



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abschlussbericht der Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH zum Verbundprojekt AGRO-DE

Aufbau eines Clusters zur Bereitstellung von aktuellen Fernerkundungs-
produkten für die Landwirtschaft

Verbundpartner

Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH

Kirchstraße 14 a

24214 Gettorf

31.12.2020

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Laufzeit 01.07.2016-30.06.2020

In memoriam Holger Lilienthal (1972-2020)

Zuwendungsempfänger: Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH	Förderkennzeichen: FKZ 2815705115
Vorhabensbezeichnung: AGRO-DE	
Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	
Laufzeit des Vorhabens und Berichtszeitraum: 01.07.2016 bis 30.06.2020	
Projektleitung Dr. Dominik Gerwers	
Autoren: Norbert Zirps, Dr. Dominik Gerwers Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.	

Schlussbericht zu Nr. 8.2

I. Kurze Darstellung

I 1. Aufgabenstellung

Bisher wurden Fernerkundungsprodukte in der praktischen Landwirtschaft nur exemplarisch und meist in Großbetrieben genutzt. Hohe Kosten für die Daten und die Datenaufbereitung einerseits, bzw. eine geringe Datenverfügbarkeit andererseits hatten den operationellen Einsatz von Fernerkundung in der Landwirtschaft bisher verhindert beziehungsweise auf einige finanzstarke Betriebe beschränkt.

Für die Anwendung von Fernerkundungsdaten in der praktischen Landwirtschaft waren verschiedene Anwendungen und Verwendungsziele zu prüfen. Neben Fruchtfolgeinformationen, die aus der Abfolge mehrjähriger satellitenbasierter Kulturartenkarten resultieren, haben Landwirte großes Interesse, einen zeitlichen Ablauf der Entwicklungsstadien über die Vegetationszeit für die einzelnen Kulturen zu bekommen, da sie wichtige Anhaltspunkte für den Einsatz von unterschiedlichen Produktionsmitteln geben. Es war zu prüfen, über welche Hilfsgrößen die Entwicklung der Bestände abgebildet werden kann. Diese Prüfung wurde erst durch die häufige Überfliegung der Sentinel Satelliten realisierbar. Führt man die Beobachtung der Bestände bis zur Ernte fort, wäre eine Abreifevorschau denkbar, welche zum einen für die Disposition der Erntetechnik und zum anderen zur Generierung von Ertragspotenzialzonen genutzt werden kann.

Bei Vorliegen von mehrjährigen Ergebnissen solcher Schätzungen wäre es denkbar, diese Informationen für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung zu nutzen. Unter den zu prüfenden Hilfsgrößen war die Ableitung von Informationen über die Biomasse von zentralem Interesse, da diese in der landwirtschaftlichen Praxis über verschiedene terrestrische Online-Sensoren (z.B. Yara N-Sensor[®], Greenseeker etc.) ermittelt wird und über bestehende Anwendungen direkt in die Produktionstechnik einfließt.

Anwendungen finden sich dann im Frühjahr bei der Stickstoffdüngung aller Getreidekulturen, sowie Raps. Für aus Satellitendaten abgeleitete Zonierungen liegen Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Grunddüngung und der teilflächenspezifischen Aussaat. Aufgabe der Hanse Agro sollte es sein, die Verfügbarkeit und Qualität sowie die Eignung der im Projekt entwickelten Produkte zu validieren und deren Anwendung in der Praxis zu realisieren.

I 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für die teilflächenspezifische Verteilung von unter anderem stickstoffhaltigen Düngemitteln wird in der landwirtschaftlichen Praxis bislang auf terrestrische Sensoren (bspw. Yara N-Sensor®, Yara ALS, Greenseeker etc.) zurückgegriffen. Die Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH ist ein privates Beratungsunternehmen. Sie berät ca. 600 landwirtschaftliche Betriebe in pflanzenbaulichen Fragen, davon mehr als 420 Betriebe in Deutschland. In der täglichen Beratungsarbeit findet ein intensiver Austausch zwischen Berater und Praktiker statt. Hier werden die Probleme, die in Produktionssystemen stecken, beobachtet, diskutiert und formuliert. Die daraus resultierenden Versuchsfragestellungen werden durch das Versuchswesen der Hanse Agro umgesetzt. Dazu sucht die Hanse Agro im Bereich Precision Farming den Austausch mit innovativen Landwirten, die ihre Flächen für Großflächenversuche zur Verfügung stellen, mit etablierter Technik und den zugehörigen Methoden bereits im Alltag arbeiten und bestehende aber auch aufkommende Fragestellungen mit den Fachberatern der Hanse Agro im Diskurs erörtern.

In den Jahren 2010 bis 2015 wurden Evaluierungsversuche in Winterweizen und Winterraps auf verschiedenen Betrieben in mehreren Regionen durchgeführt. Aus diesen wurden bereits umfassende Kenntnisse in Form von On-Farm-Research-Versuchen mittels Großtechnik erarbeitet und auch seit 2014 verschiedene Produkte für die Kunden der Hanse Agro angeboten. Diese Ergebnisse, weiterführende Recherchen sowie die sich aus der Beratungstätigkeit im Bereich angewandte Precision-Farming-Lösungen ergebende Aufgabenstellungen, führten zu der Frage, ob denn ähnliche Arbeitsbereiche mit Daten aus der Sattelitenteknik realisierbar wären.

Regelmäßig gibt der Landtechnikmarkt Impulse an die Praxis, Neuerungen im Bereich der Datenverarbeitung und auch der Messtechnik für teilflächenspezifische Anwendungen zu testen und meist auch umzusetzen. So entsteht derzeit eine Verwendungsmöglichkeit von bodennaher Fernerkundung über Drohnen bzw. unbemannte Flugsysteme (unmanned aerial vehicle, UAV). Diese arbeiten bislang hauptsächlich mit optischen Bildern und geben so dem Anwender einen rein visuellen Eindruck der gesamten Fläche. Der Einsatz von spektraloptischen Sensoren in diesem Segment war zu Projektbeginn noch nicht so sehr vertreten, wird aber mit sinkenden Kosten der Sensortechnik weiter zunehmen (Dobers, 2014). Unter Berücksichtigung der interdisziplinären Kompetenz des Projektkonsortiums war eine Entwicklung

einer praktisch anwendbaren Satellitenanwendung im Rahmen des Projektes eine große Chance, da die fachlichen Kenntnisse in den Bereichen der Projektpartner in einer solchen gebündelt werden konnten. Das Ergebnis konnte durch die Hanse Agro auf den von den Demobetrieben zur Verfügung gestellten Flächen validiert und präzisiert werden und anschließend dem Kundenstamm der Hanse Agro verfügbar gemacht werden.

I 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben gliederte sich in sieben Meilensteine. Für die Hanse Agro waren durch die Kombination aus Meilenstein zwei und drei mit den ersten Daten für die Frühjahrssaison 2017 und der sich anschließenden Beurteilung der Nutzbarkeit in der Praxis, die ersten Berührungspunkte mit den Satellitendaten aus dem Copernicus Programm der ESA. Mit den Workshops auf den Demobetrieben (M4) sollte im Frühjahr 2018 die operationelle Phase beginnen und mit dem Meilenstein sechs in einer Diskussion über den Mehrwert für die Praxis münden. Schließlich sollte im letzten Meilenstein eine Endpräsentation den Startpunkt für den Übergang in den Regelbetrieb darstellen.

Um diese Meilensteine zu erreichen, wurde das Projekt in fünf Arbeitspakete (AP) gegliedert, wobei für die Hanse Agro das AP-3, die Produkterstellung, das AP-4 mit Praxistests und On-Farm-Versuchen sowie AP-5, die Verwertung und Kommunikation der Ergebnisse Kern des Vorhabens darstellen sollte. Im AP-3 wurde geplant, gemeinsam mit den Praxisbetrieben verschiedene Applikationskarten zur Düngung zu entwickeln. Dazu wurden Referenz- und Demobetriebe etabliert: Referenzbetriebe lieferten die Kalibrierungsdaten für die Aufbereitung der Fernerkundungsdaten (z.B. Anbaudaten, Sensormessungen, Ertragskartierungen etc.). Die Demobetriebe wurden für gezielte Anwendungsversuche herausgegriffen und dienten als expliziter Multiplikator.

Geschätzte Bestandesparameter des JKI wie z.B. der Leaf Area Index LAI, die Frischmasse, und die Trockenmasse sowie verschiedene Blattpigmente schienen 2016 vielversprechend. Neben der passenden wolkenfreien Aufnahme galt es, an verschiedenen Stellen eines Schläges und auf verschiedenen Schlägen über Regionen hinweg, die Qualität dieser Daten zu beurteilen. Die Datenverfügbarkeit sollte durch die Vielzahl der Betriebe abgesichert werden, da 2010 bereits Erfahrungen mit begrenzten Möglichkeiten gemacht wurden. Die angelegten Sortenversuche auf Gut Grünholz, in Bahrdorf und Hakenstedt ermöglichten in der ersten Feldbonitur im Frühjahr 2017 verschiedene Kalibriermöglichkeiten. Neben den bereits verfügbaren Yara N-Sensor®-daten aus dem Herbst 2016, konnten im Frühjahr 2017 die von der Firma Yara zur Verfügung gestellten Sensoren auf Gut Grünholz und in Beberbeck (siehe II.1+2) in Betrieb genommen werden. Dies ermöglichte vielfältige, eigene Auswertungen der Hanse Agro, die im Sommer 2017 mit der Bewertung verschiedener Indices (u.a. Normalized Difference Vegetation Index; NDVI (Rouse et al., 1974), Red Edge Inflection Point; REIP (Guyot et al., 1988),

Soil Adjusted Vegetation Index; SAVI (Huete et al., 1988)) begann. Diese wurden auf Basis der Reflektanzen des Yara N-Sensors und je nach Verfügbarkeit mit denen der Sentinel-2 Satelliten berechnet. Anschließend wurden die absoluten Werte und die räumliche Verteilung auf den jeweils betrachteten Schlägen bewertet. Weiterhin wurde, um den Bezug zu der praktischen Umsetzung zu erhalten, ein Abgleich mit den aus der Beratung verfügbaren pflanzenbaulichen Parametern vorgenommen. Diese Prüfung einer Integration von aus Satellitendaten abgeleiteten Informationen in die praktische Bestandesführung stellt den Übergang zu AP-4 dar. Es wurde anschließend immer alternierend gearbeitet, bis ein Produkt gefunden wurde, welches tatsächlich in die Praxis umgesetzt werden konnte (AP-4.2).

Die Anwendung konnte im sich anschließenden Herbst im Rahmen der teilflächenspezifischen Rapsdüngung konkretisiert werden. Neben der Auswertung einer Frischmassekalibrierung des JKI wurden zwei weitere Indices basierend auf den Sentinel-2 Bändern 5, 6 und 7 und der Index des Yara ALS (Jasper et al 2009) auf ihre Tauglichkeit geprüft. Erste Ergebnisse schienen vielversprechend, konnten jedoch im Frühjahr 2018 nicht mit Datensätzen aus verschiedenen Regionen wiederholt sicher erzielt werden. Kernproblem aller bis dahin geprüften Indices und Kalibrierungen war dabei die fehlende Korrelation mit den interpolierten Messwerten des Yara N-Sensors®. Es war nicht möglich, die auf den Demobetrieben und in den Sensordaten zu erkennende Struktur des Bestandes in der Fläche wiederzuerkennen. Ähnliche Beobachtungen mussten bei der Auswertung von am Markt verfügbaren Daten aus Portalen verschiedener Drittanbieter festgestellt werden.

Deswegen wurde ab Sommer 2018 ein mehrparametrischer Ansatz mithilfe von Predictive Modelling (Kuhn et.al, 2013) umgesetzt. Mit diesem Ansatz wurde die N-Aufnahme mithilfe mehrerer Bänder der Sentinel-2 Satelliten direkt geschätzt.

Die eigene Kalibrierung war in ihren Ergebnissen sehr stabil und konnte neben ersten Applikationskarten für Schläge aus derzeit Beratungskundschaft (AP-3.4) im Frühjahr 2019 in einem Großflächenversuch an zwei Standorten (auf Gut Grünholz in Schleswig-Holstein und bei der Miltitzer Agrar GmbH in Sachsen) geprüft werden. Diese On-Farm-Versuche sind Bestandteil des AP-4 (4.4) und wurden mit in Betrieben vorhandener Technik als in On-Farm-Research Versuch umgesetzt.

Die Größe von bis zu 15 ha und die Struktur der Versuche begründeten die Notwendigkeit einer geostatistischen Auswertung. Diese wurde im Sommer 2019 mit der Erarbeitung der Theorie zu gemischten Modellen begonnen und im Herbst des gleichen Jahres auf die verfügbaren Daten des ersten Versuchsjahres angewendet.

Parallel wurden unter anderem im Winterraps auf Gut Grünholz Frischmasseproben erhoben, um ein ground truthing der Satelliten- und Sensordaten durchführen zu können (AP-4.5).

Der 2019 durchgeführte Versuch wurde im Frühjahr 2020 an den beiden Standorten mit jeweils der gleichen Anzahl an Varianten wiederholt. Erste Ergebnisse der Auswertung konnten

vermutete Effekte bestätigen, aber die Auswertung musste an verschiedenen Stellen und unter zu Hilfenahme von statistischer Beratung präzisiert werden (vgl. I.5). Schließlich wurden die Versuche aus 2019 und 2020 im Herbst 2020 ausgewertet und werden im Punkt II. 2 zusammenfassend dargestellt.

Aktuell werden Rapsbestände von Kunden der Hanse Agro mit einem um die Sensormessdaten aus dem Herbst 2019 erweiterten Modell geschätzt und die Applikationskarten für das Frühjahr 2021 vorbereitet. Dies entspricht dem AP-5 Verwertung und Kommunikation (AP-5.1). Für dieses Angebot ist ein Geschäftsmodell in Entwicklung, mit dem eine tragfähige Finanzierung durch ein Kostenmodell für die unterschiedlichen Anwendungen gesichert sein wird (AP-5.2).

In allen Jahren der Projektlaufphase wurden begleitend zum Vegetationsverlauf im Frühjahr phänologische Parameter der Ackerbaukulturen auf einer Vielzahl der Beratungsbetriebe erhoben. Weiterhin wurde die Kulturartenverteilung auf zahlreichen Beratungsbetrieben der Hanse Agro in Niedersachsen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern als Validierungsdaten für die fernerkundliche Kulturartenerkennung zusammengefasst. Diese Daten wurden stetig zur weiteren Betrachtung den Konsortialpartnern in AGRO-DE zur Verfügung gestellt (AP-4.1, 4.2, 4.5 und AP-5.1).

I 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Copernicus Programm der ESA stellt mit der erhöhten temporalen Datenverfügbarkeit und höheren räumlichen Auflösung die Basis für mögliche Entwicklungen im Bereich der Fernerkundung dar. Die Hanse Agro hatte bereits in den Jahren 2009 bis 2011 erste Erfahrungen mit Daten der Rapideye-Satelliten sammeln können (Bröse, Zirps 2011). So ist die häufige Bewölkung in Deutschland besonders kritisch für die Datenverfügbarkeit optischer Daten und hat wegen der Notwendigkeit von spezifischen Bildern für wichtige Punkte innerhalb des phänologischen Zyklus bis zu Projektbeginn dafür gesorgt, dass kein operationeller Landwirtschaftservice etabliert werden konnte. Ertragsschätzungen und Prognosen sind ebenso wie aus Satellitendaten abgeleitete Zonierungen bisher nicht Bestandteil der Beratungstätigkeit gewesen. Für die fernerkundliche Modellierung der Prozesse im Boden standen Forschungsarbeiten zur Verfügung (Sanchez et al., 2009). Geeignete spektroskopische Aufnahmesysteme für Bodeninformationen im Labor, im Feld sowie als flugzeuggetragene Systeme standen zu Projektbeginn ebenso zur Verfügung, fanden jedoch bis dato kaum in der Praxis Anwendung. Während der Projektlaufzeit, vor allem auf der Agritechnica 2019, wurden für die Praxis verschiedene Systeme vorgestellt.

Vegetationszustände werden seit langem fernerkundlich auf Basis von Vegetationsindices betrachtet. Dies Betrachtung basiert auf dem Zusammenhang zwischen der Reflexion im roten und nahen Infrarot des elektromagnetischen Spektrums und wird seit den 1970 Jahren genutzt

(Rouse et al., 1974; Tucker, 1979). Ähnliche Daten werden von verschiedenen traktorgebundenen Sensorsystemen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung verwendet.

Es ist auch in diesen Datensätzen oft zu beobachten, dass spektrale Reflexion von gesunder grüner Vegetation in den Wellenlängenbereichen des VIS, NIR und SWIR allgemein höchst ähnlich ist (Curran, 1989). Vor allem der NDVI sättigt ab einer Bodenbedeckung von ca. 80% kulturartunabhängig und es fällt als Praktiker schwer, die Bestandesvariabilität innerhalb der Fläche in den Daten wiederzuerkennen. Zu beurteilen ist bei jedem Datensatz immer, ob die Variabilität der spektralen Reflexionseigenschaften durch die pflanzenbauliche Fragestellung begründet ist, oder ob Vegetationsstress bzw. die jahreszeitlichen Veränderungen der Kulturpflanzen diese überdecken.

Bis zu Projektbeginn konnte die Hanse Agro nur Erfahrungen mit Indices, RGB- und Falschfarbenbildern aus Satellitendaten sammeln. Wegen der besseren Datenverfügbarkeit im Projekt konnte jedoch an die teilflächenspezifische Rapsdüngung auf Basis von Herbstscannungen mit dem Yara N-Sensor[®] angeknüpft werden. Diese Methodik basierte maßgeblich auf der Kalibrierung von Yara, welche deswegen ein wesentliches Verfahren, auf dem das Vorhaben aufgebaut hatte, darstellte. Es wurden folgende weitere bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, für die Durchführung des Vorhabens benutzt:

- von der Yara GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellte Sensortechnik (inkl. Software)
- Vegetationsindices, die entsprechend der üblichen Formeln berechnet wurden
- Hanse Agro:
 - Boniturmethoden und Protokolle
 - bisherige Erfahrungen Großflächenversuche mit Praxistechnik
 - bisherige Erfahrung in der Auswertung und Validierung von PF-Daten
- auf den Betrieben vorhandene Applikationstechnik, mit der von den Herstellern vorgegebenen Einstellung und der zur Verfügung gestellten Soft- und Hardware für die teilflächenspezifische Düngemittelapplikation
- Ertragskartierungen der Mähdrescher einschließlich der zugehörigen Software
- spezielle Software zur Geodatenverarbeitung: QGIS, GRASS GIS, R
- Predictive Modelling zur Kalibrierung der Satellitendaten auf Yara N-Sensor[®]daten
- gemischte Modelle zur statistischen Auswertung der Düngungsversuche
- Internetportale von Drittanbietern zum Abgleich der Produkte (vgl. II.5)

Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste finden sich als Anhang zu diesem Bericht

I 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der gesamten Projektphase fand ein stetiger Austausch mit den Konsortialpartnern JKI, eomap und DLR statt. 2017 wurden für die Ertragsprognose durch Satellitendaten

von den Beratungsbetrieben der Hanse Agro die Flächenerträge zum Teil auch teilflächenspezifisch abgefragt und ebenfalls an die Arbeitsgruppe JKI weitergegeben. Damit wurde zunächst im exPost-Ansatz die Validierung des Algorithmus aus dem Projekt Rifle für Winterweizen möglich sowie eine Ausweitung auf Wintergerste und Winterroggen vorstellbar.

Nach ersten Evaluierungen über denkbare Hilfsgrößen zur Einschätzung der Kulturpflanzenbestände wurden vom JKI Frischmasseschätzungen sowie denkbare Vegetationsindices aus den Satellitendaten auch vom DLR berechnet und von der Hanse Agro validiert. Jede Auswertung der Hanse Agro wurde mit der Arbeitsgruppe JKI diskutiert, um einen validen, wiederholbaren und aussagefähigen Ansatz für die Bestandesführung zu entwickeln, der in einer operationellen Umgebung direkt umsetzbar sein sollte. Dazu wurden regelmäßig wiederkehrend Boniturdaten aus den Demo- und Referenzbetrieben aber auch aus den Daten aus Kundenbetrieben der Hanse Agro zu Kalibrierung und Validierung von Satellitenprodukten (AP-3.2) an das JKI übermittelt. Für eigenen Auswertungen wurden vom JKI bzw. von eomap Level-2A-Daten zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen der On-farm-research Versuchsplanung konnte vom JKI eine Frischmasseschätzung eingebracht werden, die als zweite satellitenbasierte Düngungsvariante geprüft wurde. Nach dem ersten Versuchsjahr war es in der Erörterung des Versuches möglich gewesen, die statistische Beratung durch Dr. Doreen Gabriel, Beratungsstelle für Biometrie, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, in die Entwicklung der Auswertungsmethodik einfließen zu lassen. Die finale Entwicklung der statistischen Betrachtung konnte nach der Sammlung weiterer methodischer Erfahrungen im Rahmen einer Beratung mit Prof. Dr. Mario Hasler an der Universität Kiel im Oktober 2020 erörtert werden.

Nachdem die eigenen Indices, basierend auf den Sentinel-2-Bändern 5, 6 und 7 vielversprechend anmuteten, wurde diese in Absprache mit dem DLR in die Prozesskette integriert, um automatisiert berechnet zu werden. Durch das DLR wurden im Rahmen des Projektes die Produkte SCMaP und Timescan vorgestellt (Rogge et.al 2018, Esch et.al. 2018). Für einige Schläge der Demobetriebe wurden SCMap-Daten diskutiert und erörtert und konnten relativ gut mit der Zonierung aus der teilflächenspezifischen Grunddüngung der Hanse Agro in Beziehung gebracht werden.

In der generellen Diskussion um die Aussagefähigkeit von Indices und die Möglichkeit eines mehrparametrischen Ansatzes, konnten von eomap methodische Erfahrungen aus dem aquatischen Bereich eingebracht werden. Parallel zu dem eigenen Predictive Modelling Ansatz wurden Daten an eomap übergeben, um eine mehrparametrische Kalibrierung der Satellitendaten auf die Messungen des Yara® N-Sensors umzusetzen. Die Ergebnisse entsprachen im Wesentlichen den eigenen Auswertungen. Da die Sensordaten von den Betrieben der Hanse Agro stammten und für eine erfolgreiche Kalibrierung eine Sichtung und Vorauswahl und Validierung dieser stattfinden musste, wurde festgehalten, dass die Hanse Agro die Kalibrierung

in Eigenregie weiterführte. Die dazu verwendeten Level-2A-Satellitendaten stammten seitdem aus dem Hause eomap. Weiterhin bestand ein intensiver Austausch mit der Firma eomap zu den Themen Qualität der Satellitendaten, Strukturierung und Vereinfachung des Arbeitsablaufes (Schätzung von Winterrapsschlägen) sowie den Bereichen Automatisierungsmöglichkeiten bzw. Bereich Portalentwicklung (vgl. II.3c).

Zur Firma Disy Informationssysteme GmbH wurde ein Kontakt aufgebaut, um Möglichkeiten und Potenziale für eine eigene Portalentwicklung für bestehende und zukünftige Precision Farming Produkte der Hanse Agro zu erörtern. Das Thema Automatisierung wird in Zusammenarbeit mit der Firma terrestris GmbH & Co KG im Bereich GRASS GIS, QGIS und R bearbeitet.

II. Eingehende Darstellung

II. 1 Über die Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele sowie

II. 2 über die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises (vor allem 0837)

In den ersten Monaten des Forschungsprojektes wurde das Netz der Referenz- und Demobetriebe deutlich erweitert. Die Verteilung der beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe, die in unterschiedlicher Intensität in das Projekt eingebunden wurden, erstreckte sich von Schleswig-Holstein über Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Hessen und Baden-Württemberg. Berücksichtigt wurden bei der Auswahl verschiedene Aspekte, wie räumliche Verteilung in Deutschland, divergierende Flächenausstattung (klein-, großstrukturiert; Höhenlagen; flache, milde Lagen) und bestehende Beratungsbetriebe der Hanse Agro.

Zur Vorbereitung der Datenerfassung im Frühjahr (Entwicklungsverlauf der Vegetation, Erträge, etc.) wurden die Flächengrenzen sowie der Anbaupläne der Betriebe in einem GIS erfasst und in einer gemeinsamen Datenbank gespeichert. Die landwirtschaftliche Praxis bedingt es dabei von sich aus, dass in verschiedenen Kulturen verschiedene Ausgangssituationen aufzufinden sind. Als Beispiel seien neben den unterschiedlichen Klimaräumen, verschiedene Saatzeiten und Sorten genannt. Diese bilden im Frühjahr die Grundlage für eine Beobachtung der unterschiedlichen Vegetationsverläufe. Eine erste Datenaufnahme erfolgte vor allem im Winterraps schon in den Herbstwochen im Oktober und November. Die breite Verteilung über Deutschland, aber auch die Verteilung über zeitlich verschiedene Entwicklungsverläufe erhöhen dabei die Erfolgsaussichten, auch entsprechend passende Satellitenaufnahmen der Sentinel-1 und vor allem der Sentinel-2 Satelliten zu erhalten.

Somit konnten dann jährliche wiederkehrend Daten aus der landwirtschaftlichen Praxis über das Bundesgebiet zusammengetragen werden und im Rahmen der Arbeitspakete 3.1 bis 3.5. an die Projektpartner validiert weitergegeben werden. Hierin waren dann kontinuierlich über

das Jahr verteilt ein Anteil der Personalmittel notwendig, damit eine umfassende, zeitnahe Informationsgewinnung und -weitergabe möglich war.

Begleitend zum Vegetationsverlauf im Frühjahr und Herbst wurden auf einer Vielzahl der Beratungsbetriebe phänologische Parameter und Entwicklungsstadien der Ackerbaukulturen erhoben und zur weiteren Betrachtung der Arbeitsgruppe JKI zur Verfügung gestellt.

Ausgehend von den Agrarantragsdaten des Landes Niedersachsen fand eine stichprobenartige Überprüfung und Validierung der angebauten Kulturen statt, zudem wurden die Flächen und die Kulturartenverteilung auf zahlreichen Beratungsbetrieben der Hanse Agro in Niedersachsen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern zusammengestellt. Diese wurde ebenfalls der Arbeitsgruppe JKI für die fernerkundliche Kulturartenerkennung zur Verfügung gestellt.

Für die Ertragsprognose durch Satellitendaten (AP-3.5) wurden von den Beratungsbetrieben der Hanse Agro die Flächenerträge partiell auch teilflächenspezifisch abgefragt und ebenfalls an die Arbeitsgruppe JKI weitergegeben. Damit ist zunächst im exPost-Ansatz die Validierung des Algorithmus aus dem Projekt Rifle für Winterweizen möglich sowie eine Ausweitung auf Wintergerste und Winterroggen denkbar.

Den größten Anteil der Personal-, Sach- und Reisekosten wurde für die Tätigkeiten im AP-3.4 aber vor allem in den Praxistests und On-Farm-Versuchen der AP-4.1, 4.2, 4.4 und 4.5 aufgewendet. Besonders auf die Tätigkeiten im AP-4, die die wissenschaftliche Grundlage für das AP-3.4 bieten, wird im Folgenden explizit eingegangen.

Die Yara N-Sensoren®, die als Multispektralkamera unter anderem auf den Traktoren der Versuchsbetriebe (Domäne Bahrdorf, Stiftungsgut Hakenstedt, Herzogliche Gutsverwaltung Grünholz, Domäne Beberbeck) installiert waren, dienten der Einschätzung der Bestände in der Teilfläche. Die Hanse Agro verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der teilflächenspezifischen Düngung von Winterraps. Dieses System basiert auf Sensormessungen, die im Herbst mit dem Yara N-Sensor® durchgeführt werden. Bei einer teilflächenspezifischen Düngung ist die Beziehung zwischen Messgröße (Reflexion), der aus dieser resultierenden Hilfsgröße (z.B. Indices) und der Zielgröße (z.B. Stickstoffversorgung, Frischmasse je Quadratmeter) von sehr großer Bedeutung.

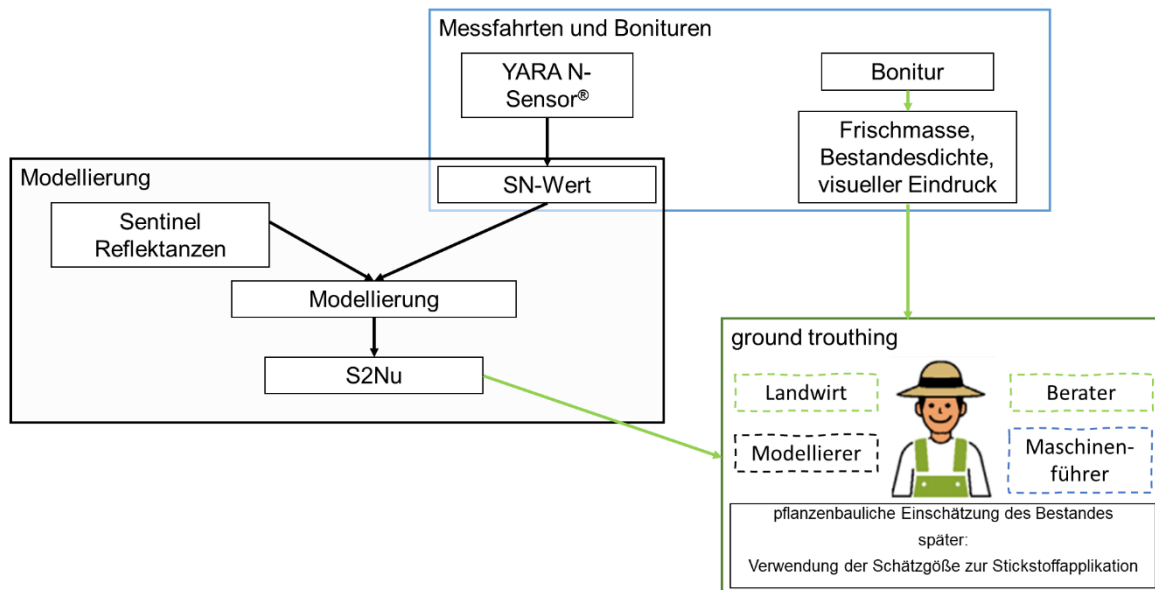
Neben dem in der Praxis weit verbreitetem NDVI wurden auch der SAVI, der MSAVI, der REIP sowie verschiedene eigene Indices (HA56 und HA 67) ausgewertet

Der NDVI lag an der oberen Grenze seiner Definition. Auch der eigene Index HA 56 konnte keinesfalls die Struktur des Bestandes so auflösen, wie diese in den Daten des Yara N-Sensors® zur erkennen war und schließlich auch in der Praxis wiedergefunden wurde. Die dargestellte Auswertung wurde auf weiteren Schlägen durchgeführt. Dies führte zu der Erkenntnis,

dass die Verwendung von Indices nicht die tatsächliche Variabilität der Bestandesentwicklung abbilden konnte.

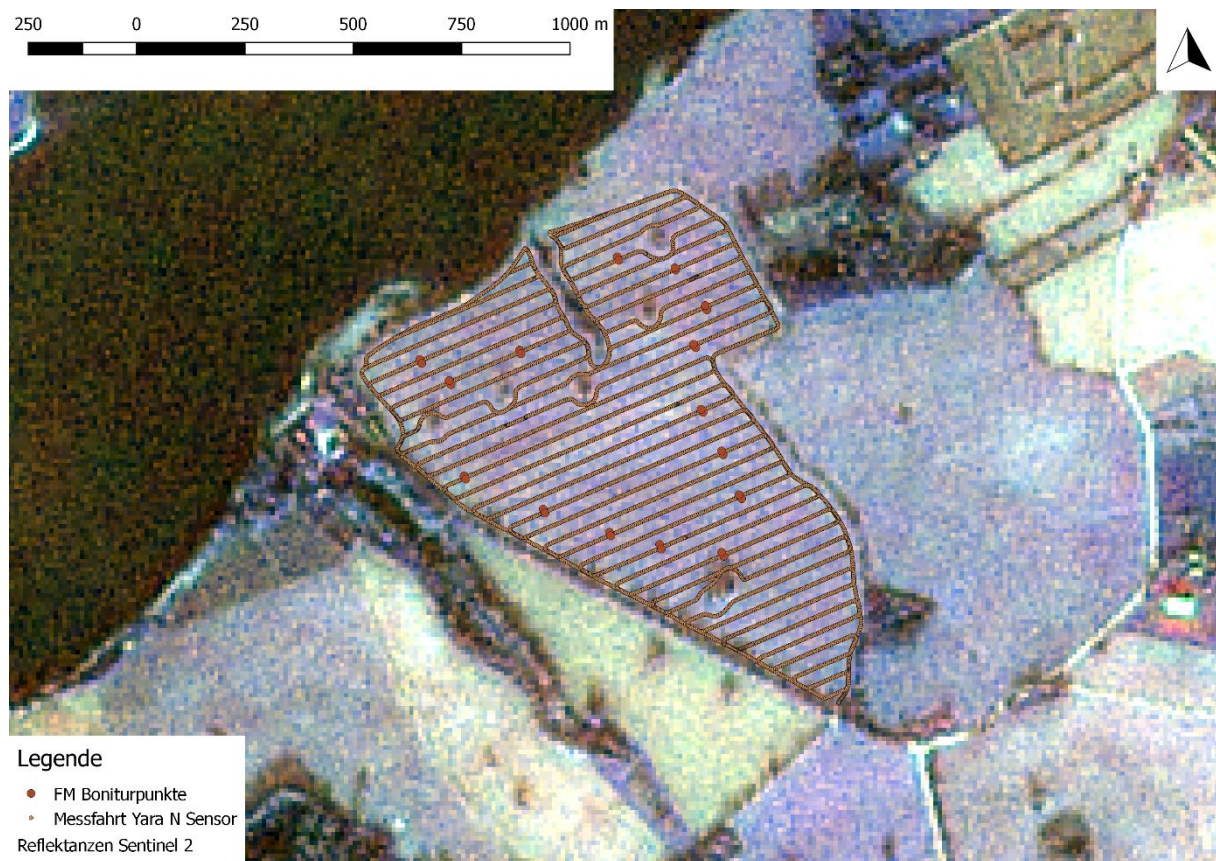
Unter Nutzung eines Predictive Modelling Ansatzes wurden alle verfügbaren Kanäle der Sentinel-2-Satelliten mit dem SN-Wert des Yara N-Sensors® in Beziehung gebracht. Um diese Beziehung umzusetzen, waren detaillierte Kenntnis und Kommunikation aller drei Ebenen notwendig:

Struktur der Modellerstellung



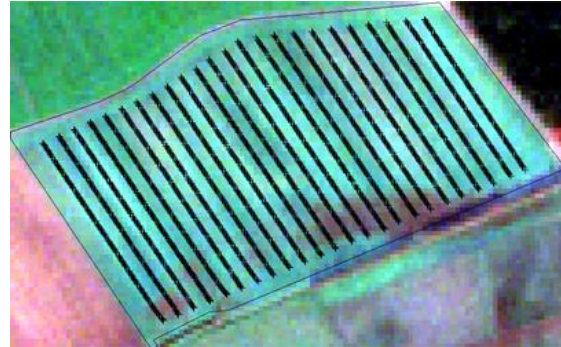
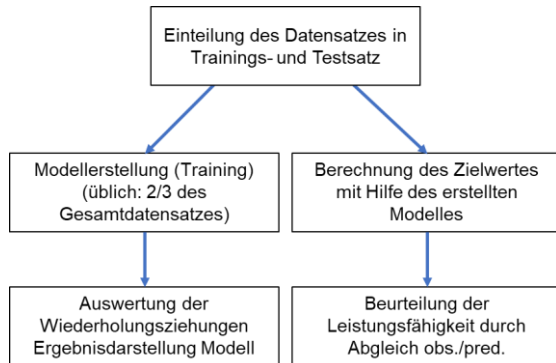
Neben der Auswahl in Flächengröße und Bestandesentwicklung geeigneter Schläge wurde bei den Messfahrten und Bonituren auf den Gesamteindruck des Bestandes geachtet. Sollten Schläge in der Ausprägung ihrer unterschiedlich entwickelten Zonen bewertet werden, so war neben der absoluten Höhe der N-Aufnahme und der Position bzw. Ausprägung der Teilflächen auch deren Flächenanteil am Gesamtmittelwert von Bedeutung. Durchgeführte Bonituren wurden nach einem groben Raster relativ zufällig innerhalb des Schlags durchgeführt:

Frischmassebonitурpunkte vor Daten Yara N-Sensor® und Sentinel-2 Datensatz



Der Eindruck, welcher zum einen von den Messwerten dieser Bonitурpunkte abgeleitet, aber zum anderen auch von der pflanzenbaulichen Einschätzung der Bestände an diesen Bonitурpunkten durch den Landwirt bzw. den Berater beeinflusst wurde, floss bei der Modellvalidierung mit ein. Das Ergebnis des Modelles, die Sentinel-2 N-Aufnahme (S2Nu), wurde schließlich durch den Landwirt und den Berater validiert und innerhalb einer Düngeplanung in eine Applikationskarte überführt. Wie schon zu erkennen war, gehen die Messfahrten und Bonitüren mehr oder weniger direkt in das ground truthing über. Die jeweiligen Ergebnisse wurden iterativ genutzt, um die Verfahren und Methoden zur Optimierung der Zielgröße, eine möglichst genaue Schätzung der N-Aufnahme, in möglichst großen Teilen des betrachteten Schlags anzupassen oder teilweise sogar abzuändern. Besonders der Bereich des ground truthing, also die unmittelbare Frischmassebestimmung auf den Ackerflächen erforderte einen massiven Einsatz an Personalmitteln, da für eine ausreichende Datendichte zum Vergleich mit der Sensormessfahrt bzw. den Satellitendaten zahlreiche Quadratmeter destruktiv über die Projektjahre hinweg beprobt werden mussten.

In der Modellierung war neben der Auswahl eines geeigneten Modelles, die detaillierte Analyse der Eingangsdaten von Bedeutung. Typischerweise folgte die Modellbildung nach Validierung und meist auch Bereinigung der Eingangsdaten (zum Beispiel müssen Extrempunkte und Messfehler eliminiert werden) folgendem Ablauf:

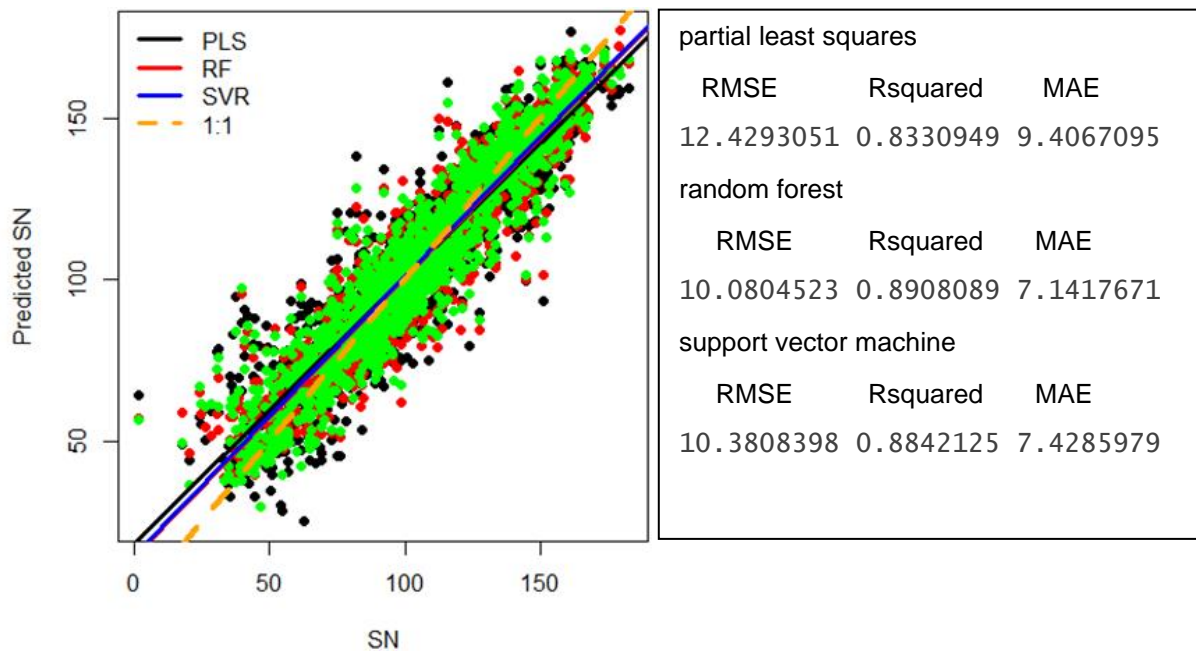


Wie in dem Beispiel der Ausgangsdaten zu erkennen ist, wurde das Vorgewende in der Modellbildung außen vorgelassen. Dies lag zum einen darin begründet, dass in den Sensormessdaten typischerweise im Vorgewende Messpunkte übereinander oder zumindest sehr dicht beieinander liegen und der Sensor bei der Überfahrt in das Vorgewende neben den Überlappungszonen der Applikationstechnik die Fahrgassen misst. Dies führt neben Messfehlern zu einer teilweise deutlichen Wichtung einzelner Teilbereiche des Schlages und würde zu einer häufigeren Berücksichtigung dieser im Modell führen. Weiterhin ist an Schlagkanten mit Randeffekten in den Satellitenaufnahmen zu rechnen. Dies können zum Beispiel Mischpixel sein, aber auch Schattenwurf.

Nach Erstellung der ersten Modelle ist dazu übergegangen worden, nur jeden vierten Messpunkt des Yara N-Sensors® zu verwenden. Da an der Position der Messpunkte die Satellitenkarten abgefragt werden, soll damit eine Autokorrelation verhindert werden. Der resultierende Abstand der Punkte von reichlich 11 Metern scheint bei einer Groundresolution der Satellitendaten von 10 m recht knapp. Dieser Abstand wurde als Kompromiss bewusst gewählt, um die Gesamtanzahl der Kalibrierpunkte im Modell nicht übermäßig zu verringern.

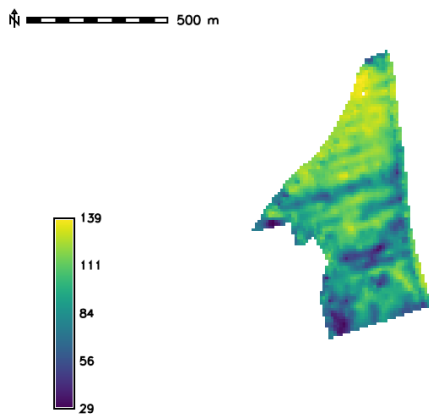
Der beschriebene Gedankengang wurde auf verschiedene Sensordatensätze angewendet. Um die Effekte innerhalb der Modellierung einschätzen zu können, wurde zunächst für mehrere Schläge jeweils ein eigenes Modell erstellt. Eine erste Einschätzung zur Güte der Anpassung kann zu diesen Modellen mit der Betrachtung des Testdatensatzes gemacht werden:

Ergebnisse Testdatensatz; root mean square error, R^2 , mean absolute error

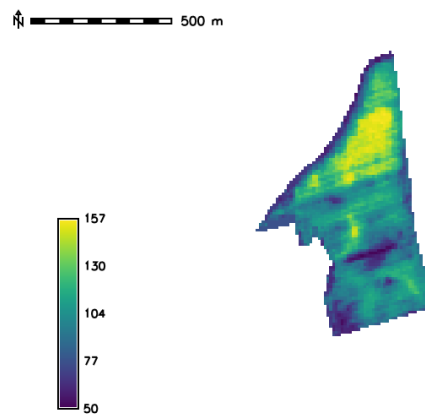


Nachdem die Ergebnisse, wie zu erkennen, vielversprechend ausgefallen sind, wurden die Modelle der einzelnen Schläge eines Jahres zu einem Modell für den Betrieb zusammengefasst. Auch diese Ergebnisse fielen gut aus und erlaubten schließlich die Modellierung weiterer Datensätze aus anderen Betrieben. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um den Einfluss des jeweiligen Standortes, aber auch des jeweils auf den Betrieben vorhandenen Sensors zu testen. Diese Modelle wurden wie in der Abbildung ausgewertet, aber auch genutzt, um andere Rapsbestände zu schätzen, die nicht in der Modellerstellung involviert waren. Nachdem dies mit nur mittelmäßiger Güte, die Rasterkorrelation lagen zwischen den gemessenen und den geschätzten Werten bei ca. 0,5 bis 0,6, funktionierte, wurden verschiedene Gründe diskutiert. Zunächst sollte die Betrachtung wie oben beschrieben auf die Kernflächen der Schläge begrenzt werden, um eventuelle Randeffekte auszuschließen. Weiterhin sind aber für die Modelle der einzelnen Betriebe in einzelnen Jahren nur eine begrenzte Anzahl an Messpunkten zur Verfügung gewesen. So konnte zum Beispiel im günstigsten Fall auf 2600 und im ungünstigsten Fall aber nur auf 900 Messpunkte zurückgegriffen werden. Dieser Effekt begrenzt maßgeblich die Leistung und Schätzgenauigkeit eines „machine learning“ Ansatzes (vgl. Kuhn & Johnson 2013) und sollte mit der Kombination der Modelle je Standort und Jahr auf ein Gesamtmodell vermindert werden. In einem ersten kombinierten Modell mit Messdaten aus den Jahren 2016 und 2017 konnten von vier Standorten 7300 Punkte Verwendung finden. Die Schätzung lieferte selbst im Rasterbild wesentlich bessere Ergebnisse:

SN interpoliert YNS Miltitz Herbst 18

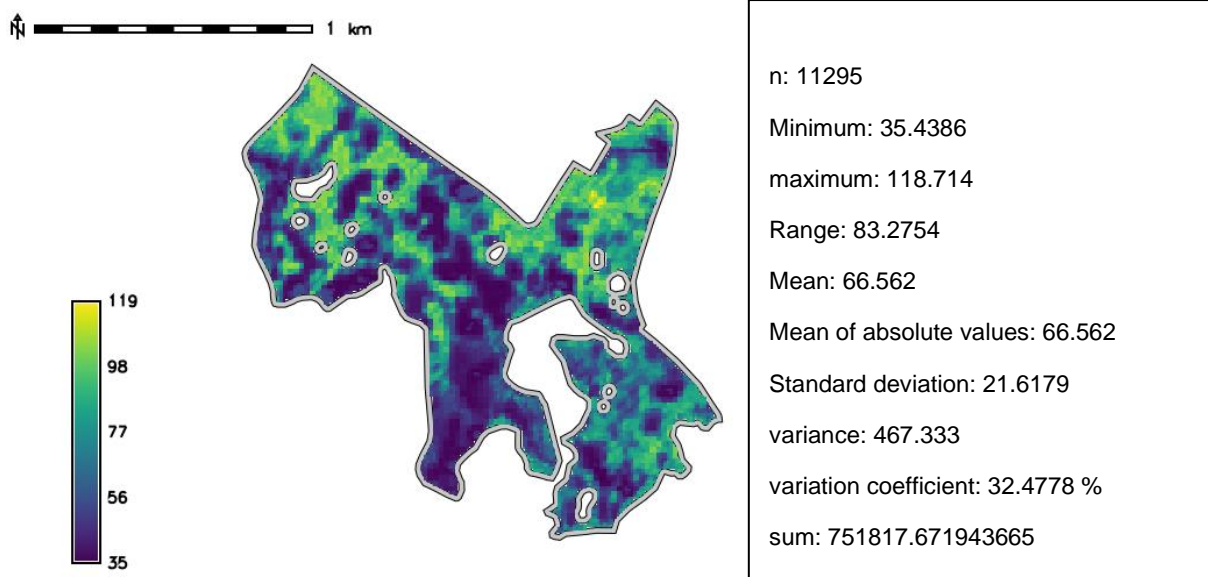


S2Nu Schätzung aus rf Modell ges_16_17



Mit Rasterkorrelationen in dem dargestellten Beispiel im Bereich von 0,6 und einem R^2 von 0,9 in der Testdatensatzauswertung konnte weitergearbeitet werden. Die Berechnung der Rasterkorrelationen erfolgte immer inklusive Vorgewende, also ohne Berücksichtigung von Randeffekten. Dieses Vorgehen bringt den Vorteil, dass je nach Größe von Mischbereichen (zum Beispiel größere Schatten der Waldränder, je nach Aufnahmedatum), der Einfluss von Randeffekten beobachtet werden kann. Die Ergebnisse waren derart gut, dass mit einzelnen Kunden der Hanse Agro GmbH versuchsweise über eine Stickstoffapplikation diskutiert werden konnte. Dazu wurde den Betrieben die S2Nu in Form eines Berichtes zur Verfügung gestellt. Mit diesem wurde dann durch den verantwortlichen Pflanzenbauer vor Ort in Absprache mit dem Berater der Hanse Agro eine Validierung durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Betriebe ihre Flächen sowohl in der Struktur der Teilflächen als auch in der absoluten Höhe der geschätzten N-Aufnahme wiederfinden konnten:

S2Nu Kernfläche, kg N je ha mit deskriptiver Statistik, Randstreifen im Hintergrund



Für die sich anschließende Applikationskartenerstellung musste jedoch für die Randbereiche eine Lösung erarbeitet werden, um auch auf diesen Teilflächen eine adäquate und pflanzenbaulich plausible Applikationsmenge berechnen zu können. Im Frühjahr 2019 wurde sich für die Verwendung des Mittelwertes aus der Kernfläche eines Schrages entschieden.

Ausgehend von den ersten Rückmeldungen aus der Pflanzenbaupraxis wurde eine Untersuchung der Applikationsmengen in einem On-farm-research-Versuchsdesign unter Berücksichtigung des „Leitfaden zur Einordnung, Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen unter Produktionsbedingungen“ der deutschen Regionen der Internationalen Biometrischen Gesellschaft an zwei Standorten durchgeführt (IBS–DR, 2012):

Versuchsskizze am Standort 2

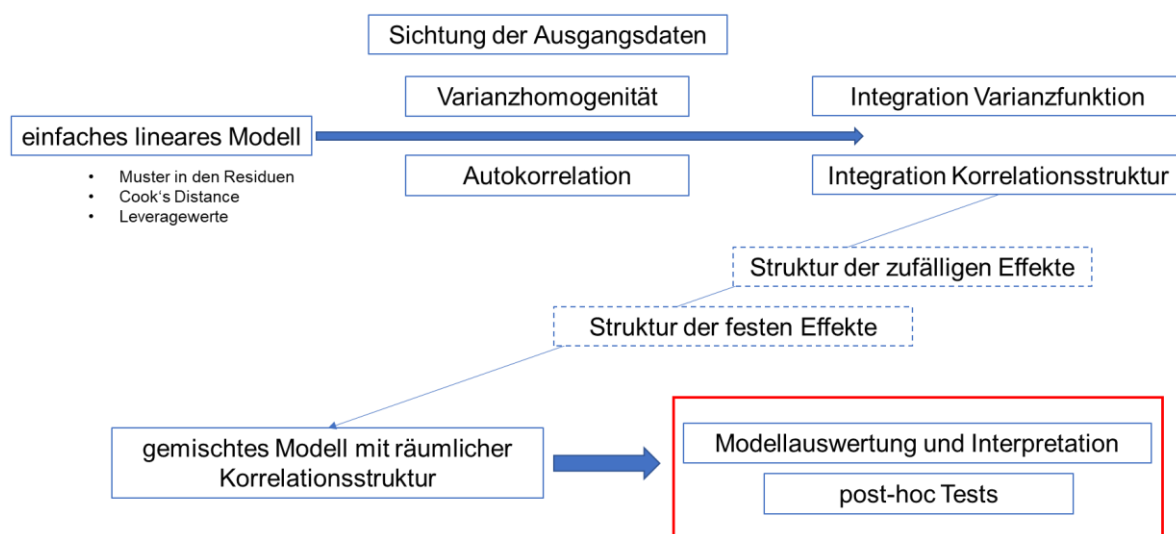


Es wurden fünf Varianten in einer vierfach wiederholten Blockanlage untersucht. Damit der Versuch mit betriebsüblicher Technik angelegt und beerntet werden, gleichzeitig aber auch eine Fahrgasse je Variante genutzt werden konnte, wurde die Düngerapplikation mit der Feldspritze durchgeführt. Bei der Verwendung eines Schleuderstreuers hätten sonst, unter Berücksichtigung der Überlappung des Streubildes, von, in diesem Fall notwendigen drei Fahrgassen, nur die mittlere Fahrgasse ausgewertet werden können. Da der gesamte Versuch, so wie er letztlich durchgeführt wurde, bereits 15 ha beansprucht, ist ein derartiges Versuchsdesign aus Platzgründen nicht umsetzbar gewesen.

Durch die Größe der Versuchsfläche, die hohe, aber unterschiedliche Anzahl der Messpunkte, die heterogenen Bodenverhältnisse sowie durch das Höhenmodell verursachte differenzierte Standortverhältnisse in den Teilflächen der Versuchsschläge und auch in den Versuchspartikeln begründet, wurde für die Auswertung ein geostatistisches Modell verwendet. Die Eigenschaften der Ausgangsdaten und die abzuleitende Methodik wurden anhand von Literaturquellen erörtert und umgesetzt (u.a. Zuur et.al., 2009, Piepho, 2011)

Erste Ergebnisse dieser Auswertungsmethodik schienen im Sommer 2019 so aussagekräftig, dass unter den Möglichkeiten der kostenneutralen Verlängerung des Projektes eine Wiederholung des Versuches beschlossen wurde. Diese sollte zum einen die Aussagen des ersten Versuchsjahres bestätigen und zum anderen die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres mit einem um die Sensormessdaten erweiterten Schätzmodell und weiteren Sentinel-2 Aufnahmen aus dem Herbst 2019 festigen.

Da die Versuchsauswertung sowohl in der Anwendung als auch in der Interpretation methodisch große Herausforderungen mit sich brachte, konnten im Winter 2019/2020 nur erste Auswertungen durchgeführt und mit den Statistikern diskutiert werden (vgl. I.5.). 2020 wurde schließlich eine für die Versuchsstruktur geeignete methodische Abfolge der statistischen Auswertung erarbeitet:

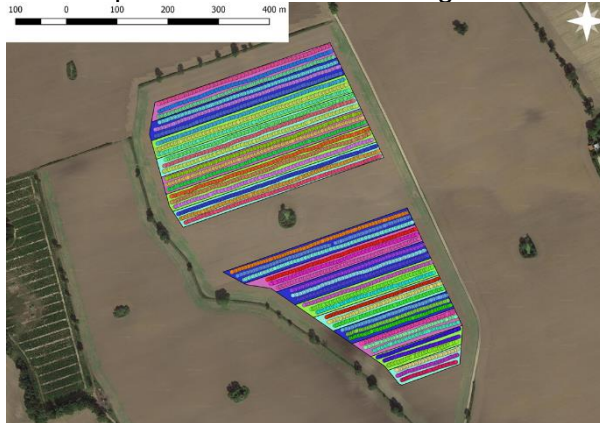


Begründet in der Herkunft der Daten musste neben einer räumlichen Korrelationsstruktur mit einer Aufteilung der Varianteneffekte in zufällige und feste Effekte gearbeitet werden. Diese Methodik ist von großer Bedeutung, da im Versuch die Effekte der verschiedenen Düngungsvarianten ausgewertet werden sollen und die Gefahr einer Verdeckung dieser durch Effekte des Versuchsdesigns und der Datenherkunft möglichst vermieden werden sollen.

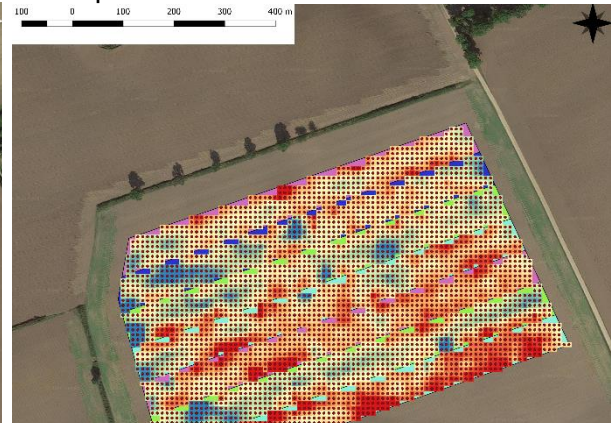
Ausgewertet wurden die Daten aus der Ertragskartierung der Mähdrescher mit je drei Druschspuren je Fahrgasse sowie die aus dem Saldo der Applikationsmengen mit den, aus den Erträgen, berechneten Stickstoffentzügen ermittelten N-Bilanz. Dazu wurden die Ertragspunkte

in einer räumlichen Auflösung von 5 m interpoliert und anschließend nach Berechnung der N-Bilanz je Rasterzelle als Vektorpunkt ausgelesen. Im Folgenden werden exemplarisch Daten aus 2020 am Standort Grünholz dargestellt:

Druschspuren innerhalb der Fahrgassen



Vektorpunkte vor N-Bilanzrasterkarte

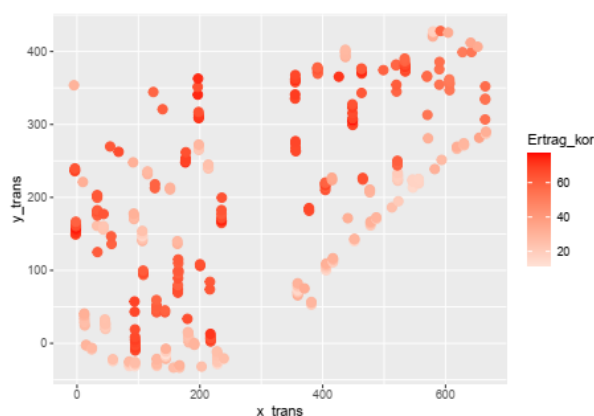


Geprüft wurden folgende Stickstoffdüngungsvarianten:

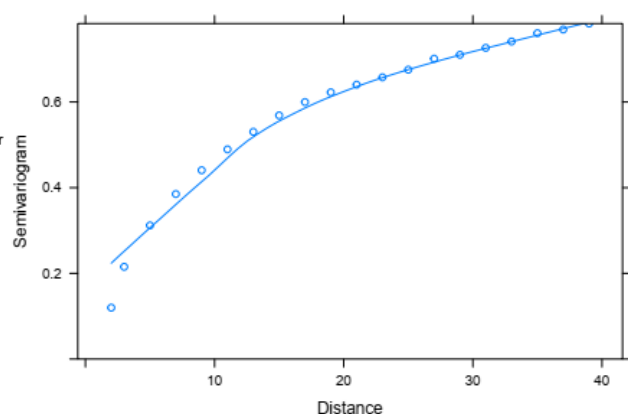
	Gut Grünholz	Miltitz
Variante 1	konstant nach Düngeverordnung	
Variante 2	Durchschnitt der Sentinel-2 N-Aufnahme HA	
Variante 3	teilflächenspez. Sentinel-2 N-Aufnahme HA	
Variante 4	teilflächenspez. Sentinel-2 Frischmasse des Julius-Kühn-Instituts	
Variante 5	nicht erfolgt	teilflächenspez. Yara N-Sensor®

In allen Datensätzen ließen sich Ausreißer sowie eine räumliche Autokorrelation feststellen, welche bei den N-Bilanzwerten regelmäßig geringer ausgefallen ist:

2,5 % Quartilen, gruppiert je Fahrgasse



Variogramm der korrigierten Ertragswerte



Wie in den Abbildungen zu erkennen ist, wurden die Messpunkte gedreht und auf den Koordinatenursprung transponiert, um sich im Versuch besser orientieren zu können. Weiterhin fand eine Feuchtekorrektur sowie eine Korrektur je Fahrgasse mit einer Gegenwiegung statt. Die im Variogramm zu erkennende Autokorrelation wurde mit verschiedenen räumlichen

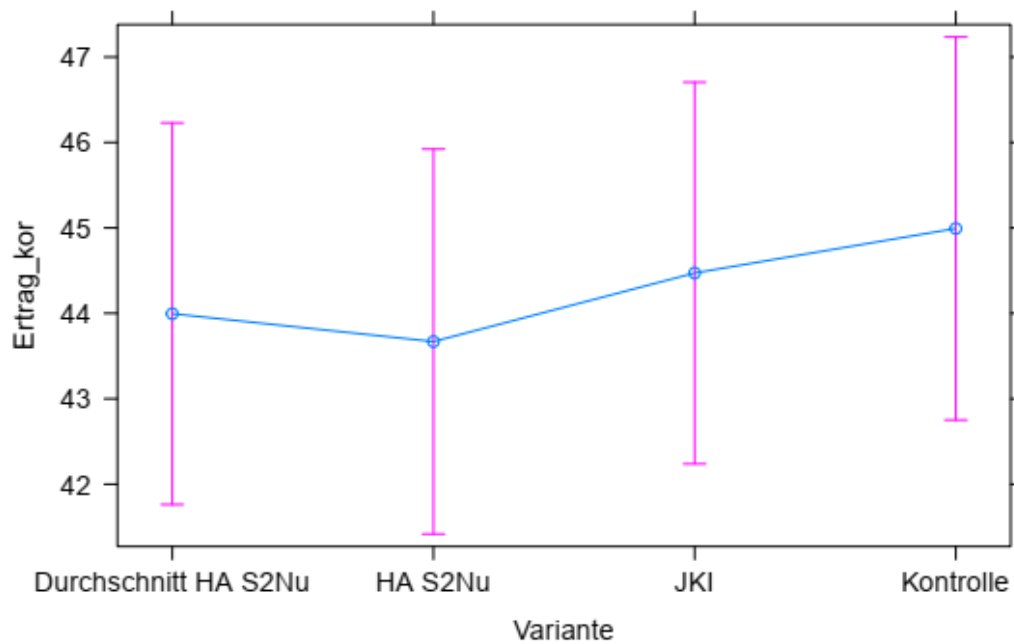
Korrelationsstrukturen in den Modellen berücksichtigt, die Ausreißer wurden für jeden Datensatz identifiziert und deren Einfluss auf die Modellbildung diskutiert. Insgesamt wurden folgende Auswertungen (jeweils Anzahl Messpunkt/Fläche in ha) durchgeführt:

	Gut Grünholz		Miltitz	
	Ertrag	N Bilanz	Ertrag	N Bilanz
2019	5359 /16,7	5934 /16,7	2375 /15,4	5336 /15,4
2020	6168 /18,7	6741 /18,7	2870/16,7	5672 /16,7

Auch hier ist große Fläche der Versuche zu erkennen, was bei der Auswertung von Satellitendaten mit einer Auflösung von minimal 10 m unbedingt notwendig war. Zum anderen ist festzustellen, dass der Mähdrescher auf Gut Grünholz wesentlich mehr Punkte je Fläche aufgezeichnet hat.

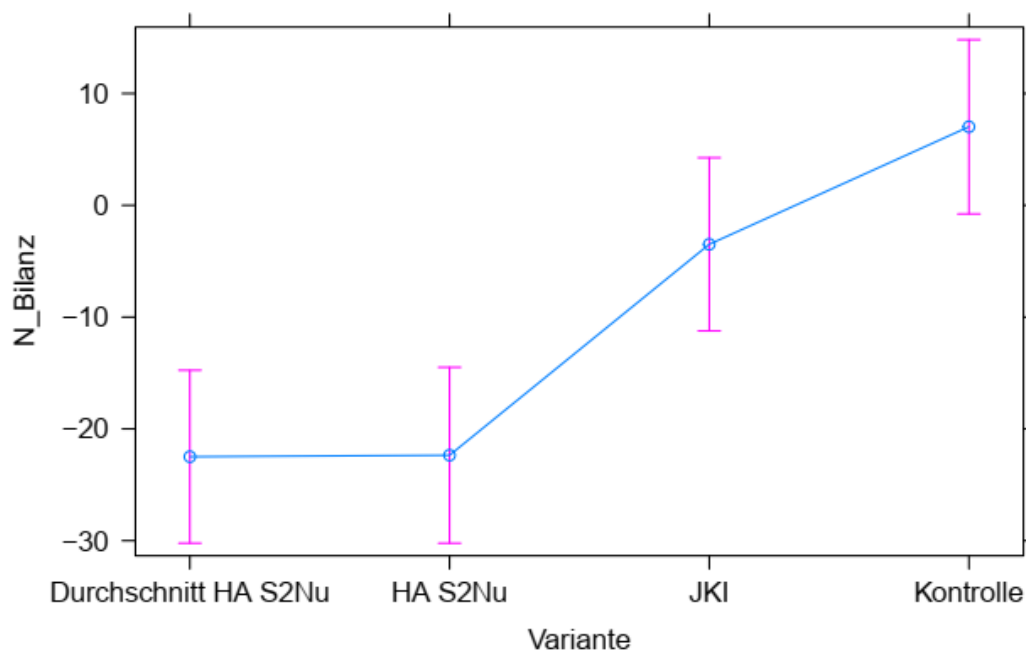
Über alle durchgeführten Versuche kann zusammengefasst werden, dass es zwischen den Varianten keine Unterschiede in den Erträgen gegeben hat. In dem „predictor effect plot“ sind die Mittelwerte der Erträge sowie deren Änderungen in Abhängigkeit von der Variante dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass hier nur die Effekte der Düngung dargestellt werden, die zufälligen Effekte sowie die Residuen werden außen vorgelassen. Die Interpretation fällt nicht schwer, da die Mittelwerte nur um circa eine Dezitonne schwankten und die Effektspannen relativ deutlich überlappten. Dementsprechend waren keine Unterschiede zwischen den Varianten aber auch kein Unterschied einer Variante zum Gesamtmittelwert (hier 44,29 dt/ha) zu verzeichnen.

Mittelwerte und Spannen der fixen Varianteneffekte auf den Ertrag Gut Grünholz 2020



Dieses Ergebnis konnte bei allen Ertragsauswertungen festgestellt werden. Dabei sollte in Miltitz beachtet werden, dass sich demnach die Satellitenvarianten nicht signifikant von der Variante mit der Düngung nach dem Yara N-Sensor® unterscheiden. Im Bereich der N-Bilanz konnten deutlichere Effekte beobachtet werden:

Mittelwerte und Spannen der fixen Varianteneffekte auf die N-Bilanz Gut Grünholz 2020



Es ergeben sich im vorliegenden Fall signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Varianten Durchschnitt HA S2Nu sowie HA S2Nu. Die Variante nach der Kalibrierung des JKI war knapp nicht signifikant von der Kontrolle verschieden:

zusammengefasste Ausgabe des finalen gemischten Modelles N-Bilanz Grünholz 2020

```

Modell mit random Intercept je Variante nested in Block

Linear mixed-effects model fit by REML
Data: Bil
      AIC      BIC    logLik
44985.34 45039.86 -22484.67

Random effects:
Formula: ~1 | Block
      (Intercept)
StdDev:    5.605687

Formula: ~1 | Variante %in% Block
      (Intercept) Residual
StdDev:    3.334809 18.6219

Correlation Structure: Rational quadratic spatial correlation

Formula: ~x + y | Block/Variante
Parameter estimate(s):
      range
10.75016
Fixed effects: list(form1)
      Value Std.Error DF t-value p-value
(Intercept) -22.490881 3.944167 6725 -5.702314 0.0000
VarianteHA S2Nu 0.133434 3.980109 9 0.033525 0.9740
VarianteJKI 18.998784 3.924418 9 4.841172 0.0009
VarianteKontrolle 29.513744 3.942986 9 7.485125 0.0000
Correlation:
      (Intr) VHAS2N VrnJKI
VarianteHA S2Nu -0.487
VarianteJKI -0.496 0.491
VarianteKontrolle -0.492 0.489 0.496

Standardized Within-Group Residuals:
      Min      Q1      Med      Q3      Max
-5.16255409 -0.61408601 0.07047688 0.81834149 6.35507116

Number of Observations: 6741
Number of Groups:
      Block Variante %in% Block
      4 16

```

Dargestellt ist die Zusammenfassung des gerechneten gemischten Modelles. Im oberen Bereich sind das „Akaike'sches Informationskriterium (AIC)“ und das „Bayessches Informationskriterium (BIC)“ gefolgt von der Standardabweichung der Gruppen in den zufälligen Effekten (5,6 dt/ha und 3,3 N je ha; Residuen bei 18,6 kg N je ha) dargestellt. Weiterhin wurde eine rational quadratische Variogrammstruktur gruppiert nach Variante nested in Block“ berücksichtigt (~x+y | Block/Variante). Anschließend werden die fixen Effekte dargestellt. In deren P Werten (p-values) ist bereits zu erkennen, dass die Variante JKI und die Kontrolle unter 5% liegen und somit einen signifikanten Einfluss auf das Modell haben. „Intercept“ beinhaltet die Variante Durchschnitt HA S2Nu mit einer N-Bilanz von durchschnittlich -22,49 kg N je ha. Die Werte der anderen Varianten entsprechen der Differenz zu diesem Wert.

Abschließend werden Korrelationen zwischen den fixen Effekten, die standardisierte Residuen innerhalb der Gruppen sowie die Anzahl der Punkte und Gruppen ausgegeben. Es interessiert nun, ob die Varianten mit signifikantem Einfluss zum Gesamtmittelwert verschieden sind und ob es Unterschiede zwischen den Varianten gibt. Dazu werden mit dem gebildeten Modell

multiple Mittelwertvergleiche berechnet. In der nachfolgenden Abbildung wird im oberen Bereich das ausgewertete Modell dargestellt (Fit:). Nachfolgend werden alle Varianten gegen den Gesamtmittelwert (GrandMean) getestet, wobei die Nullhypothese lautet, dass der Gruppenmittelwert mit diesem übereinstimmt ($=0$)

zusammengefasste Ausgabe GrandMean Test N-Bilanz Grünholz 2020

```

Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: GrandMean Contrasts

Fit: lme.formula(fixed = form1, data = Bil, random = -1 | Block/Variante,
correlation = corRatio(form = -x + y), weights = varIdent(form = -1 |
Variante), method = "REML", control = lmc)

Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Durchschnitt HA S2Nu == 0 -12.314      2.191  -5.619  0.00104 **
HA S2Nu == 0              -12.202      2.457  -4.967  0.00259 **
JKI == 0                  6.673       2.439   2.736  0.07403 .
Kontrolle == 0            17.158       2.347   7.310  < 0.001 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

```

Nahezu alle P-Werte ($Pr(>|t|)$) waren kleiner 5%, wobei die Kontrolle am deutlichsten verschieden war. In der Spalte Estimate ist die Differenz zum Gesamtmittelwert (-10,18 kg N je ha) abzulesen, die Variante JKI konnte sich nicht signifikant von der Kontrolle absetzen, da sie, wie schon in der obigen Abbildung gezeigt, in der Mitte aller Varianten lag.

Die Unterschiede zwischen den Varianten wurden mit Tukey Kontrasten ausgewertet, in dem die Nullhypothese lautet, dass es keine Unterschiede gibt. Im oberen Bereich wird wieder das getestete Modell ausgegeben. In der Spalte Estimate sind die Differenzen zwischen den Varianten dargestellt, gefolgt vom Standardfehler, dem berechneten t-Wert und den zugehörigen P-Werten ($Pr(>|t|)$):

zusammengefasste Ausgabe Tukey Contrast Test N-Bilanz Grünholz 2020

Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

Fit: lme.formula(fixed = form1, data = Bil, random = -1 | Block/Variante, correlation = corRatio(form = -x + y), method = "REML", control = lmc)

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
HA S2Nu - Durchschnitt HA S2Nu == 0	0.1334	3.9801	0.034	0.99999
JKI - Durchschnitt HA S2Nu == 0	18.9988	3.9244	4.841	0.00408 **
Kontrolle - Durchschnitt HA S2Nu == 0	29.5137	3.9430	7.485	< 0.001 ***
JKI - HA S2Nu == 0	18.8653	3.9885	4.730	0.00485 **
Kontrolle - HA S2Nu == 0	29.3803	4.0032	7.339	< 0.001 ***
Kontrolle - JKI == 0	10.5150	3.9512	2.661	0.09933 .

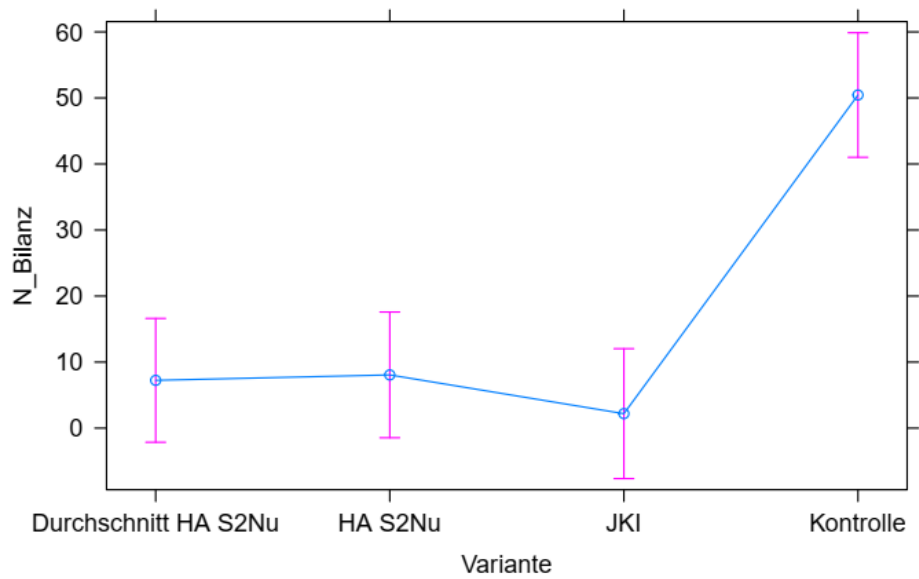
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)

Auch hier bestätigte sich das im „variante predictor effect plot“ (s.o.) vermutete Ergebnis, die Mehrheit der Varianten waren signifikant unterschiedlich voneinander, außer die Variante JKI von der Kontrolle und die Variante HA S2Nu von der Variante Durchschnitt HA S2Nu.

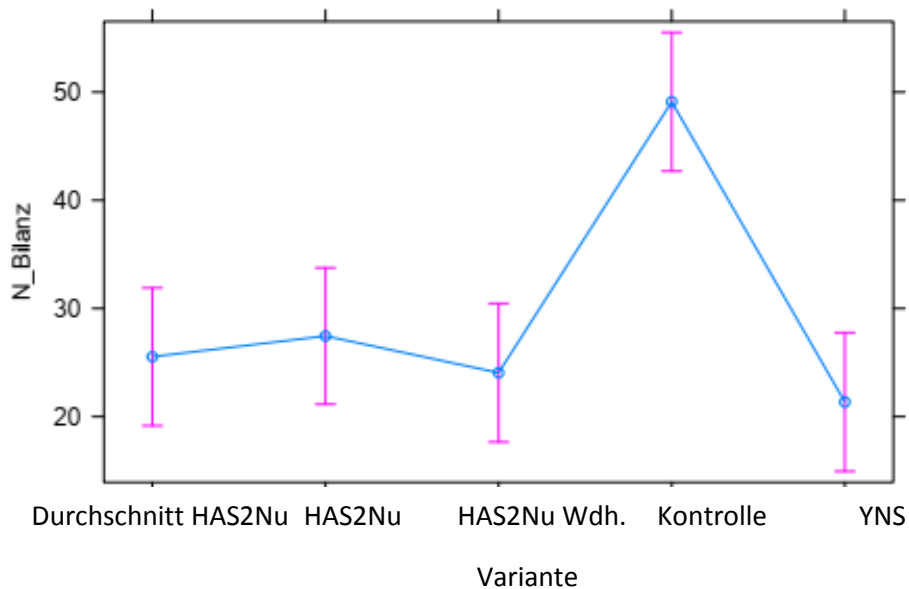
Für die restlichen Ergebnisse der N-Bilanzen sind signifikanten Unterschiede der multiplen Mittelwertvergleiche in einer Tabelle zusammengefasst worden. Um die tatsächlichen Mittelwerte der fixen Effekte quantifizieren zu können, werden im Anschluss die „predictor effect plots“ dargestellt.

	Gut Grünholz 2019	Miltitz 2019	Miltitz 2020
GrandMean	alle Varianten	Kontrolle	Kontrolle
zwischen den Varianten	alle Varianten zur Kontrolle	alle Varianten zur Kontrolle	Satellitenvarianten zur Kontrolle, YNS zu Kontrolle knapp signifikant

Mittelwerte und Spannen der fixen Varianteneffekte auf die N-Bilanz Gut Grünholz 2019

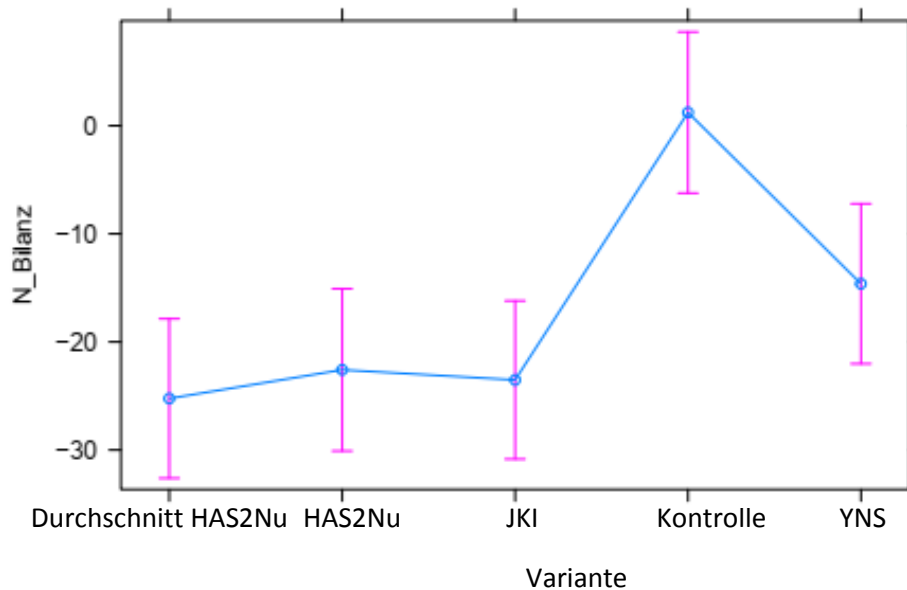


Mittelwerte und Spannen der fixen Varianteneffekte auf die N-Bilanz Miltitz 2019



Leider ist in Miltitz ein Fehler in der Applikationskartenerstellung festgestellt worden, sodass im Versuchsjahr die Variante JKI durch eine Wiederholung der Düngung nach der Hanse Agro Satellitenkalibrierung ersetzt wurde.

Mittelwerte und Spannen der fixen Varianteneffekte auf die N-Bilanz Miltitz 2020



Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit der genauen Kenntnis der Stickstoffaufnahme der Pflanzen, die unter anderem fernerkundlich durch die Sentinel-2 Satelliten erfasst werden kann, bei gleichbleibenden Erträgen deutlich weniger Stickstoff zur Düngung im Frühjahr aufgewendet werden muss.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zu Beginn des Projektes bestätigte sich schnell der Verdacht, dass die reine Betrachtung von unterschiedlichen, bekannten Indices nicht hinreichend Verwendung finden kann. Daher war die Notwendigkeit gegeben, sich mit einer Modellbildung zu befassen, die es ermöglicht, direkt aus den Spektralinformationen der Sentinel-2 Satelliten die Stickstoffaufnahme von Winterraps im Herbst zuverlässig schätzen zu können.

Wie aus dem vorangegangenen Kapitel (II 1 und II 2) ersichtlich wird, stellte sich im Laufe des Projektes aufgrund der Komplexität des Ansatzes weiterhin heraus, dass neben der reinen Datensammlung und der Anlage von Feldversuchen auch die Auswertung und Modellbildung durch die Arbeitsgruppe der Hanse Agro umzusetzen war.

Das Sammeln, Validieren und Zusammenstellen der Daten (Anbaudaten, phänologische Entwicklung, Ertragsergebnisse) von den verschiedenen Flächen der Hanse Agro Kunden über die Jahre für die Konsortialpartner erforderte ein hohes Maß an Arbeitseinsatz. Damit das Verhältnis aus Kosten und Nutzen optimiert werden konnte und ein Höchstmaß an Effizienz zustande kam, wurden viele Daten von den Beratern der Hanse Agro während oder im unmittelbaren Anschluss an die alle 3 bis 4 Wochen regelmäßig stattfindenden Vor-Ort-Beratungstermine erfasst bzw. aus den ohnehin geführten Beratungsprotokollen extrahiert. Durch diesen Synergismus war es möglich, eine umfangreiche Datenlage verschiedenster Anbausituationen über das Bundesgebiet hinweg zu bekommen.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

Als zentrales Kernprodukt hat die Hanse Agro ausgehend von den Satellitendaten einen Algorithmus zur Schätzung der absoluten Stickstoffaufnahme im Herbst in Winterraps hergeleitet. Die Information, wieviel Stickstoff der Raps über die Herbstmonate bis zum Vegetationsende bzw. bis zur Vegetationsruhe aufgenommen hat, ist ein maßgeblicher Bestandteil bei der Bemessung der Stickstoffdüngemenge im Frühjahr. Mit der Düngebedarfsermittlung werden schlagspezifische, maximale Obergrenzen in der Stickstoffdüngemenge ermittelt. Es ergeben sich aber durchaus Situationen, in denen allein durch eine Optimierung der Umverteilung auf der Fläche deutliche Effizienzsteigerungen in der Stickstoffausnutzung sowie in gewissem Maße auch wirtschaftliche Ertragsvorteile erwirtschaften lassen. Dies setzt jedoch voraus, dass die Entwicklung der Pflanzen anhand der Stickstoffaufnahme exakt erfasst werden kann.

In diesem Bereich konnte bereits während der Projektphase mit Betrieben, die von der Hanse Agro pflanzenbaulich begleitet werden, viel Erfahrung in der Umsetzung und Validierung des Düngesystems unter Berücksichtigung der Stickstoffaufnahme von Winterraps gesammelt werden. Hierin fließen neben der genannten Stickstoffaufnahme weitere Informationen, wie bspw. Zielertrag, Bodengüte, Nachlieferungspotenzial aus dem Boden sowie die aktuelle Entwicklung des Jahres ein. Die Deckelung der maximal möglichen Stickstoffmenge ergibt sich aus der Düngebedarfsermittlung. Dem Anwender wird im Anschluss eine Applikationskarte für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung übergeben.

Das beschriebene Düngesystem wird seit Mitte der 2000er von der Hanse Agro auf ihren Beratungsbetrieben flächenspezifisch erfolgreich umgesetzt. Der weitere Erkenntnisgewinn über die Stickstoffaufnahme der Pflanzen in der Teilfläche anhand der Spektralbänder der Sentinel-2 Satelliten ist dabei ein weiterer, sehr entscheidender Schritt nach vorne.

Durch die Verwendung der Sentinel-2-Daten kann die Information über die Stickstoffaufnahme jedem Anwender zur Verfügung gestellt werden, ohne dass auf dem landwirtschaftlichen Betrieb in eigene, spezialisierte Sensortechnik investiert werden muss. Somit bietet sich eine kostengünstige Anwendungsmöglichkeit auch für kleinere landwirtschaftliche Betriebe. Für alle Betriebsgrößen ist der Ansatz darüber hinaus hoch interessant, da unabhängig von einer regelmäßig auftretenden Nicht-Befahrbarkeit der Ackerflächen im November, valide Messwerte generiert werden können.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekanntgewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es wurden mehrfach Portale zur Entwicklung verschiedener Applikationskarten aus Satellitendaten evaluiert. Neben dem Portal **atfarm** der Yara International ASA wurden im Frühjahr 2018 und 2019 unter anderem mit dem Portal **xarvio** der BASF Digital Farming GmbH sowie mit **SkyFLD** der HELM AG gearbeitet. Außerdem wurden die Produkte **Claas Crop View** von der **365 Farmnet GmbH**, **Crop Sat** der **Dataväxt AB** sowie **Talking Fields** Produkte der **VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH** getestet. Dabei wurden, außer bei den **Talking Fields** Produkten, jeweils Schläge, die aus der Beratung der Betriebe bekannt sind, verwendet, um mit den angebotenen Methoden Applikationskarten zu erstellen.

Im Portal **atfarm** kann sich der Nutzer Biomasse generiert aus den einzelnen Satellitenaufnahmen anzeigen lassen. Die Frischmasse wird dabei in Prozent angegeben, was vermuten lässt, dass es sich um eine relative Verteilung zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme handelt. Diese Art der Darstellung von Daten ist in vielen Portalen sehr ähnlich, auf Nachfrage erhält der Nutzer keine weiteren Angaben, es fehlt der Bezug auf die pflanzenbauliche Ebene. Kernthema ist bei diesen Anwendungen, welche Stickstoffmenge zugeordnet werden soll. Weiterhin stellt sich dem Pflanzenbauer auch die Frage, wie beständig eine relative Frischmasseverteilung sein kann, wenn sich im Frühjahr die Bestände zügig weiterentwickeln. Ständig steht im Fokus, welcher Wert dargestellt wird. Je nachdem welcher Index beispielsweise betrachtet wird, können bekannte Probleme die Verwendung kritisch gestalten. Da eine Beschreibung der Messgröße nicht vorhanden ist, lässt sich nur vermuten, welche Daten als „Biomasse“ oder „Biomasseverteilung“ dargestellt werden, der Pflanzenbauer soll aber eigenverantwortlich Düngermengen zuordnen, deren absolute Größe in der pflanzenbaulichen Praxis sehr großen Einfluss auf das Erntergebnis haben. Sehr komfortabel ist die anschließende technische Erstellung der Applikationskarten zu charakterisieren. Es lassen sich sehr gut Stickstoff oder Wirkstoffmengen in Produktmengen innerhalb der Karten umrechnen. Nach Auswahl des Terminals lassen sich benötigten Formate zügig und ohne Probleme erstellen. Aus eigener Erfahrung kann dies, gerade bei älteren Terminals oder bei Softwareupdates der Applikationstechnik durchaus kritisch sein.

Neben der zweiten Stickstoffgabe wurde für den gleichen Schlag fiktiv eine Fungizidgabe geplant. Diese Anwendung ist Bestandteil des **Xarvio Field Managers**. Die Vegetationszonen werden von „hoch bis niedrig“ beschrieben und es wird in dem Beispiel das Fungizid mit entsprechender Aufwandmenge zugeordnet. Ähnlich der Düngungsanwendung entsteht ausschließlich durch die Vorgaben des Nutzers die Applikationskarte. Es ist genau wie bei den Anwendungen für die Stickstoffdüngung nur eine Verteilung nach relativen Unterschieden zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme möglich.

Wird die Düngung mit dem Yara N-Sensor® als Standard festgelegt, dann sind die Unterschiede zu der Düngung nach SkyFLD oder atfarm erstaunlich. Zwar sind die Mittelwerte relativ ähnlich, aber Minimum und Maximum gehen doch sehr weit auseinander. Von wesentlich größerer Bedeutung ist aber die Entstehung der Statistik. Die Flächenanteile sowie die Versorgung der Teilflächen sind bei Betrachtung einzelner Punkte im Schlag konträr. Es ist dem Praktiker nicht möglich, die Zuordnung der Werte zu den „Biomassewerten“ pflanzenbaulich begründet und gleichzeitig im statistischen Zusammenhang vorzunehmen. Es muss nach Gefühl oder Erfahrung vorgegangen werden und das Ergebnis ist nicht trivial zu beurteilen. Weiterhin kann eine solche Zuordnung je nach Anwender unterschiedlich ausfallen, obwohl aus der Beratungserfahrung bekannt ist, dass pflanzenbauliche Zusammenhänge im Grundsatz nachhaltig gültig und, solange nachgewiesen, auch breit anwendbar sind.

Einen solchen Ansatz stellt z.B. die biomassebasierte N-Düngung im Winterraps dar (Sieling et.al. 2010). Um diese Methodik in der Praxis zu nutzen, ist es aber notwendig, valide Messwerte aus der Teilfläche zur Verfügung zu haben. Im weiteren Verlauf müssen die teilflächenspezifischen Ergebnisse wiederholbar sein und von den Praktikern interpretiert werden können. Es war bis dato kein satellitenbasierter Ansatz in der pflanzenbaulichen Praxis bekannt, der dieser Grundanforderung an eine teilflächenspezifische Düngung gerecht werden kann.

Die Produkte **Claas Crop View** und **Crop Sat** stellen ähnliche Auswertungsmöglichkeiten von Sentinel-2-Daten zur Verfügung, wie die vorgestellten Gedankengänge. Es konnte keine klare Ableitung einer mit vorhersagbaren Sicherheit ausgestattete Applikationskarte umgesetzt werden. Die Produkte der **VISTA** geowissenschaftliche Forschungsgesellschaft GmbH scheinen eine interessante Alternative darzustellen. So ist neben der TF-Basiskarte, welche Standortqualitäten in Form von relativen Biomasseunterschieden darstellt, auch eine Ertragspotenzialkarte, eine Biomassekarte sowie eine Karte zur N-Aufnahme von Winterraps verfügbar (www.talkingfields.de, Stand 02/2020). Steht die N-Aufnahme im Winterraps im Fokus, dann ist es schon erstaunlich, dass diese bei diesem Ansatz über den Winter akkumuliert wird. Schließlich ist aus der Praxis bekannt, dass die Rapspflanzen auch deutlich Blätter verlieren können und die N-Aufnahme einer Schwankung unterliegen kann. Weiterhin können Düngungstermine im Frühjahr so notwendig werden, dass der Bestand dann aktuell photometrisch nicht geeignet ist (z.B. abgestorbene Blätter, Pflanzen durch Verlagerungsprozesse rot oder durch Schnee nach unten gedrückt), um gemessen zu werden. Solche Verhältnisse haben auch schon dazu geführt, dass Onlinemessverfahren im Raps im Frühjahr nicht durchgeführt werden konnten. Der übliche Ansatz ist demnach die Betrachtung der N-Aufnahme im Herbst zum Vegetationsende. Um die Schätzdaten validieren zu können, ist detaillierte Kenntnis der Standortverhältnisse und auch der Witterungseinflüsse des einzelnen Jahres notwendig. Deswegen wird im eigenen Ansatz verstärkt auf eine Kombination der Auswertungsmethoden und der pflanzenbaulichen Beratungspraxis gesetzt.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11

Die aus dem Forschungsprojekt gewonnenen Ergebnisse werden den Kunden der Hanse Agro auf Tagungen, Feldtagen und im direkten Beratungsgespräch zur Verfügung gestellt. Weiterhin wird der Abschlussbericht im kundeninternen Bereich der Hanse Agro Website einsehbar sein.

Darüberhinausgehende Veröffentlichungen, gerade im Bereich der wissenschaftlichen Zeitschriftenreihen erfolgen in enger Absprache mit der Gesamtprojektverantwortlichen.

III. Erfolgskontrollbericht (nicht öffentlich)

** Nicht öffentliche Angaben zum Erfolgskontrollbericht sind in dieser Veröffentlichung entfernt**

IV. „Kurzfassung“

Im Projekt AGRO-DE wurden durch die Hanse Agro Produkte aus dem Projektkonsortium bewertet und Daten zur Validierung und Präzisierung dieser erhoben und den Arbeitsgruppen zur Verfügung gestellt. Mit dem Weg bis zu einem in einer teilflächenspezifischen Applikation anwendbaren Workflows wurden zunächst Vegetationsindices auf ihre Eignung zur Detektion der teilflächenspezifischen Biomasse von Winterraps untersucht. Bedingt durch begrenzte Ergebnisse im Bereich der Variabilität der Biomasse über die Fläche dieser Indices wurde eine eigene Kalibrierung der Sentinel-2-Daten auf die N-Aufnahme des Yara N-Sensors® im Rahmen eines Predictive Modelling-Ansatzes umgesetzt.

Dieser wurde nach ersten Tests an Trainingsdatensätzen durch On-farm research Versuche an zwei Standorten über zwei Jahre geprüft. Als Ergebnis der geostatistischen Auswertung, welche mit gemischten Modellen durchgeführt wurde, ließ sich festhalten, dass keine Ertragsunterschiede zu verzeichnen waren, die Stickstoffbilanzen der Satellitenvarianten jedoch niedriger als die der Variante, die nach der zum Zeitpunkt der Versuche gültigen Düngeverordnung berechnet wurde, lagen. Erste Rückmeldungen der Praxis zum entwickelten Produkt bestätigten diese Ergebnisse.

Im Rahmen des Projektes konnten Erfahrungen in der Sichtung, Bewertung, Auswertung und Anwendung von Satellitendaten für den praktischen Pflanzenbau erlangt werden, welche die Tätigkeit der Hanse Agro in diesem Aufgabengebiet nachhaltig prägen und fördern werden.

V. Literaturverzeichnis

- Esch T., Üreyen S., Zeidler J., Metz–Marconcini A., Hirner A., Asamer H., Tum M., Böttcher M., Kuchar S., Svaton V., Marconcini M. (2018) Exploiting big earth data from space – first experiences with the timescan processing chain *Big Earth Data*, 2:1, p. 36-55
- Guyot, G., F. Baret, D.J. Major, 1988, High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and infrared. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 11, 750-760.
- Huete, A.R., 1988, A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, pp. 295–309.
- IBS-DR (2012) Leitfaden zur Einordnung, Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen unter Produktionsbedingungen (On-Farm-Experimente) Stand 11/2019 http://www.biometrische-gesellschaft.de/fileadmin/AG_Daten/Landwirtschaft/PDFs/Leitfaden_OFE-Band_2012.pdf
- Jasper, J., Reusch S., Link A., 2009, Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination: impact of seed rate, variety and growth stage. *Precision Agriculture* Precision Agriculture '09, p.23-30
- Jordan, C.F., 1969, Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology* 50, 663-666.
- Kuhn M., Johnson K. (2013). *Applied Predictive Modeling*. New York, Springer Science + Business Media, p.1-225
- Lilienthal H. (2014) Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. *Journal für Kulturpflanzen*, 66 (2). S. 34–41
- Müller K., Böttcher U., Meyer-Schatz F., Kage H., (2008) Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engineering* 101 p. 172 – 182
- Piepho H.P., Richter C., Spilke J., Hartung K., Kunick A., Thöle H. (2011) Statistical aspects of on-farm experimentation. *Crop and Pasture Science* 62, p. 721-735
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1974, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *NASA Goddard Space Flight Center Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, pp. 309–317
- Curran P. (1989) Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, vol 30, pp 271-278.
- Rogge D., Bauer A., Zeidler J., Mueller A., Esch T., Heiden U., (2018) Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984–2014). *Remote Sensing of Environment* 205, p. 1–17

- Schliephake W. (2011). Anforderungen an eine teilflächenspezifische N-Düngung unter besonderer Berücksichtigung einer umweltorientierten Nährstoffversorgung auf trockenen Standorten. Schriftenreihe des LfULG, Heft 17, S 38
- Sieling K., Sauermann W. Kage H. (2010) Wie lässt sich die N-Düngung zu Winterraps optimieren? Wissenstransfer als pdf, UFOP Projektseite: <https://www.pflanzenbau.uni-kiel.de/ufop/index.html>, Stand 02/2020
- Sanchez P.A., Ahamed S., Carré F., Hartemink A.E., Hempel J., Huising J., Lagacherie P., McBratney A.B., McKenzie N.J., Mendonça-Santos M.D.L., Minasny B., Montanarella L., Okoth P., Palm C.A., Sachs J.D., Shepherd K.D., Vågen T.-G., Vanlauwe B., Walsh M.G., Winowiecki L.A., Zhang G.-L. (2009) Digital Soil Map of the World. Science 325, 680–681.
- Söderström M., Piikki K., Stenberg M., Stadig H., Martinsson J. (2017) Producing nitrogen (N) uptake maps in winter wheat by combining proximalcrop measurements with Sentinel-2 and DMC satellite images in a decision support system for farmers, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 67:7, 637-650
- Tucker C.J. (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, vol 8, pp. 127-150.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., Smith G.M. (2009) Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York, Springer Science + Business Media, p. 1-339
-
- online Portale von Drittanbietern:
 - BASF Digital Farming GmbH 2020 (2018) xarvio <https://www.xarvio.com/de/de/pricing.html> Stand 04/2018
 - 365FarmNet GmbH (2019) Claas Crop View <https://www.365farmnet.com/de/produkte/bausteine/claas-crop-view/> Stand 07/2019
 - Datavaxt (2019) CropSAT <https://cropsat.com/> Stand 07/2019
 - Helm AG (2019) SkyFLD <https://www.skyfld.com/de/> Stand 07/2019
 - Sinergise Sentinel Playground (2017) <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground> regelmäßige Nutzung zur Orientierung in den Satellitendaten
 - VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (2019) www.talkingfields.de Stand 07/2019
 - Yara INTERNATIONAL ASA (2019) atfarm <https://www.at.farm/de/> Stand 07/2019

- Softwarequellen inklusive Dokumentationen
 - GRASS GIS <https://grass.osgeo.org/>
 - GNU R <https://www.r-project.org/>
 - R markdown <https://rmarkdown.rstudio.com/>
 - QGIS <https://www.qgis.org/de/site/>