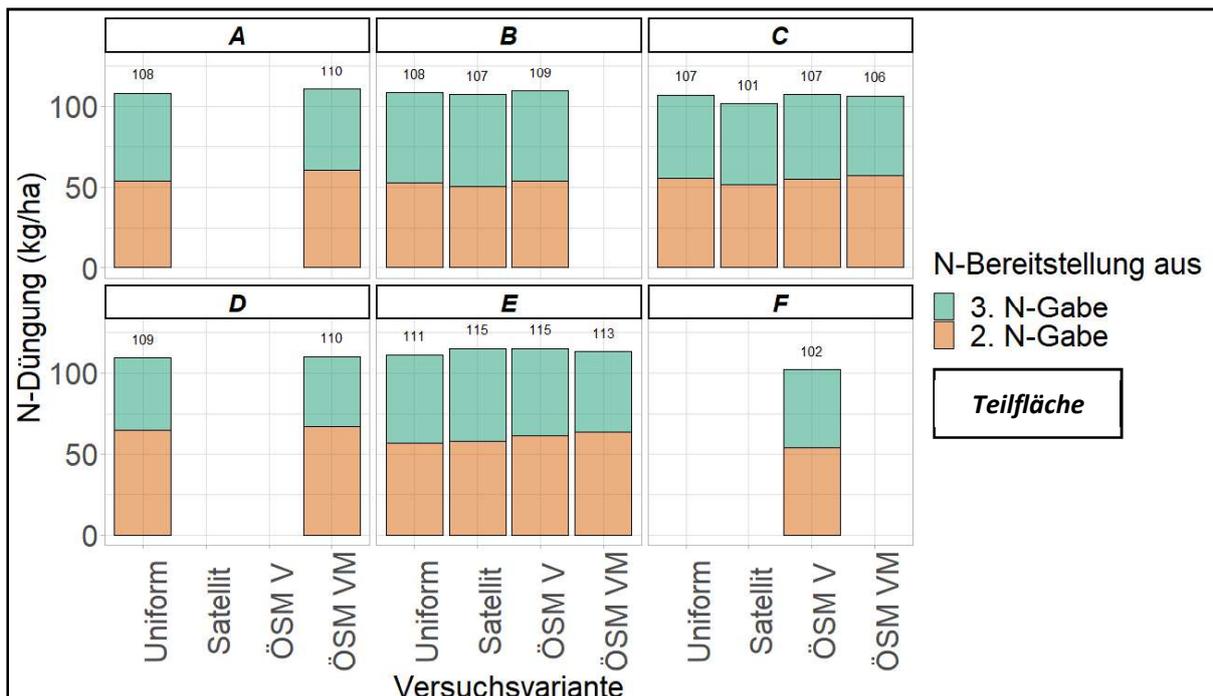
#### 2.4.3.9.5 Vergleich von N-Angebot, Ertrag und N-Effizienz

##### **N-Angebot**

Das N-Angebot, das der Kultur Winterweizen auf den Versuchsflächen zur Verfügung stand, setzt sich zusammen aus dem mineralisierten Stickstoff im Boden und der zugeführten N-Menge durch die Düngung der Bestände. Sicher erfasst werden kann der größte Anteil des tatsächlichen N-Angebots durch die Nmin-Ermittlung im Frühjahr und der ausgebrachten N-Mengen durch die Düngung. Diese wurde in drei Gaben appliziert, wobei die erste Gabe unabhängig von den Versuchsvarianten flächeneinheitlich und die zweite und dritte N-Gabe differenziert entsprechend der Versuchsvarianten gestaltet wurde. Nicht ohne weiteres messbar ist die weiterführende N-Mineralisation der Böden nach der Nmin-Ermittlung im Frühjahr.

Die Nmin-Ermittlung wurde je Teilfläche durchgeführt, um Unterschiede innerhalb der Flächen abbilden zu können. Da dies weniger der Vorgehensweise in der landwirtschaftlichen Praxis entspricht, wurde die Düngebedarfsermittlung der Versuchsvariante „Uniforme Düngung“ auf Grundlage des jeweiligen Flächenmittelwertes der Nmin-Ermittlung der einzelnen Teilflächen gebildet. Der Nmin-Gehalt im Frühjahr unterschied sich zwischen den Flächen deutlich und zeigte auch innerhalb der Flächen einige Streuung.

Die N-Menge der zweiten und dritten Gabe in den Versuchsvarianten Satellit, ÖSM V und ÖSM VM wurde im Vergleich zur N-Menge der Uniformen Variante bei einem Großteil der Flächen nur geringfügig differenziert ( $<\pm 5\%$ , Abbildung 31), lediglich in den Teilflächen einzelner Flächen wurde die N-Menge um 10-20 kg Stickstoff ( $<\pm 15\%$ ) im Vergleich zur Uniformen Variante differenziert. Teilweise wurde die differenzierte N-Menge der zweiten und dritten Gabe durch die Nmin-Werte einzelner Teilflächen wieder relativiert.



**Abbildung 31: Geringfügig differenzierte N-Düngung in der zweiten und dritten N-Gabe je Teilfläche A-F auf der Versuchsfläche Olla. Düngevarianten, die in einzelnen Teilflächen nicht vorhanden waren, werden ohne Werte dargestellt.**

Letztlich unterschied sich das N-Angebot stärker durch die in den Teilflächen unterschiedlich hoch ausfallenden Nmin-Werte als durch die differenzierte N-Düngung der zweiten und dritten Gabe in den Versuchsvarianten (Abbildung 32).

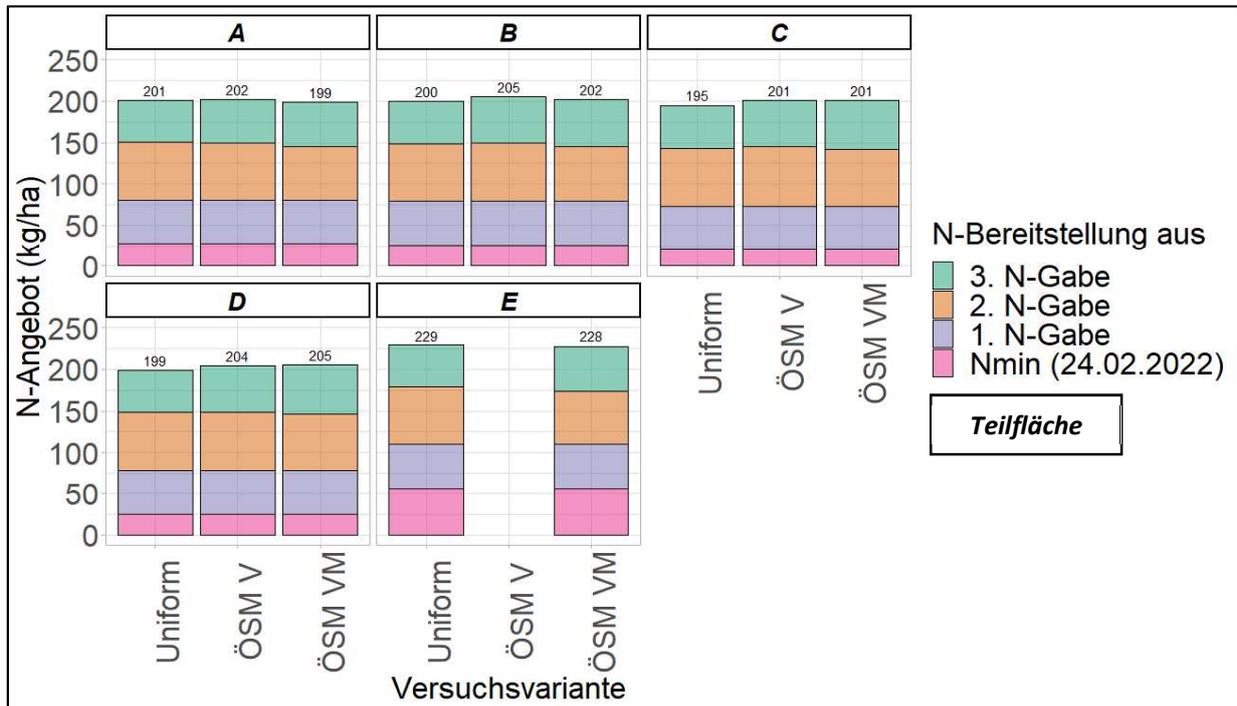


Abbildung 32: N-Angebot je Teilfläche A-E der Versuchsfläche Südfeld in 2022, differenziert nach Versuchsvarianten.

Im Mittel über alle betrachteten Schläge der Jahre 2021 und 2022 zeigte keine der Versuchsvarianten eine deutliche Abweichung im N-Angebot gegenüber der Uniformen Düngervariante (Abbildung 33). Bei der Betrachtung einzelner Schläge kann ein teils höheres oder geringeres N-Angebot gegenüber der Uniformen Düngervariante dokumentiert werden.

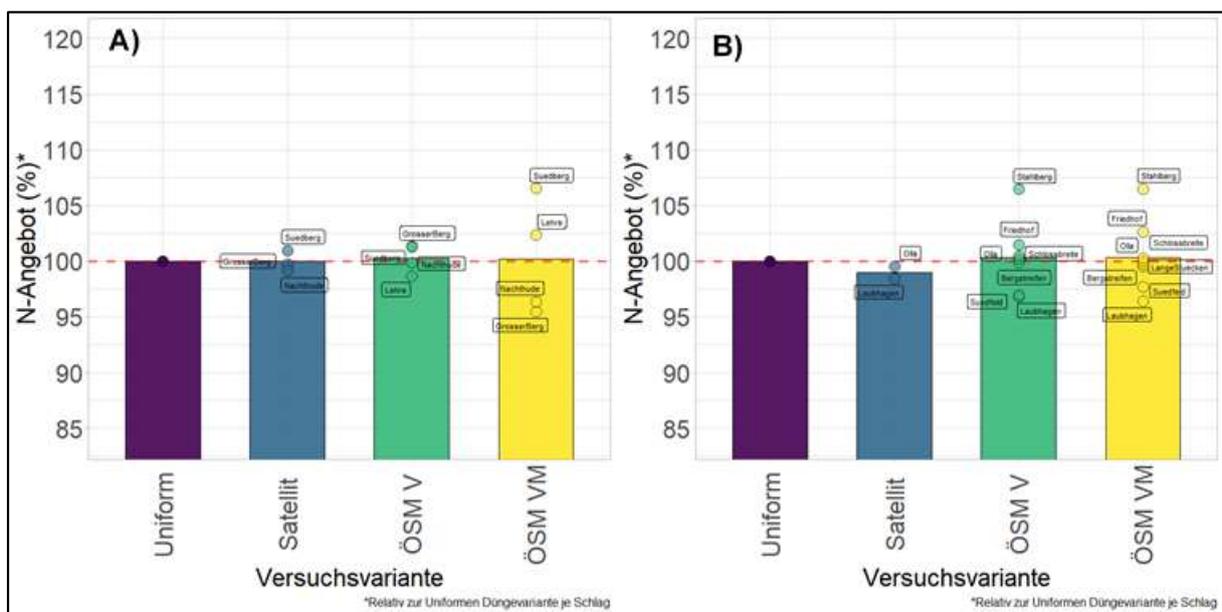


Abbildung 33: Mittleres N-Angebot in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngervariante ( $\pm 100\%$ ) eines jeden Schläges bestehend aus Nmin im Frühjahr und den N-Düngergaben in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte.

## Kornertrag

Die georeferenzierte Ertragskartierung der Mährescher konnte genutzt werden, um die Rohdaten des Druschs auf die im GIS als Gitter unterteilten Versuchsstreifen zu übertragen (Abbildung 34 A) und B)). Jeder Ertragswert eines Gitters konnte wiederum einem Versuchsstreifen oder einer Überlappungszone (bei Nutzung eines Schleuderstreuers) zugeordnet werden (Abbildung 34 C)).

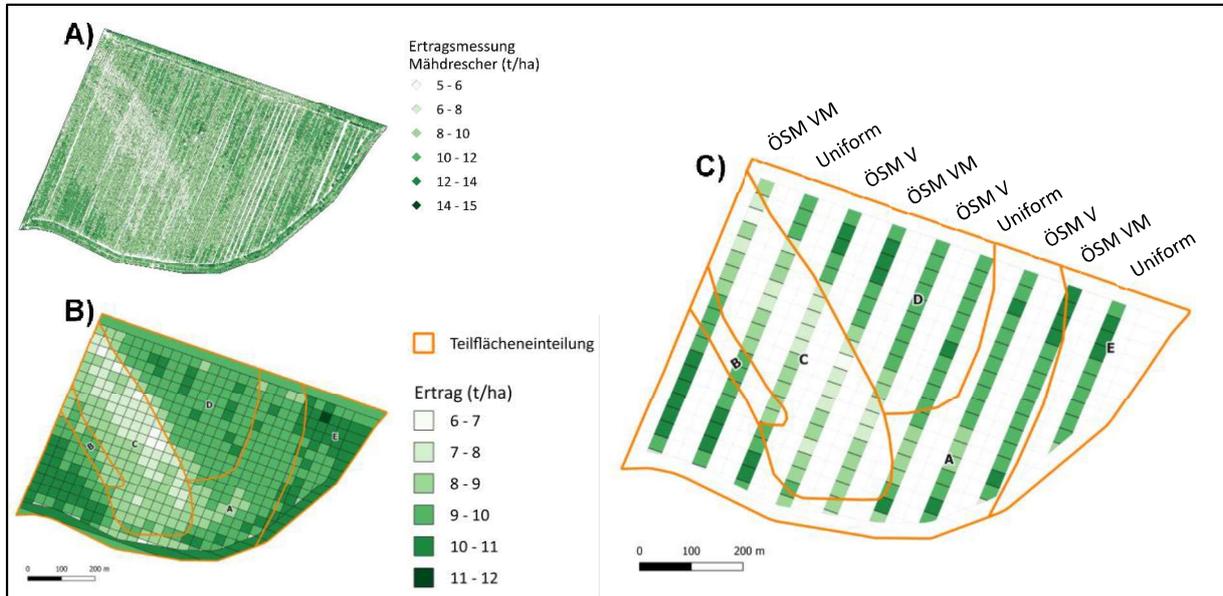


Abbildung 34: Ertragsdaten der Fläche Suedfeld als A) Rohdaten, B) korrigiert auf 14 % Kornfeuchte und gemittelt je Gittereinheit (Arbeitsbreite x Arbeitsbreite) und C) Gitter differenziert nach Zugehörigkeit zu einem Versuchsstreifen oder Überlappungszone des Schleuderstreuers.

Je Versuchsfläche konnten keine bedeutenden Ertragsunterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden (vgl. Abbildung 35 und Anhang 5), wengleich die Mittelwerte geringeren Schwankungen unterliegen.

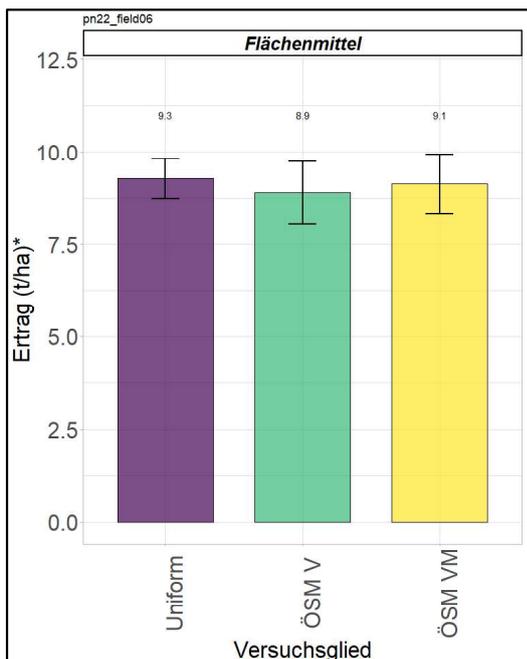
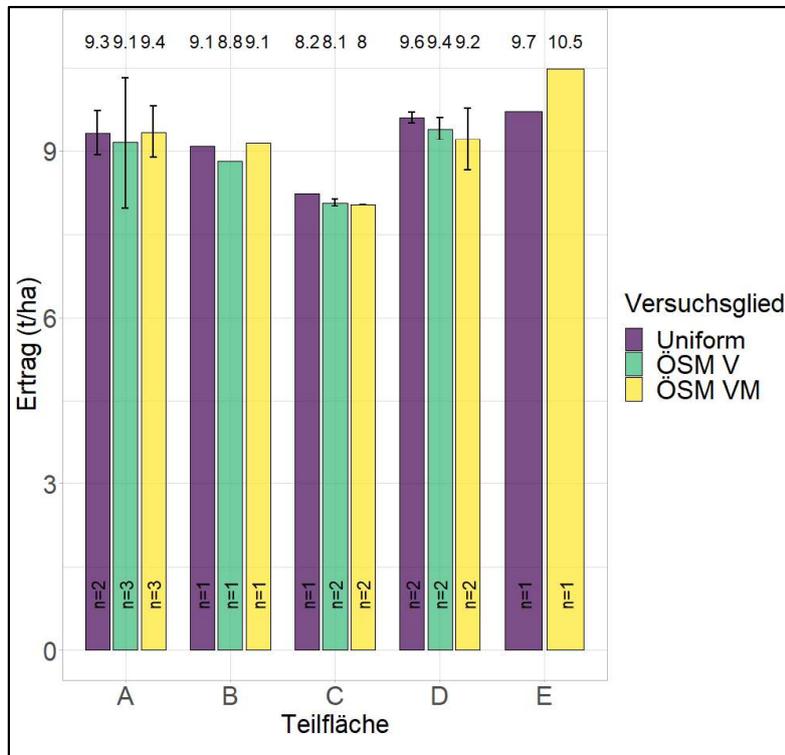


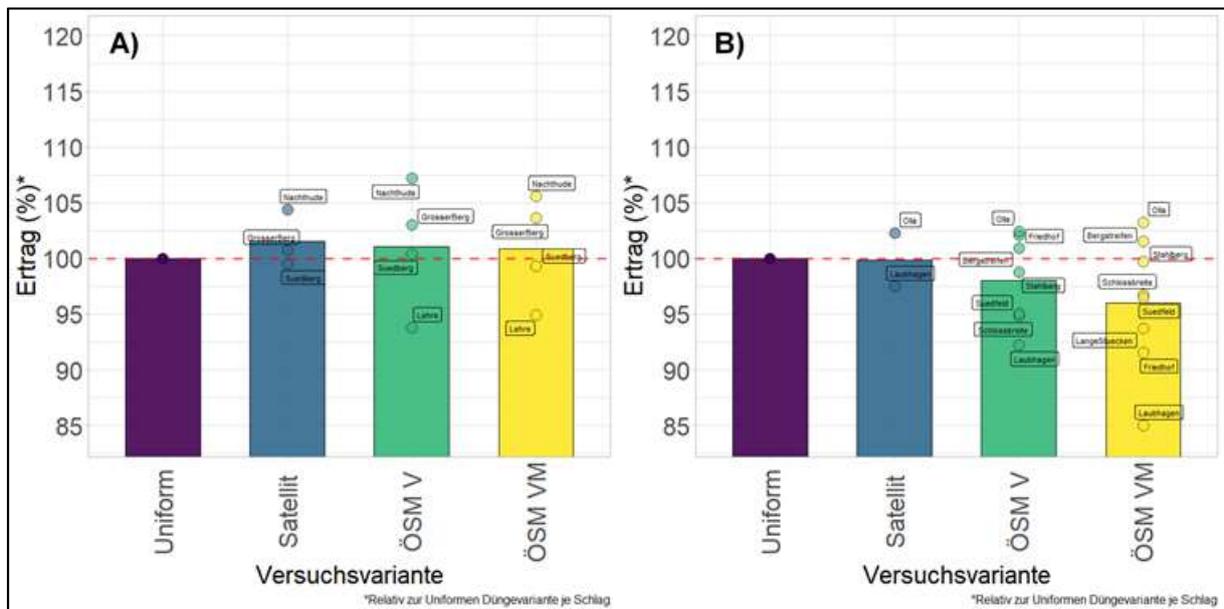
Abbildung 35: Mittlerer Kornertrag  $\pm$  SD je Versuchsvariante der Fläche Südfeld. \*Kornertrag korrigiert auf 14 % Feuchtigkeit.

Bei der Betrachtung der Ertragsmittelwerte je Teilfläche und Düngevariante zeigten sich für einige Flächen deutliche Abhängigkeiten des Kornertrags von den Teilflächen (Abbildung 36). Als Schwierigkeit ist hier der Umstand zu sehen, dass nicht jede Versuchsvariante in gleicher Anzahl und mit gleichen Flächenanteil in jeder Teilfläche eines Feldes platziert werden konnte.



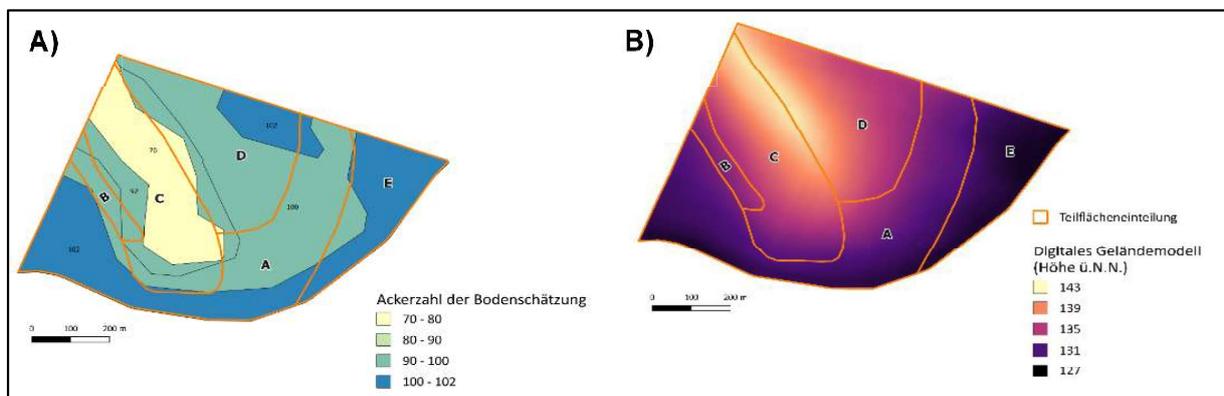
**Abbildung 36: Kornertrag je Teilfläche und Düngevariante (Mittelwert  $\pm$  SD) der Fläche Südfeld. n zeigt die Anzahl der dem Mittelwert zugrunde liegenden Versuchsstreifen einer Düngevariante. \*Kornertrag korrigiert auf 14 % Feuchtigkeit.**

Im Jahr 2021 konnte für die teilflächenspezifischen Düngevarianten Satellit (n=3 Flächen), ÖSM V (n=4) und ÖSM VM (n=4) im Mittel der Versuchsflächen (n=4) ein leichter Ertragsvorteil gegenüber der Uniformen Düngevariante durch die höhere Ertragsleistung der Versuchsvarianten auf den Flächen Nachthude und Großer Berg dokumentiert werden (Abbildung 37 A). Auf der Versuchsfläche in Lehre konnte in der Versuchsvariante Uniforme Düngung ein höherer Ertrag erzielt werden. Im Jahr 2022 zeigten die teilflächenspezifischen Düngevarianten ÖSM V und ÖSM VM im Vergleich zur uniformen Düngung einen Minderertrag im Mittel der Flächen von 2 % bzw. 4 %. Größer als in 2021 zeigt sich hier die Streuung der Erträge der einzelnen Versuchsflächen gegenüber der Uniformen Düngung von +3 % bis -15 % (Abbildung 37 B).



**Abbildung 37: Mittlerer Kornenertrag in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngevariante ( $\pm 100\%$ ) eines jeden Schlags in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte je Schlag der Versuchsvariante.**

Die Ertragsunterschiede zwischen den Teilflächen am Beispiel der Fläche Suedfeld wurden durch die Düngevarianten demnach nicht ausgeglichen. Erklärende Informationen der deutlichen Teilflächenunterschiede können unter anderem die Bodenschätzung (Ackerzahl), die Topographie der Fläche und die hieraus resultierende Bodenfeuchteunterschiede zwischen Teilflächen sein (Abbildung 38 und Abbildung 39).



**Abbildung 38: A) Ackerzahl der Bodenschätzung und B) Topographie der Versuchsfläche Suedfeld.**

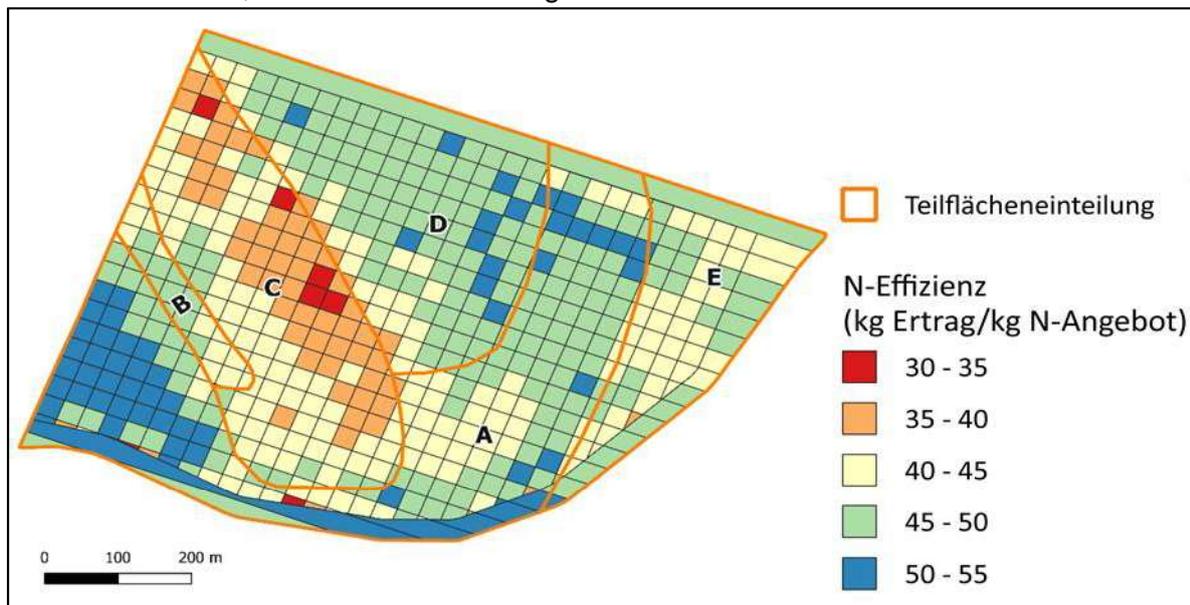
Die vorherrschende Bodenart und -auflage und der durch die Topographie bedingte Wasserfluss bei Starkniederschlägen könnte die Messung des volumetrischen Wassergehalts durch die Mikroklimasensoren bedeutend beeinflusst haben. Es fällt aber auf, dass eine deutliche Differenzierung der Wasserverfügbarkeit laut der Messungen erst ab Mitte bis Ende Mai in der Vegetationsperiode auftrat und damit erst nach der N-Düngung.



**Abbildung 39: C) Messverlauf des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens in 30 cm Tiefe für die Teilflächen C und E erfasst mit je zwei Mikroklimasensoren Climavi Soil (Agvolution GmbH) je Teilfläche im Jahr 2022.**

## N-Effizienz

Die N-Effizienz wird im Folgenden als Produktivität je Einheit angebotenen Stickstoff ausgedrückt (Abbildung 40). Ein über die Versuchsflächen verteilt gemessener Proteingehalt ist aufgrund nicht vorhandener NIRS-Technik auf den Projektbetrieben nicht realisierbar gewesen. Der Proteingehalt im Korn wurde stichprobenartig bestimmt. Die N-Effizienz wurde in den Feldversuchen aufgrund der meist eher geringen N-Düngegabendifferenzierung hauptsächlich durch die teilflächenspezifisch teils stark differenzierten Ertragsunterschiede bestimmt. Als Ziel ist hier die Erreichung einer hohen, aber ebenso möglichst homogenen über die einzelne landwirtschaftliche Fläche verteilte N-Effizienz zu sehen. Dies kann erreicht werden, wenn beispielsweise in Teilflächen mit geringem Ertrag zuvor auch weniger Stickstoff appliziert wurde als auf Teilflächen, in denen höhere Erträge erreicht werden.



**Abbildung 40: N-Effizienz als Produktivität je eingesetzter Einheit N-Angebot auf der Versuchsfläche Suedfeld.**

Im Idealfall kann durch ein teilflächenspezifisches Düngesystem für einige Teilflächen eine vorteilhafte N-Effizienz gegenüber der einheitlichen, uniformen Düngung erreicht werden. In Bezug auf die Untersuchung der Düngevarianten Satellit, ÖSM V und ÖSM VM je Teilfläche konnte in beiden Versuchsjahren keine klare Tendenz im Vergleich zur Uniformen Düngevariante ermittelt werden (vgl. Anhang 4 - Anhang 6). Die mittlere N-Effizienz je Versuchsvariante zeigt wiederum je nach betrachtetem Feld eine geringfügige Verbesserung der N-Effizienz für die Varianten ÖSM V und ÖSM VM gegenüber der Uniformen Variante oder eine geringfügig bessere N-Effizienz für die Uniforme Düngevariante (vgl. Anhang 7 - Anhang 9). Im Jahr 2021 betrug die N-Effizienz auf drei von vier Flächen rund 40 kg Erntemenge/kg N-Angebot, auf der Fläche Großer Berg fiel diese hingegen geringer aus. In 2022 lag das Niveau der N-Effizienz höher, wobei die Flächen Laubhagen und Bergstreifen mit einer geringen N-Effizienz auffallen (Abbildung 41). Gründe hierfür sind der entgegen der Planung in der Düngebedarfsermittlung erzielte niedrige Ertrag, was ggf. geringen Bestandesdichten nach Kahlfrösten oder der eingeschränkten Wasserverfügbarkeit geschuldet sein könnte.

Im Jahr 2021 zeigten sich die teilflächenspezifischen Düngevarianten (Satellit, ÖSM V, ÖSM VM) hinsichtlich der relativen N-Effizienz im Vergleich zur Uniformen Düngung im Mittel leicht im Vorteil, wobei hier insbesondere die Spannweite der einzelnen Flächen auffällt (Abbildung 42). Für das Jahr 2022 konnten für die Düngevarianten nach ÖSM V und ÖSM VM im Mittel schlechtere N-Effizienzen ausgewiesen werden. Die Düngevariante nach Satelliten war nur auf zwei Flächen vorhanden, zeigte sich auf diesen Flächen aber vergleichbar zur Uniformen Düngevariante. Die allgemeine N-Abfuhr durch das Erntegut auf den Versuchsflächen ist

im Jahr 2021 als gut und im Jahr 2022 als größtenteils sehr gut zu beurteilen (Anhang 10 - Anhang 11).

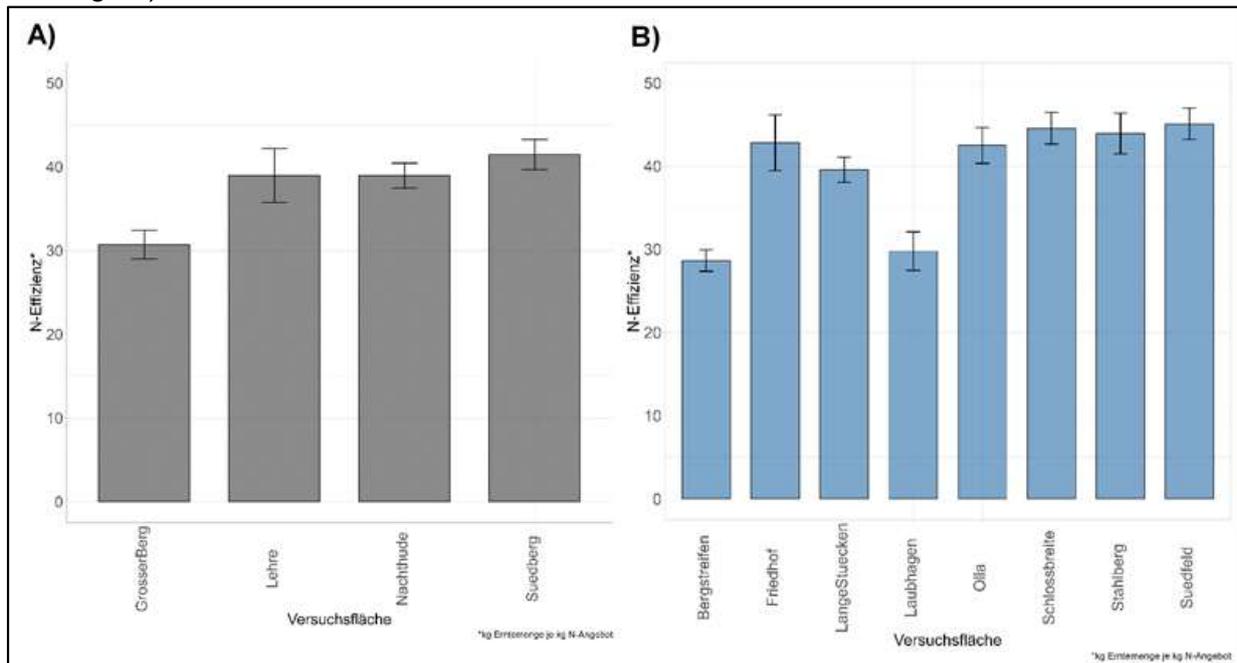


Abbildung 41: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Versuchsfläche in A) 2021 und B) 2022.

Die Wasserverfügbarkeit stellte sowohl in 2021 als auch in 2022 einen begrenzenden Faktor für die Ertragsbildung dar. Dies spiegelt sich auch in den Zusammenhängen zwischen Ertrag und Ackerzahl der Bodenschätzung wieder (Abbildung 43). Die Stickstoffdüngung konnte nicht als begrenzender Faktor beobachtet werden.

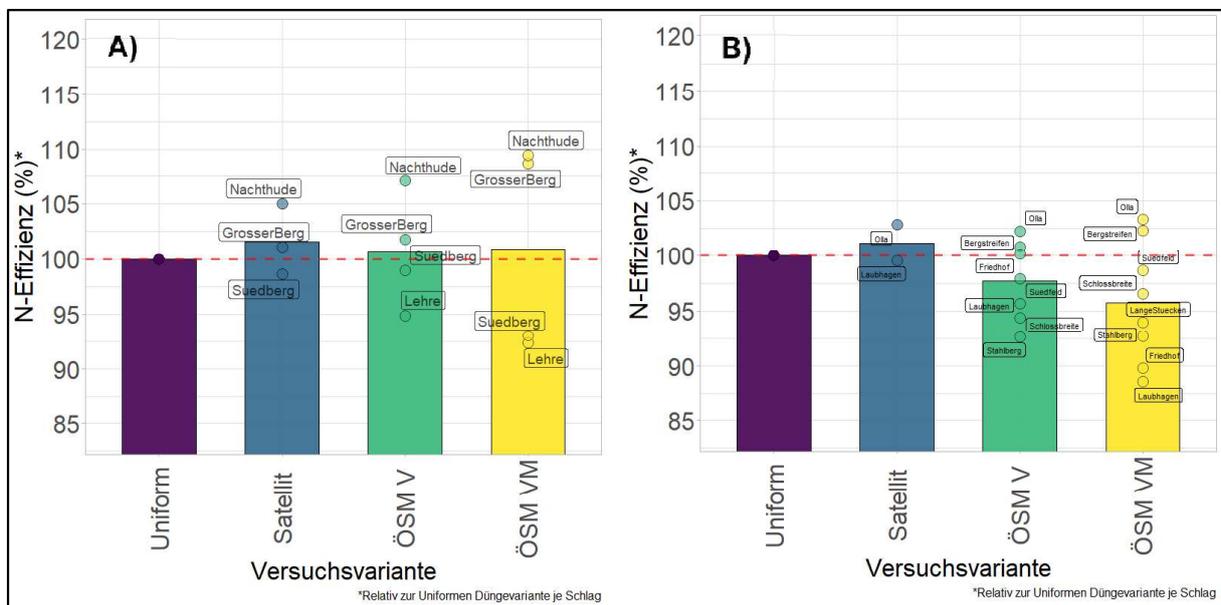
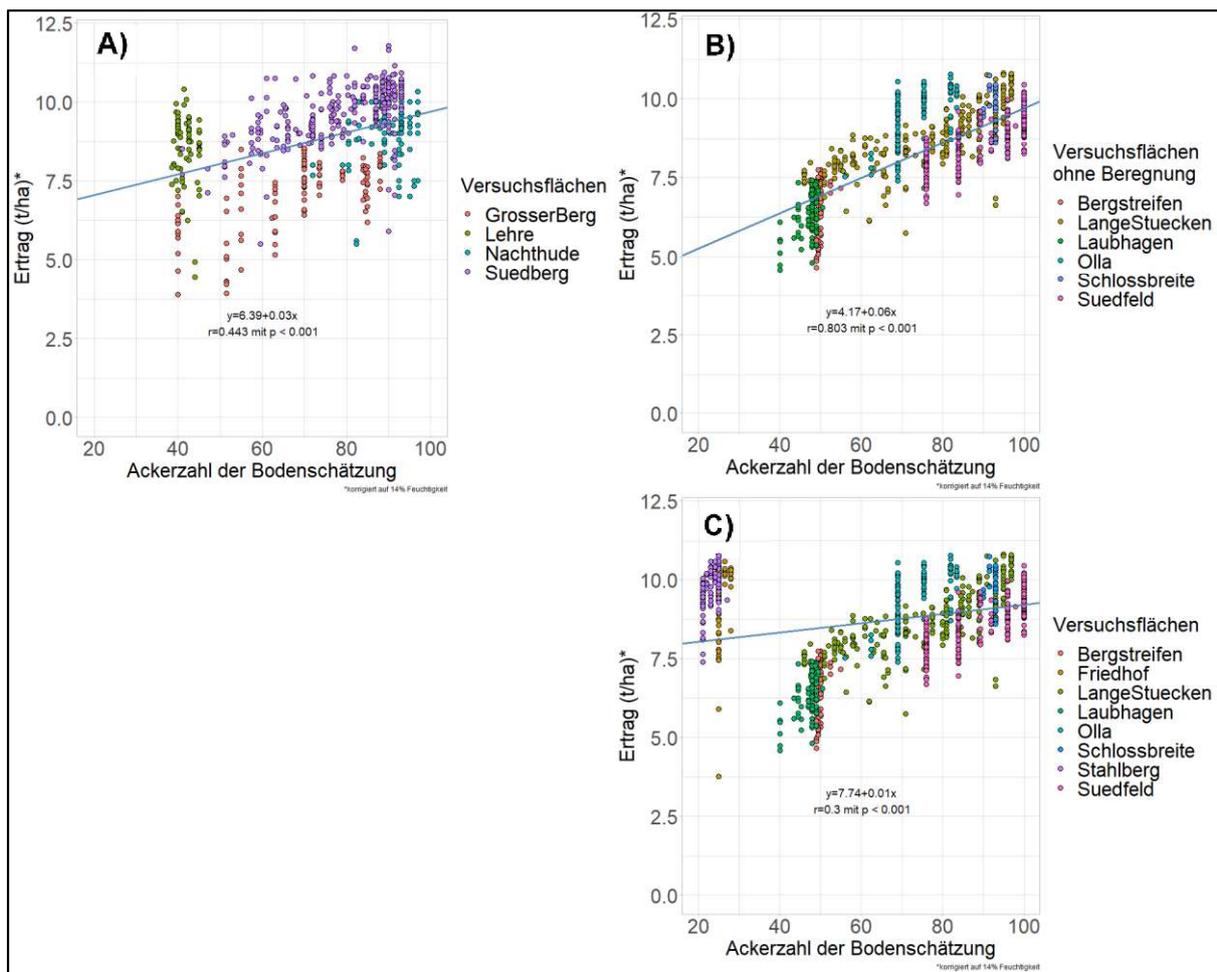


Abbildung 42: Mittlere N-Effizienz in den Versuchsvarianten relativ zur Uniformen Düngervariante eines jeden Schlags ( $\pm$  100 %) eines jeden Schlags in den Versuchsjahren A) 2021 und B) 2022. Punkte markieren die relativen Mittelwerte je Schlag der Versuchsvariante.



**Abbildung 43: Zusammenhang zwischen Ackerzahl der Bodenschätzung und dem erfassten Ertrag auf den Versuchsflächen ohne Beregnung im Jahr A) 2021 und B) 2022 sowie C) auf den Versuchsflächen mit und ohne Beregnung 2022.**

Die Düngung nach Satellit wurde durch die Nutzung aktueller, vor dem jeweiligen Düngetermin liegenden Aufnahme durchgeführt. Wenn zu diesen Zeitpunkten nur geringe Unterschiede in der Bestandsentwicklung ersichtlich waren, fiel dementsprechend auch die Differenzierung der Düngung gering aus. Da Bestandsunterschiede zwischen einzelnen Teilflächen zumeist im Laufe der fortgeschrittenen Vegetation und deutlich zur Abreife ersichtlich wurden, ist es also denkbar, dass hier die Nutzung aktueller Aufnahmen vor der Düngung nicht immer zielführend war.

In der landwirtschaftlichen Praxis wird die N-Düngung im Winterweizen deutlich vor der Kornfüllungsphase mit der letzten N-Gabe abgeschlossen (ca. BBCH 49). Reifen die Bestände wie in den Jahren 2021/2022 zu beobachten je nach Teilflächen- bzw. Bodengüte aufgrund der Wasserverfügbarkeit unterschiedlich schnell ab, führt dies zu einem nicht vorhergesehenen Ertragsdefizit in früher den abreifenden Teilflächen. Dieser Umstand ist auch durch das Abbilden von Bodentemperatur, -feuchtigkeit und der Mineralisation im Vegetationsverlauf nur schwierig durch die Verwendung von Ökosystemmodellen vorherzusehen. Eine generell noch stärkere Anlehnung der N-Düngung an das Ertragspotenzial einzelner Teilflächen wäre in ähnlichen Jahren denkbar und könnte zielführend die N-Effizienz steigern können.

#### 2.4.3.9.6 Biomasseschätzung auf Basis von Sentinel-2-Zeitreihen

Auf Basis von Satellitendatenzeitreihen der Sentinel-2-Konstellation wurde durch das OG-Mitglied 3 eine Biomasse bzw. LAI-Schätzung über die Vegetationsperiode 2022 für die Schläge Suedfeld, Olla und Bergstreifen durchgeführt. Auf Basis verschiedener Regressionsmodelle (Generalized Linear Model (GLMNET), Gaussian Process (GP), Partial Least Squares (PLS) und Random Forest (RF) und der erhobenen Felddaten sollte so die Vegetationsdynamik auf ausgewählten Schlägen gezeigt werden. Im Modellvergleich konnte sich dem GP mit Vorprozessierung (UVN) die besten Ergebnisse. In Anbetracht der Zeitreihen (Abbildung 44, Abbildung 45) lässt sich gut die Vegetationsdynamik ablesen. Die sich langsam zeigende Teilflächeneinteilung lässt sich ebenso in späteren Aufnahmen wiederfinden.

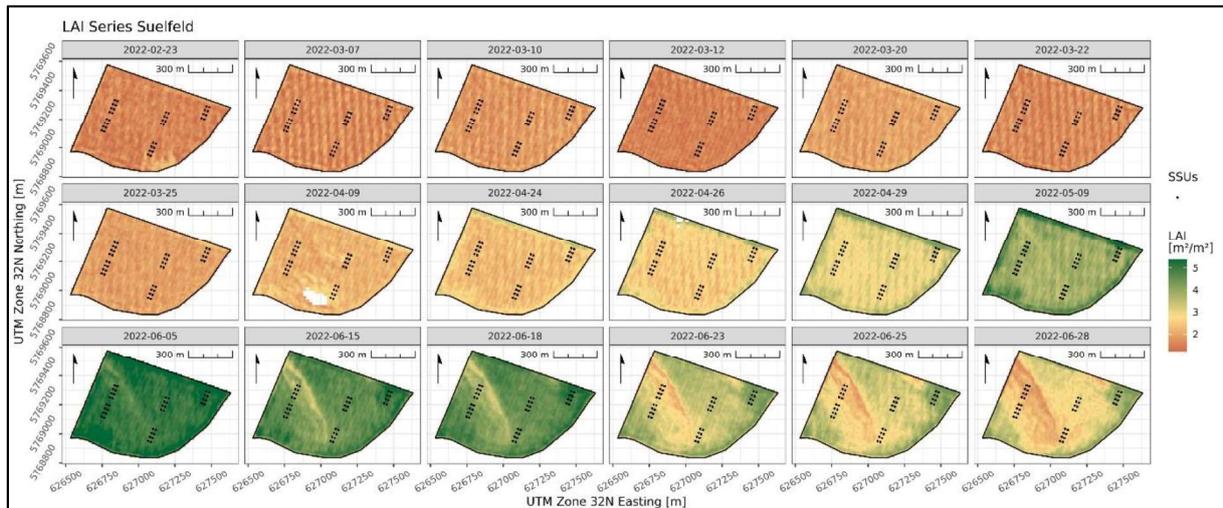


Abbildung 44: Zeitserie des LAI auf dem Suedfeld auf Basis von Sentinel-2 Daten.

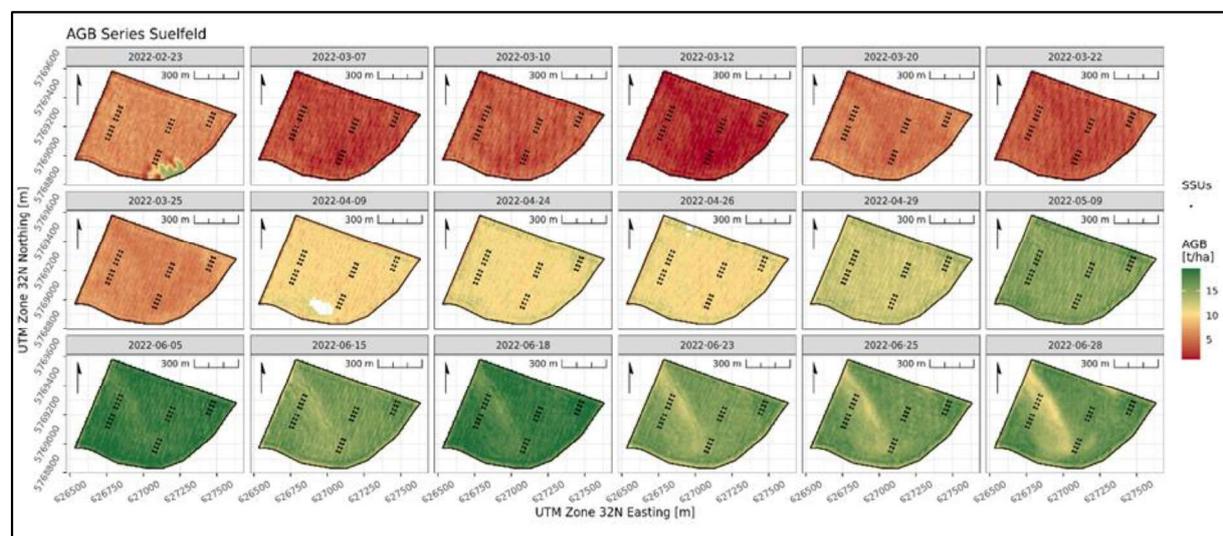
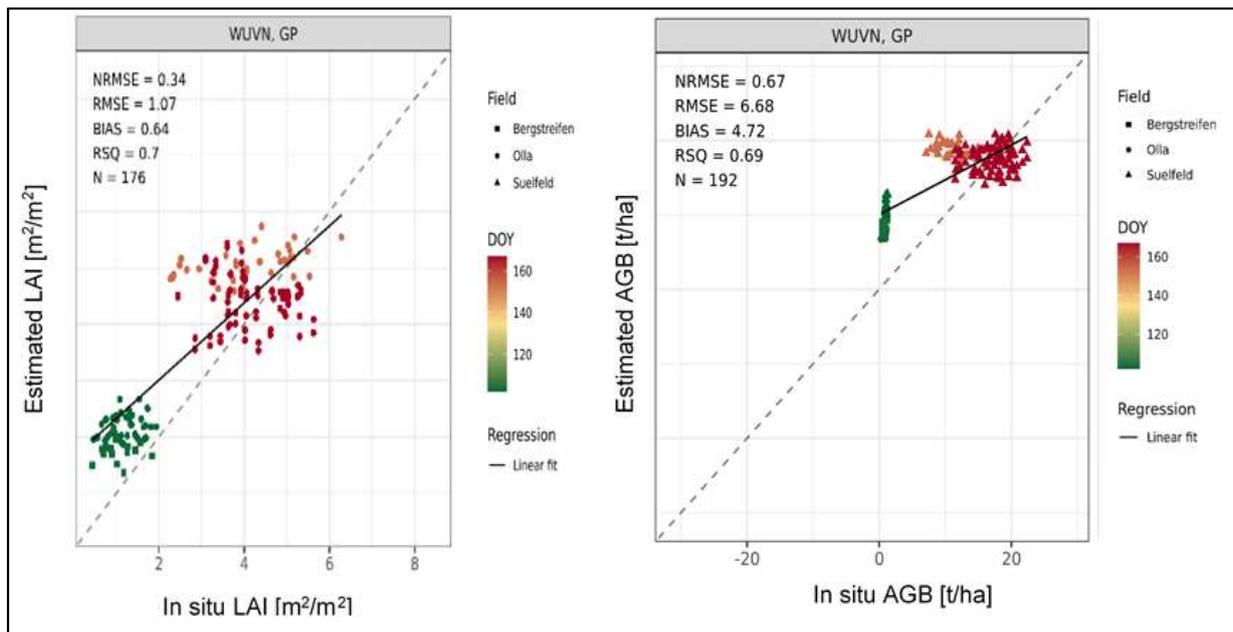


Abbildung 45: Zeitserie der überirdischen Biomasse auf dem Suedfeld auf Basis von Sentinel-2 Daten.

In Anbetracht der Validierung (Abbildung 46) lässt sich sagen, dass besonders im späteren Vegetationsverlauf die Modellberechnung genauer werden und sich den in-situ Daten annähern. Zu Beginn der Vegetationsperiode sind sowohl die Abschätzung von LAI als auch von Biomasse ungenauer. Insgesamt zeigt sich das die genutzten Regressionsmodelle ein großes Potenzial in der flächenhaften Abschätzung von Pflanzenparametern zeigen.



**Abbildung 46: Validierung der LAI-Abschätzung (links) und Validierung der Biomasseabschätzung (rechts) auf Basis des GP mittels Vorprozessierung.**

#### 2.4.4 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Ziel der EIP-Agri-Fördermaßnahme ist, es einen Beitrag zur Umsetzung für eine wettbewerbsfähige, nachhaltig wirtschaftende und tierartgerechte Land- und Ernährungswirtschaft durch die Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen landwirtschaftlichen Betrieben, Wissenschaft, Beratung und Wirtschaft aus dem Agrar- und Nahrungsmittelsektor zu leisten. Das Projekt Precise Nitrogen liefert Ergebnisse wie die Ressourceneffizienz bei dem N-Düngemiteleinsatz durch teilflächenspezifische Anpassung an das Mikroklima erhöht werden kann und gleichzeitig dabei die Ertrags- und Qualitätssicherheit optimiert werden kann. Die Bedeutung einer effizienten N-Düngung verliert nicht an Bedeutung im Hinblick auf die gesetzlichen Beschränkungen bei der Düngung und gestiegenen Düngerkosten.

#### 2.4.5 Nebenergebnisse

##### a) Leitfaden

Im Rahmen des Projektes sollte ein Leitfaden zum Einsatz von Technologien der Fernerkundung in Bezug auf die teilflächenspezifische Stickstoffapplikation erarbeitet werden. Die Basis für den Leitfaden sollten Untersuchungen auf den Versuchsschlägen mittels verschiedener Methoden der Fernerkundung bilden. Aufgrund von finanziellen und personellen Restriktionen war es jedoch nicht möglich, die Bandbreite an Methoden zu testen, die auf dem Markt verfügbar sind (Kostenpunkt pro Sensor zwischen 5.000 und 60.000 Euro). Statt des Leitfadens wurde eine Übersicht zu Methoden zur „Fernerkundungsbasierten teilflächenspezifischen N-Applikation“ entwickelt. Diese enthält eine wissenschaftliche Auflistung verfügbarer Sensorik für die teilflächenspezifische N-Applikation, sowie eine Beschreibung der Messverfahren und einen abschließenden Vergleich der Technologien. Insgesamt eröffnet die Übersicht dem Leser einen Eindruck von moderner N-Sensorik, deren Verwendung, sowie den Vor- und Nachteilen der jeweiligen Systeme, jedoch keinen Praxistest.

##### b) Befragung der Praxisbetriebe

Zudem wurde eine Anwenderbefragung zur Praxistauglichkeit der Fernerkundung in der Landwirtschaft mit den beteiligten Projektbetrieben durchgeführt. Drei der vier Projektbetriebe beteiligten sich daran. Die Antworten der Landwirte wurden im Folgenden zusammengefasst.

1. Welche Vorerfahrungen zur teilflächenspezifischen Stickstoffapplikation waren vor Projektbeginn vorhanden bzw. welche Verfahren wurden diesbezüglich im Betrieb eingesetzt?  
*Antwort: Die Erfahrungen wurden bislang mit schleppergetragenen Stickstoffsensoren gesammelt. Ansonsten wurde die für eine Teilfläche spezifisch eingesetzte Stickstoffmenge abgeschätzt.*
  
2. Welches Potential haben Sie in den Mikroklimasensoren vor Projektbeginn gesehen?  
*Antwort: Das Potential der Sensoren wurde vor allem darin gesehen mit der kontinuierlichen Messung der Klimadaten potenziell eine bessere Düngeentscheidung zu treffen, auch im Bezug auf die Heterogenität der Böden und bei dem Faktor Bewässerung.*
  
3. Wurden Ihre Erwartungen erfüllt?  
*Antwort: Die Erwartungen wurden nur teilweise erfüllt. Es wurde angemerkt, dass die Technik im Projektverlauf noch nicht ausreichend entwickelt gewesen ist.*
  
4. Welche Schwierigkeiten sind bei der Anwendung von teilflächenspezifischen N-Applikationskarten aufgetreten und wo besteht Verbesserungsbedarf?  
*Antwort: Schwierigkeiten gab es bei der Interkompatibilität zum Ein- und Auslesen der Daten. Die zeitintensive Fehlersuche bei Problemen wurde angemerkt. Mehr Anpassung der Technik bei der Ausbringung sei notwendig.*
  
5. Ist die Teilflächeneinteilung (Hofbodenkarte, Frank Lorenz) und die N-Variation gemäß Applikationskarte (Applikationskarte der Agvolution GmbH) Ihrer Einschätzung nach sinnvoll?  
*Antwort: Die Teilflächeneinteilung wird als sinnvoll erachtet.*
  
6. Hat der Einsatz von Sensoren einen Einfluss auf den Ertrag und die N-Effizienz?  
*Antwort: Es hatte noch keine abschließende Auswertung zum Zeitpunkt der Umfrage stattgefunden. Es wird davon ausgegangen, dass mit den Klimadaten eine zielgerichtetere Applikation stattfinden kann und sich die N-Effizienz geringfügig verbessert. Die Vorgaben der Düngeverordnung wurden als möglicher limitierender Faktor angeführt.*
  
7. Wieviel Stickstoff glauben Sie durch teilflächenspezifische N-Applikation einsparen zu können?  
*Antwort: Es wird eher kein Einsparpotential beim Stickstoffdünger gesehen aufgrund der Düngeverordnung, aber eine bessere Verteilung auf den Teilflächen. Ansonsten wird das Einsparpotential bei 3-4% (Bewässerung) und 10% (ohne Bewässerung) gesehen.*
  
8. Was darf der Einsatz von Bodensensoren/die Erstellung von Applikationskarten kosten (in Bezug auf Zeit, Geld und Weiterbildungsbedarf/Knowhow)?  
*Antwort: Der Sensor dürfte höchstens 50 Euro kosten. Das Einsetzen des Sensors höchstens 10 min. Die Erstellung der Applikationskarte max. 20 Euro, ansonsten 5 Euro/ha.*
  
9. Glauben Sie, dass viele Betriebe in naher Zukunft auf teilflächenspezifische Düngung umsteigen werden? Was muss getan werden, um den Einstieg zu erleichtern?

*Antwort: Grundlegend wird angenommen, dass mehr Betriebe in die teilflächenspezifische Düngung einsteigen. Allerdings muss die Handhabung einfach sein und die Applikationskarten müssen schnell erstellt werden können.*

10. Sehen Sie einen Vorteil bei der Verwendung komplexer Ökosystemmodelle (wie in Precise Nitrogen) für die teilflächenspezifische N-Düngung gegenüber der vergleichbar einfachen Nutzung von Satellitendaten oder traktorgetragenen Sensoren?

*Antwort: Komplexe Ökosystemmodelle werden als präziserer Weg wahrgenommen, weil mehr Daten berücksichtigt werden. Allerdings müssen Kosten und Nutzen bei den verschiedenen Verfahren gegenübergestellt werden.*

11. Halten Sie den Bereich des On-Farm-Research (großflächige Feldversuche mit Versuchsstreifen) für zielführend, unterschiedliche Systeme im Bereich der teilflächenspezifischen N-Düngung zu untersuchen? Liegt Ihrer Meinung nach eine bessere Praxisnähe im Vergleich zu Parzellenversuchen vor?

*Antwort: Beide Versuchsarten werden als wichtig erachtet.*

### **c) Vernetzung mit EIP-Projekten**

Im Rahmen der Abschlussveranstaltung wurde auch das in Hessen laufende und aus EIP finanzierte Projekt „Deep farming“ vorgestellt. Es konzentriert sich ebenfalls auf digitale Verfahren für eine optimalere Stickstoffverteilung auf dem Acker. Die gesamte OG des Projektes „Deep farming“ nahm an der Abschlussveranstaltung mit Vorträgen und Diskussionsbeiträgen teil. Ein weiterer Erfahrungsaustausch ist vorgesehen.

#### **2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben**

- Die Erfassung der As-applied Daten gestaltete sich bei dem OG Mitglied GV Reinau trotz redlicher Bemühungen aller Beteiligten als schwierig.
- Düngung auf Versuchsfläche Lehsteine in 2021: Ungenügende Umsetzung der Applikationskarte und daher keine Auswertung der Ergebnisse.
- Schlag Olla → Versuchsauswertung für einen kleinen Bereich des Feldes nicht vollständig möglich, da ein kleinerer Bereich im Feld gemulcht werden musste (Ackerfuchsschwanz durch Herbizidversuch).
- Verknüpfung von Multispektraldaten aus Drohnenüberflügen und Mikroklimamesswerten konnte aufgrund von zu geringer Datenlage (Mikroklimasensoren 2021) und zu kurzer Zeitspanne (Ernte 2022 bis Projektabschluss) nicht realisiert werden.
- Restriktionen in der Versuchsauswertung:
  - Es ist nicht möglich, alle Versuchsglieder gleichermaßen in jeder Teilfläche von Praxisflächen im Streifendesign zu etablieren.
  - Düngevariante Satellit war nur auf Flächen etabliert, auf denen Variante 1, 3 und 4 in ausreichender Anzahl platziert werden konnte.
  - In der Auswertung sind teils Ausreißer enthalten, wenn bspw. Nur ein geringer Flächenanteil einer Variante in einer Teilfläche liegt.

Der Rohproteingehalt konnte aufgrund der verfügbaren Mittel und der Flächengrößen nur stichprobenartig erfasst werden.

## 2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

**Tabelle 10: Verwendung von Investitionsgütern.**

| <b>Investitionsgut</b> | <b>Verwendung?</b>     | <b>Wer?</b>   |
|------------------------|------------------------|---------------|
| Sensoren               | In Forschung und Lehre | OG-Mitglied 2 |
| Wetterstationen        | In Forschung und Lehre | OG-Mitglied 2 |
| RTK-Messgerät          | Versuchswesen          | OG-Mitglied 1 |
| Weißer Stäbe           | Versuchswesen          | OG-Mitglied 1 |
| Drohnenakku            | In Forschung           | OG-Mitglied 2 |

## 2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Durch die Durchführung von produktionsintegrierten Großflächenversuchen können Aussagen zur Praktikabilität der eingesetzten Technologien im landwirtschaftlichen Alltag getroffen werden.

## 2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die Ergebnisse und Erfahrungen der Teilnehmer aus dem Projekt wurden mit der landwirtschaftlichen Praxis und der Beratung geteilt.

Des Weiteren wurde das Engagement der Projektbetriebe mit der Öffentlichkeit geteilt.

Zudem wurden zahlreiche Daten aus dem Projekt von der Abteilung Agrartechnik der Georg-August-Universität Göttingen für die Vorlesungseinheit „Teilflächenspezifische Bewirtschaftung und Applikationskarten“ genutzt.

## 2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Es ist zu beobachten, dass aufgrund des Klimawandels zunehmend Trockenheit im Laufe der Vegetationsperiode als ein begrenzender Faktor in der Ertragsbildung im Winterweizen auftritt. Steigt hierfür die Wahrscheinlichkeit, sind größere Ertragseinbußen in Teilflächen schlechterer Bodengüte zu beobachten. Zukünftige Entscheidungshilfen sollten den Zusammenhang zwischen Ertragsbildung und Bodengüte in trockenen Jahren besser abbilden können.

## 2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept:

Das Konzept des Projektes, die gewählte Vorgehensweise und die erzielten Ergebnisse wurden während des Projektzeitraumes über verschiedene Kanäle kommuniziert. Dafür spielten die Internetseiten der LWK Niedersachsen und des NAN eine herausragende Rolle. Ergänzt wurde diese über die social media Kanäle beider Organisationen (Facebook/ Twitter/ LinkedIn). Mit Blick auf die Printmedien wurde nicht nur in Fachzeitschriften veröffentlicht, sondern auch in der Tagespresse. Schließlich wurden die Ergebnisse auf der sehr gut besuchten Abschlussveranstaltung vorgestellt und diskutiert. Nach Abschluss des Projektes werden die Ergebnisse als Abschlussbericht auf der Internetseite der EIP-Vernetzungsstelle (EIP-Datenbank) der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Auch nach Projektabschluss wird die Kommunikation des Projektes fortgesetzt so u.a. auf dem 3. Lüneburger Bodentag am 16. und 17. Mai 2023 in Lüneburg oder dem Praktikertag „Digitaler Ackerbau zum Anfassen“ am 05. Juni 2023 im Raum Northeim.

## Austausch

1. Workshop „Bodensensorik“ Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS) 20.-21.10.2021
2. EIP-Netzwerktreffen-Koordinationstreffen, 25.11.2021
3. EIP-Netzwerktreffen, 28.04.2022
4. EIP-Netzwerktreffen, 21.03.2023

## Homepage der LWK und des NAN

1. LWK: Webcode: 01039995, „Precise Nitrogen: Teilflächenspezifische Düngung im Praxistest“
2. NAN: <https://netzwerk-ackerbau.de/precise-nitrogen/> und <https://netzwerk-ackerbau.de/precise-nitrogen-projektbetriebe-testen-neues-verfahren/>

## Social Media

1. Facebook und Twitter der LWK Niedersachsen, 09.12.2021
2. Facebook des NAN: Rückblick auf die Abschlusstagung 01.03.2023, Bewerbung der Abschlusstagung 31.01.2023, Precise Nitrogen - Projektbetriebe testen neues Verfahren 30.08.2022
3. Rittergut Lucklum, „Flächenspezifische Düngung für mehr Ertrag und mehr Klimaschutz“, 2022: <https://www.rittergut-lucklum.de/aktuelles/allgemein/2022/10/flaechenspezifische-duengung-fuer-mehr-ertrag-und-mehr-klimaschutz/>

## Vortragsveranstaltungen und Posterpräsentationen

1. Projektvorstellung anhand eines Posters zur Eröffnung des Ackerbauzentrum Niedersachsen auf der Burg Warberg am 17.06.2021
2. Georg-August-Universität Göttingen: Nutzung der Daten für Vorlesungseinheit „Teilflächenspezifische Bewirtschaftung und Applikationskarten“
3. Projektvorstellung anhand eines Posters auf der Tagung des Ackerbauzentrums „Landwirtschaft 2030 – Die Strategien der Agrarpolitik und die Zukunft des Ackerbaus“ am 21.04.2022 auf Burg Warberg
4. „The role of nitrogen in arable farming and the strategies of a precise nitrogen management, European Rally des europäischen Landjugend-Dachverbandes „Rural Youth Europe“, DEULA Nienburg, 02.08.2022
5. Landeserntedankfest Niedersachsen, 02.10.2022 in Hildesheim
6. Tagung „Stickstoffdüngung auf den Punkt (aus)gebracht“, 17.02.2023, Burg Warberg Bei der Abschlussveranstaltung des Projektes Precise Nitrogen teilten die Projektpartner ihre Ergebnisse, Erkenntnisse und Erfahrungen mit einem breiten Publikum aus der landwirtschaftlichen Praxis, Beratung, Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung. Zudem wurden weitere EIP-Projekte vorgestellt, die sich mit den digitalen Verfahren einer teilflächenspezifischen N-Düngung auseinandersetzen. Darüber hinaus ging es um Fragen zur praktischen Umsetzung einer präzisen N-Düngung und den pflanzenbaulichen Aspekten. [Rückblick Tagung "Stickstoffdüngung auf den Punkt \(aus\)gebracht" - Netzwerk Ackerbau Niedersachsen e.V. / Ackerbauzentrum \(netzwerk-ackerbau.de\)](#)

## Zeitungsbeiträge

1. Landwirtschaft im Braunschweiger Land 2021, „Neues Projekt zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung gestartet“
2. Land & Forst – 18. Ausgabe 2021, „Teilflächenbewirtschaftung im Praxistest“
3. Land & Forst – 45. Ausgabe 2021, „Precise Nitrogen: Spezifische Düngung im Praxistest“
4. Braunschweiger Zeitung, 22.09.2022, „Mit Technik gegen das Nitrat-Problem und Dünger-Kosten“
5. Landwirtschaft im Braunschweiger Land 2023, „Precise Nitrogen: Engagierte Betriebe testen neues Verfahren zur teilflächenspezifischen N-Düngung“

Um die Wahrnehmbarkeit in der Öffentlichkeit zu erweitern, entwarf die OG Informationsschilder, die am Rand der Großflächenversuche aufgestellt wurden (Abbildung 47). Aufgrund einer

positiven Resonanz wurden die Anfang November 2021 aufgestellten vier Informationsschilder Ende des Monats um fünf weitere Schilder ergänzt.



Abbildung 47: Informationsschild in Ampleben.

### 3 Anhang

Anhang 1: A) NDVI und B) EVI der Fläche Suedfeld in Abhängigkeit der Teilfläche A-E als Violin- und Boxplot vom 12.04.2022. n gibt die Anzahl zugrundeliegender Werte auf Basis eines 30x30 m Gitters an. Berechnung  $EVI = 2,5 * \frac{(NIR - R)}{(NIR + 6 * R - 7,5 * B + 1)}$ .51

Anhang 2: NDVI der Versuchsfläche A) Olla mit den Teilflächen A-F und B) Suedfeld mit den Teilflächen A-E vom 30.06.2022, abgeleitet aus Multispektralaufnahmen mittels Drohne. Die Teilflächeneinteilung ist in blau dargestellt.....52

Anhang 3: Mittlere Kornerträge ( $\pm$  SD) je Schlag und Versuchsvariante der Jahre A) 2021 und B) 2022. Mittelwert  $\pm$  SD.....52

Anhang 4: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante und Teilfläche für die Flächen Großer Berg, Lehre, Nachthude und Suedberg im Jahr 2021.....53

Anhang 5: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante und Teilfläche für die Versuchsflächen Schlossbreite, Stahlberg, Suedfeld und Bergstreifen im Jahr 2022.....54

Anhang 6: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante und Teilfläche für die Versuchsflächen Friedhof, Lange Stücken, Laubhagen und Olla im Jahr 2022. ....55

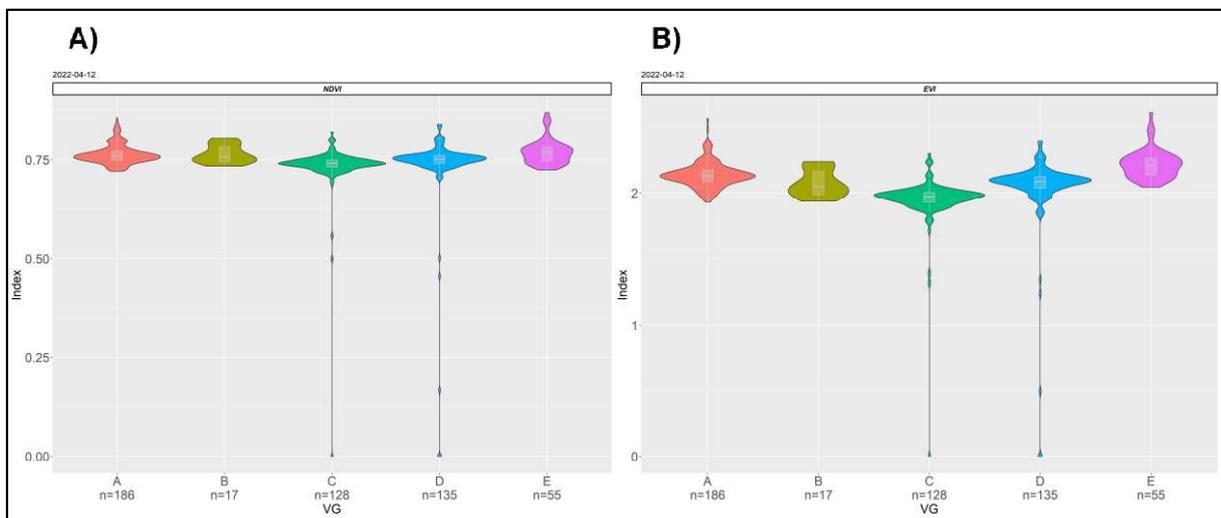
Anhang 7: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante für die Versuchsflächen Suedberg, Großer Berg, Lehre und Nachthude im Jahr 2021. ....56

Anhang 8: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante für die Versuchsflächen Laubhagen, Bergstreifen, Friedhof und Lange Stücken im Jahr 2022. ....57

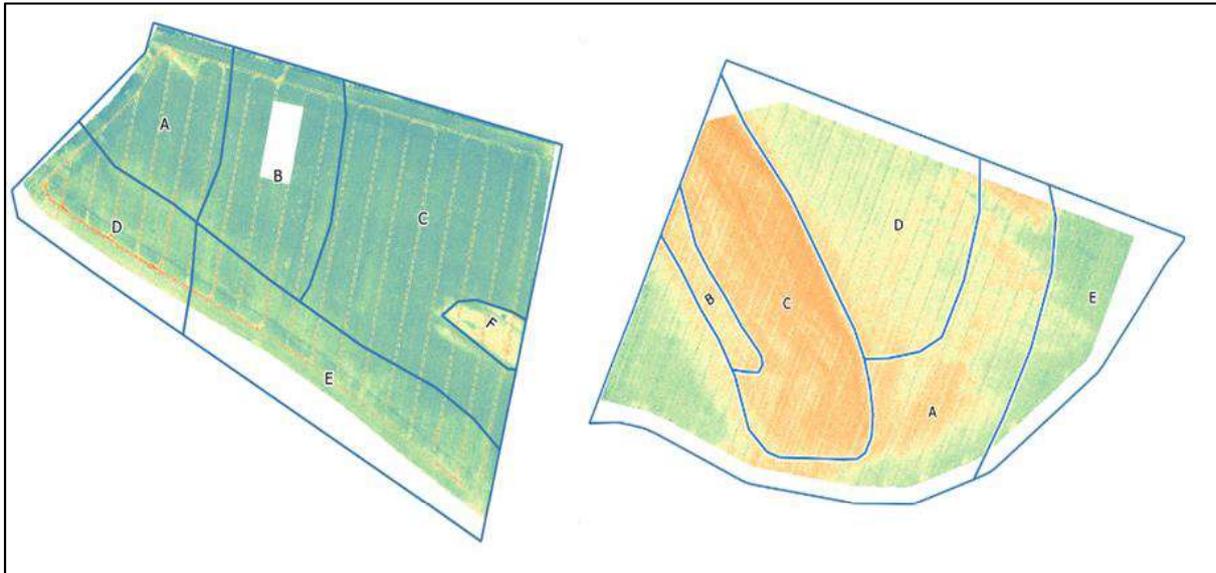
Anhang 9: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante für die Versuchsflächen Olla, Schlossbreite, Stahlberg und Suedfeld im Jahr 2022.....58

Anhang 10: Übersicht zur mittleren N-Abfuhr der Versuchsflächen 2021. Der Proteingehalt wurde stichprobenartig bestimmt. ....58

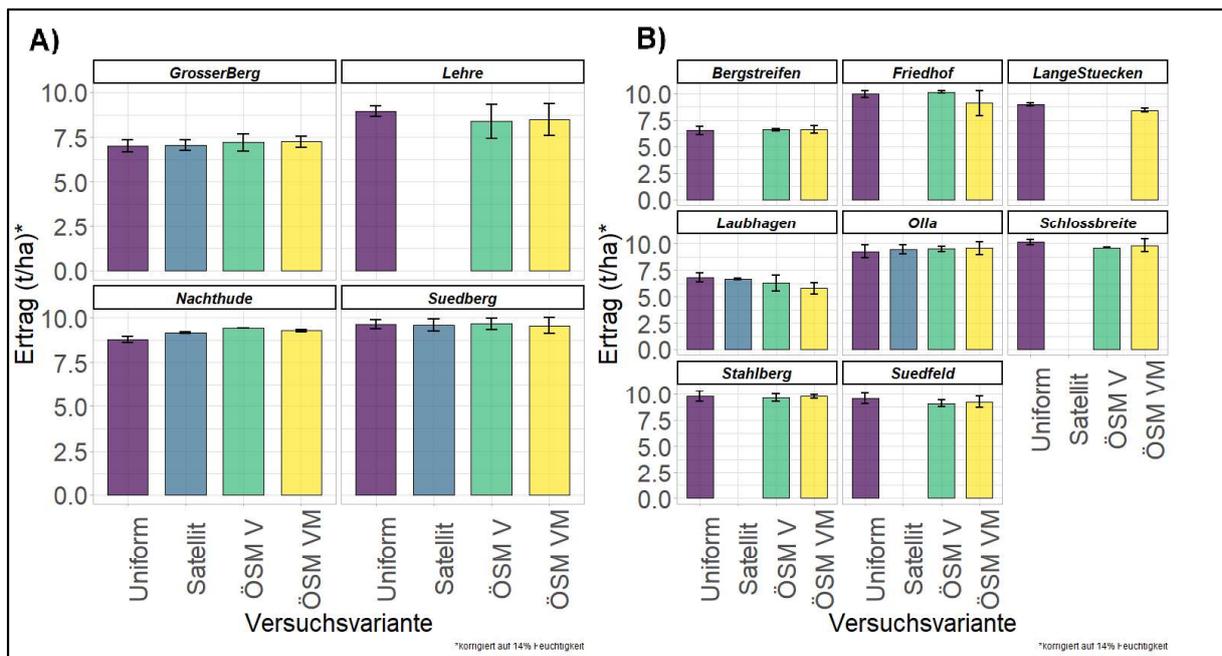
Anhang 11: Übersicht zur mittleren N-Abfuhr der Versuchsflächen 2022. Der Proteingehalt wurde stichprobenartig bestimmt. ....59



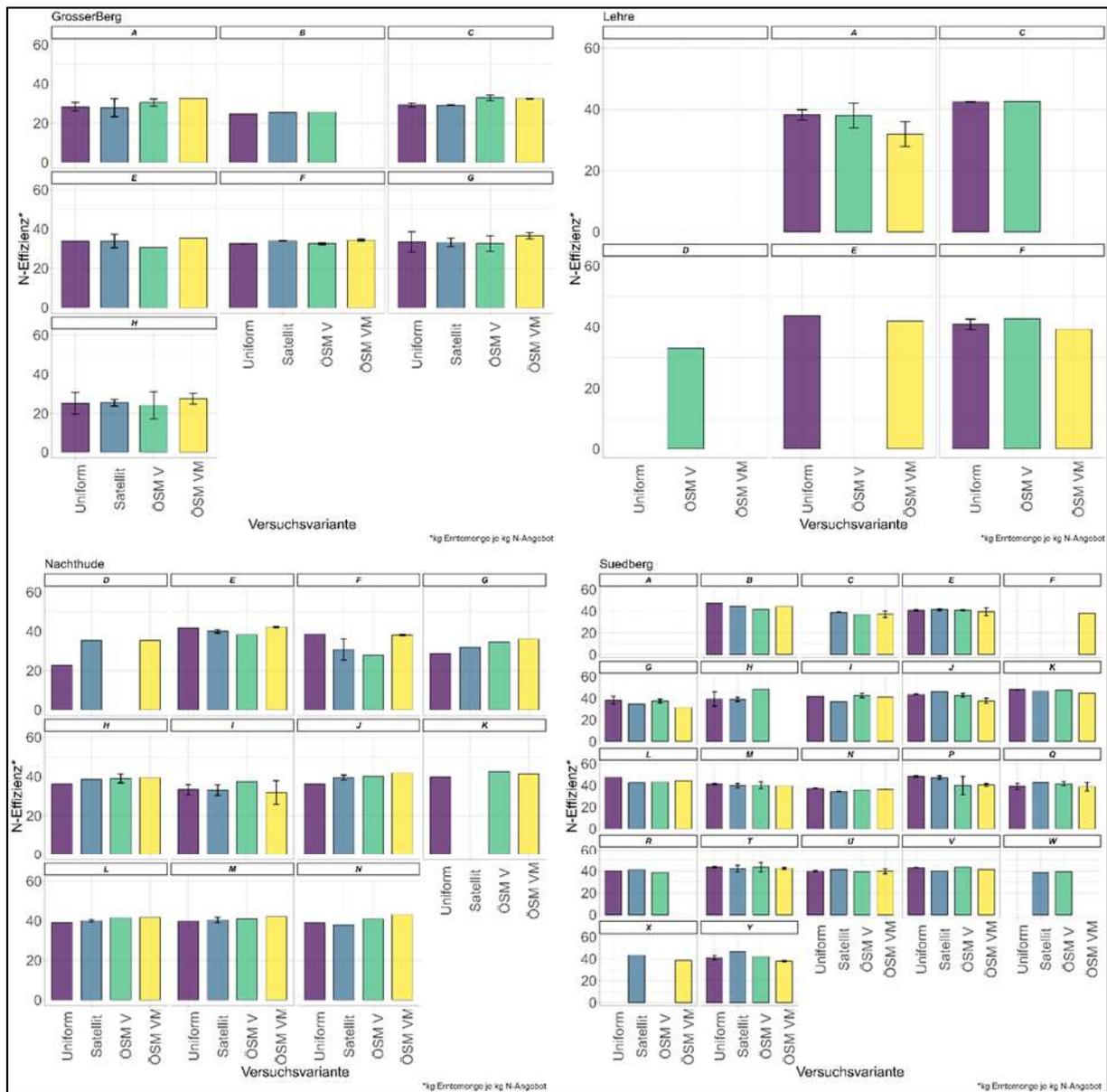
Anhang 1: A) NDVI und B) EVI der Fläche Suedfeld in Abhängigkeit der Teilfläche A-E als Violin- und Boxplot vom 12.04.2022. n gibt die Anzahl zugrundeliegender Werte auf Basis eines 30x30 m Gitters an. Berechnung  $EVI = 2,5 * \frac{(NIR - R)}{(NIR + 6 * R - 7,5 * B + 1)}$ .



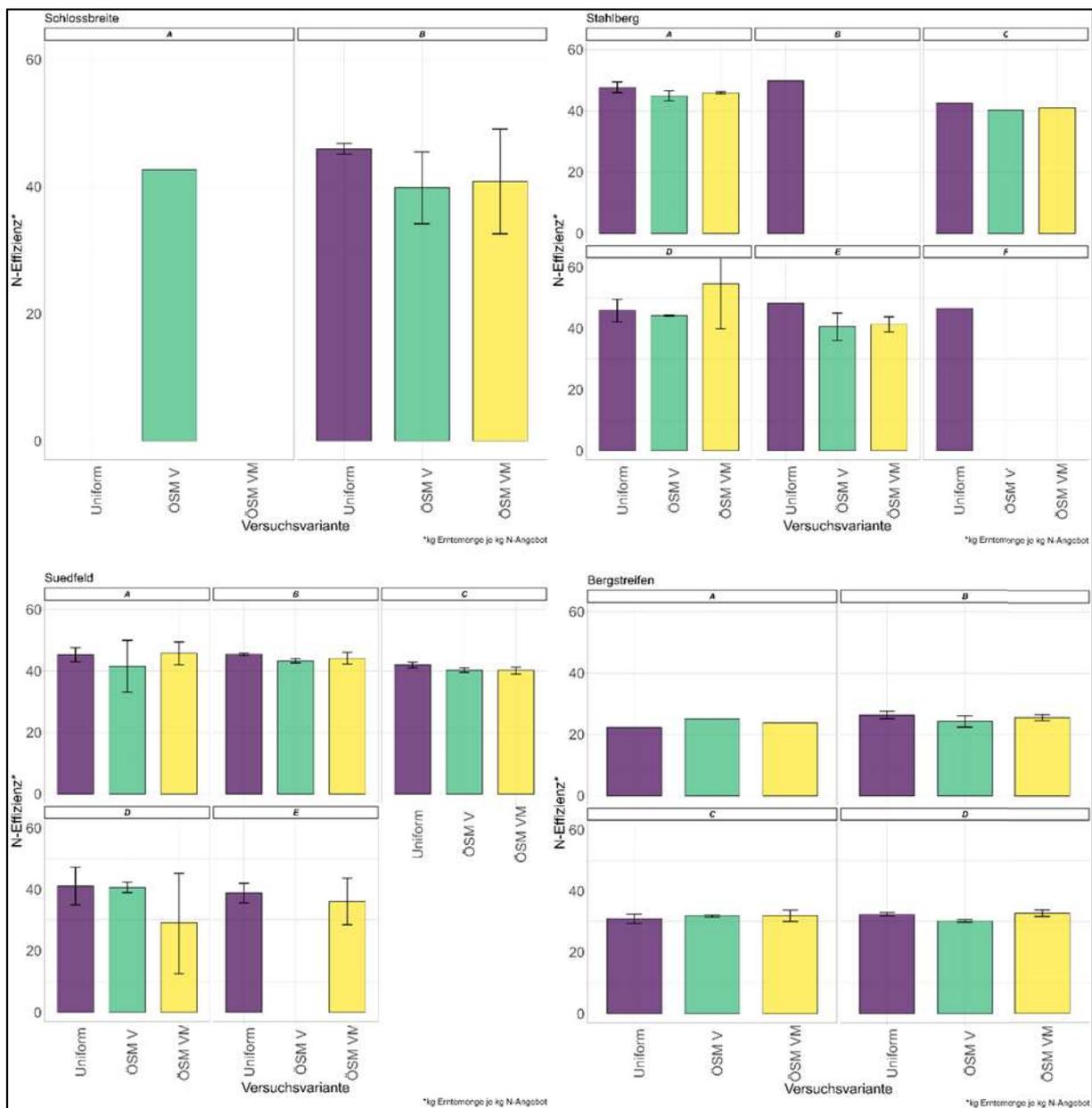
Anhang 2: NDVI der Versuchsfläche A) Olla mit den Teilflächen A-F und B) Suedfeld mit den Teilflächen A-E vom 30.06.2022, abgeleitet aus Multispektralaufnahmen mittels Drohne. Die Teilflächeneinteilung ist in blau dargestellt.



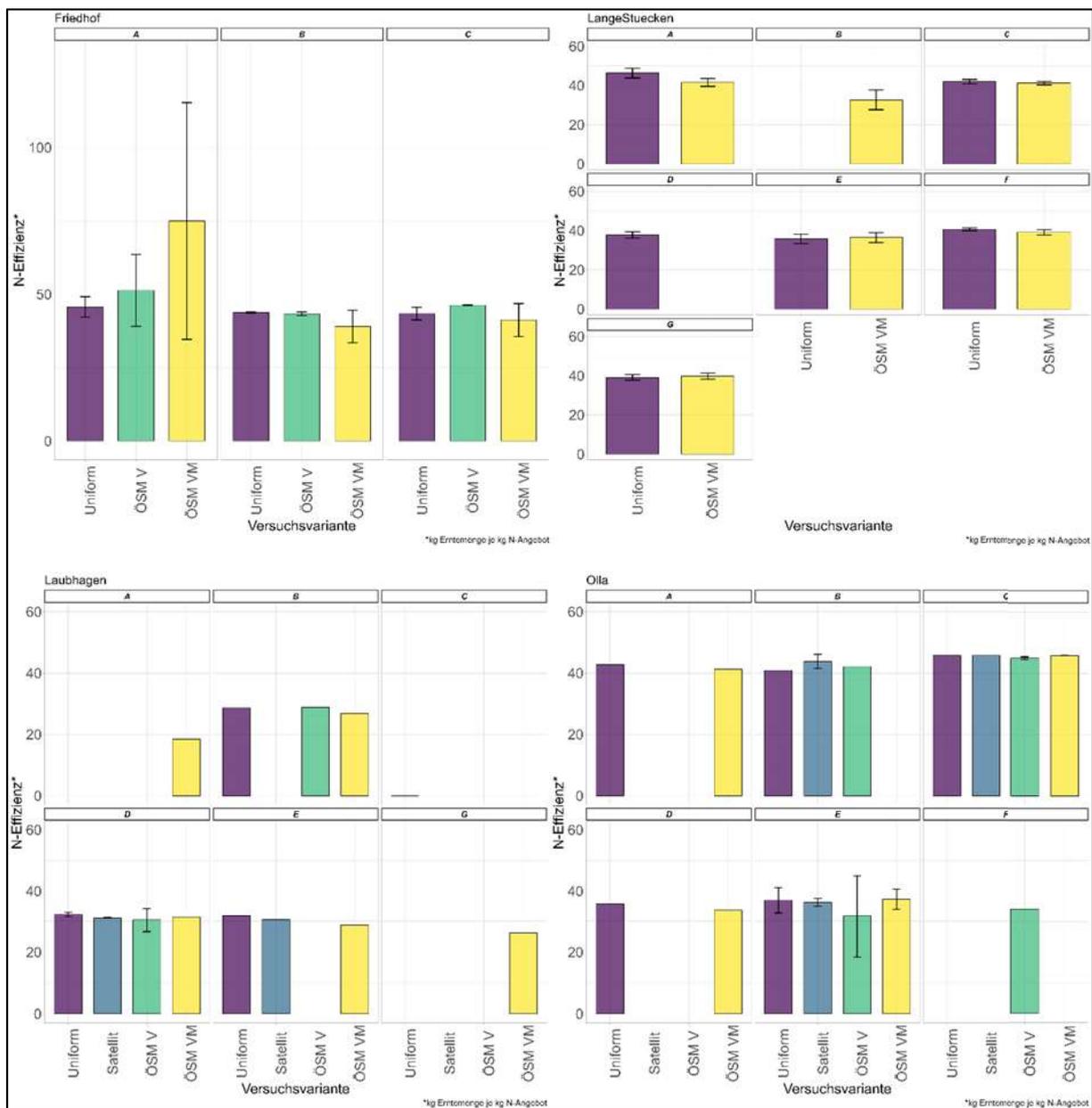
Anhang 3: Mittlere Kornerträge ( $\pm$  SD) je Schlag und Versuchsvariante der Jahre A) 2021 und B) 2022. Mittelwert  $\pm$  SD.



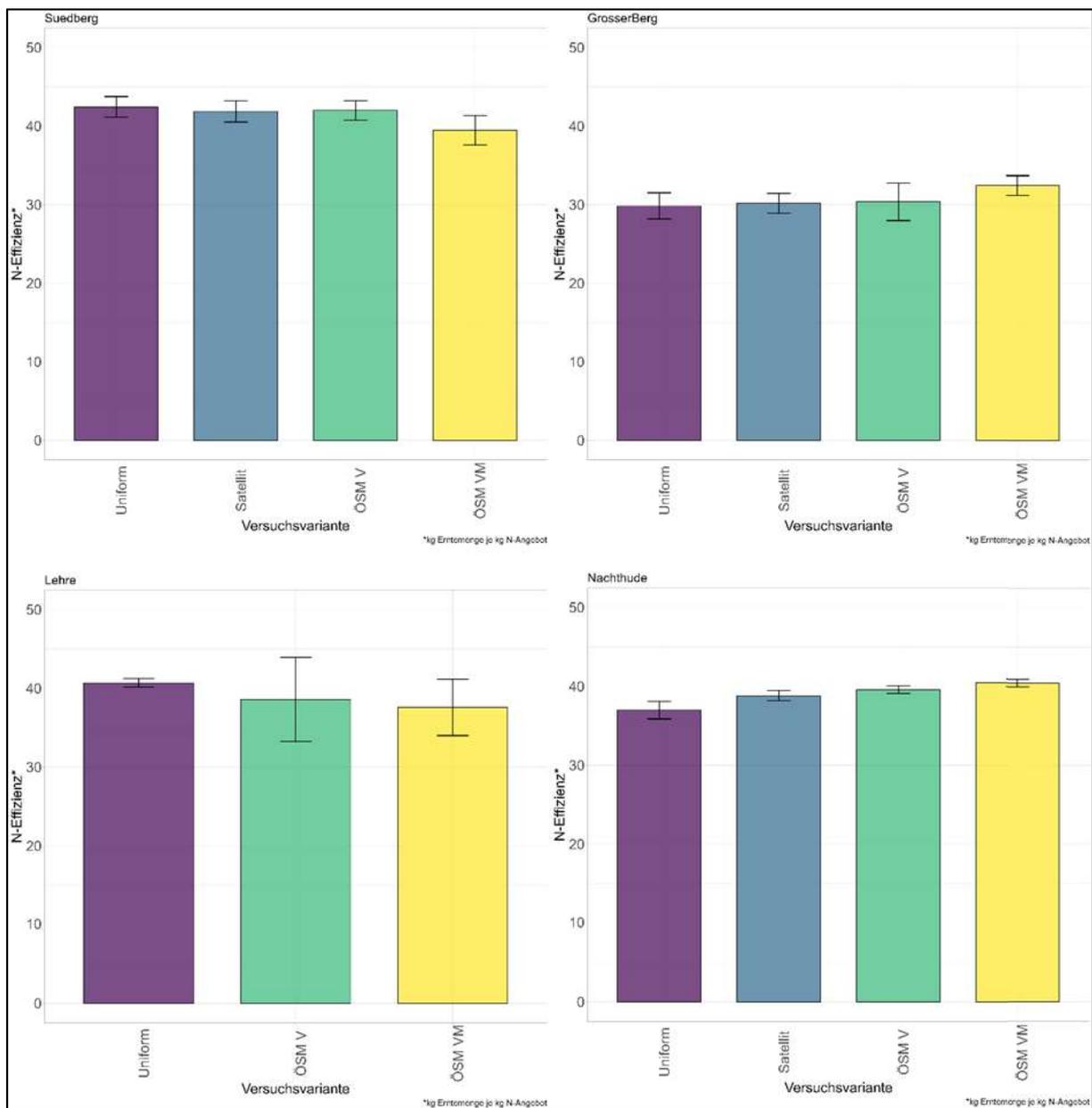
**Anhang 4: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngvariante und Teilfläche für die Flächen Großer Berg, Lehre, Nachthude und Suedberg im Jahr 2021.**



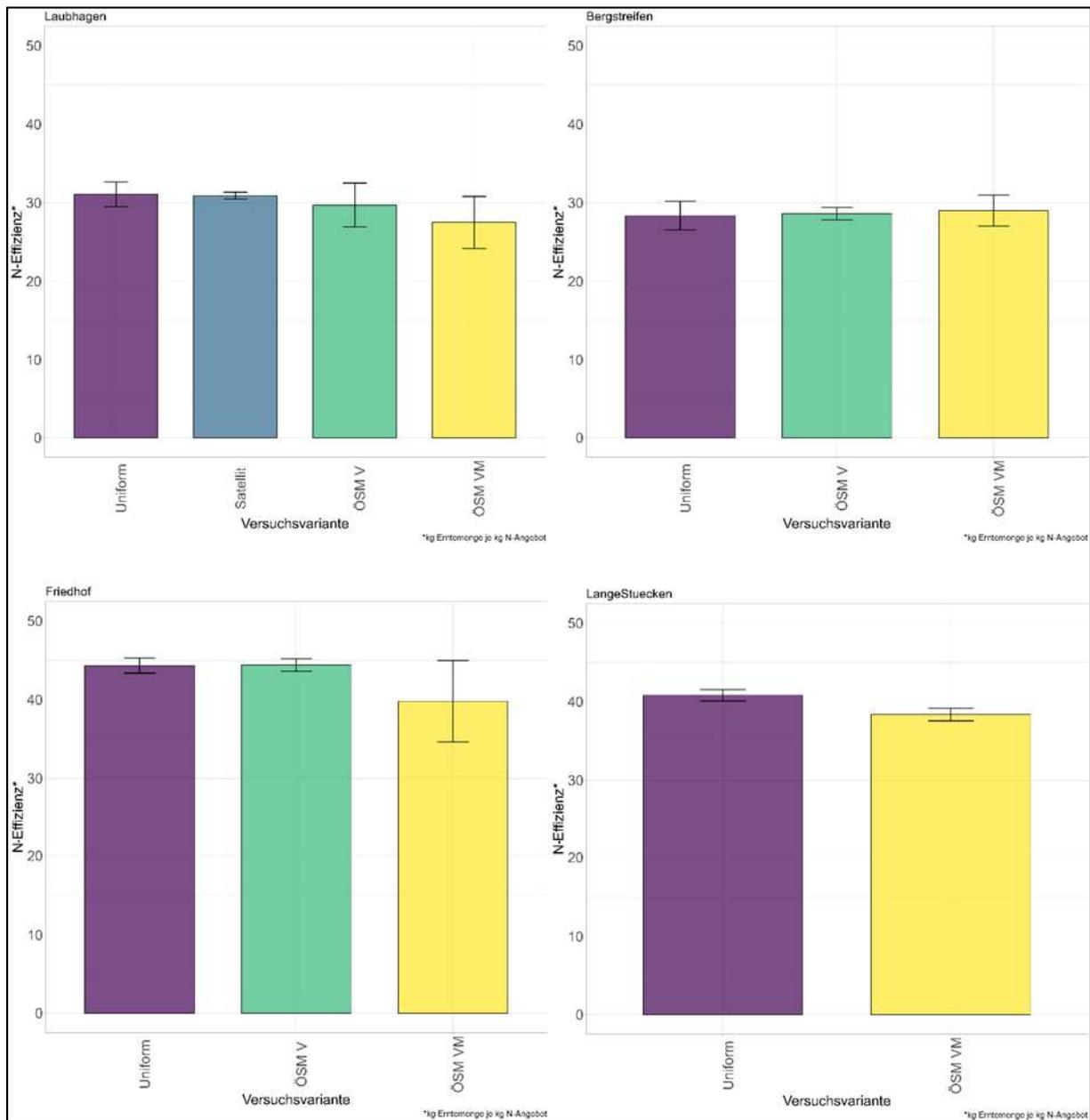
**Anhang 5: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngvariante und Teilfläche für die Versuchsfelder Schlossbreite, Stahlberg, Suedfeld und Bergstreifen im Jahr 2022.**



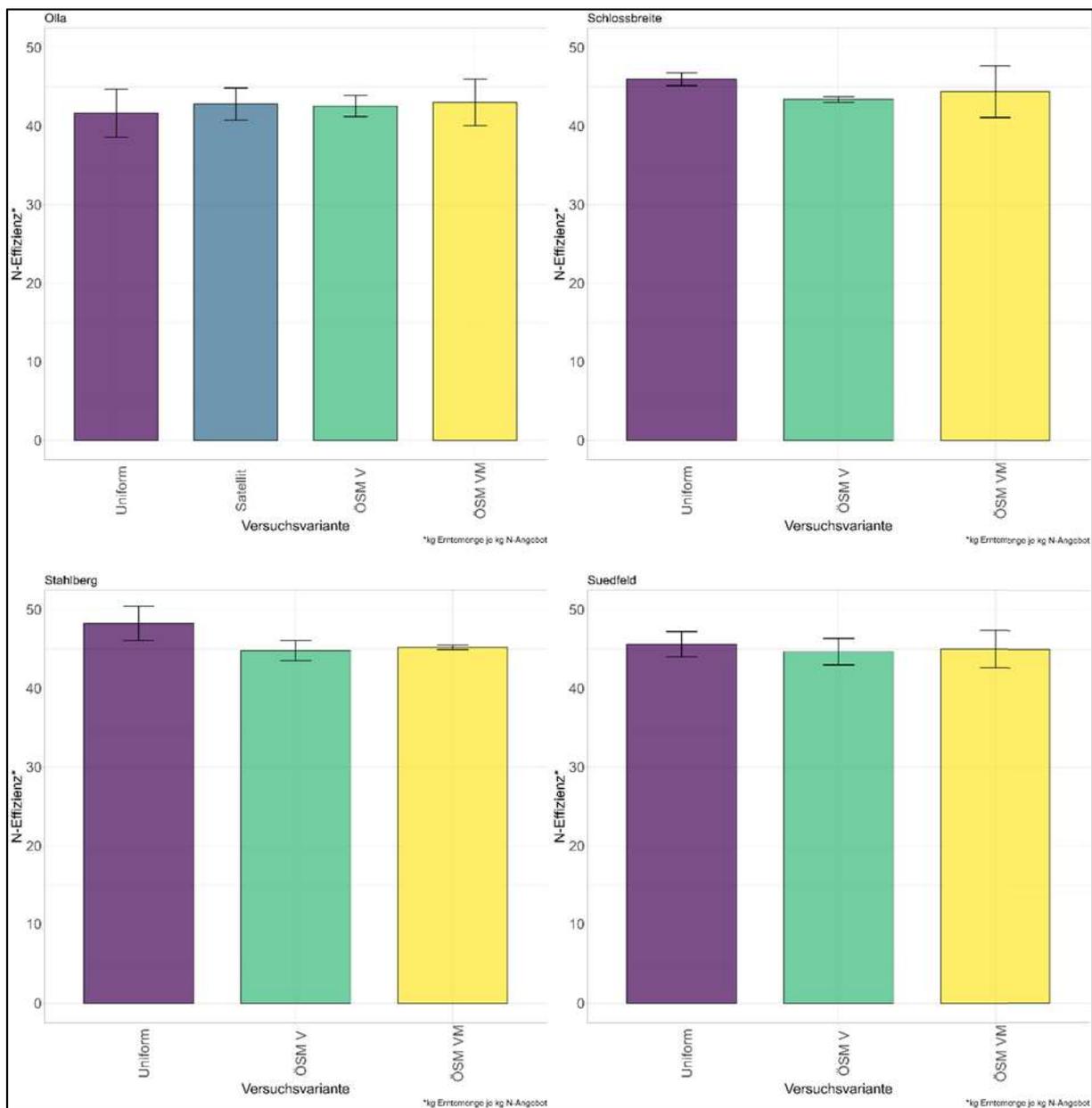
**Anhang 6: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngvariante und Teilfläche für die Versuchsflächen Friedhof, Lange Stuecken, Laubhagen und Olla im Jahr 2022.**



**Anhang 7: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngvariante für die Versuchsflächen Suedberg, Großer Berg, Lehre und Nachthude im Jahr 2021.**



**Anhang 8: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngevariante für die Versuchsflächen Laubhagen, Bergstreifen, Friedhof und Lange Stücken im Jahr 2022.**



**Anhang 9: Mittlere N-Effizienz ( $\pm$  SD) je Düngvariante für die Versuchsflächen Olla, Schlossbreite, Stahlberg und Suedfeld im Jahr 2022.**

**Anhang 10: Übersicht zur mittleren N-Abfuhr der Versuchsflächen 2021. Der Proteingehalt wurde stichprobenartig bestimmt.**

|             | Ertrag (t/ha) | N-Düngung (kg/ha) | N-Angebot | Nmin (kg/ha) | Proteingehalt (%) | N-Abfuhr (kg/ha) | N-Düngung-Abfuhr (%) | N-Angebot-Abfuhr (%) |
|-------------|---------------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Lehre       | 8,6           | 192,5             | 221,3     | 28,8         | 9,6               | 125              | 64,90%               | 56,50%               |
| Großer Berg | 7,11          | 160,9             | 231,9     | 71           | 12,6              | 135,5            | 84,20%               | 58,40%               |
| Suedberg    | 9,59          | 182,6             | 232,1     | 49,5         | 10,6              | 153,4            | 84,00%               | 66,10%               |
| Nachthude   | 9,15          | 167,1             | 235,4     | 68,3         | 9,8               | 135,7            | 81,20%               | 57,60%               |

**Anhang 11: Übersicht zur mittleren N-Abfuhr der Versuchsflächen 2022. Der Proteingehalt wurde stichprobenartig bestimmt.**

|                    | <b>Ertrag<br/>(t/ha)</b> | <b>N-Düngung<br/>(kg/ha)</b> | <b>N-Angebot</b> | <b>Nmin<br/>(kg/ha)</b> | <b>Protein-<br/>gehalt (%)</b> | <b>N-Abfuhr<br/>(kg/ha)</b> | <b>N-Dün-<br/>gung-Ab-<br/>fuhr (%)</b> | <b>N-Angebot-<br/>Abfuhr (%)</b> |
|--------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|
| Stahlberg          | 9,71                     | 210,8                        | 221,4            | 10,6                    | 10,8                           | 157,7                       | 74,80%                                  | 71,20%                           |
| Friedhof           | 9,74                     | 204,9                        | 227,5            | 22,6                    | 10,6                           | 155,8                       | 76,00%                                  | 68,50%                           |
| Laubhagen          | 6,37                     | 177,1                        | 214,5            | 37,4                    | 13,1                           | 126                         | 71,10%                                  | 58,70%                           |
| Bergstreifen       | 6,57                     | 178,1                        | 229,6            | 51,4                    | 14,7                           | 145,5                       | 81,70%                                  | 63,40%                           |
| Olla               | 9,44                     | 163,3                        | 222,3            | 59                      | 11,9                           | 168,7                       | 103,30%                                 | 75,90%                           |
| Lange Stü-<br>cken | 8,71                     | 180,7                        | 220,1            | 39,4                    | 11,5                           | 150,4                       | 83,30%                                  | 68,30%                           |
| Schloss-<br>breite | 9,86                     | 162,2                        | 221,2            | 59                      | 10,6                           | 157,6                       | 97,20%                                  | 71,30%                           |
| Suedfeld           | 9,25                     | 175,7                        | 205,4            | 29,7                    | 12,2                           | 169,8                       | 96,70%                                  | 82,70%                           |