

Umsetzung der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) im Freistaat Sachsen

Endbericht

für ein nach Richtlinie LIW/2014 mit Mitteln des ELER gefördertes Vorhaben.

Titel des Vorhabens:

Entwicklung eines betriebs- und regionalspezifischen N-Düngungsberatungssystems basierend auf stationären Feldsensorstationen und Drohnen zur Ableitung einer angepassten N-Düngung nach Maßgabe der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Düngeverordnung.

Das Projekt ist ein Vorhaben nach der Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung der Landwirtschaft, der Europäischen Innovationspartnerschaften (EIP AGRI) und des Wissenstransfers einschließlich Demonstrationsvorhaben im Rahmen des Entwicklungsprogramms für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen (Förderrichtlinie Landwirtschaft, Innovation, Wissenstransfer-RL LiW/2014). Teil: Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP AGRI) vom 15.12.2014.



Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung der Projektplanung.....	3
1.1.	Problembeschreibung	3
1.2.	Zielformulierung.....	3
1.2.1.	Beteiligte Praxisbetriebe.....	4
1.3.	Arbeitsplan	6
1.3.1.	Methodenbeschreibung.....	6
1.3.2.	Arbeits- und Lösungsweg.....	6
1.3.3.	Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe.....	7
1.4.	Erwartete Ergebnisse	7
2.	Darstellung des Projektverlaufs.....	7
3.	Projektergebnisse.....	32
3.1.	Einschätzung der Zielerreichung.....	32
3.2.	Hauptergebnisse des Projekts	32
3.3.	Nebenergebnisse des Projekts	33
4.	Ergebnisverwertung	33
4.1.	Nutzung der Ergebnisse in der Praxis.....	33
4.2.	Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse.....	33
5.	Wirkung des Projekts	33
5.1.	Beitrag zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums.....	33
5.2.	Beitrag zu den Zielen der EIP-AGRI.....	34
5.3.	Beitrag zu den in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen	34
6.	Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe	35
6.1.	Ausgestaltung der Zusammenarbeit.....	35
6.2.	Mehrwert der operationellen Gruppe.....	37
7.	Verwendung der Zuwendung.....	37
7.1.	Rückblick.....	37
7.2.	Ausblick.....	37

1. Zusammenfassung der Projektplanung

1.1. Problembeschreibung

Nach unseren Erfahrungen aus der Düngeberatung bleibt die Bestimmung des richtigen Zeitpunkts und der richtigen Menge der N-Gaben für Getreide (für zweite, dritte und eventuell vierte Gabe) und Winterraps (Herbstdüngung) in der Praxis ein erhebliches Problem. Dies hat zur Folge das der N-Bedarf der Pflanze nicht zur richtigen Zeit mit den richtigen Mengen gedeckt wird. In der Vergangenheit (vor der aktuellen DüV) wurde dies durch hohe N-Düngemengen versucht auszugleichen mit der Auswirkung einer schlechten N-Effizienz.

Eine bewährte Methode den richtigen Zeitpunkt und die richtige Menge der N-Gabe im Getreide zu bestimmen ist das N-Monitoring. Dabei wird auf einem Feld an einer definierten Stelle alle zwei Tage der N-Ernährungszustand der Pflanzen gemessen (N-Tester bzw. Nitratschnelltest) und damit die N-Dynamik des Bestandes im Zeitverlauf abgebildet. Die Auswertung dieser Aufzeichnungen ermöglicht die Festlegung des richtigen Düngezeitpunkts und eine Hilfe bei der Festlegung der richtigen Düngemenge (angepasst nach DüV).

Leider ist es in der Praxis so das obwohl N-Tester oder andere Werkzeuge beschafft wurden das N-Monitoring oft nicht kontinuierlich, nicht in der Fläche und z.T. auch fehlerhaft eingesetzt wird. Die Gründe dafür sind vielfältig, nicht wirklich beeinflussbar und reichen vom Zeitaufwand über Logistik- und Qualifizierungsprobleme, bis hin zum Ignorieren und Anzweifeln der Testergebnisse. Im Winterraps ist ein N-Monitoring überhaupt nicht möglich da die N-Konzentration in den Blättern einer Pflanze stark variiert und somit keine verlässlichen Werte des N-Ernährungszustands erfasst werden können.

Dies ist gerade vor dem Hintergrund der aktuellen DüV und bei der Umsetzung der WRRL nicht zielführend. Damit ist neben der daraus resultierenden unangemessenen herkömmlichen Düngung auch die agronomische Kalibrierung von Pflanzensensoren (YARA N-Sensor, ISARIA, Greenseeker usw.) für die teilflächenspezifische N-Düngung nicht immer optimal und deutlich verbesserungswürdig.

Ein weiterer Punkt ist die Übertragung des durch das N-Monitoring gemessenen N-Ernährungszustands der Pflanzen in die Fläche. Pflanzensensoren sind zurzeit Mittel der Wahl, allerdings sind diese in der Anschaffung aufwendig und nicht immer einfach zu bedienen.

1.2. Zielformulierung

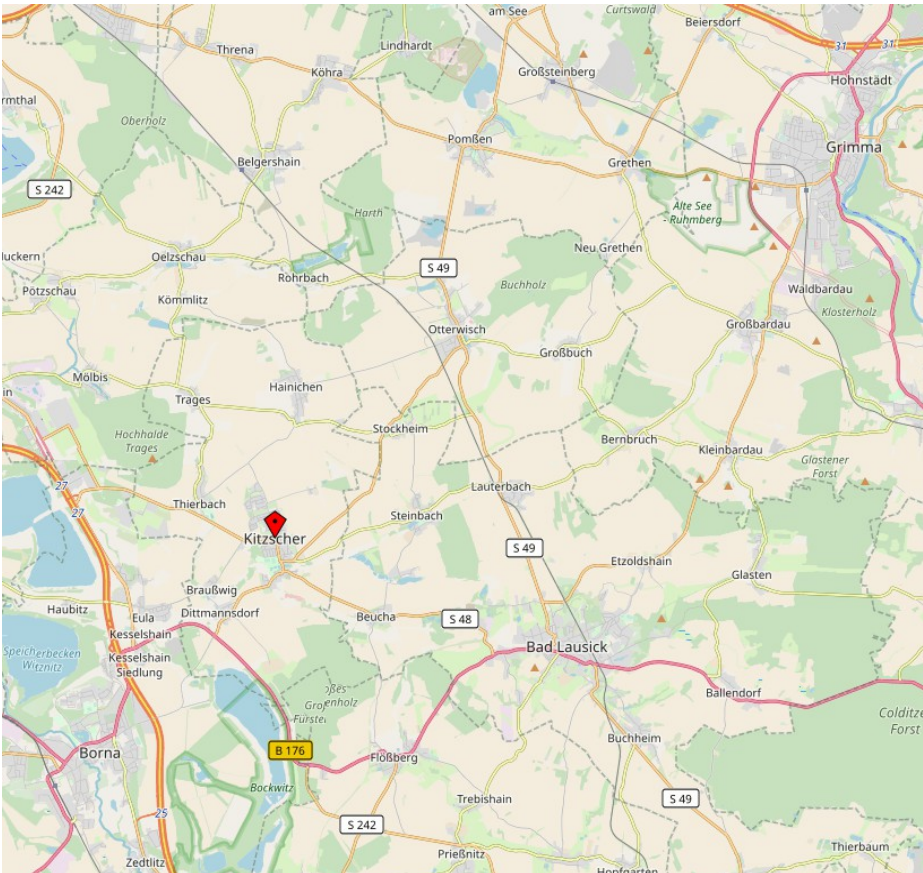
Ziel des Projektes ist es ein betriebs- und regionalspezifisches N-Düngungsberatungssystem als Software zu schaffen, welches mithilfe von täglichen Messungen von robusten, einfachen Feldsensorstationen pflanzenbaulich relevante Informationen (z.B. N-Aufnahme, Bodenfeuchte, Bodentemperatur usw.) aufzeichnet und daraus feld-, betriebs- und regionalspezifische Parameter für eine qualifiziertere, angepasste N-Düngung abzuleiten. Damit werden die in der Problembeschreibung genannten betrieblichen Probleme der N-Bemessung entschärft und es ergeben sich weitere Möglichkeiten der N-Beratung für Organisationen, Berater und Regionen.

Mit mehreren Feldsensorstationen kann es besser gelingen, zum richtigen Zeitpunkt die richtige N-Menge zu düngen. Für eine Region (mehrere Betriebe mit Stationen) ergibt sich die Chance für qualifizierte Aussagen zum N-Status der Kulturen.

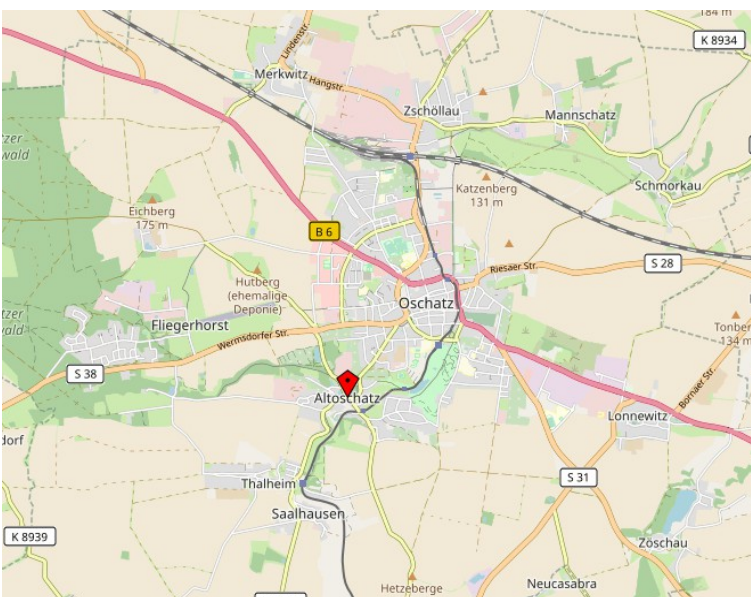
Durch den Einsatz eines Multispektralsensors an einer Drohne kann der N-Ernährungszustand der Pflanzen (kalibriert an einer Feldsensorstation) in die Fläche übertragen werden und mittels der Algorithmen des N-Düngungsberatungssystems eine N-Applikationskarte für das gesamte Feld berechnet werden (differenzierte N-Düngung).

1.2.1. Beteiligte Praxisbetriebe

Der beteiligte Praxisbetrieb Landwirtschaftsbetrieb Kitzscher GmbH liegt südwestlich von Leipzig in Sachsen im Dreieck Borna, Grimma und Bad Lausick.



Der zweite beteiligte Praxisbetrieb Agrargenossenschaft Altoschatz-Merkwitz eG hat seinen Hauptsitz in Oschatz.



Betriebspiegel Pflanzenbau der beteiligten Betriebe:

Landwirtschaftsbetrieb Kitzscher GmbH

- 2020 ha Ackerbau
- Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silomais, Luzerne, Feldgras, Speisekartoffeln
- Bodenpunkte Durchschnitt 40 -48

Agrargenossenschaft Altoschatz-Merkwitz eG

- 1400 ha Ackerbau
- Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silomais, Luzerne
- Durchschnitt Bodenpunkte 52

1.3. Arbeitsplan

1.3.1. Methodenbeschreibung

Die Erprobung verschiedener Sensortechnologien, des Datenversands via verschiedener Technologien in vorgegebenen Intervallen, die Abschätzung von N-Aufnahmekurven in Getreidekulturen, die notwendige „Sensordichte“ und des notwendigen Datenmanagements wurde in den landwirtschaftlichen Betrieben des Projektes umgesetzt. Die Algorithmen des N-Düngungsberatungssystems wurden entwickelt und mittels „On Field Research“ (OFR) - Versuche überprüft. Weiterhin wurde eine Kalibrierung des Multispektralsensors (an einer Drohne) über die Daten der Feldsensorstation erstellt. Die Software für das eigentliche N-Düngungsberatungssystem wurde programmiert.

1.3.2. Arbeits- und Lösungsweg

Die Schwerpunktthemen des Projekts „Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation)“ und „Differenzierte N-Düngung (Basis Drohne mit Multispektralsensor)“ wurden parallel abgearbeitet, auch die Softwareentwicklung erfolgte iterierend über die ganze Projektzeit, dabei werden laufend neue Projektergebnisse integriert und das System angepasst.

1. Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation)

AP 1.1 Aufbau Feldsensorstation

- 1.1.1 Auswahl und Tests geeigneter Sensortechnologie für die Messung der N-Aufnahme
- 1.1.2 Auf Grundlage des gewählten Sensors Aufbau und Betrieb der vorläufigen Feldsensorstation
- 1.1.2.3 Aufbau einer Datenfernübertragung
- 1.1.2.4 Integration von Sensoren zur Messung der Parameter Bodenfeuchte und Bodentemperatur mit Einfluss auf die N-Verfügbarkeit im Boden.
- 1.1.2.5 Anbindung von Daten regionaler Wetterstationen (Niederschlag/Temperatur)
- 1.1.2.6 Aufbau zweier Prototypen

AP 1.2 Betrieb von minimal zwei Feldsensorstationen

AP 1.3 Ableitung von Algorithmen für eine Düngeempfehlung auf der Basis der Daten der Feldsensorstation (N-Aufnahme/Bodentemperatur/Bodenfeuchte/Niederschlag/Temperatur)

AP 1.4 Abschätzung und Testung der notwendigen Sensordichte in einem Betrieb/einer Region

AP 1.5 Validierung der Algorithmen durch „On Field Research“ (OFR) - Versuche

2. Differenzierte N-Düngung (Basis Drohne mit Multispektralsensor)

AP 2.1 wöchentliche Befliegung auf zwei Versuchsflächen April-Juni WW , Oktober/November Raps

- 2.1.1 Eigentliche Befliegung
- 2.1.2 Orthophotoerstellung verschiedener Pflanzenindizes

AP 2.2 Erstellung einer Kalibrierung für den Multispektralsensor an einer Drohne

- 2.2.1 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Werten der Feldsensorstationen
- 2.2.2 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Daten der jeweiligen Online Sensoren

3. Erstellung eines Softwarepakets "N-Düngungsberatungssystem" (iterierend, es werden laufend neue Projektergebnisse integriert und das System angepasst)

AP 3.1 Infrastruktur Kommunikationssystem

AP 3.2 System Datenhaltung/Datenauswertung

AP 3.3 Flexible Integration der entstandenen Algorithmen in das Softwarepaket

AP 3.4 User Interface Düngeberatungssystem

Tabellarischer Zeit- und Arbeitsplan (Planung chronologisch)

- Arbeitspakete 1.1 bis 1.5: 01.11.2018 - 31.10.2021
- Arbeitspaket 2.1 bis 2.2 01.04.2019 - 31.10.2021
- Arbeitspaket 3.1 bis 3.4s: 01.11.2018 - 31.10.2021

Meilensteine (Planung, kontrollierbare Eckpunkte zum Umsetzungsfortschritt)

- April 2019 Start Betrieb Feldsensorstationen
- April 2019 Start Drohnenbefliegung
- April 2020 Validierung erster Version Algorithmen Düngeempfehlung
- April 2020 Praxistest der ersten vorläufigen Kalibrierung Multispektralsensor Drohne


1.3.3. Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe

- EXAgT: Arbeitspakete 1-3
- Landwirtschaftsbetriebe Altoschatz und Kitzscher: stellen Versuchsflächen zur Verfügung: Arbeitspakete 1 und 2
- A. Brenning Geoinformatik Jena: Beratung zu Arbeitspaket 1

1.4. Erwartete Ergebnisse

Erstellung eines betriebs- und regionalspezifischen N-Düngungsberatungssystem welches mithilfe von täglichen Messungen von robusten, einfachen Feldsensorstationen Parameter für eine qualifizierte, angepasste N-Düngung abzuleiten.

2. Darstellung des Projektverlaufs

Stand August 2019	<p>Arbeitspaket 1.1 <i>Aufbau Feldsensorstation.</i></p> <p>1.1.1 Auswahl und Tests geeigneter Sensortechnologie für die Messung der N-Aufnahme</p> <p>In Deutschland sind aktuell fünf Sensorsysteme im Praxiseinsatz die für eine differenzierte N-Düngung genutzt werden und somit prinzipiell für den Einsatz in unserem Düngeberatungssystem in Frage kommen.</p> <ol style="list-style-type: none">1. YARA N-Sensor2. Fritzmeier ISARIA/CLAAS Cropsensor3. AO Greenseeker4. AgLeader OptRx5. Topcon CropSpec <p>Mit allen fünf Herstellern wurde Kontakt aufgenommen und deren System auf eine mögliche Eignung geprüft. Die für uns wichtigste Eigenschaft war die Verfügbarkeit einer agronomischen Führungsgröße in den Messergebnissen, ähnlich oder gleich der aktuellen N-Aufnahme. Zum Schluss blieben zwei Systeme übrig, zum einen der YARA N-Sensor und der Fritzmeier ISARIA. Da Fritzmeier aufgrund IPs Dritter uns keinen direkten Zugriff auf die N-Aufnahme gewähren konnte, fiel unsere Wahl auf den YARA N-Sensor.</p>  <p style="text-align: center;">Abbildung 1: Testequipment YARA N-Sensor</p> <p>1.1.2 Auf der Grundlage des gewählten YARA N-Sensors wurde der Aufbau und Betrieb der vorläufigen Feldsensorstationen realisiert.</p> <p>1.1.2.3 Aufbau einer Datenfernübertragung</p> <p>Für die Datenfernübertragung wurden in beide Feldsensorstationen LTE-Router integriert. Der laufenden Zugriff auf die Systeme wird über ein AnyDesk-Netzwerk sichergestellt.</p>
-------------------	--

1.1.2.4 Integration von Sensoren zur Messung der Parameter Bodenfeuchte und Bodentemperatur mit Einfluss auf die N-Verfügbarkeit im Boden.

Um die Parameter Bodenfeuchte und -temperatur zu messen eignen sich TDR Sonden besonders gut. Begleitend zur kontinuierlichen Messung der N-Aufnahme der Pflanzen wurden mit einer im A-Horizont vergrabenen Sonde diese beiden Parameter aufgezeichnet.



Abbildung 2: TDR Sonde TRIME PICO zur Messung der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur

1.1.2.5 Anbindung von Daten regionaler Wetterstationen (Niederschlag/Temperatur)

Zur Anbindung der Daten lokaler Wetterstationen wird das Opendata- Angebots des Climate Data Centers des DWD genutzt.



Abbildung 3: Opendata Zugriff des DWD auf die Daten aller Wetterstationen in Deutschland

1.1.2.6 Aufbau zweier Prototypen mit Meilenstein Start Betrieb Feldsensorstationen

Aufgrund der getroffenen Designentscheidungen wurden zwei Prototypen aufgebaut und in Betrieb genommen.



Abbildung 4: Aufbau der ersten Feldsensorstation in Collm



Abbildung 5: Aufbau der zweiten Feldsensorstation in Zschochau

Arbeitspaket 1.2 *Betrieb von minimal zwei Feldsensorstationen.*

Die beiden Feldsensorstationen wurden auf zwei Feldern mit Winterweizen bis Ende Juni 2019 betrieben.



Abbildung 6: Feldsensorstation Collm im Laufe der Vegetationsperiode

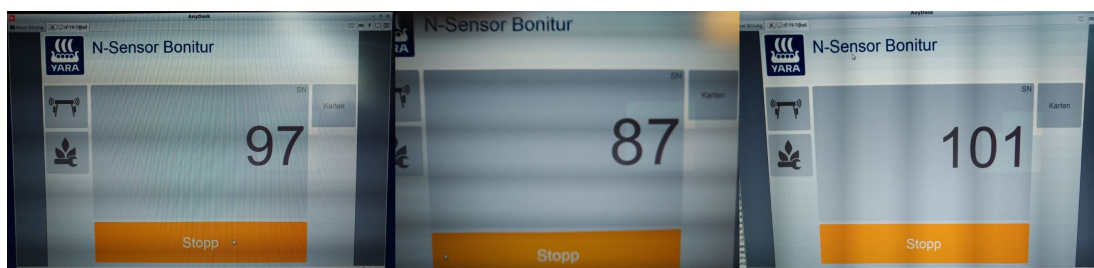


Abbildung 7: Gemessene N-Aufnahmen Feldsensorstation Collm

Arbeitspaket 2.1 wöchentliche Befliegung auf zwei Versuchsflächen April-Juni WW, Oktober/November Raps.

Mit der Inbetriebnahme der Drohne wurden die Befliegungen aufgenommen. Durch die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen kostenlosen Satellitenbildern (Sentinel-2, bei Projektantrag noch nicht verfügbar) wurde die Sichtung/Auswertung dieser Bilder mit in das Arbeitspaket aufgenommen.



Abbildung 8: Drohne im Flug

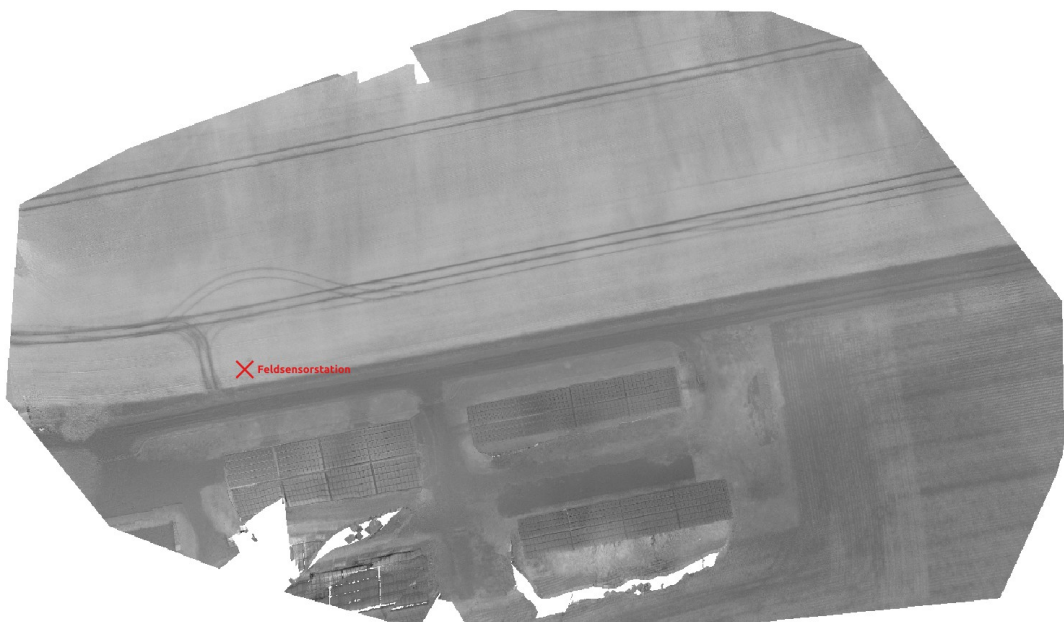


Abbildung 9: Orthophoto NDRE aus Dohnenbefliegung

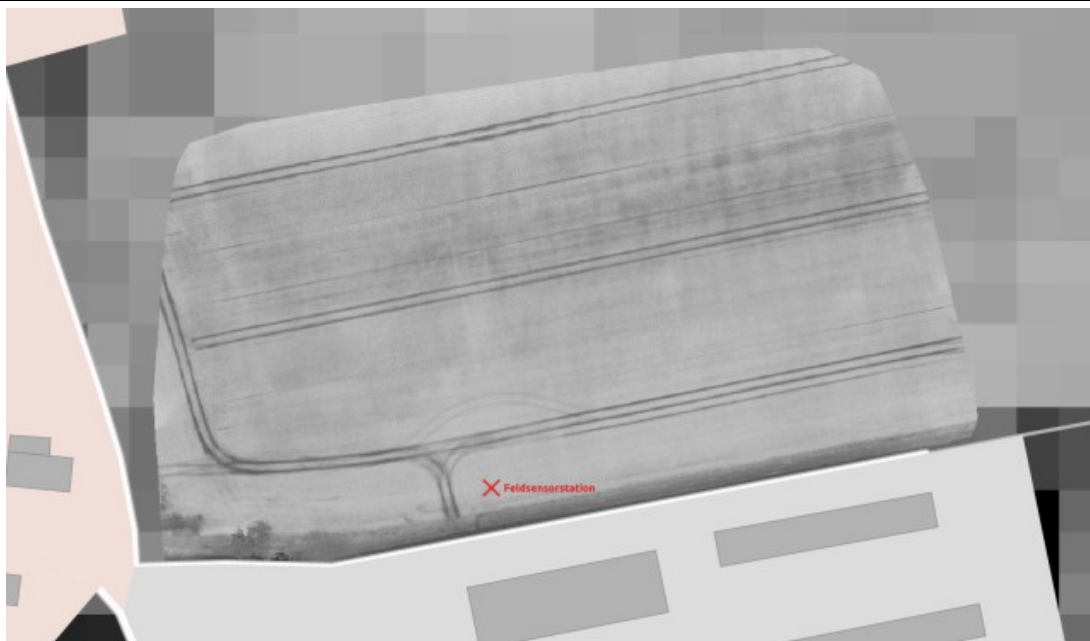


Abbildung 10: Bilder Satellit und Drohne, S2REIP aus Satellitenbild vom 03.06.2019, NDRE aus Drohnenbefliegung vom 31.05.2019

Arbeitspaket 3 *Erstellung eines Softwarepakets "N-Düngungsberatungssystem" (iterierend, es werden laufend neue Projektergebnisse integriert und das System angepasst)*

3.1 Infrastruktur Kommunikationssystem

Zur Kommunikation mit den Feldsensorstationen und dem Büro wurde ein grundlegendes System auf der Basis von LTE aufgebaut. Begonnen wurde mit der Konzeption der Nutzung des 5G Netzes bzw. zur reinen Meßdatenübertragung von LoRaWAN Technologie.

3.2 System Datenhaltung/Datenauswertung

Zur Datenhaltung wurde eine PostgreSQL/PostGIS Datenbank aufgebaut die Messdaten der Feldsensorstationen, die Daten der umliegenden Wetterstationen sowie die Bilder von Satelliten und Drohnen speichern und diese Daten Auswerteprogrammen wie QGIS und PIGSTAT transparent zur Verfügung stellen.

Stand August 2020

Arbeitspaket 1

Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation)

1.2 *Betrieb von minimal zwei Feldsensorstationen.*

Feldsensorstationen wurden zum einem im September bis November 2019 im Winterraps betrieben, ab dem 23.03.2020 bis zum 16.06.2020 waren sie zur kontinuierlichen Erfassung der N-Aufnahme im Winterweizen im praktischen Einsatz. Im Gegensatz zum letzten Jahr ist eine der Feldsensorstationen mobil ausgelegt, es wurden alle 3-4 Tagen Aufnahmemessungen an sieben Monitoringpunkten durchgeführt (6x Winterweizen, 1x Wintergerste).



Abbildung 11: Feldsensorstation

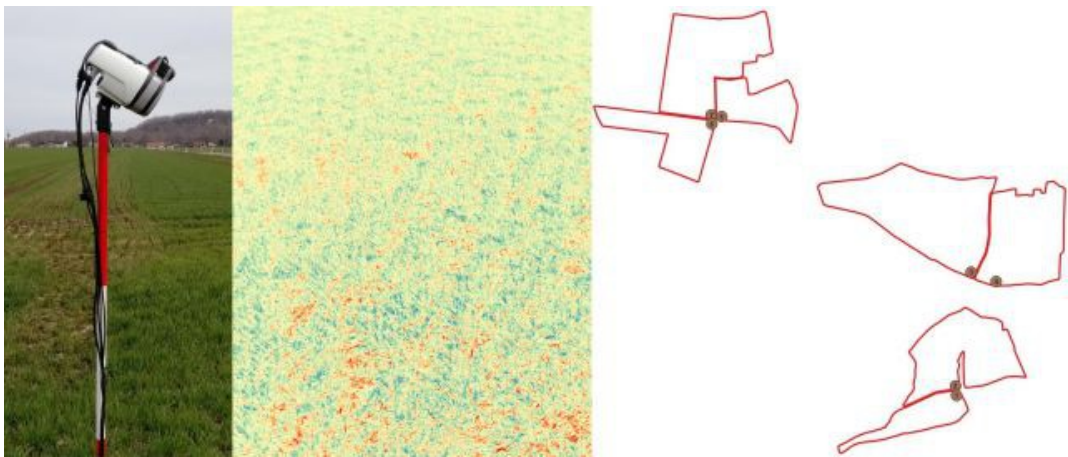


Abbildung 12: Mobile Feldsensorstation und Karte mit den sieben Monitoringpunkten



Abbildung 13: Praktische Messung mit mobiler Feldsensorstation

1.3 Ableitung von Algorithmen für eine Düngeempfehlung auf der Basis der Daten der Feldsensorstation (N-Aufnahme/Bodentemperatur/Bodenfeuchte/Niederschlag/Temperatur).

Aufgrund der getätigten Messungen wurden Düngeempfehlungen abgeleitet und den Praxisbetrieben mitgeteilt. Auf Grundlage dieser Informationen haben die Partner ihre Düngeentscheidung getroffen.

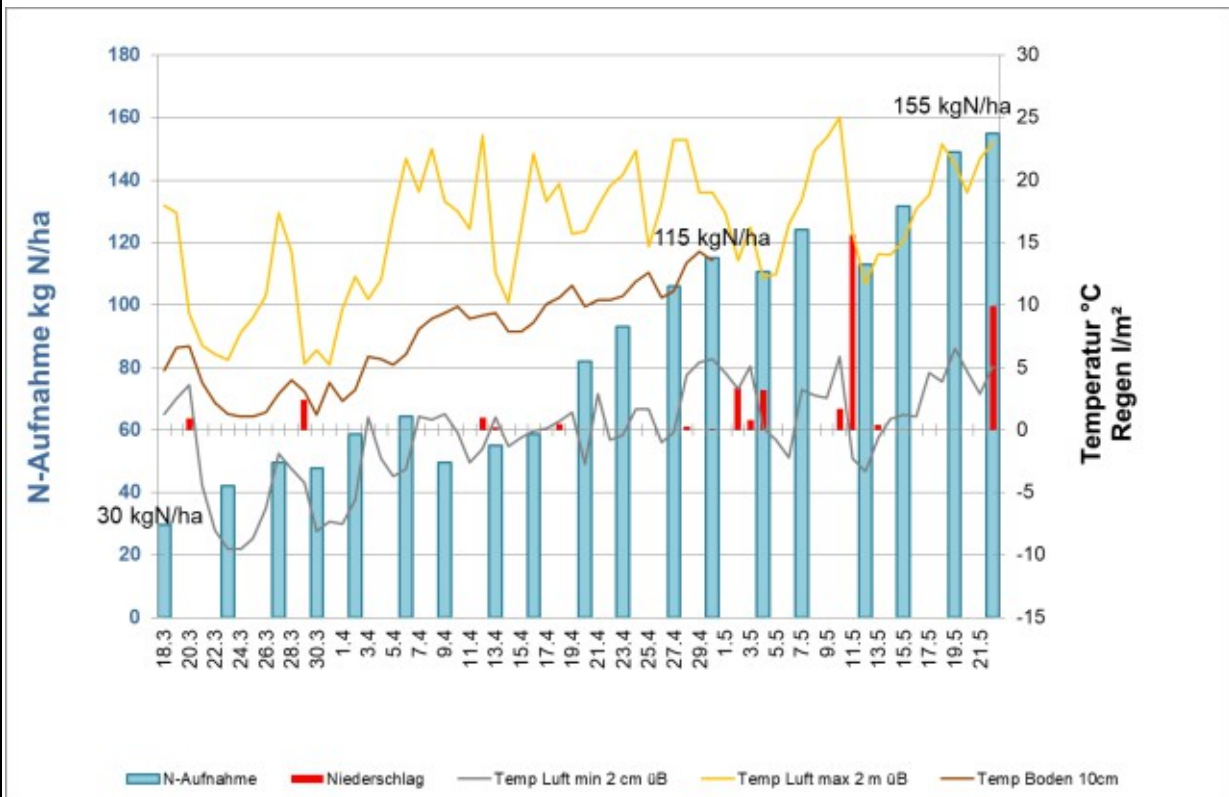


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf der N--Aufnahme eines Winterweizenbestandes [kg N/ha], den Niederschlag [l/m²] und die Temperaturen der Luft im 2m Höhe als Max, in 2 cm d.h. im Pflanzenbestand als Min und die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe als Durchschnitt des jeweiligen Tages [°C].

1.4 Abschätzung und Testung der notwendigen Sensordichte in einem Betrieb/einer Region.

Zur besseren Einschätzung der notwendigen Sensordichte wurde in dieser Meßsaison ein Sensor mobil ausgelebt. Dadurch standen pro Termin insgesamt 8 Messungen zur Verfügung. Diese Messungen müssen nächstes Jahr fortgesetzt werden, abschließende Aussagen sind bisher noch nicht möglich.

Arbeitspaket 2 Differenzierte N-Düngung (Basis Drohne mit Multispektralsensor)

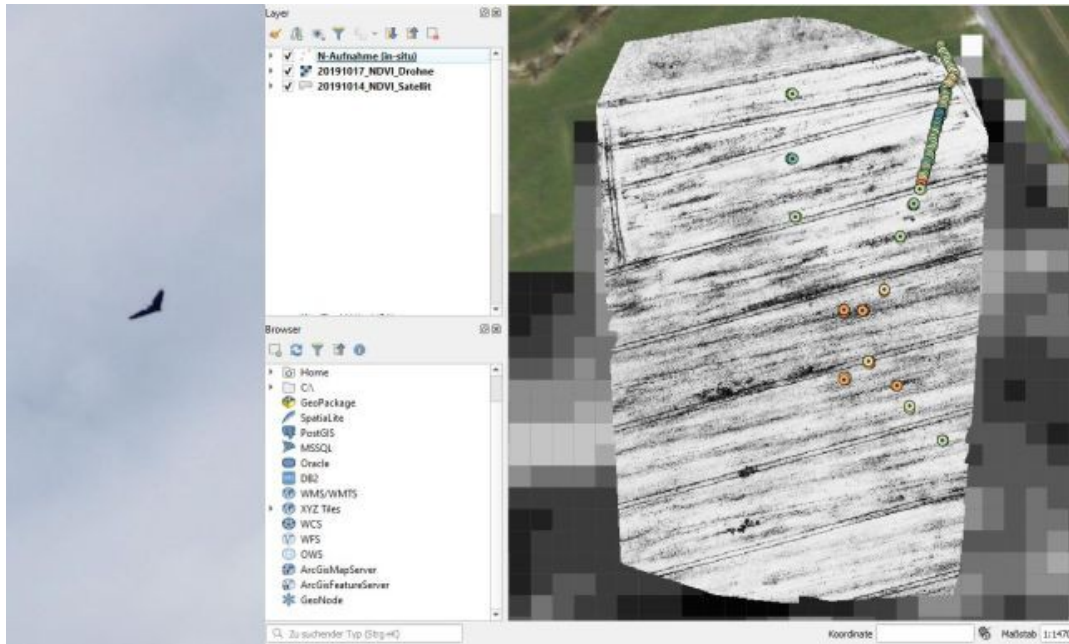


Abbildung 15: Links unsere Parrot Disco Pro-AG bei der Luftbildaufnahme im Winterraps, rechts die abgeleiteten NDVI-Werte sowie die NDVI Karte aus Sentinel-2 Daten und die Punkte der „in situ Daten“

2.1.1 wöchentliche Befliegung auf zwei Versuchsflächen April-Juni WW, Oktober/November Raps.

Gemäß dem Projektplan wurden zum einen im Herbst 2019 regelmäßige Befliegungen im Raps (siehe vorige Abbildung) sowie parallel zu den Messungen mit den Feldsensorstationen durchgeführt. Von Beginn bis zum Ende der Messungen der Feldsensorstation wurden parallel Befliegungen mit der Drohne vorgenommen.



Abbildung 16: Drohne vor dem Start

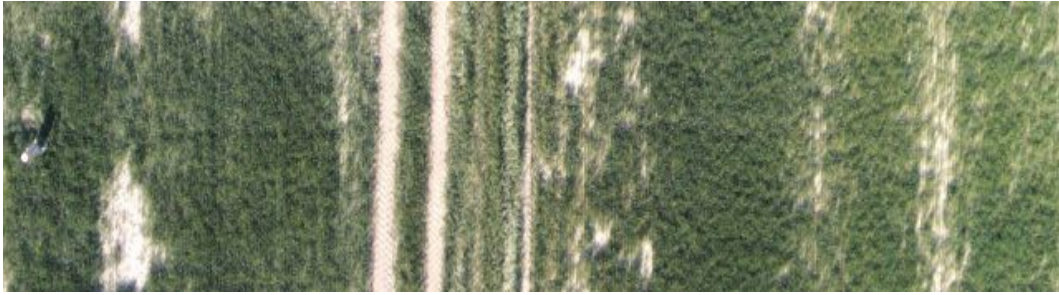


Abbildung 17: Ausschnitt eines Farbbilds vom Bord der Drohne aufgenommen aus 50m Höhe, links im Bild die Feldsensorstation.

2.1.2 Orthophotoerstellung verschiedener Pflanzenindizes.

Die zur Auswertung vorgesehenen multispektralen Drohnenbilder wurden entzerrt (Orthophotoerstellung mit der Software PiX4DMapper) und die benötigten Pflanzenindizes berechnet (NDRE mit QGIS -> $(\text{NIR} - \text{RedEdge}) / (\text{NIR} + \text{RedEdge})$).

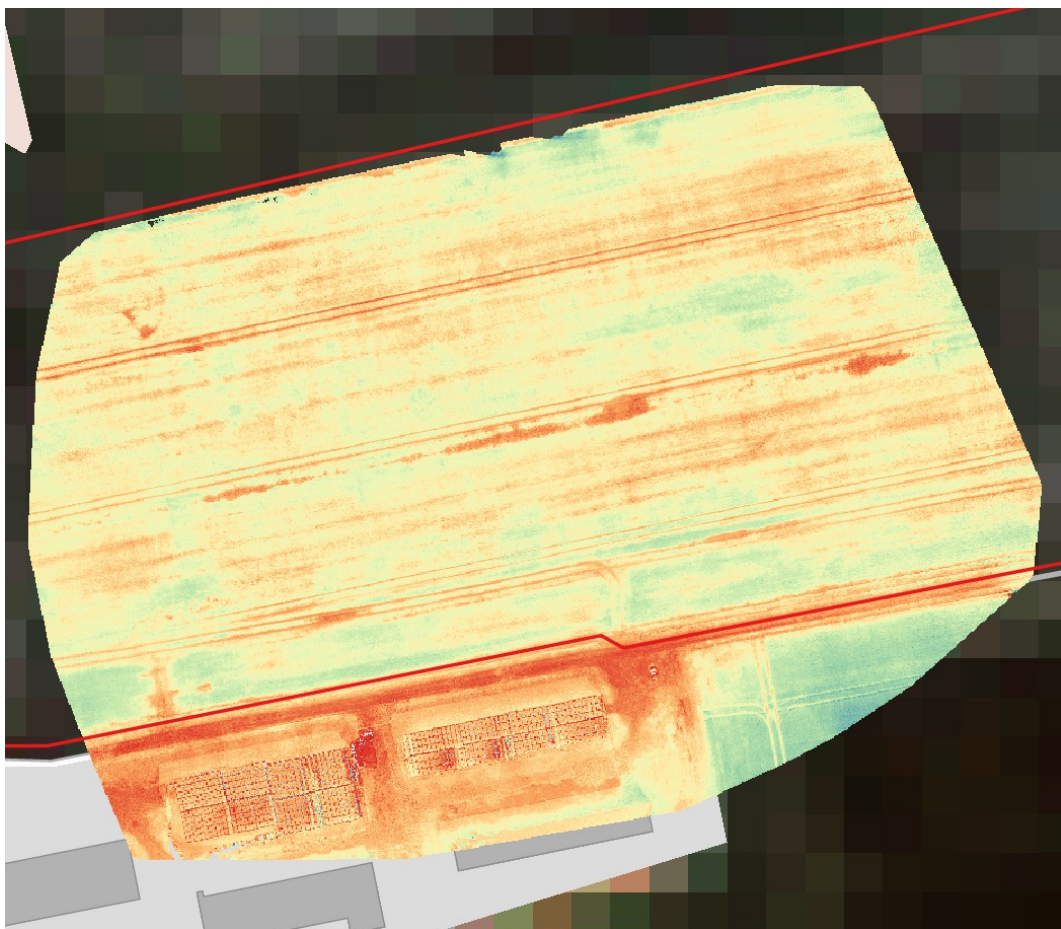


Abbildung 18: NDRE Index aus Drohnenbefliegung vom 05.06.2020

2.2.1 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Werten der Feldsensorstationen.

Aus den Pflanzenindizes NDVI (Drohne/Satellit) konnten im Herbstbestand Raps sowie in frühen Winterweizenbeständen zuverlässig flächig die N-Aufnahme abgeleitet werden. Für weiter entwickelte Winterweizenbestände waren die nutzbaren Indizes der NDRE (Drohne) sowie S2REP (Sentinel-2).

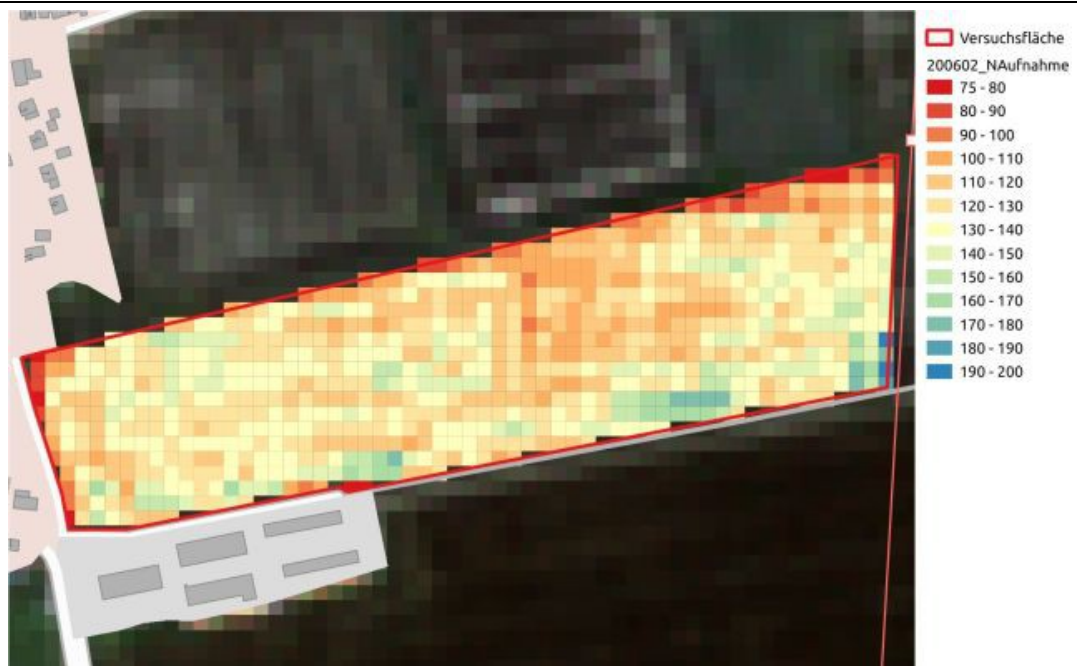


Abbildung 19: Aus Sentinel-2 Daten berechnete N-Aufnahmekarte

2.2.2 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Daten der jeweiligen Online Sensoren.

Da bei den Praxispartnern im Winterraps im Herbst keine Online Sensoren mehr eingesetzt werden, wurden andere uns zugängliche Daten genutzt. Dabei wurden aus Sentinel-2 Daten abgeleitete N-Aufnahmekarten mit YARA N-Sensordaten verglichen. Dabei zeigte sich das es keine signifikanten Differenzen in der N-Aufnahme zwischen den beiden Verfahren gab, allein die räumliche Auflösung der Satellitendaten ist besser (auf 36 m Fahrgassenbreite ein N-Sensor Wert gegen 3,6 Werte aus Sentinel-2 Daten).



Abbildung 20: YARA N-Sensordaten und aus Satellitendaten abgeleitete N-Aufnahmekarten

Arbeitspaket 3 Erstellung eines Softwarepakets "N-Düngungsberatungssystem" (iterierend, es werden laufend neue Projektergebnisse integriert und das System angepasst)

3.1 Infrastruktur Kommunikationssystem.

Zur Kommunikation mit den Feldsensorstationen und dem Büro wurde ein System auf der Basis von LTE genutzt. Die Nutzung des 5G Netzes bzw. der LoRaWAN Technologie wurde final vorbereitet, kann aber aktuell nicht angewandt werden da diese Netze bei unseren Praxispartnern noch nicht praktisch zur Verfügung stehen.

3.2 System Datenhaltung/Datenauswertung

Die eingesetzte PostgreSQL/PostGIS Datenbank wurde praktisch in der Projektarbeit eingesetzt, die Datenstruktur nochmals angepasst. Der Zugriffsfunktionen des User Interface des Düngungsberatungssystems auf die Datenbank wurden programmiert. Die automatisierte Übertragung der Daten von der Feldsensorstation zum eigentlichen Düngungsberatungssystem wurde programmiert und ist in der Testphase.

3.3 Flexible Integration der entstandenen Algorithmen in das Softwarepaketsystem Datenhaltung/Datenauswertung

Dazu wurden verschiedene Möglichkeiten evaluiert, aktuell wird das QGIS Feature Modelle für die Integration verwandt.

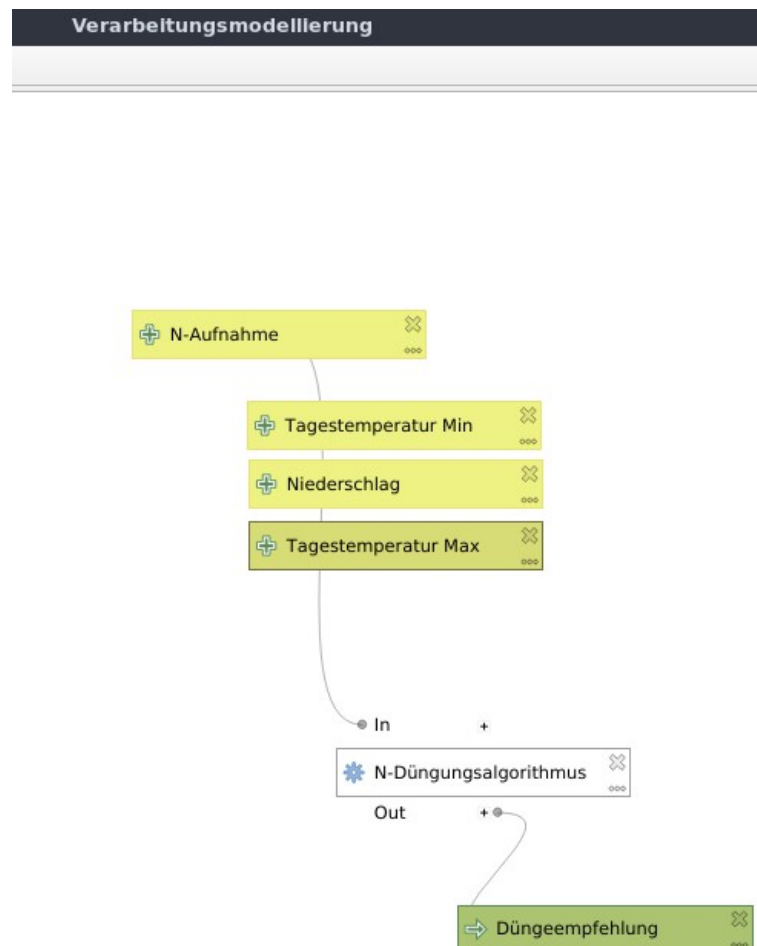


Abbildung 21: Flexible Integration der Düngemodelle via QGIS Modelle

3.4 User Interface Düngemittelberatungssystem

Als Basissystem für das User Interface Düngemittelberatungssystem wurde QGIS 3.x in der LTS Version ausgewählt. Die Software wurde als Plugin konzipiert und kann daher problemlos auch auf andere Rechner transferiert werden. Programmiersprache ist Python, die genutzte Grafikbibliothek ist QT.

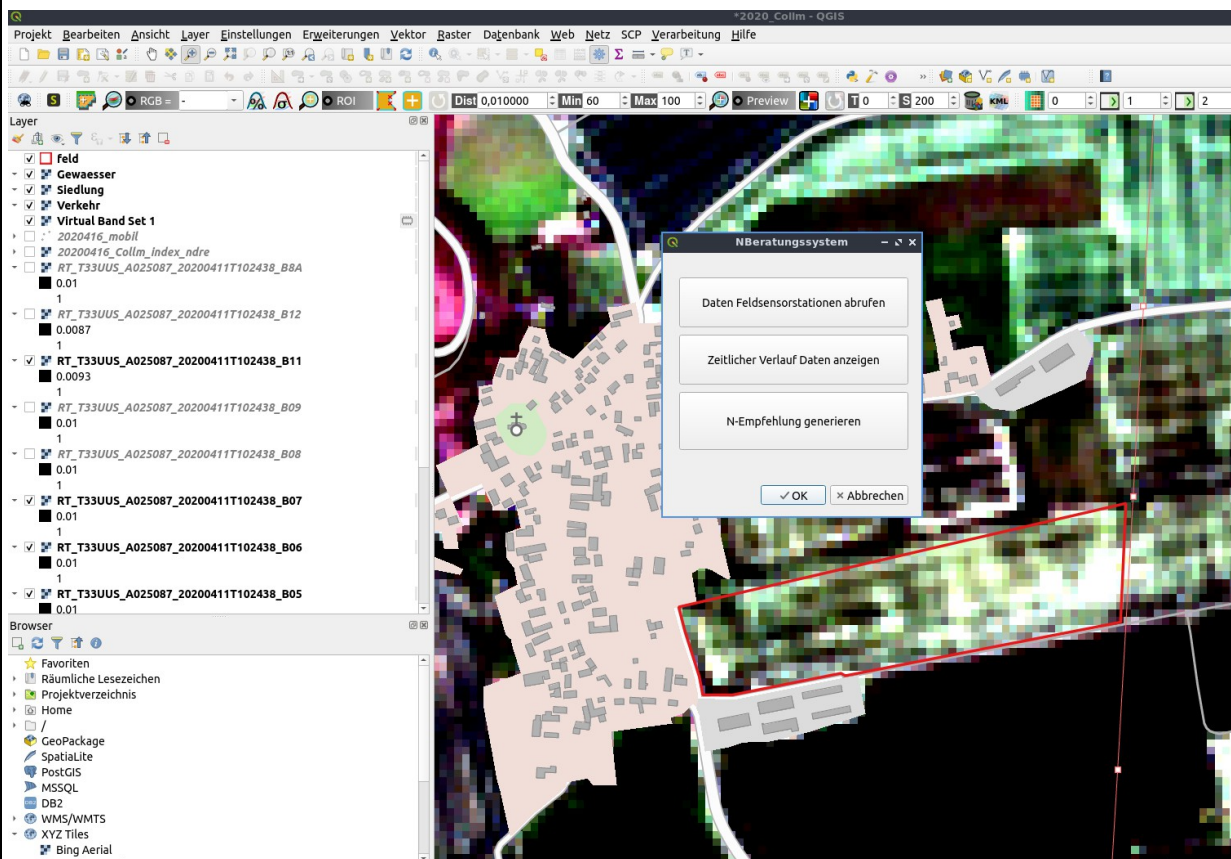


Abbildung 22: Einstiegsdialog User Interface Düngemittelberatungssystem

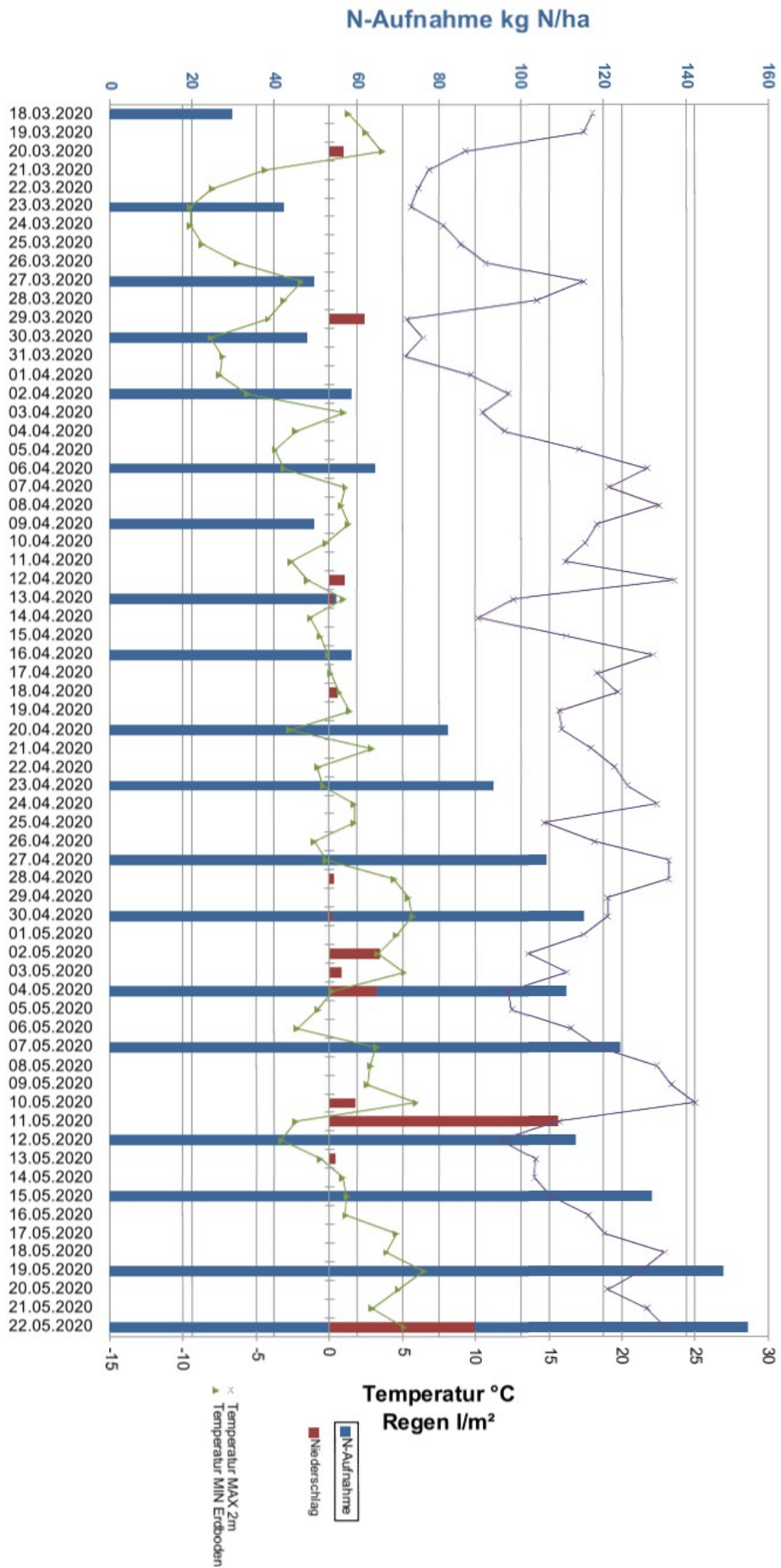


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der aufgezeichneten Werte

Arbeitspaket 1 Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation)**1.2 Betrieb von minimal zwei Feldsensorstationen.**

Im Jahr 2020 wurde vom September bis zum Dezember Messungen mit der mobilen Feldsensorstation durchgeführt. Ab Ende März bis Ende Juni 2021 werden sind zwei stationäre Feldsensorstationen im Meßbetrieb. Zwei stationäre Feldsensorstationen wurden auf eine autarke Stromversorgung mit Solarpanels umgestellt.

Mit der mobilen Feldsensorstation wurden von Anfang April bis Ende Mai alle 3-4 Tagen Aufnahmemessungen an sieben Monitoringpunkten durchgeführt (6x Winterweizen, 1x Wintergerste).



Abbildung 24: Feldsensorstation mit Solarpanel



Abbildung 25: Mobile Feldsensorstation Herbst 2020 im Winterrap

1.3 Ableitung von Algorithmen für eine Düngeempfehlung auf der Basis der Daten der Feldsensorstation (N-Aufnahme/Bodentemperatur/Bodenfeuchte/Niederschlag/Temperatur).

Auf der Basis der gemessenen Daten sowie den Restriktionen der DüV wurden Düngeempfehlungen ausgesprochen und den Praxisbetrieben mitgeteilt. Diese wurden mit den Partnern besprochen und auch so umgesetzt.

Die folgende Grafik zeigt im zeitlichen Verlauf die N-Aufnahme eines beobachteten Winterweizenbestandes [kg N/ha] in 2021, den Niederschlag [l/m^2] und die Temperaturen der Luft im 2m Höhe als Max, in 2 cm d.h. im Pflanzenbestand als Min und die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe als Durchschnitt des jeweiligen Tages [°C].

Erfasster Bestand:

- Sorte Etana, ein A-Weizen, Ertragserwartung 7,5 t/ha
- Vorfrucht Zuckerrüben
- Saattermin normal, Anfang Oktober
- Nmin 0-90cm 45 kg N/ha

Düngung:

- 08.03.2021: N1a EC29/30, Vegetationsb. 29 kg N/ha NPK 12/12/12
- 10.03.2021: N1b EC29/30 39 kg N/ha Piamon
- 11.04.2021: N2 EC30/31 58 kg N/ha Piamon
- 05.05.2021: N3 EC 37 55 kg N/ha Piamon
- Gesamt = max. Empfehlung DüV 181 kg N/ha

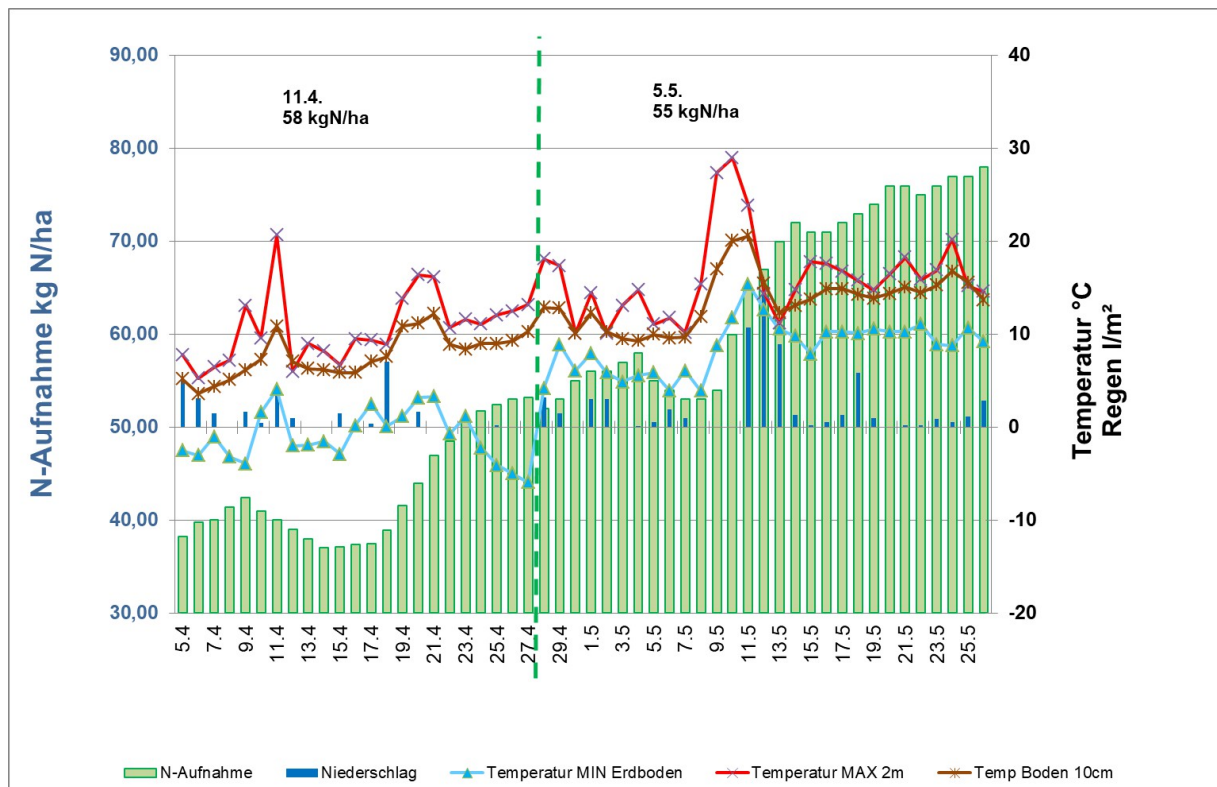


Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der N-Aufnahme eines Winterweizenbestandes im Jahr 2021 [kg N/ha], den Niederschlag [l/m^2] und die Temperaturen der Luft im 2m Höhe als Max, in 2 cm d.h. im Pflanzenbestand als Min und die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe als Durchschnitt des jeweiligen Tages [°C].

Hier ein Rückblick auf die N-Düngungssaison 2021, diese Kommunikation wurde mit den OG Teilnehmern geführt:

Gestartet wurde die Erfassung der Bestände Anfang April 2021, es hatte sich ja noch nicht viel auf den Feldern getan.

Bisher war im April fast jeden Tag Frost in Bodennähe, bis runter auf -7°C. Zum Glück zeigt der Etana eine ausgezeichnete Winterhärte, sodass hier keine Schäden zu befürchten waren. Bis auf ein paar

„warme“ Tage mit über 15°C war es tagsüber ebenfalls recht kühl, so dass die nötigen Niederschläge nicht gleich wieder verdunsteten.

Spannend war nun der Verlauf der N-Aufnahme (grüne Balken), ausgehend vom warmen März lag die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe anfangs, trotz Frost in Bodennähe, über 5°C und die N-Aufnahme läuft parallel hoch bis zum ersten Spitzenwert der Tagestemperatur von 20,7°C. die beiden N1 Gaben (68 kg N/ha) wirken und bringen das Wachstum in Schwung.

Ab dem 9.4. stagniert die N-Aufnahme trotz etwas günstigerer Wachstumsbedingungen (Niederschlag, Bodentemperatur), die ersten zeitige N-Gaben sind aufgebraucht, der Boden liefert wenig nach und eine Anschlussdüngung wurde von uns empfohlen, welche am 11.4. (58 kg N/ha) auch erfolgte.

Nun setzte eine sehr kalte Periode ab 17./18.4. ein, das Wachstum stoppt, die Mineralisierung und N-Bereitstellung aus dem Boden stockt und damit geht der N-Aufnahmewert sogar etwas rückwärts. Die Bestände zeichnen sich, zeigten Verfärbungen bis hin zu Lila und hatten mit den Bedingungen arg zu kämpfen.

Mit dem 18./19.4. kam dann etwas Erwärmung, Tages- und Bodentemperaturen stiegen und es gab keine Nachtfröste mehr. Sofort, wir haben ja schon lange Langtag, setzte das Wachstum ein, die Schossphase begann und die N-Aufnahme stieg.

Ab dem 25./26.4. verlangsamte sich dieser Prozess wieder, die letzten Nachtfröste kühlen das Wachstum im wahrsten Sinne des Wortes ab.

Nach dem 28.4.2021 ist endlich kein Frost mehr am Boden. Die Tagestemperaturen bleiben mit 10-15°C recht kühl, auch im Boden geht es nicht über 10°C hinaus. Immer mal etwas Niederschlag sorgt für ausreichende Bodenfeuchte.

Was macht der Verlauf der N-Aufnahme? Sie stagniert bis zum 9. Mai bei nur 55 kg N/ha! Die Messwerte gehen sogar leicht zurück, was an den jüngsten, sich neu bildenden hellgrünen Blättern liegt, die von der Sensorik im Durchschnitt mit erfasst werden. Pflanzenanalytisch wäre kein Rückgang der N-Aufnahme zu verzeichnen, in diesem Stadium geht der einmal aufgenommenen N nicht wieder verloren.

Am 4.5. erfolgte unsere Empfehlung für eine N3 Gabe, diese wurde am 05.05. mit 55 kg N/ha ausgebracht. Das agronomische Ziel war, die stagnierende Entwicklung anzukurbeln und das weitere Wachstum zu fördern. Mit der 3. Gabe wurde die N-Düngung abgeschlossen, da die Maximalempfehlung der DüV erreicht wurde.

Der 9.5., 10.5. und 11.5. sind die drei einzigen Maitage mit Temperaturen über 20°C und damit verbunden auch steigende Bodentemperaturen. Feuchter, warmer Boden und hohe Temperaturen führen zu dem erhofften Wachstumsschub. Düngung und Boden liefern jetzt den dafür benötigten Stickstoff nach.

Dann kommt das nächste, kalte, nasse Tief und die Entwicklung geht nur noch zögerlich voran. Nachts um 10°C, am Tage nicht mehr als 15-17°C, wenig Sonne, viele Wolken, wer will da als Weizen schon wachsen. Mühsam erreicht der Bestand Ende Mai seine jetzige N-Aufnahme.

1.4 Abschätzung und Testung der notwendigen Sensordichte in einem Betrieb/einer Region.

Im Jahr 2021 hatten wir bis zu 4 Sensoren im Dauereinsatz, davon wurde ein Sensor mobil betrieben. Dadurch standen pro Termin insgesamt bis zu 10 Messungen parallel zur Verfügung. Die Datenverarbeitung dieser Messungen wurde abgeschlossen, die Endauswertung ist bis zum Projektende vorgesehen.

1.5 Validierung der Algorithmen durch „On Field Research“ (OFR)

Im Jahr 2020 sowie 2021 wurden insgesamt acht OFR Versuche zur Anpassung und Bewertung von Algorithmen zur differenzierten Düngung im Winterraps angelegt und die Versuchsdurchführung betreut. Ein Test der Algorithmen der angepassten Düngung war leider nicht möglich, die Praxisbetriebe führen seit Jahren ein N-Monitoring mit dem YARA N-Tester durch und setzten es betriebsweit ein, daher war kein signifikanter Unterschied zwischen unserer Empfehlung und der betriebsüblichen Variante N-Monitoring zu erwarten. So wurden die geplanten Aufwände komplett in Versuche zur differenzierten Düngung investiert.

Als Basis für die differenzierte Düngung wurden N-Aufnahmekarten abgeleitet aus Sentinel-2 Daten genutzt. Da diese zu Projektbeginn noch nicht zur Verfügung standen, wurden Drohnenflüge geplant und auch wie geplant durchgeführt. Die Nutzung von Satellitendaten erwies sich jedoch als praktikabler, die im Gegensatz zu den Drohnenbildern schlechtere räumliche Auflösung von 10m ist für die N-Düngung völlig ausreichend! Im Gegenteil, die hohe Auflösung der Drohnenbilder (4-5 cm) musste zu einer praktikablen Auflösung/Datenmenge in der Bildverarbeitung von 1m heruntergerechnet werden.

Von den Versuchen waren vier auswertbar, bei den anderen gab es Unregelmäßigkeiten beim Mähdrechereinsatz (Erfassungssprünge durch fehlerhafte Kalibrierung bzw. mehrtägige Pause bei der Ernte der Versuchsschläge).

Die Auswertung von Einzelfeldversuchen basierte auf den erfassten georeferenzierten Daten. Diese stellen besondere Anforderungen an statistische Analysemethoden und geoinformatischer Datenaufarbeitung. Ziel der Versuche ist es, den experimentellen Faktor, der auf Parzellen eines Feldes angewendet wurde, hinsichtlich seines Einflusses auf den Ertrag zu analysieren, wobei räumlich variierende Umwelt- und Bewirtschaftungseinflüsse als Störgrößen zu berücksichtigen sind. Eine Herausforderung ist dabei der Umgang mit räumlichen Abhängigkeiten der Daten, welche die sonst üblichen Annahmen unabhängiger Modellresiduen verletzt. Wichtige Störgrößen bzw. Erklärende waren Bodenqualität, Relief und Reliefparameter, Nährstoffversorgung u.a. Nach Aufbereitung der Geo-Daten in GIS Systemen (QGIS) wurden dieses im Programmpaket PiG-Stat weiter verarbeitet, statistisch modelliert und die Ergebnisse dargestellt.

Folgende Schritte waren dabei abzuarbeiten:

- Datenaufbereitung:
- Einlesen von Praxisversuchsdaten im Shapefile-, DBF- oder CSV-Format
- Aggregation der Rohdaten auf eine gewünschte räumliche Dichte (8-10m)
- Berechnung DGM aus Ertragskartierung
- Ableitung von landwirtschaftlich relevanten Reliefparametern

Statistische Analyse:

- Anpassung eines linearen Modells mit Restringerter Maximum Likelihood
- Zufällige Effekte auf den Intercept
- Modellierung der Autokorrelation der Residuen
- Schrittweise Variablenauswahl für feste Effekte (Störgrößen)
- Statistische Hypothesentests bzgl. der Faktoren (F- bzw. LR-Test)

Im Jahr 2019/2020 wurden ein Algorithmus getestet, bei dem abhängig von der teilflächenspezifischen N-Aufnahme der Rapspflanze im Spätherbst die Gesamtdüngemenge festlegt. Bei N-Aufnahmen kleiner 55 kg N/ha wird der BESyD Wert übernommen, bei Werten über 150 kg N/ha der BESyD Wert - 90 kg. Bei Werten dazwischen wird die N-Aufnahme mit 92% vom BESyD Wert abgezogen.

Gedüngt im ersten Versuch mit einer stabilisierten Einmalgabe wurden betriebsüblich 133 kg N/ha, variabel (vgSatellit) lediglich 84,7 kg N/ha. Geerntet wurden 28,0 dt/ha.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	28,678	0,653	503	43,906	0,0000
vgSatellit	-1,027	0,482	503	-2,132	0,0335

Abbildung 27: Versuchsauswertung 2020 Schlag 1, die Vergleichsvariante war hier die betriebsübliche konstante Variante, in der variablen Variante (vgSatellit) wurde signifikant 1,027 dt/ha mehr geerntet.

Im zweiten Versuch wurde mit einer konstanten ersten Gabe von 50 kg N/ha und einer durchschnittlichen zweiten Gabe betriebsüblich 99 kg N/ha, variabel (vgSatellit) 67,7 kg N/ha. Geerntet wurden 49,9 dt/ha.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	51,605	2,04706	934	25,2091	0,0000
vgSatellit	-3,464	0,53986	934	-6,4171	0,0000

Abbildung 28: : Versuchsauswertung 2020 Schlag 2, die Vergleichsvariante war hier die betriebsübliche konstante Variante, in der variablen Variante (vgSatellit) wurde signifikant 3,464 dt/ha mehr geerntet.

Nach den nicht zufriedenstellenden Ergebnissen mit teilflächenspezifischen Verfahren im Vorjahr wurden 2020/2021 die Versuche um eine variable teilflächenspezifische Düngung mit einer Variante erweitert (unser EXAgT Standardverfahren), bei der von Beständen mit einer N-Aufnahme größer 50 kg

N/ha im Spätherbst von den höheren N-Aufnahmen 70% vom BESyD Wert im Frühjahr abgezogen werden. Als vgvariabel_Variante_2 ist das Verfahren vom Vorjahr neben einer konstanten Betriebsvariante vgBetrieb mit untersucht worden.

Auf beiden Schlägen zeigte sich im Spätherbst 2020 eine sehr gute Herbstentwicklung, durchschnittlich wurden N-Aufnahmen von 86 bzw. 114 kg N/ha mittels Satellitenbildern abgeglichen mit Referenzmessungen am Boden gemessen.

Gedüngt wurde in zwei Gaben, die erste mit Piamon differenziert in den Prüfgliedern, die zweite in allen Prüfgliedern konstant mit KAS und 50 kg N/ha. Die realen Düngemengen lagen im Durchschnitt zwischen 70 und 75 kg N/ha für die erste Gabe in allen Prüfgliedern auf beiden Schlägen.

Im Durchschnitt wurden auf beiden Schlägen 42,2 bzw. 42,8 dt/ha mit 41,7 bzw. 41,8% Ölgehalt gedroschen.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	42,786	1,40612	1034	30,4283	0,0000
vgBetrieb	-1,484	0,65590	1034	-2,2618	0,0239
vgvariabel_Variante_2	-1,448	0,72159	1034	-2,0067	0,0450

Abbildung 29: Versuchsauswertung 2021 Schlag 1, die Vergleichsvariante (Intercept) war unser Verfahren, in der Betriebsvariante wurden signifikant 1,484 dt/ha weniger geerntet. Auch die Variante vom Vorjahr schnitt signifikant schlechter ab.

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	43,502	0,73033	1960	59,565	0,0000
vgBetrieb	-1,765	0,54531	1960	-3,237	0,0012
vgvariabel_Variante_2	0,018	0,53316	1960	0,034	0,9725

Abbildung 30: Versuchsauswertung 2021 Schlag 2, die Vergleichsvariante (Intercept) war unser Verfahren, hier lag der Ertrag der Betriebsvariante signifikant 1,765 dt/ha darunter. Das schlechtere Abschneiden der Vorjahresvariante war nicht signifikant.

Arbeitspaket 2 Differenzierte N-Düngung (Basis Drohne mit Multispektralsensor)

2.1.1 wöchentliche Befliegung auf zwei Versuchsfeldern April-Juni WW, Oktober/November Raps.

Im Herbst 2020 regelmäßige Befliegungen im Raps durchgeführt. Von Beginn bis zum Ende der Messungen der Feldsensorstation wurden parallel Messungen mit der Drohne vorgenommen.

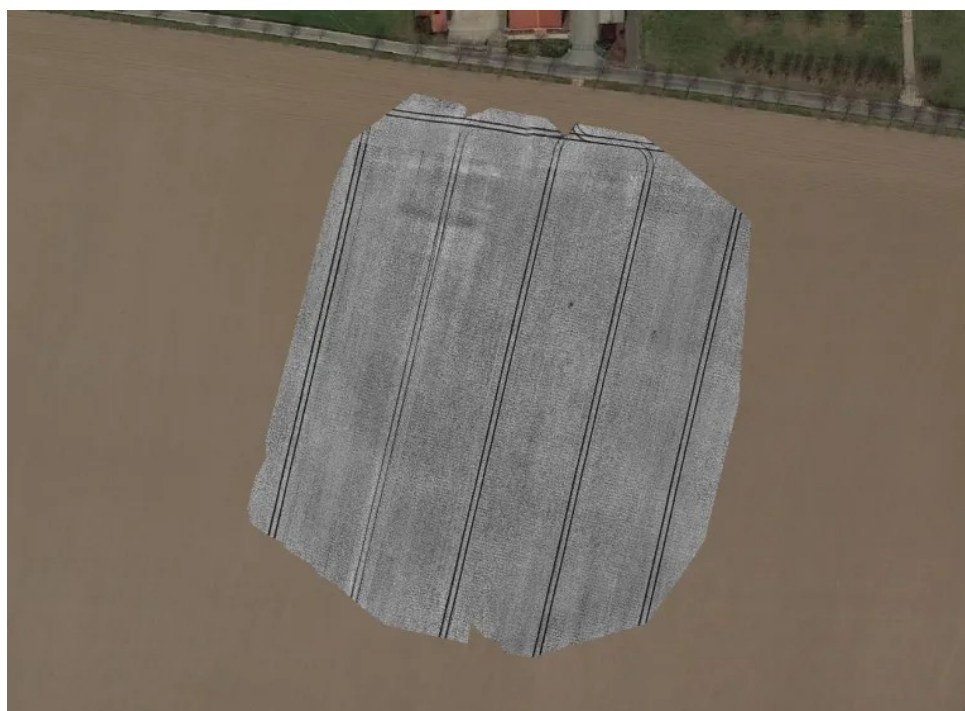


Abbildung 31: Orthophoto Multispektralkamera NIR 840 nm

2.1.2 Orthophotoerstellung verschiedener Pflanzenindizes.

Aus den multispektralen Drohnenbildern wurden Orthophotos erstellt (Software PIX4DMapper) und die benötigten Pflanzenindizes berechnet (NDRE mit QGIS -> (NIR - RedEdge)/NIR + RedEdge).

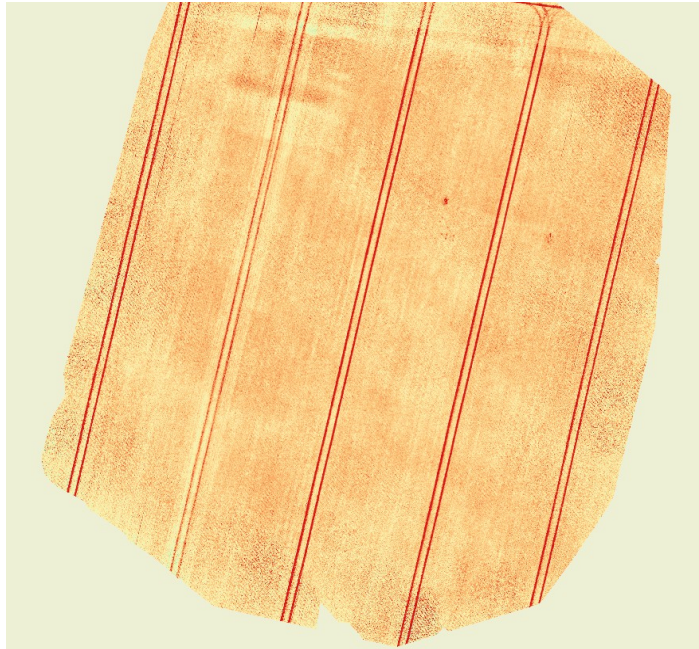


Abbildung 32: NDRE Index aus Drohnenbefliegung vom 20.04.2021

2.2.1 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Werten der Feldsensorstationen.

Aus den Pflanzenindizes NDVI (Drohne/Satellit) konnten im Herbstbestand Raps sowie in frühen Winterweizenbeständen zuverlässig flächig die N-Aufnahme abgeleitet werden (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,89683$). Für weiter entwickelte Winterweizenbestände waren die nutzbaren Indizes der NDRE (Drohne, siehe Abbildung 36) sowie S2REP (Sentinel-2).

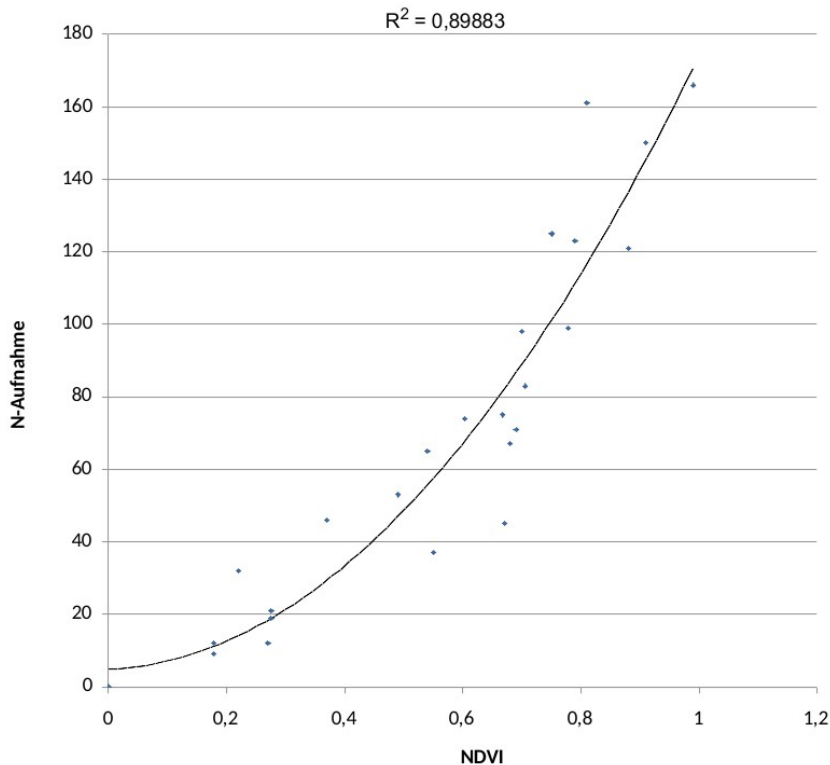


Abbildung 33: Ableitung der N-Aufnahme im Raps (kg N/ha) aus dem NDVI-Index (Sentinel-2)

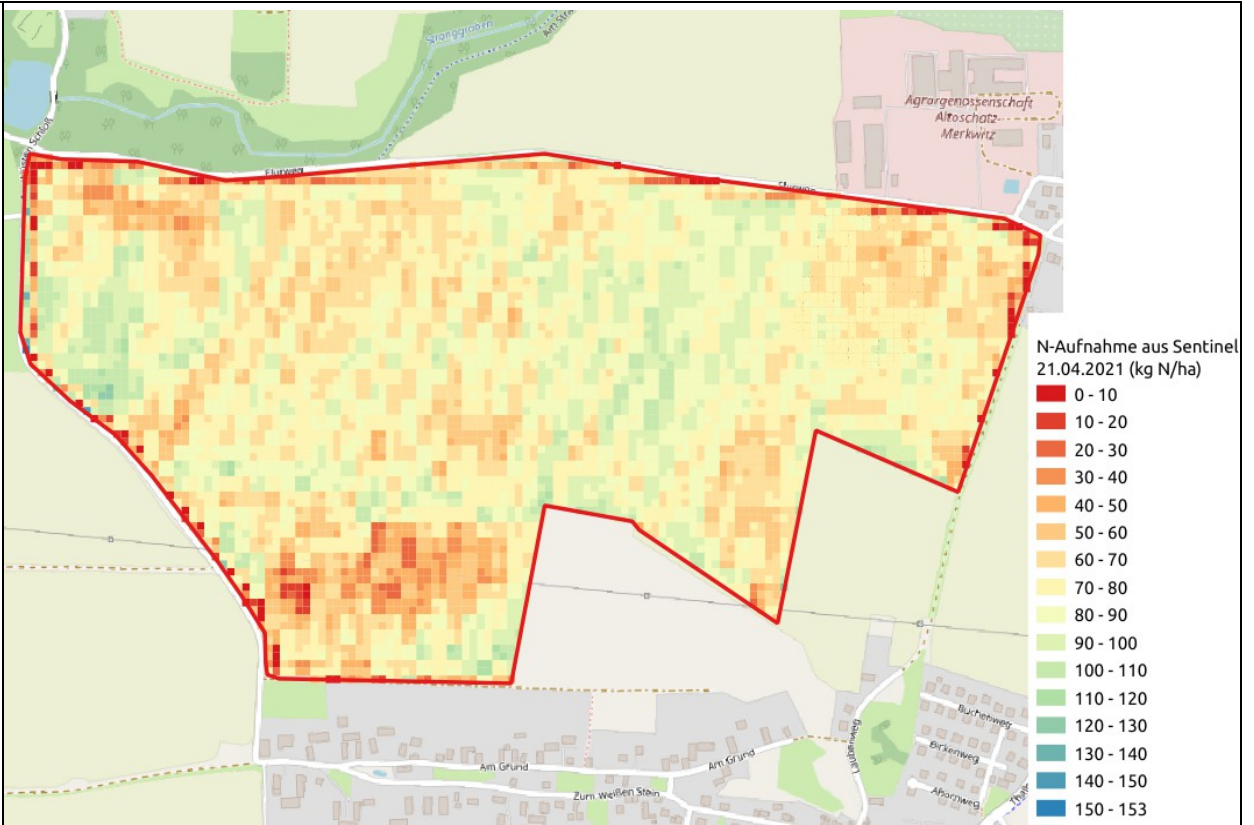


Abbildung 34: Aus Sentinel-2 Daten berechnete N-Aufnahmekarte

2.2.2 Korrelation verschiedener Pflanzenindizes abgeleitet aus den Bildern der Multispektralkamera mit den Daten der jeweiligen Online Sensoren.

Schwerpunkt in der letzten Projektphase war die Korrelation verschiedener Pflanzenindizes mit den Bildern der Multispektralkamera der Drohne. Dabei wurde die mobile Sensorstation genutzt.

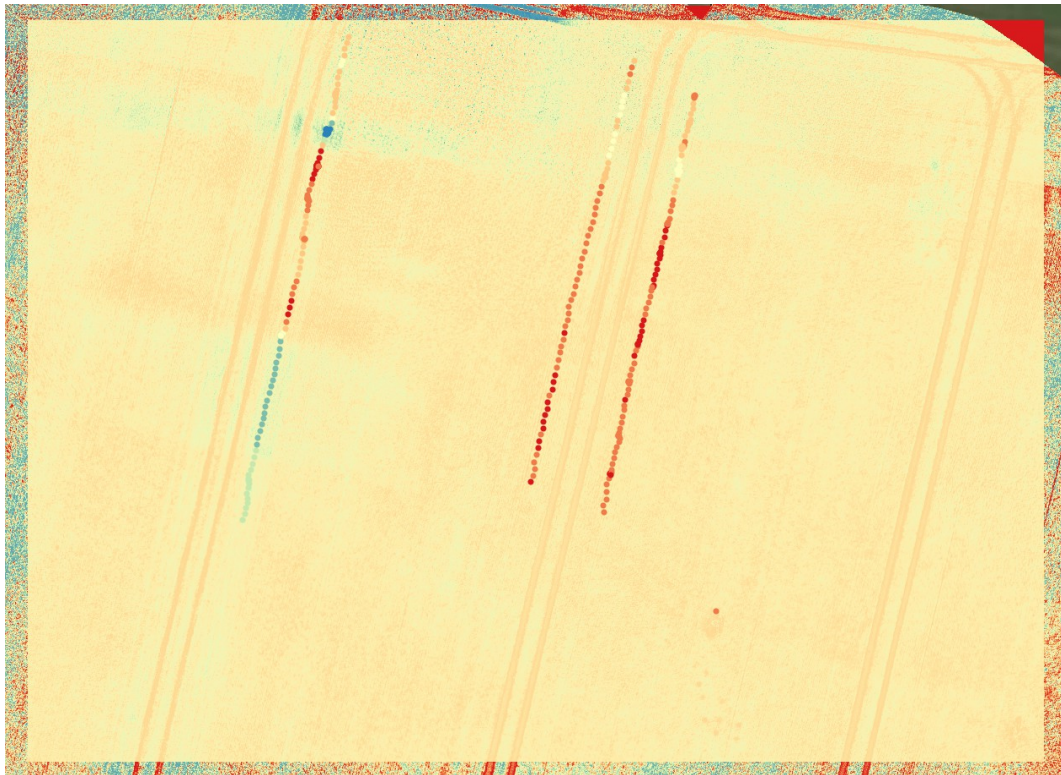


Abbildung 35: Referenzmessungen der N-Aufnahme am Boden (Hintergrund NDRE, Punkte N-Sensormessung)

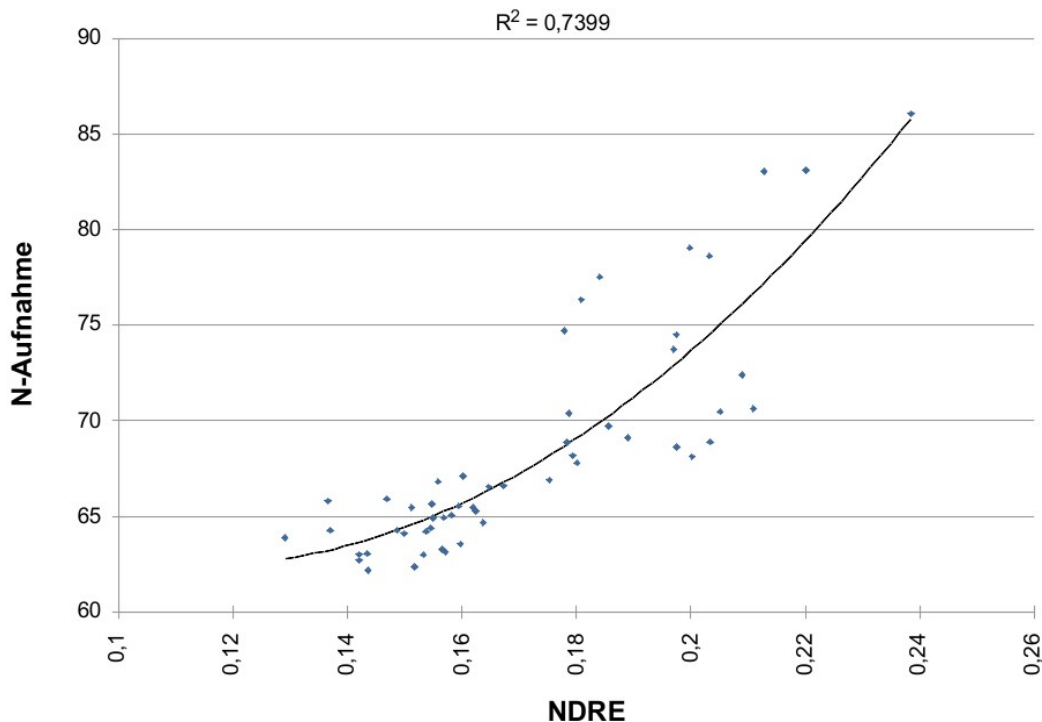


Abbildung 36: Ableitung der N-Aufnahme Winterweizen (kg N/ha) aus dem NDRE-Index aus Drohnenbildern (siehe Abbildung 35)

Die Größe des Bestimmtheitsmaßes von $R^2 = 0,7399$ zeigt sehr gute Eignung des NDRE zur Bestimmung der N-Aufnahme.

Stand November 2021

Arbeitspaket 1 Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation)

1.2 Betrieb von minimal zwei Feldsensorstationen.

Bis Ende Juni 2021 waren zwei stationäre Feldsensorstationen im Meßbetrieb.

1.3 Ableitung von Algorithmen für eine Düngeempfehlung auf der Basis der Daten der Feldsensorstation (N-Aufnahme/Bodentemperatur/Bodenfeuchte/Niederschlag/Temperatur).

Die Düngeregeln wurden mittels einer Entscheidungsmatrix in mehreren Tabellen festgelegt. Dabei werden zum einen die Eingangsgrößen bewertet.

Erfasste Messwerte:

- N-Aufnahme
- Niederschlagsmenge täglich
- Temperatur Max 2m täglich
- Temperatur min Erdboden
- Durchschnittstemperatur -10 cm Erdboden täglich

Aktuell genutzte Werte:

- N-Aufnahme täglicher Durchschnitt 2x 10 Minuten
- Temperatur Erdboden
- Niederschlagsmenge für 4 Wochen

Bewertung:

- diffN: negativ wenn N-Aufnahme zwei Tage sinkt sonst positiv
- Temperatur hoch ab 15°C, mittel ab 8°C, unter 8°C niedrig
- genug Wasser: Summe Niederschlagsmenge letzten 4 Wochen > 20mm

Entscheidungsmatrix:

diffN	Temperatur	genugWasser	duengen
positiv	hoch	ja	nein
positiv	mittel	ja	nein
positiv	niedrig	ja	nein
positiv	hoch	nein	nein
positiv	mittel	nein	nein
positiv	niedrig	nein	nein
negativ	hoch	ja	ja
negativ	mittel	ja	ja
negativ	niedrig	ja	ja
negativ	hoch	nein	nein
negativ	mittel	nein	nein
negativ	niedrig	nein	nein

Die absolute Höhe der jeweiligen Düngung wird durch BESyD festgelegt. Die Differenzierung in der Fläche erfolgt via N-Aufnahmekarten, dabei werden je nach Düngestrategie (Normal oder Qualität) die Abweichungen der N-Aufnahme der Teilfläche vom Durchschnitt von der absoluten Höhe abgezogen (Normal) oder dazu addiert (Qualität).

1.4 Abschätzung und Testung der notwendigen Sensordichte in einem Betrieb/einer Region.

Das klassische N-Monitoring Verfahren sieht einen Messpunkt pro Schlag bzw. Schlagkomplex (benachbarte Felder mit gleicher Bewirtschaftung/gleicher Fruchtart und Sorte) vor. Im Projekt stand die Frage, ob diese Anzahl reduziert werden kann. Unsere Messungen im Projekt haben ergeben, dass dies leider nicht möglich ist. In folgender Grafik sind die Messungen der mobilen Sensorstation 2021 im Winterweizen abgebildet. Außer auf dem Schlag Biogas MVA mit zwei Messpunkten bei zwei unterschiedlichen Sorten bei sonst gleichen Daten sind keine systematischen Ähnlichkeiten der N-Aufnahme erkennbar.

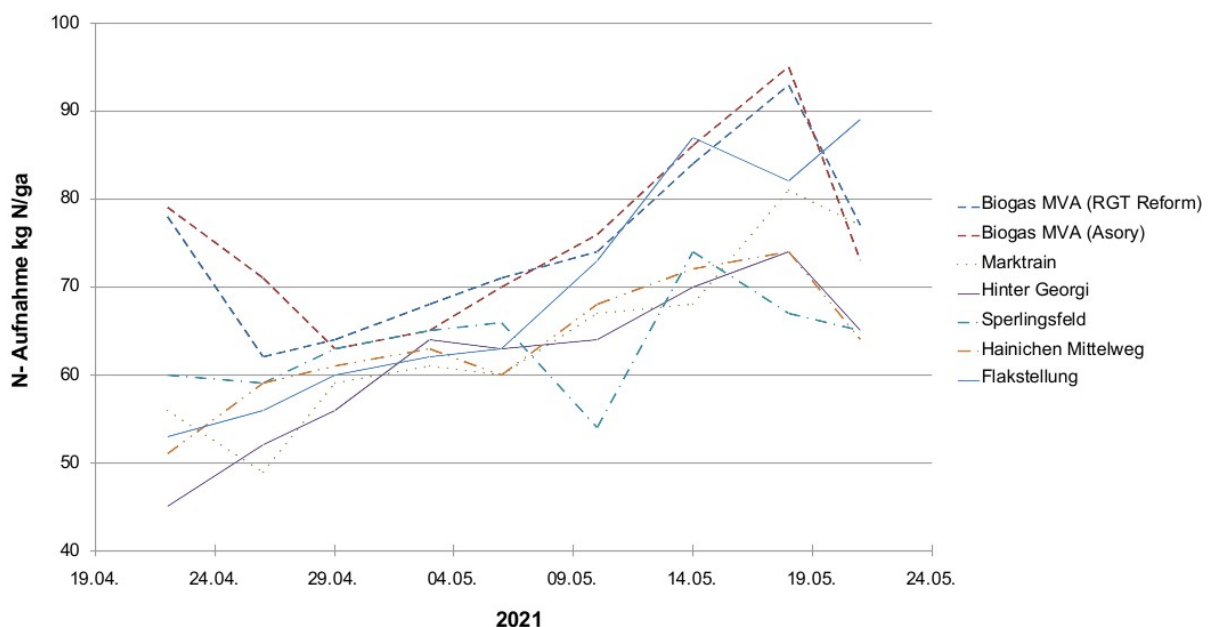


Abbildung 37: Regelmäßige Messungen der N-Aufnahme im Winterweizen mit der mobilen Feldsensorstation 2021 an sieben Monitoringpunkten zweimal pro Woche.

Arbeitspaket 3 Erstellung eines Softwarepakets "N-Düngungsberatungssystem" (iterierend, es werden laufend neue Projektergebnisse integriert und das System angepasst)

Die im Projekt entwickelte Software ist unter <https://github.com/exagt/N-Duengeberatungssystem> frei verfügbar.

Für das Projekt wurde eine iterative Softwareentwicklung geplant, laufende Erkenntnisse flossen in die Programmierung ein. So erfolgte während der Projektlaufzeit ein radikaler Wechsel von einem System mit einer Feldsensorstation und einem auf einem anderen Rechner laufenden Düngemittelberatungssystem mit einem eigenen User Interface zu einer Lösung mit einem einzigen Rechner der in der Feldsensorstation. Dies reduzierte die Komplexität enorm, ohne dass es Abstriche am Nutzen der Lösung gab. Der YARA N-Sensor in der Feldsensorstation benötigt einen Computer (hier ein robuster Laptop mit Windows), nutzt aber dessen Rechenkapazitäten nicht annähernd aus, daher konnten die Algorithmen der N-Düngemittelberatung mit integriert werden. Auf ein klassisches User Interface wurde verzichtet, Nachrichten werden in konfigurierbaren Zeitabständen (ein- bis zweimal täglich) an den/die Nutzer versandt, dies wurde von diesen positiv aufgenommen im Gegensatz zu einer Lösung, bei der sie aktiv auf ein Portal zugreifen müssen. Die Konfiguration und Wartung des Systems erfolgt mittels einer Fernzugriffsoftware (Anydesk). Vorteil dieser Lösung ist, dass sie im Internet relativ gefahrlos betrieben werden kann da potenzielle Schwachstellen wie ein selbstprogrammiertes User Interface entfallen.

In der folgenden Abbildung wird die Softwarearchitektur des N-Düngemittelberatungssystems dargestellt.

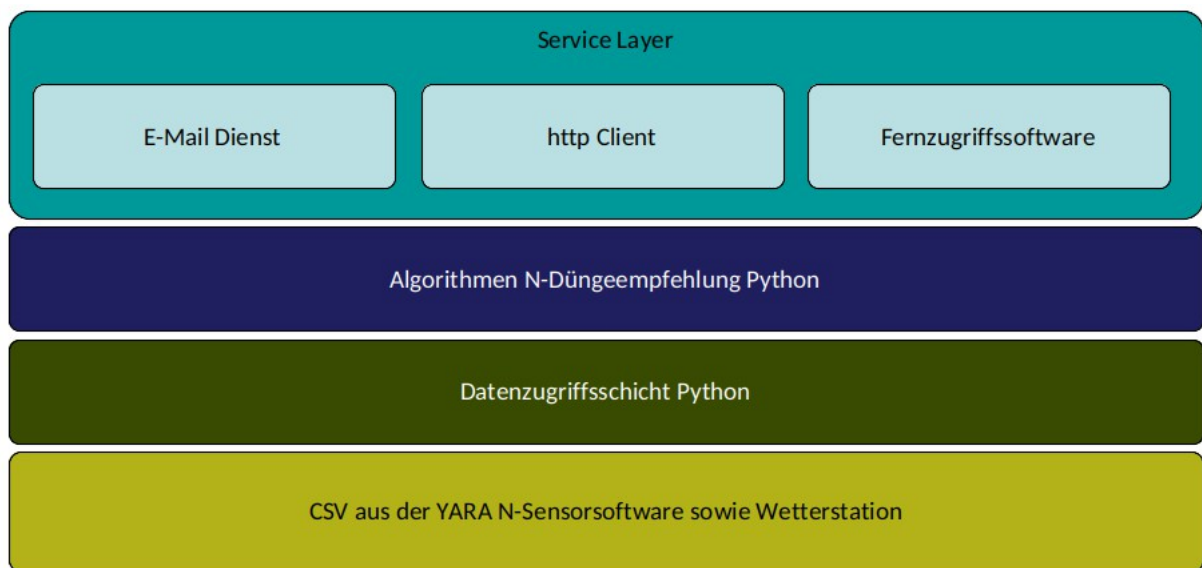


Abbildung 38: Komponenten der Softwarearchitektur des finalen N-Düngemittelberatungssystems

Die grundlegende Komponente des N-Düngemittelberatungssystems sind:

- die Daten des YARA N-Sensors sowie der Wetterstationen werden in einem CSV Textformat abgespeichert
- der Zugriff auf diese Daten erfolgt über selbstprogrammierte Pythonfunktionen
- die Algorithmen der N-Düngemittelempfehlung arbeiten diese Daten auf, generieren eine grafische Darstellung des aktuellen Status und berechnen die eigentliche Empfehlung
- der Service Layer E-Maildienst wird benötigt, um die Statusgrafik sowie die Empfehlung an den Nutzer zu senden
- der Service Layer http Client dient zum Herunterladen aktueller Wetterdaten naheliegender Wetterstationen
- mit der Fernzugriffsoftware des Service Layers wird das System konfiguriert und gewartet

3.1 Infrastruktur Kommunikationssystem.

Zur Kommunikation mit den Feldsensorstationen wurden verschiedene Verfahren getestet, neben dem verfügbaren 4G Netz auch die Nutzung von LoRaWAN für die Datenübertragung, 5G stand während der Projektlaufzeit noch nicht flächendeckend zur Verfügung. LoRaWAN funktionierte für die reine Datenübertragung, für die Wartung und Konfiguration der Sensorstationen war es leider zu langsam. Daher wurde final allein das bewährte 4G Netz genutzt. Eine Umstellung auf 5G ist problemlos möglich, allerdings sind die dort möglichen Datenraten für unsere Anforderungen nicht notwendig. Allein die versprochene bessere Netzabdeckung wäre wichtig, allerdings traten im Projekt keine Probleme durch „Funklöcher“ auf.

Zur Kommunikation der Sensorstation mit dem Nutzer der Düngemittelempfehlung wurden diverse Messengerdienste getestet, u.a. Skype, Signal und Telegram. Allerdings stellte sich im Projektverlauf heraus, dass diese Dienste eher auf eine Nutzung primär zwischen Handys ausgelegt waren, in der Sensorstation gab es allerdings kein Handy. Skype setzt aktuell einen eigenen Microsoft Nutzeraccount für jeden

Nutzer voraus, was als problematisch angesehen wurde. Weiterhin gab es z.B. auch politische Diskussionen um die Nutzung ausländischer Dienste wie Telegram in Richtung Datensicherheit (DVO). Nachdem festgestellt wurde, dass alle beteiligten OG Mitglieder E-Mails auf ihren Handys empfangen konnten, wurde die Kommunikation auf klassische E-Mail-technik umgestellt. Der genutzte E-Mailserver steht in einem deutschen Rechenzentrum, damit gibt es keine potenziellen Konflikte mit der DVO mehr. Diese Lösung hat sich im praktischen Betrieb bewährt.

3.2 System Datenhaltung/Datenauswertung

Die eingesetzte PostgreSQL/PostGIS Datenbank wurde praktisch in der Projektarbeit zur Algorithmenentwicklung und Überprüfung eingesetzt, dafür wurde die Datenstruktur laufend angepasst. Für die Datenauswertung wurde ein angepasstes QGIS, PiGSTAT, PiX4DMap und selbstprogrammierte Python-Skripte genutzt.

3.3 Flexible Integration der entstandenen Algorithmen in das Softwarepaket System Datenhaltung/Datenauswertung

Final erfolgte die Übertragung der Algorithmen durch sogenannte Decision Trees. Dabei wird aus den Düngeregeln (siehe 1.3 Ableitung von Algorithmen für eine Düngempfehlung auf der Basis der Daten der Feldsensorstation) via Software Entscheidungsbaum abgeleitet und als Basis für die Entscheidungsfindung genutzt.

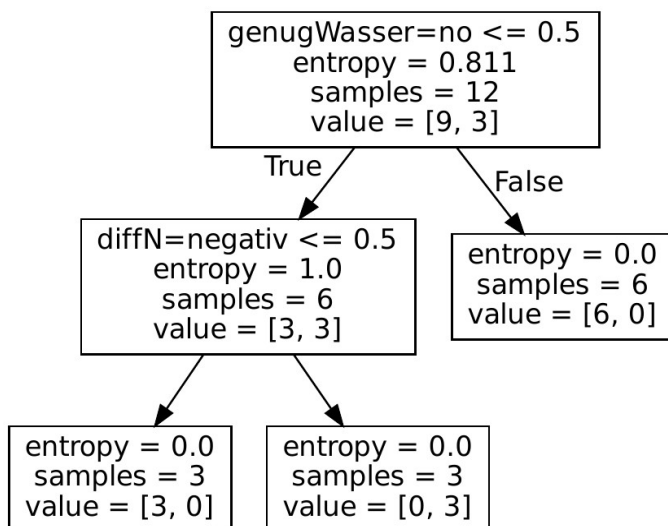


Abbildung 39: Entscheidungsbaum

3.4 User Interface Düngemittelberatungssystem

Das User Interface des Düngemittelberatungssystems wurde in der letzten Iteration umgestellt. Die Interaktion mit dem Nutzer erfolgt jetzt komplett via E-Mail, täglich erhält er somit die Information über den gemessenen Parametern, deren Verläufen sowie einer Empfehlung zu düngen oder auch nicht.

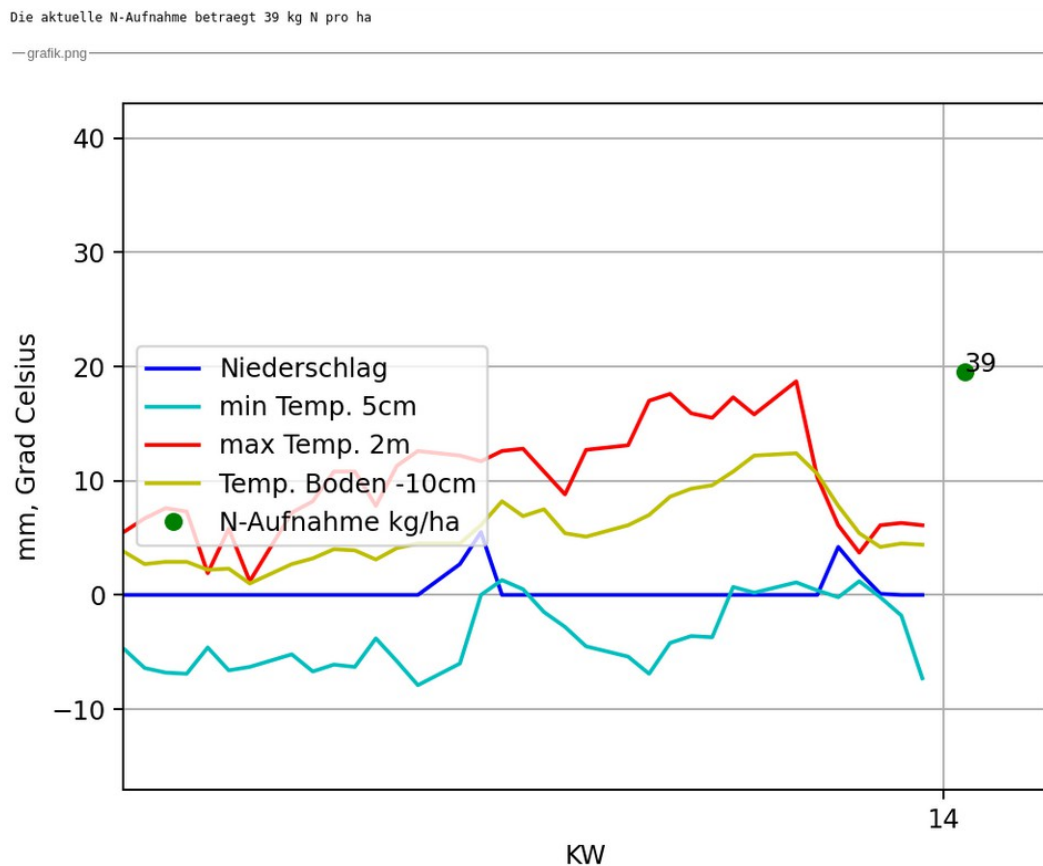


Abbildung 40: Tägliche Mail der Sensorstation an den/die Nutzer. Zum einen werden Daten einer naheliegenden Wetterstation abgerufen, zu anderen Messdaten des YARA N-Sensorkopfs mitgeteilt. Bei angenommenen Düngemittelbedarf (Entscheidungsfindung siehe vorige Abbildung) wird dies im Text der E-Mail mitgeteilt.

3. Projektergebnisse

3.1. Einschätzung der Zielerreichung

Die in der Projektplanung geplanten Ziele wurden zu 100% erreicht.

3.2. Hauptergebnisse des Projekts

Das Ziel des Projekts ein betriebs- und regionalspezifisches N-Düngungsberatungssystem zu schaffen um daraus feld-, betriebs- und regionalspezifische Parameter für eine qualifiziertere, angepasste N-Düngung abzuleiten wurde erreicht. Durch den Einsatz eines Multispektralsensors an einer Drohne wie auch Satellitendaten kann der N-Ernährungszustand der Pflanzen (kalibriert an einer Feldsensorstation) in die Fläche übertragen werden und mittels der Algorithmen des N-Düngungsberatungssystems eine N-Applikationskarte für das gesamte Feld berechnet werden. Die im Projekt entwickelte Software ist unter <https://github.com/exagt/N-Duengeberatungssystem> frei verfügbar.

3.3. Nebenergebnisse des Projekts

Die mit den Feldsensorstationen ermittelten Parameter können auch für Bedürfnisse des Pflanzenschutzes verwendet werden.

4. Ergebnisverwertung

4.1. Nutzung der Ergebnisse in der Praxis

Das im Projekt entstandene System wird bei den Projektpartnern weiter praktisch eingesetzt und von der EXAgT weiterentwickelt. Zusätzlich besteht bei anderen sächsischen Landwirten, für diese steht die entwickelte Software kostenlos zur Verfügung.

4.2. Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse

Die OG- Mitglieder machten die Projektergebnisse durch Zeitungsartikel und Internetveröffentlichungen publik.

Zeitungsartikel über das Projekt:

Andreas Schmidt: Stickstoff zur richtigen Zeit in der optimalen Menge, Beilage Bauernzeitung Ratgeber Technik für den Pflanzenbau Oktober 2020, Seite 24-26 (Kopie im Anhang)

Internetveröffentlichungen:

Homepage der EXAgT: home.exagt.de (Kopie im Anhang)

Newsletter März/April/Mai 2021: news.exagt.de (Kopien im Anhang)

5. Wirkung des Projekts

5.1. Beitrag zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums

Ein Ziel der EU-Politik zur Entwicklung des ländlichen Raums 2014-2020 ist die Unterstützung bei der Bewältigung der zahlreichen wirtschaftlichen, umweltpolitischen und sozialen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Dafür sind sechs Schwerpunkte festgelegt worden:

1. Förderung von Wissenstransfer und Innovation in der Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Gebieten
2. Verbesserung der Lebens- und Wettbewerbsfähigkeit aller Arten von Landwirtschaft sowie Förderung innovativer Bewirtschaftungsmethoden und nachhaltiger Forstwirtschaft
3. Förderung einer Organisation der Nahrungsmittelkette, des Tierschutzes und des Risikomanagements in der Landwirtschaft
4. Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme
5. Förderung der Ressourceneffizienz und Unterstützung des Agrar-, Ernährungs- und Forstsektors beim Übergang zu einer kohlenstoffarmen und klimaresistenten Wirtschaft
6. Förderung der sozialen Eingliederung, der Armutsbekämpfung und der wirtschaftlichen Entwicklung in den ländlichen Gebieten

Dieses Projekt hat erfolgreich Wirkungen in drei dieser Schwerpunkte ausgeübt.

zu 1. Wissenstransfer

- Umsetzung neuester Sensortechnologie in Verbindung mit N-Beratung.

zu 2. Wettbewerbsfähigkeit, Förderung innovativer landwirtschaftlicher Techniken

- N-Effizienz wird gesteigert sowohl was die Ökologie als auch die Ökonomie betrifft.
- Außendarstellung angepasster und umweltschonender N-Düngung.

zu 5. Ressourceneffizienz

- N-Einsatz wird qualifiziert und die N-Effizienz steigt durch Berücksichtigung der realen N-Aufnahme der Pflanzenbestände.

5.2. Beitrag zu den Zielen der EIP-AGRI

Ziele der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ sind folgende:

1. Förderung eines ressourceneffizienten, wirtschaftlich lebensfähigen, produktiven, wettbewerbsfähigen, emissionsarmen, klimafreundlichen und -resistenten Agrar- und Forstsektors mit einem Hinarbeiten auf agrarökologische Produktionssysteme, der in Harmonie mit den wesentlichen natürlichen Ressourcen funktioniert, von denen die Land- und Forstwirtschaft abhängt.
2. Beitrag zu einer sicheren, stetigen und nachhaltigen Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Biomaterialien, was sowohl bestehende als auch neue Produkte betrifft.
3. Verbesserung der Prozesse zur Bewahrung der Umwelt, zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Auswirkungen.
4. Brückenschlag zwischen Spitzenforschung und -technologie sowie den Landwirten, Waldbewirtschaftern, ländlichen Gemeinden, Unternehmen, NRO und Beratungsdiensten.

Dieses Projekt hat erfolgreich zu drei von diesen Zielen beigetragen:

zu 1.

- Steigerung der N-Effizienz und Verbesserung der N-Bilanzen.

zu 2.

- Steigerung der N-Effizienz und Verbesserung der N-Bilanzen.

zu 3.

- Steigerung der N-Effizienz und Verbesserung der N-Bilanzen.

zu 4.

- Nutzung neuester Sensortechnologie in Verbindung mit N-Beratung für landwirtschaftliche Betriebe.

5.3. Beitrag zu den in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen

Für das Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen für die Jahre 2014 bis 2020 wurden mittels SWOT Analyse folgende Bedarfe identifiziert:

1. Verbesserung des ökologischen oder chemischen Zustandes von Grund- oder Oberflächenwasserkörpern
2. Verbesserung des Erhaltungszustandes gefährdeter Tier- und Pflanzenarten
3. Senkung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft
4. Steigerung der Nutzungsdauer von Milchrindern
5. Verbesserung des Risikomanagements in landwirtschaftlichen Betrieben
6. Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft
7. Verbesserung des Wassermanagements
8. Erhöhung des Anteils ökologisch bewirtschafteter Flächen
9. Erhöhung der Anzahl von Lebensmitteln mit geographischen und geschützten Ursprungsbezeichnungen
10. Verbesserung der Uferbepflanzung an kleinen Gewässern
11. Minderung der Bodenerosion
12. Erhöhung des Artenreichtums auf landwirtschaftlich genutzten Flächen
13. Verringerung des Energieverbrauchs in Gartenbau Masttierhaltung und Milchkühlung
14. Sonstiges

Dieses Projekt hat zu folgenden drei Bedarfen positive Auswirkungen:

zu 1. Zustand Grund- und Oberflächenwasser

- Steigerung der N-Effizienz und Verbesserung der N-Bilanzen.

zu 3. Senkung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft

- Steigerung der N-Effizienz, weniger Lachgasemissionen.

zu 6. Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft

- Einfachere Datenermittlung und bessere N-Empfehlungen.

6. Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe

6.1. Ausgestaltung der Zusammenarbeit

Inhalt der Kooperationsvereinbarung:

1 - Gegenstand der Kooperationsvereinbarung

- (1) Die Kooperationspartner sind bereit gemeinsam eine operationelle Gruppe (OG) im Sinne der EIP-AGRI Förderung zu bilden. Ziel ist es eine Basis für die Durchführung innovativer Projekte (Pilotprojekte) zu schaffen.
- (2) Gegenstand des von EXAgT zu beantragenden Pilotprojekts ist die „Entwicklung eines betriebs- und regionalspezifischen N-Düngungsberatungssystems basierend auf stationären Feldsensorstationen und Drohnen zur Ableitung einer angepassten N-Düngung unter Maßgabe der Wasser Rahmen Richtlinie (WRRL) und aktuellen Düngeverordnung (DüV)“
- (3) Die Einzelheiten der Projektarbeit ergeben sich aus den zwischen den Kooperationspartnern abgesprochenen Arbeitsplänen, die im EIP-Agri Pilotprojektantrag enthalten sind.

2 - Verantwortlicher für die Koordination

Die Koordination der operationellen Gruppe übernimmt Andreas Schmidt von der EXAgT GbR „Büro für präzise Agronomie“.

3 - Beiträge der Kooperationspartner

Jeder Kooperationspartner stellt die auf seiner Seite für die Einrichtung und Betrieb der operationellen Gruppe notwendigen Personal- und Sachleistungen zur Verfügung und trägt die ihm dadurch entstehenden Kosten selbst.

4 - Entscheidungsfindung innerhalb der OG

Entscheidungen und Beschlüsse der OG sind schriftlich niederzulegen und für Prüfungen im Original bereit zu halten sowie von allen Mitgliedern der OG zu unterzeichnen.

5 - Zusammenarbeit

- (1) Die Kooperationspartner werden für die Durchführung des Projekts die Zeit und die Sorgfalt aufwenden, die bei Berücksichtigung der anerkannten Regeln der Wissenschaft und Technik notwendig sind, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Sie werden in sachlich gebotenen Zeitabständen unter Beteiligung der mit der Projektarbeit befassten Mitarbeiter Arbeitsgespräche führen und den Fortgang der Arbeit abstimmen.
- (2) Die Kooperationspartner benennen einander je einen Ansprechpartner für alle im Rahmen der Kooperation abzustimmenden Angelegenheiten.
- (3) Mitarbeiter eines Kooperationspartners, die im Zuge der Projektarbeit für definierte Aufgaben und begrenzte Zeit bei dem jeweils anderen Kooperationspartner tätig sind, unterliegen den fachlichen Weisungen der dort verantwortlichen Mitarbeiter, so weit dies für die Durchführung der Arbeiten erforderlich ist. Die dienstrechtlichen und arbeitsvertraglichen Beziehungen bleiben unberührt.

6 - Arbeitsergebnisse, Nutzungsrechte

Alle schutzfähigen und nicht schutzfähigen Arbeitsergebnisse, die ausschließlich Mitarbeiter eines Kooperationspartners im Rahmen des Kooperationsprojektes erarbeitet haben, gehören diesem Kooperationspartner.

Die Kooperationspartner räumen sich an den bei ihnen im Rahmen des Kooperationsprojektes entstehenden schutzfähigen und nicht-schutzfähigen Arbeitsergebnissen für die Dauer und Zwecke des Kooperationsprojektes ein nicht-ausschließliches, nicht-übertragbares, nicht-unterlizenzierbares, unwiderrufliches und unentgeltliches Nutzungsrecht ein.

Darüber hinaus räumen sich die Kooperationspartner an den bei ihnen bereits vorhandenen schutzfähigen und nicht-schutzfähigen Arbeitsergebnissen, die für die Durchführung des Kooperationsprojektes erforderlich sind, für die Dauer und Zwecke des Kooperationsprojektes ein nicht-ausschließliches, nicht-übertragbares, nicht-unterlizenzierbares und unentgeltliches Nutzungsrecht ein.

Die Arbeitsergebnisse können nach Ablauf des Pilotprojekts von den Kooperationspartnern weiter genutzt werden.

7 - Vertraulichkeit

- (1) Die Kooperationspartner verpflichten sich - auch für einen Zeitraum von drei Jahren über die Dauer dieser Vereinbarung hinaus - erkennbar vertrauliche Betriebs- und Geschäftsinformationen, die dem jeweils anderen Kooperationspartner im Rahmen des Projekts bekannt werden, an Dritte nicht weiterzugeben.
- (2) Diese Verpflichtung (5 Abs. 1) gilt nicht für Informationen, die:
 - durch Publikationen oder dergleichen allgemein bekannt sind,
 - ohne Verschulden des empfangenden Kooperationspartners allgemein bekannt werden,
 - die dem empfangenden Kooperationspartner nachweislich bereits vor dem Zeitpunkt der Zurverfügungstellung bekannt waren,
 - der empfangende Kooperationspartner unabhängig von dieser Zurverfügungstellung erarbeitet,
 - dem empfangenden Kooperationspartner von dritter Seite ohne Verpflichtung zur Vertraulichkeit zugänglich gemacht wurden.

8 - Veröffentlichungen

- (1) Alle Kooperationspartner stimmen zu, dass die von ihnen im Rahmen des Projekts erzielten Arbeitsergebnisse veröffentlicht werden. Die beiderseitigen schutzwürdigen Interessen sind dabei zu beachten.
- (2) In allen Veröffentlichungen ist auf die Herkunft der publizierten Arbeitsergebnisse aus dem Projekt hinzuweisen.

9 - Gewährleistung, Haftung

- (1) Die Kooperationspartner verzichten im Rahmen des Projekts hinsichtlich des zur Verfügung gestellten Know-hows und der erzielten Arbeitsergebnisse auf die Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen.
- (2) Im Übrigen haftet jeder Kooperationspartner, so weit gesetzlich zulässig, nur für durch Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit verursachte Sach- und Vermögensschäden. Eine Haftung für Folgeschäden ist ausgeschlossen.

10 - Vereinbarungsdauer und Kündigung

- (1) Dieser Vereinbarung wird wirksam mit der Beantragung von EIP-Agri Fördermitteln für das Pilotprojekt durch EXAgT. Sie endet mit Ablauf der Förderung des Pilotprojekts.

11 - Salvatorische Klausel

Sollte eine Bestimmung dieser Vereinbarung ganz oder teilweise unwirksam sein oder ihre Rechtswirksamkeit später verlieren, so soll hierdurch die Gültigkeit der übrigen Bestimmungen nicht berührt werden. Anstelle der unwirksamen Bestimmung gelten die gesetzlichen Vorschriften.

Wie war die Zusammenarbeit organisiert?

Es wurden jeweils zwischen der EXAgT GbR und jeweils einem Partner regelmäßig Sitzungen durchgeführt, die Protokolle sind diesem Dokument beigelegt.

6.2. Mehrwert der operationellen Gruppe

Beide Praxisbetriebe haben die Ergebnisse des Düngeberatungssystems in der Projektlaufzeit aktiv genutzt und werden diese zur Optimierung der N-Düngung auch weiterhin nutzen.

7. Verwendung der Zuwendung

Bezüglich der Arbeitspakete mit Budget (100% der Ausgaben ohne MWSt.):

AP 1: Angepasste N-Düngung (Basis Feldsensorstation) 33.652,- €

AP 2: Differenzierte N-Düngung (Basis Drohne mit Multispektralsensor) 30.611,- €

AP 3: Erstellung eines Softwarepakets "N-Düngungsberatungssystem" 49.969,- €

Schlussfolgerungen und Ausblick

7.1. Rückblick

Das Projekt lief sehr gut, die Zusammenarbeit mit den Praxispartnern war hervorragend. Sobald neue Messwerte/Ergebnisse im Projekt entstanden wurden diese aktiv von den Praxispartnern angefragt und flossen sogleich in die praktischen Düngeentscheidungen ein. Eine Zusammenarbeit auch nach der Projektlaufzeit ist vereinbart.

7.2. Ausblick

Auf der Basis der Projektergebnisse wird die Entwicklung des Systems weiter fortgeführt. Das System wird außerdem in der Beratungsarbeit der EXAgT eingesetzt.

Ostrau, 31.08.2022

Arnim Grabo

Andreas Schmidt