



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences



Spickermann, O.; Orzessek, D.; Gille, S.; Deubel, A |

Untersuchungen zum Einsatz von Fernerkundungsdaten bei der Bestandsführung der Kulturpflanzen

Saison 2019/2020

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungen im Überblick.....	4
2.	Einleitung	5
3.	Einsatz von Luftbildern im Feldversuchswesen	6
4.	Einsatz von Luftbildern in Produktionsexperimenten.....	20
5.	UAVs in der Bestandspflege.....	35
6.	Zusammenfassung und Ausblick.....	38
7.	Literaturverzeichnis	39

1. Abkürzungen im Überblick

GNSS:

Global Navigation Satellite System: GNSS ist ein globales Navigationssystem zur Positionsbestimmung auf der Erde, bei dem neben GPS-Diensten der USA auch russische, europäische oder chinesische Satellitensysteme Anwendung finden.

NDVI/NDRE:

Normalized Difference Vegetation Index/Red Edge: NDVI und NDRE sind Vegetationsindizes welche auf dem starken Anstieg des Reflexionsgrades zwischen dem roten und nahinfraroten (NIR) Bereich (ca. 780-2500 nm) des elektromagnetischen Spektrums bei photosyntheseaktiven Pflanzen basieren. Grünpflanzen nutzen Strahlung im roten Bereich zur Photosynthese, absorbieren diese daher stärker und reflektieren zum Schutz vor Überhitzung nahinfrarote Strahlung → Grundlage NDVI. Der NDRE nutzt an Stelle des roten Lichts, Strahlung im Red Edge-Bereich (Übergang von Rot zu Nahinfrarot Strahlung) mit einer Wellenlänge von ca. 680-730 nm. Daher eignet er sich zur Beurteilung dichter Bestände oder von Dauerkulturen, da Red Edge-Strahlung weniger stark von den Blättern absorbiert wird. [Tailpale 2019]

RGB-Farben:

Rot Grün Blau: Diese Farben bilden die Basisfarben des visuellen Bereiches des elektromagnetischen Spektrums und können vom menschlichen Auge ohne Hilfsmittel wahrgenommen werden. Trotzdem können RGB-Luftaufnahmen bereits viele Informationen über die Vitalität eines Bestandes liefern. RGB-Aufnahmen haben i.d.R. sehr hohe Auflösungen und können daher auch hervorragend zur Erstellung von photogrammetrischen Modellen genutzt werden.

UAV/UAS:

Unmanned Aerial Vehicle/System: Dies sind unbemannte Luftfahrzeuge welche autonom oder durch einen Steuerer am Boden betrieben werden. In der Agrarwirtschaft helfen sie bspw. bei der Erstellung von Luftaufnahmen, bei der Vermessung oder dem Pflanzenschutz. Als UAV oder umgangssprachlich Drohne wird in der Regel nur das Flugobjekt selbst bezeichnet. Dem Begriff UAS sind auch das Steuersystem am Boden und die Signalwege zur Steuerung zuzuordnen. [Klingauf 2019]

2. Einleitung

Mit Beginn der Herbstaussaat 2019 konnten erstmalig über die gesamte Saison die Feldversuche der Hochschule Anhalt von der neu etablierten Luftbild- und Vermessungstechnik unterstützt werden.

Zum Einsatz kam ein UAV des Herstellers DJI. Das UAV vom Typ M210 besitzt eine Nutzlast von 1,6 kg und erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 72 km/h (Abb. 1). Dies ermöglicht auch den Einsatz komplexer Sensortechnik bei Flächenleistungen von über 50 ha/Akkuladung. Wetterlimits bis 50 km/h Windgeschwindigkeit und intelligente Flugakkus mit Heizfunktion ermöglichen auch eine umfangreiche Nutzung im Herbst und Winter. Die Sensorik bildet eine hochauflösende 20 MP RGB Kamera des Typs Zenmuse X5S und ein 5-Kanal 12 MP Multispektral Sensor des Herstellers Sentera (AGX710 AG+). Die Sensoren liefern bei einer Flughöhe von 100 m AGL (above ground level) Bodenauflösungen von 2,5 bis 5 cm.



Abbildung 1: Forschungs-UAV der AG Feldversuche im Einsatz

Zur Georeferenzierung der Luftaufnahmen dienen hauptsächlich permanente Bodenkontrollpunkte (GCPs). Diese werden mittels eines GNSS-Vermessungssystems von Trimble vermessen. Via VHF (very high frequency)-Funk erfolgt die RTK (real time kinematic)-Korrektur, ein satellitengestütztes Vermessungsverfahren, über die Hochschulreferenzstation auf ca. 2,5 cm Genauigkeit.

Durch die Kombination von Fernerkundung und Vermessung können neben Orthofotos mit sehr geringen Lagefehlern auch präzise Oberflächen- und 3D-Modelle erzeugt werden. Zusätzlich wurden auch bereits erste ergänzende Bonituren etabliert, welche neben dem kontinuierlichen Bestandsmonitoring neue objektive Möglichkeiten zur wissenschaftlichen Bewertung der Versuchsergebnisse liefern. Zuletzt sei noch erwähnt, dass die in der Saison 2019/2020 erstellten Luftaufnahmen auch die Bereiche der Dokumentation und Qualitätssicherung optimierten, da nun neben Bonitur- und Ernteergebnissen die Bestandsentwicklungen direkt in visueller Form festgehalten werden konnten.

Im nachfolgenden Bericht sollen ausgewählte Ergebnisse der Feldversuche kurz vorgestellt und diskutiert werden. Als ergänzende Literatur wird der „Versuchsfeldführer 2020“ empfohlen.

3. Einsatz von Luftbildern im Feldversuchswesen

Der Schlag „Strenzfeld I“ ist eine 28 ha umfassende Versuchsfläche, auf welcher die Hochschule jährlich mehrere hundert Kleinparzellen in Kooperation mit Wissenschaft und Praxis anlegt und betreut. Hierbei wird ein breites Spektrum an Körnerfrüchten abgedeckt. Neben Düngungs- und Mikronährstoffversuchen an verschiedenen Gerste- und Weizensorten wird bspw. auch die Trockenstresstoleranz von Hirse und Sojabohnen untersucht. Auch die Biodiversität von Agrarökosystemen und der Klimawandel sind Teil der zahlreichen Fragestellungen auf der Versuchsfläche. Aus den Abbildungen 2 und 3 kann die Lage der im Folgenden beschriebenen Versuche entnommen werden.

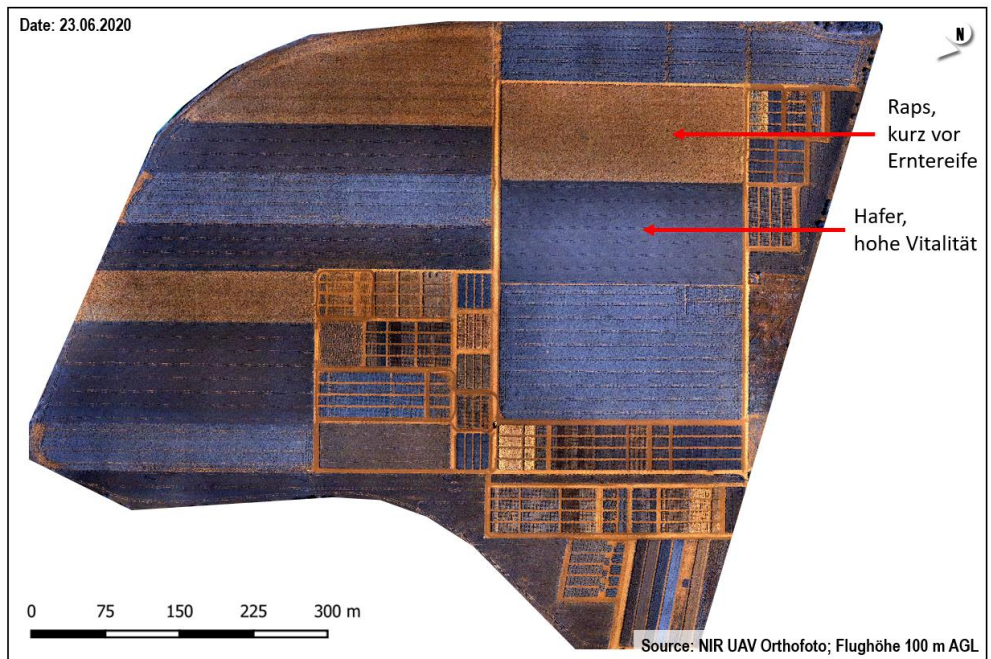
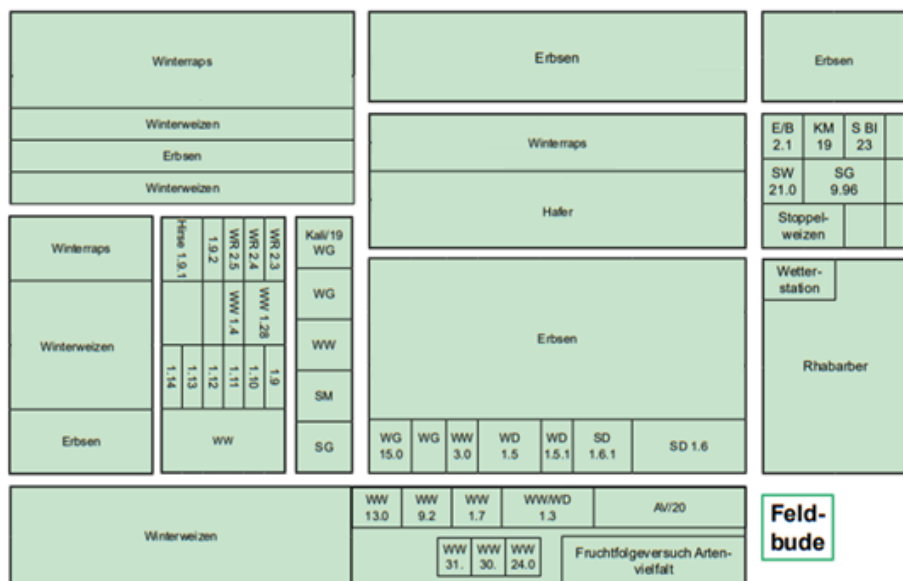


Abbildung 2 Falschfarbenaufnahme der Versuchsfläche "Strenzfeld I" erzeugt aus Kanälen der Wellenlänge 650, 720 und 840 nm; helle, beige Farben zeigen Versuchsflächen kurz vor der Erntereife an, während dunklere Blautöne noch auf eine hohe Vitalität des Bestandes hinweisen

Lageplan „Strenzfeld I“ 2020

Bundesstraße B 71



Stadtteil Strenzfeld

Abbildung 3 Lageplan "Strenzfeld I", entnommen aus dem Versuchsfeldführer 2020

Für die UAV-Technik bieten die Kleinparzellenversuche die Möglichkeit, auf sehr begrenzter Fläche viele Daten sehr schnell zu sammeln. Parallel können auf den Orthofotos direkt Vergleiche zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten gezogen werden. Im Gegensatz zu Großparzellen und Demonstrationsversuchen wird in sehr niedriger Höhe geflogen, wodurch sehr hohe Bodenaufösungen erzielt werden (unter 1 cm/Pixel). Dies ermöglicht präzise Oberflächen- und 3D-Modelle für Vermessungen und Schätzungen. Derartige Daten können dann wiederum künftig die Grundlage für Kalibrierfunktionen z.B. für Ertragsabschätzungen oder zur Ermittlung verschiedener Nährstoffbedarfe dienen.

Ein erstes Beispiel, wie solche Modelle bei der Bestandsführung bzw. Beurteilung helfen, kann am Versuch 1.9.2 „Einfluss von Zwischenfrüchten auf das Wachstum der nachfolgenden Körnerhirse“ demonstriert werden. Die Abbildungen 4 und 5 veranschaulichen die unterschiedliche Aussagekraft von Orthofotos und den daraus erstellten Modellen.

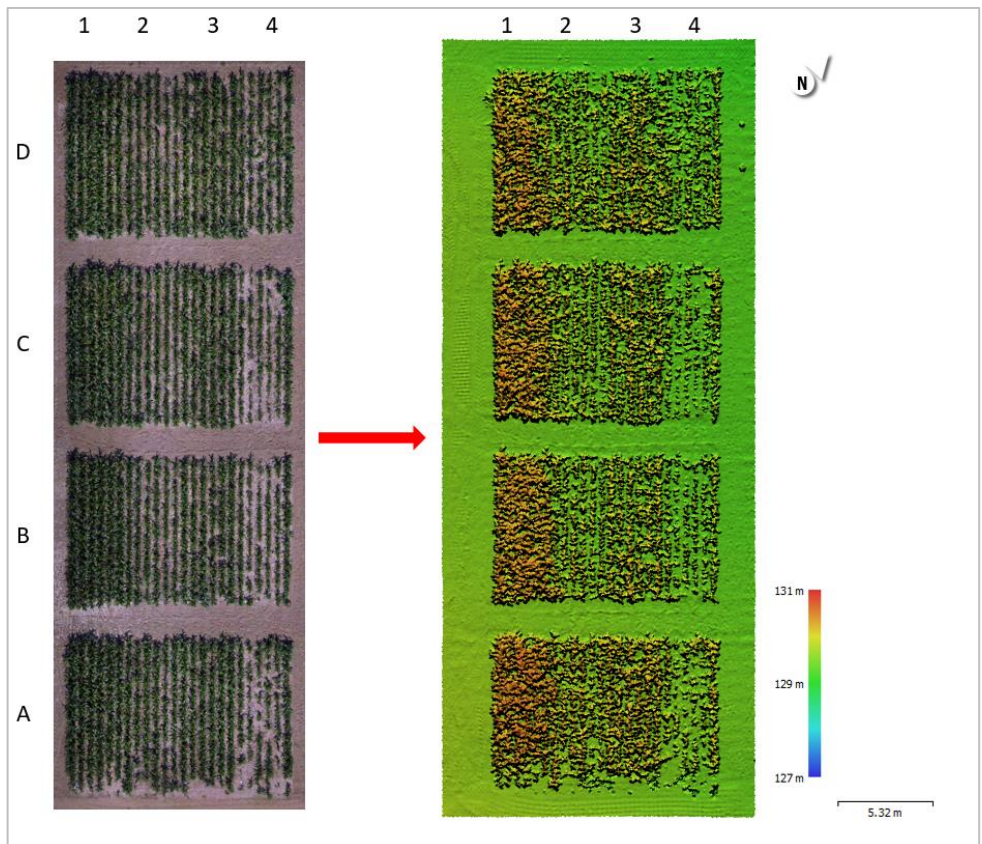


Abbildung 4: RGB-Orthofoto des Versuchs 1.9.2 vom 21.07.2020 mit den vier Varianten (1 Einzelkornsaat, 2 Strip Till auf Mulch (Ölrettich), 3 Strip Till auf Mulch (Gelbsenf), 4 Strip Till nach Futterroggen) vierfach wiederholt (A-D) und das daraus erzeugte digitale Oberflächenmodell (DOM) rechts

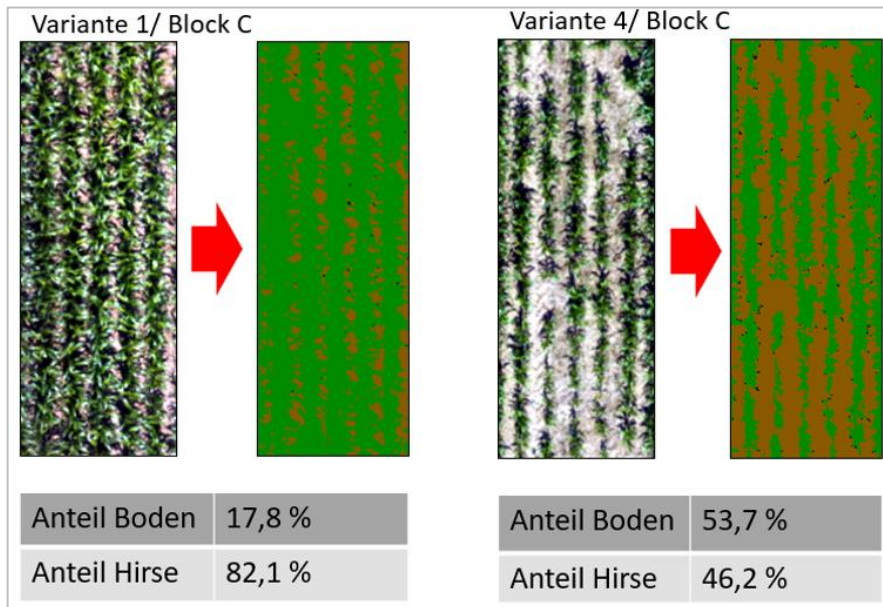


Abbildung 5: Bestimmung der prozentualen Bodenbedeckung durch Klassifizierung nach Boden (braun) und Hirse (grün) mit der Software ENVI (jeweils ca. 0,1 % nicht klassifizierbar z.B. durch Schatten)

Während aus dem Orthofoto mit Hilfe von computergestützten Klassifizierungsverfahren (Zuordnung Bildpixel zu festgelegten Klassen auf Basis der zugehörigen Wahrscheinlichkeit) Unterschiede im prozentualen Bedeckungsgrad entnommen werden können, kann in Kombination mit dem DOM eine noch umfangreichere Aussage zum Bestand getroffen werden. Variante 1 hat neben der höheren Bodenbedeckung zum Zeitpunkt der Aufnahme auch eine deutlich höhere Wuchshöhe und somit insgesamt eine höhere Biomasse. Variante 4 ist aufgrund der niedrigen Bestandshöhe auffällig. Mögliche Ursache könnte der geringere Wassergehalt im Boden durch die Vorrucht sein, wodurch auch trockenstresstolerante Hirse, besonders in trockenen Jahren wie 2020, Defizite im Wachstum zeigt.

Dieses Beispiel gibt einen Ausblick auf die Möglichkeiten, wie digitale Technologien auch klassische Boniturverfahren im Feldversuchswesen ergänzen und auch objektiver gestalten können. Der besondere Vorteil besteht hierbei darin, dass flächendeckend Daten gesammelt und somit Informationen über den gesamten Versuchsblock oder Schlag generiert werden. Dem gegenüber stehen die klassischen Boniturverfahren, welche meist punktuell Daten erheben.

Die Fernerkundungsdaten zeigten am Versuch 1.9.2 welche Auswirkungen Bestandsführung und abiotische Faktoren wie Wassermangel auf die Bestandsentwicklung mit sich bringen. Aber auch biotische Faktoren können natürlich erheblichen Einfluss auf das Ertragspotential haben. Trotz kontinuierlichen Monitorings lassen sich manche Faktoren nicht schnell genug beeinflussen, um Schäden am Bestand zu vermeiden. Dies beweist der Versuch 1.5 „Ertrag und Qualitätsprüfung bei Winterdurum“. Der Versuch unterschied sich in den Faktoren Sorte, Aussaatzeit, Düngung und Fungizidbehandlung. Eine große Rolle sollte in diesem Jahr die Aussaatzeit spielen, in Abbildung 6 und 7 nachzuvollziehen.



Abbildung 6: Orthofoto des Versuchs 1.5 im Frühjahr, Fraßschäden durch Saatkrähen (*Corvus frugilegus*), am heterogenen Bestand der Spätsaat großflächig zu erkennen



Abbildung 7: Orthofoto des Versuchs 1.5 kurz vor Sommerbeginn, Bestandslücken der Spätsaat sind nach wie vor sichtbar

Bei der Spätsaat entstanden kurz vor dem Feldaufgang große Schäden durch Tierfraß, was während der gesamten Vegetationsphase einen sehr heterogenen Bestand mit vielen Fehlstellen zur Folge hatte. Dadurch wichen die Erträge der Spätsaat um 30 bis 40 dt/ha von der Normalsaat ab (Spitzenwerte von über 85 dt/ha). Derartig deutlich Fehlstellen können bereits sehr gut durch einfache RGB-Orthofotos, wie in den Beispielen gezeigt, dargestellt werden. Dies ermöglicht einen schnellen und kostengünstigen Zugang durch den Agrarmanager. Auch wenn bei diesem Beispiel im Feldversuchswesen keine Handlungsoptionen für die Bestandführung, im Hinblick auf den Ausgleich der Schäden, bestanden, so wären im Praxisbetrieb Reaktionen auf das reduzierte Ertragspotential möglich gewesen. Basierend auf den Fernerkundungsdaten könnten Dünge- und Pflanzenschutzmittelaufwand angepasst werden. Abbildung 8 zeigt eine Bestandsdichtenkarte aus den gewonnenen Fernerkundungsdaten. Bestandsdichtenkarten bilden oft den Ausgangspunkt für die Generierung von Applikationskarten (Sollwertkarten).

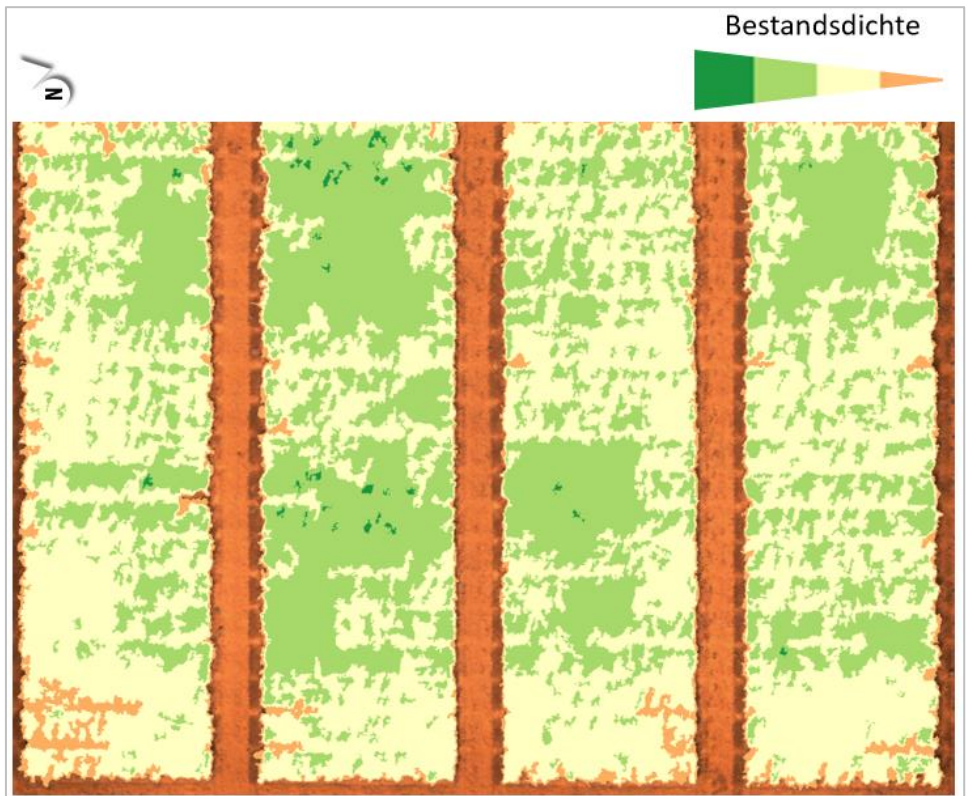


Abbildung 8: Detaillierte, auf dem NDVI vom 16.06.2020 basierende Bestandsdichtenkarte der Spätsaat des Versuches 1.5

Nicht nur im Verlauf der Vegetationsperiode, sondern auch zu ihrem Ende hin müssen essentielle Entscheidungen getroffen werden. So kann die Wahl des optimalen Erntezeitpunktes für Qualität und Quantität der Ernte ähnlich bedeutsam sein, wie bspw. die Sorte oder der Pflanzenschutzaufwand. Es stellte sich heraus, dass auch hier die Fernerkundung gute Dienste leistet.

Der Artenvergleich 2020 beinhaltet einen Versuchsaufbau zu Körnermais hybrid mit unterschiedlichen Reifezahlen, welcher zusätzlich in verschiedene Sorten gestaffelt ist (Abb. 9).



Abbildung 9: RGB Luftaufnahme mit Versuchsaufbau der Körnermaisanlage im Artenvergleich 2020; der Versuch umfasst drei frühe Sorten mit Reifezahlen von 200-220, zwei mittlere Sorten mit Reifezahlen von 240-250 und zwei späte Sorten mit einer Reifezahl von 280 zu je zwei Reihen

Auf der RGB Aufnahme sind bereits Unterschiede im Reifegrad sichtbar. Die Erzeugung eines Falschfarbenbildes, wie in Abbildung 10, aus Red Edge- und NIR-Kanal des Multispektralsensors hilft, diese Unterschiede noch besser herauszustellen.

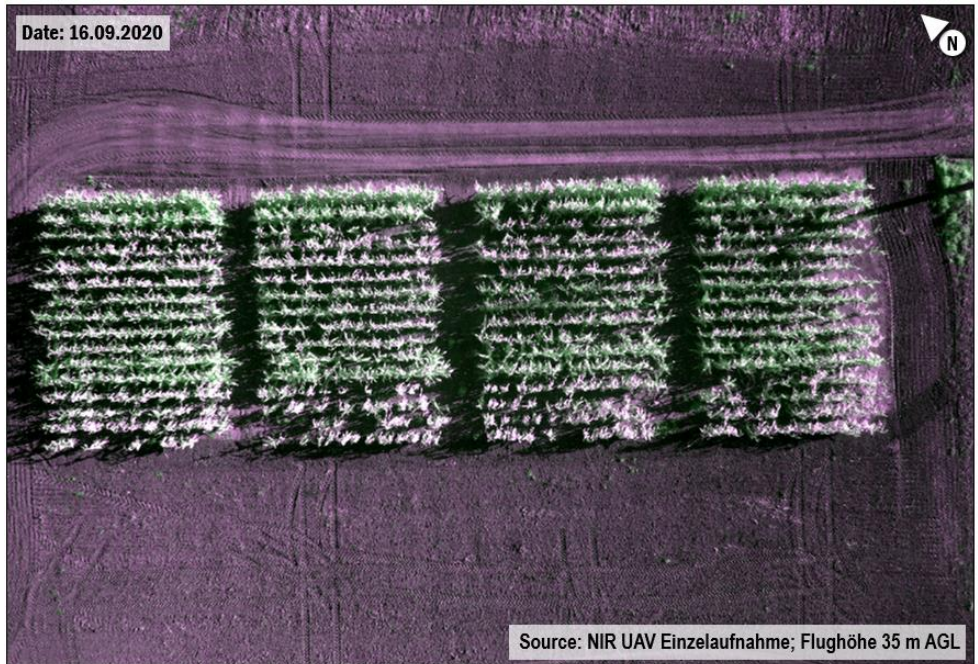


Abbildung 10: Falschfarbenaufnahme aus Bändern der Wellenlänge 720 und 840 nm, grüne Färbung weist auf hohe Vitalität der Vegetation hin, hell gefärbte Pflanzen nähern sich der Erntereife

Der Luftaufnahme ist zu entnehmen, dass jeweils eine Sorte von jeder Reifezahl im Reifegrad bereits deutlich fortgeschrittener ist. Zur Planung des geeigneten Erntezeitpunktes wird jedoch nicht nur die Färbung des Bestandes benötigt, sondern auch der Feuchtegehalt. Über diesen lassen sich aus Fernerkundungsdaten nur bedingt Aussagen treffen. Künftig könnten hierbei jedoch Thermalaufnahmen helfen, von welchen sich konkretere Aussagen zum Wassergehalt ableiten lassen.

Das Monitoring des Faktors Wasser kann sich in vielerlei Hinsicht als essentiell erweisen. Der Wasserhaushalt des Bodens entscheidet oft maßgeblich über den Ertrag. Wie stark sich die Aussagekraft unterschiedlicher Sensorik bei der Detektion der Bodenfeuchte unterscheidet, bzw. wie schnell das menschliche Auge getäuscht werden kann, demonstriert Abbildung 11.

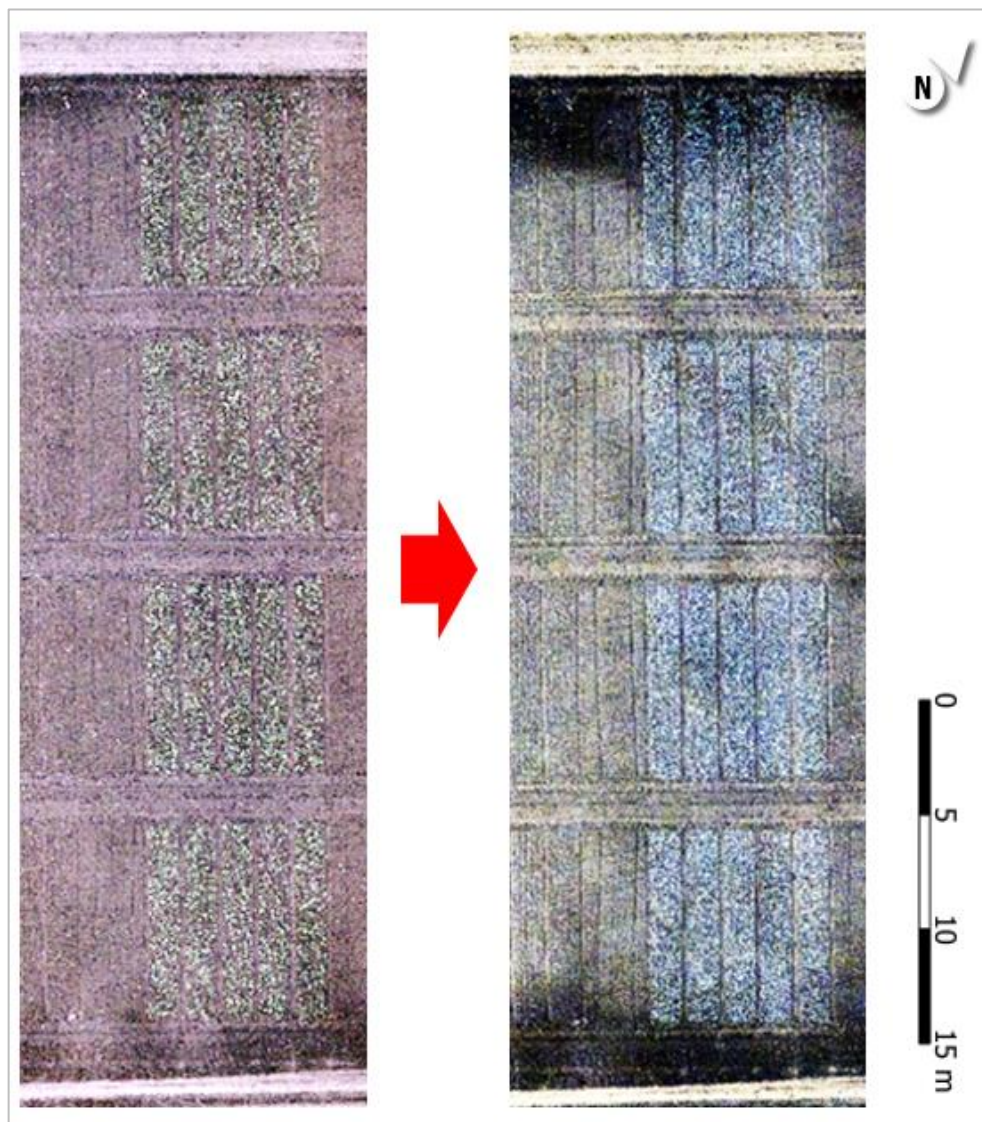


Abbildung 11: Orthofoto des Versuchs 20.0 ("Wirkung von Trichodermasporenpräparaten auf die Phosphatverfügbarkeit bei Wintergerste"), links RGB-Aufnahme und rechts Falschfarbenaufnahme aus rotem, Red Edge- und NIR-Kanal

Die Abbildung 11 zeigt die Wirkung der angrenzenden Wege auf die Bodenfeuchte. Das RGB-Orthofoto (links) lässt bereits dunklere Bereiche an den oberen und unteren Wegrändern erkennen. Diese dunkleren Stellen des Bodens weisen aufgrund ihrer Lage auf veränderte Feuchtigkeitsgehalte an der Bodenoberfläche hin. Die stark verdichtete Oberfläche der Wege lässt das Wasser nach einem Niederschlagsereignis in Richtung der Parzellen ablaufen. Das Falschfarbenbild, welches auch den NIR-Kanal des Sensors umfasst, zeigt diesen Effekt noch deutlicher. Strahlung im nahen Infrarot geht besonders mit Wassermolekülen physikalische Wechselwirkungen ein (Übergänge von Schwingungszuständen nach vorheriger Strahlungsabsorption) und wird dadurch abgeschwächt. Diesem Effekt bedient sich die NIR-Spektroskopie im Labormaßstab bereits seit Jahrzehnten. Daher kann im gezeigten Beispiel davon ausgegangen werden, dass die veränderte Bodenfärbung auf unterschiedliche Bodenfeuchten zurückzuführen ist. Ab BBCH 85 kippte der Bestand teilweise um und zeigte auch deutliche Lagerneigung. Besonders betroffen war der Parzellenblock am nordwestlichen Weg. Das Oberflächenmodell der Abbildung 12 gibt diese Erscheinung wieder.

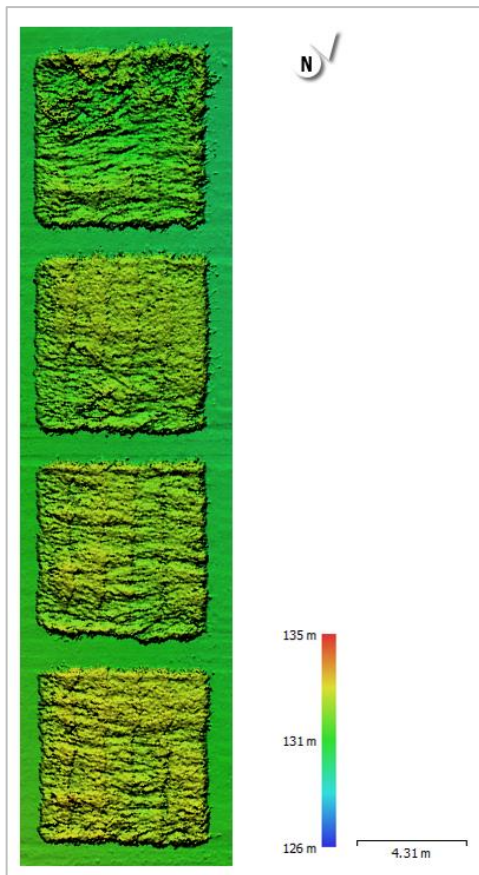


Abbildung 12: DOM des Wintergerstenversuchs 20.0, die hellgrünen Bereiche in den Parzellenblöcken weisen auf das Lagern des Bestandes hin

Bei anderen Versuchen konnten ebenfalls Unterschiede in der Bodenfeuchte, wie in Abbildung 13 und 14 ersichtlich wird, detektiert werden.

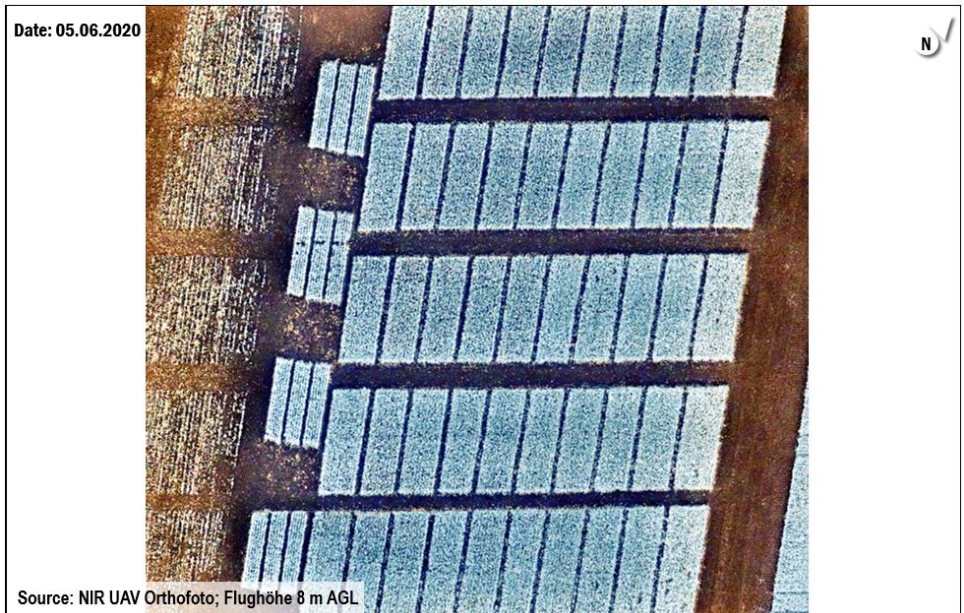


Abbildung 13: Falschfarbenaufnahme aus rotem, Red Edge- und NIR-Kanal des Sentera Multispektralsensors von den Versuchen 24.0, 30.0 und 31.0 (Einzelnormsaat, Stickstoffdüngungs- und Unkrautregulierungsvarianten bei Winterweizen)

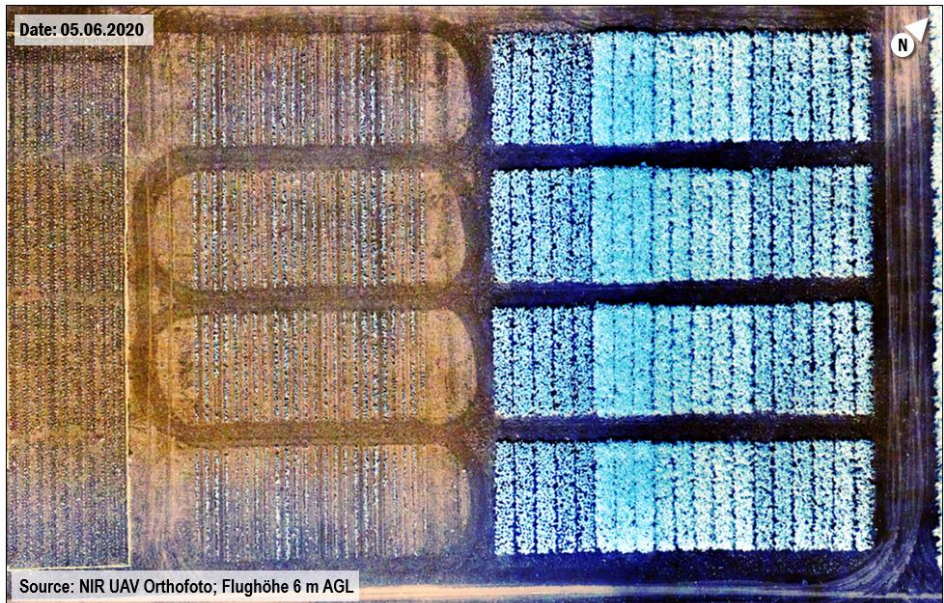


Abbildung 14: Falschfarbenaufnahme aus rotem, Red Edge- und NIR-Kanal des Sentera Multispektralsensors von den Versuchen 23.0, 19.0 und 2.1 (Sonnenblumen Düngungsversuch, Mais Düngungsversuch und Wintererbsen- und Winterackerbohnenenertragsprüfung)

Auf beiden vorangestellten Orthofotos sind unterschiedlich feuchte Bodenregionen erkennbar. Aus Abbildung 13 wird deutlich, wie Bodenbedeckung und Bodenfeuchte mit einander in Bezug stehen. Zwischen den Parzellenblöcken hält hier die Bodenoberfläche mehr Feuchtigkeit als auf den umliegenden Wegen. Die Versuchsanlage aus Abbildung 14 weist diesen Effekt ebenfalls auf, zeigt aber auch, wie die Bodenverdichtung auf den Wegen zu erheblich feuchteren Wegrändern führt. Solche Ereignisse sind im Feldversuchswesen von besonderer Bedeutung, da die Aussagekraft von Versuchsergebnissen auf möglichst homogenen Ausgangsbedingungen basiert. Daher sind solche Erscheinungen umfangreich zu dokumentieren, um abweichende Versuchsergebnisse schlüssig begründen zu können.

Eine Lagerneigung wie bei Versuch 20.0 konnte nicht erneut festgestellt werden. Dies könnte an der Fruchtart liegen oder auch an Umfang und Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses. Die Reproduzierbarkeit dieses Geschehens ist somit in den kommenden Jahren noch zu prüfen. Zusätzlich wird auch die Aussagekraft von CIR-Orthofotos hinsichtlich der Oberflächenfeuchte des Bodens mittels Laboranalysen untersucht.

Neben den Hinweisen auf unterschiedliche Bodenfeuchten konnten für die Versuche aus Abbildung 14 parallel weitere Beobachtungen dokumentiert werden. Dies zeigt erneut, welche Menge an Informationen für die Bestandsführung aus Luftbildern entnommen werden können. Die Abbildung 15 enthält einen Ausschnitt des Versuches 19.0 mit den beiden nordwestlichen Versuchswiederholungen.

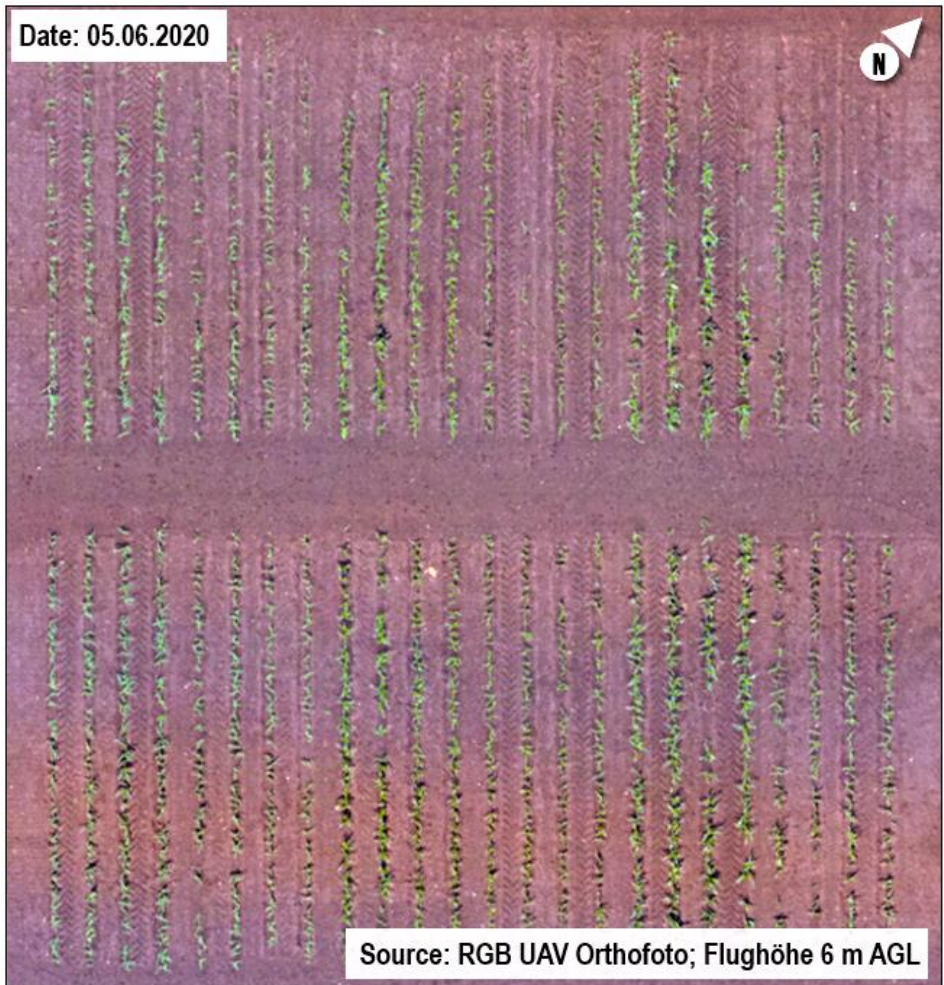


Abbildung 15: Ausschnitt eines RGB-Orthofotos des Versuches 19.0 mit Defiziten im Mais im oberen Parzellenblock

Wie bereits am Beispiel der Hirse ausgeführt, lassen sich aus RGB-Luftbildern defizitäre Bestandsentwicklungen, welche sich besonders im Bedeckungsgrad äußern, gut erkennen. Dies trifft auch auf den Mais zu, der besonders an den oberen und seitlichen Rändern Bestandslücken und ein geringeres Wachstum aufweist. Auch die unterschiedlichen Wachstumsphasen der Leguminosen des Versuches 2.1 werden auf dem Orthofoto der Abbildung 14 augenfällig. Die RGB-Aufnahme der Abbildung 16 stellt diesen Effekt noch etwas stärker heraus.



Abbildung 16: RGB-Luftbild des Versuches 2.1 "Ertragsprüfung bei Erbsen und Ackerbohnen" mit Rot umrandeten Sommerformen und blau umrandeten Winterformen

Der Wachstumsvorsprung der Winterformen kommt beim Vergleich der Bestandsdichten besonders zum Tragen.

4. Einsatz von Luftbildern in Produktionsexperimenten

Die Versuchsfläche „Westerfeld“ wurde im Jahr 1992 angelegt und zuletzt 2004 umgestellt. Heute besteht die Fläche aus fünf Großparzellen zu je 2 ha. Diese sind in jeweils 8 Versuchsblöcke unterteilt, mit der Fruchtfolge Körnermais-Winterweizen-Wintergerste-Winterraps-Winterweizen, welche jedes Jahr parallel besteht. Im Versuch werden die Einflüsse auf die diversen Kulturpflanzenbestände durch unterschiedliche Bodenbearbeitungsvarianten in Kombination mit verschiedenen Produktionstechnikintensitäten demonstriert. Die Abbildungen 17 und 18 zeigen den Versuchsaufbau am Beispiel von RGB-Orthofotos.

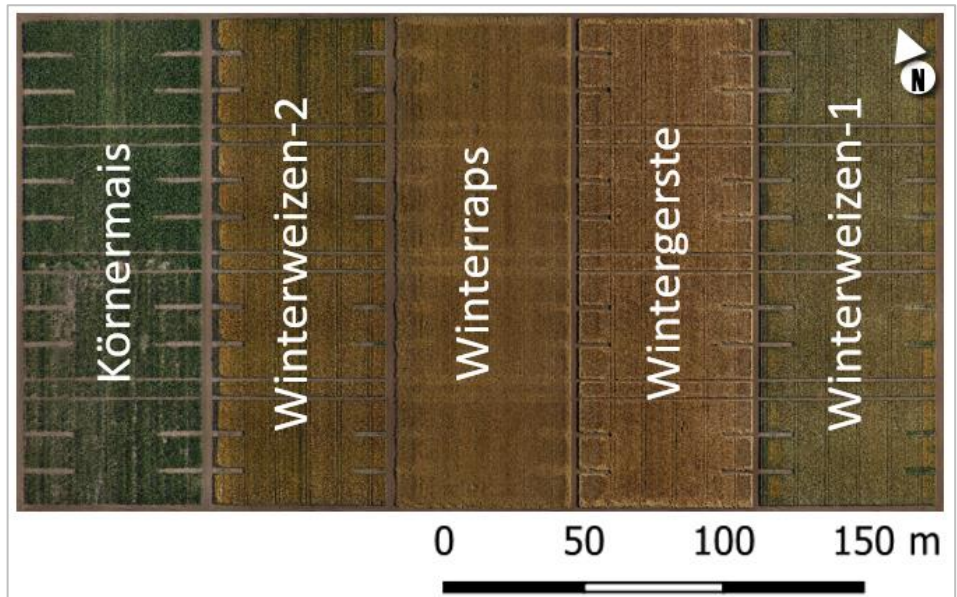


Abbildung 17: Versuchsaufbau der Versuchsfläche "Westerfeld" in der Saison 19/20, RGB-Aufnahme vom 26.06.2020

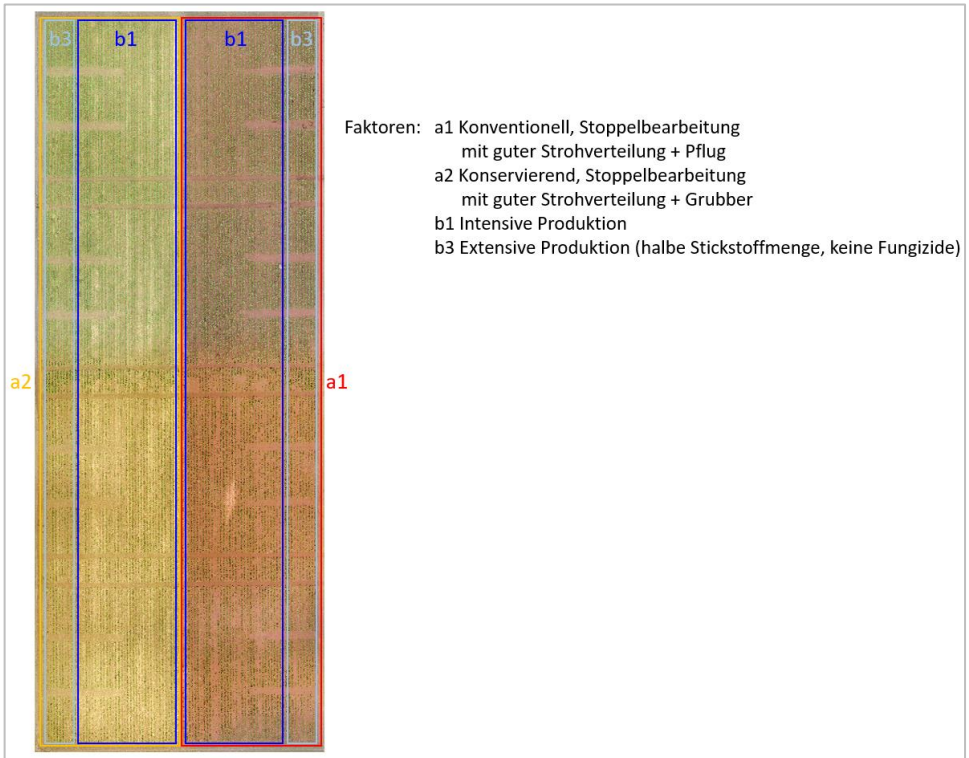


Abbildung 18: Beispielhafter Aufbau eines Versuchsblockes des "Westerfelds"; als Grundlage dient ein Ausschnitt eines RGB-Orthofotos des Körnermaisblocks vom 15.06.2020

Die folgenden Orthofotos zeigen die Entwicklung der Bestände auf der Versuchsfläche. Die unterschiedlichen Bodenfarben zwischen den Orthofotos sind durch die Wetterlage am Tag der Aufnahme bedingt.

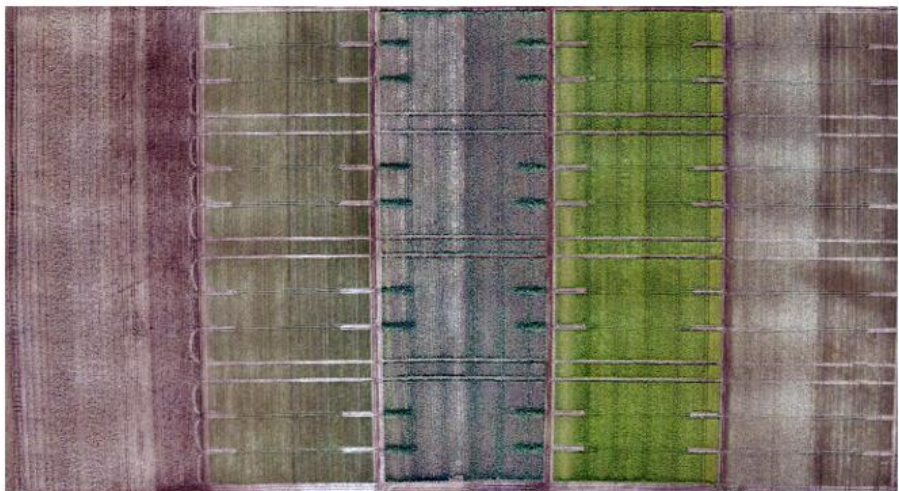


Abbildung 19: RGB Orthofoto des „Westerfelds“ vom 16.01.2020

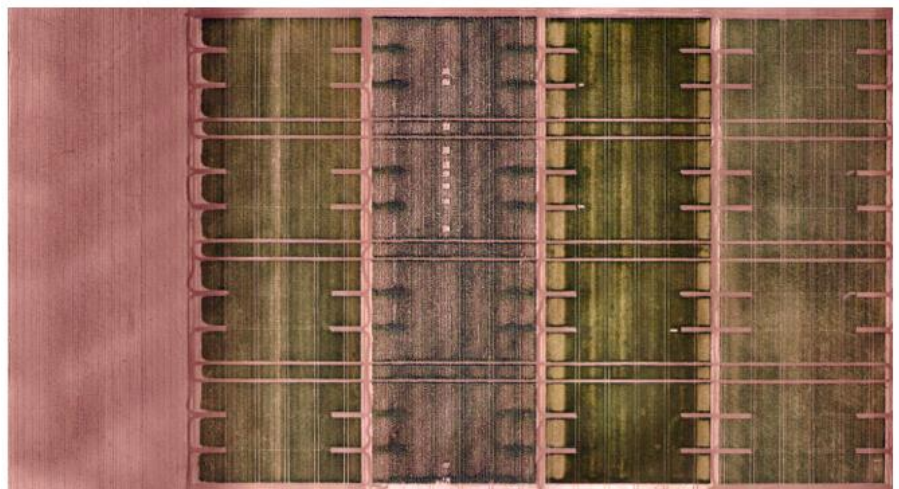


Abbildung 20: RGB Orthofoto des „Westerfelds“ vom 07.04.2020

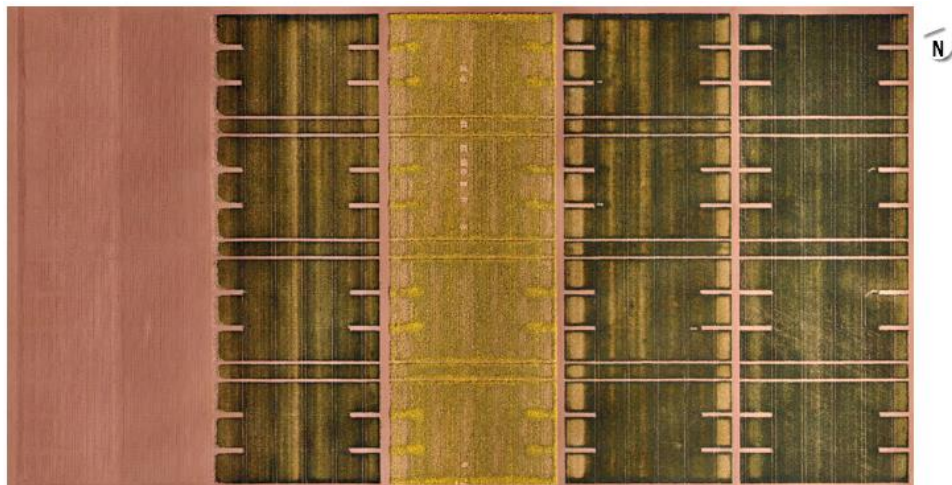


Abbildung 21: RGB Orthofoto des „Westerfelds“ vom 07.05.2020



Abbildung 22: RGB Orthofoto des „Westerfelds“ vom 26.06.2020



Abbildung 23: RGB Orthofoto des „Westerfelds“ vom 01.10.2020

Es sind deutlich die Auswirkungen der Bodenbearbeitung, besonders während der Brache bzw. kurz nach dem Feldaufgang, auf den Wasserhaushalt zu erkennen. Die gepflügten Varianten weisen allgemein eine feuchtere Oberfläche auf, was die Verdunstung begünstigt. Dies kann sich unter Umständen während besonders trockener Herbst- und Wintermonate nachteilig auf die Bestandsentwicklung auswirken. Dieser Effekt wird jedoch häufig durch eine schnellere Entwicklung der Pflanzen im juvenilen Stadium ausgeglichen, gut zu erkennen bei Raps und Gerste. Auch die Unterschiede von intensiver und extensiver Bewirtschaftung lassen sich in allen Kulturen, mit Ausnahme des Maises, ohne zusätzliche Bildbearbeitung erkennen. Der reduzierte Einsatz von Düngemitteln und der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel in den extensiven Varianten haben meist eine verringerte Bestockung bei Getreide bzw. allgemein eine langsamere Entwicklung zur Folge. Ein Effekt der auf den RGB-Luftaufnahmen durch eine blassere Färbung der Extensivvarianten ab dem Frühjahr ersichtlich wird. Im Bereich der nahinfraroten Strahlung können diese Beobachtungen bereits in den Wintermonaten gemacht werden, da hier eine schärfere Trennung zwischen Vegetation und Boden möglich ist.

Die Kombination der Bänder von 720 und 840 nm, wie in Abbildung 24, mit anschließender Einfärbung (grün = Vegetation, violett = Boden) hebt den Einfluss von Bodenbearbeitung und Bewirtschaftungsintensität besonders hervor.

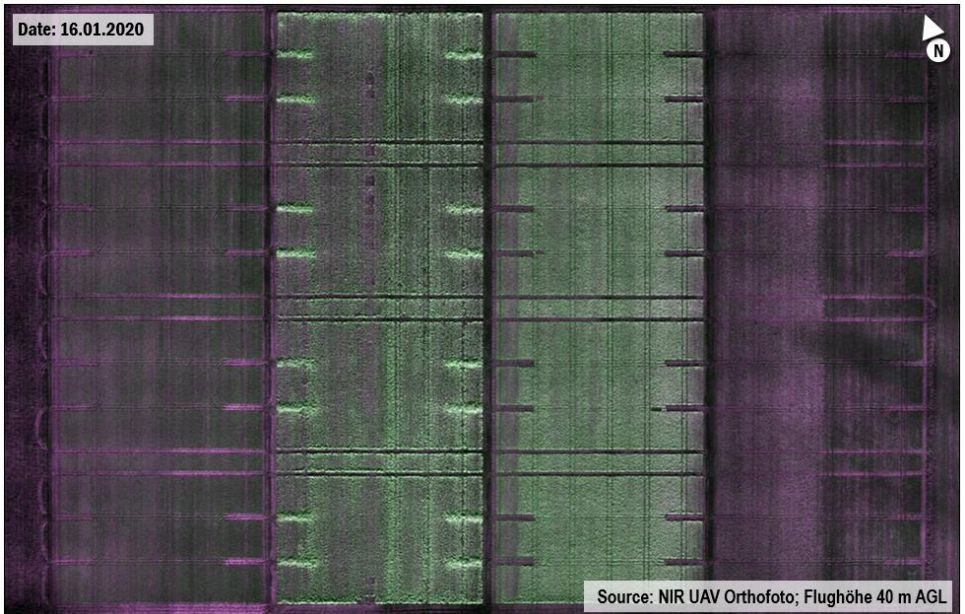


Abbildung 24 Falschfarbenbild aus Red Edge- und NIR-Kanal des Sentera AGX710 Sensors

Betrachtet man die Orthofotos im Detail, werden noch andere Effekte sichtbar. So lassen sich beispielsweise heterogene Bereiche im Boden aus der Luft sehr gut erkennen. Die Abbildung 25 zeigt eine solche Heterogenität im jahreszeitlichen Verlauf.

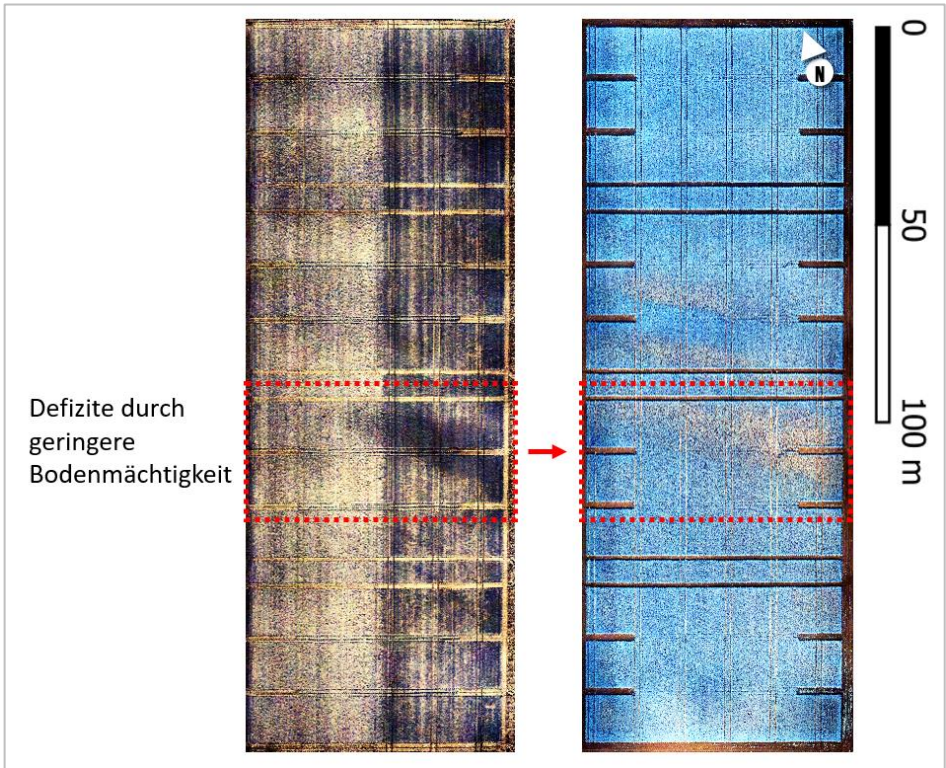


Abbildung 25: Falschfarbenaufnahmen erzeugt aus Bändern der Wellenlänge 650, 720 und 840 nm; links Aufnahme vom 16.01.2020; rechts Aufnahme vom 15.06.2020 mit deutlichen Defiziten im sonst sehr dichten Bestand

Die mangelnde Tiefgründigkeit in solchen Bereichen des „Westerfelds“ wird zumeist durch einen ca. 1 m unter der Oberfläche liegenden Kalkrücken verursacht. Die Entwicklung der Pflanzen wird hier nachhaltig gestört und Ertragsdefizite bis 25% in den Intensivvarianten sind die Folge.

Aber auch beim „Westerfeld“ verursachten Schädlinge erhebliche Schäden. Dies zeigt sich am Beispiel des Winterweizens in Abbildung 26.

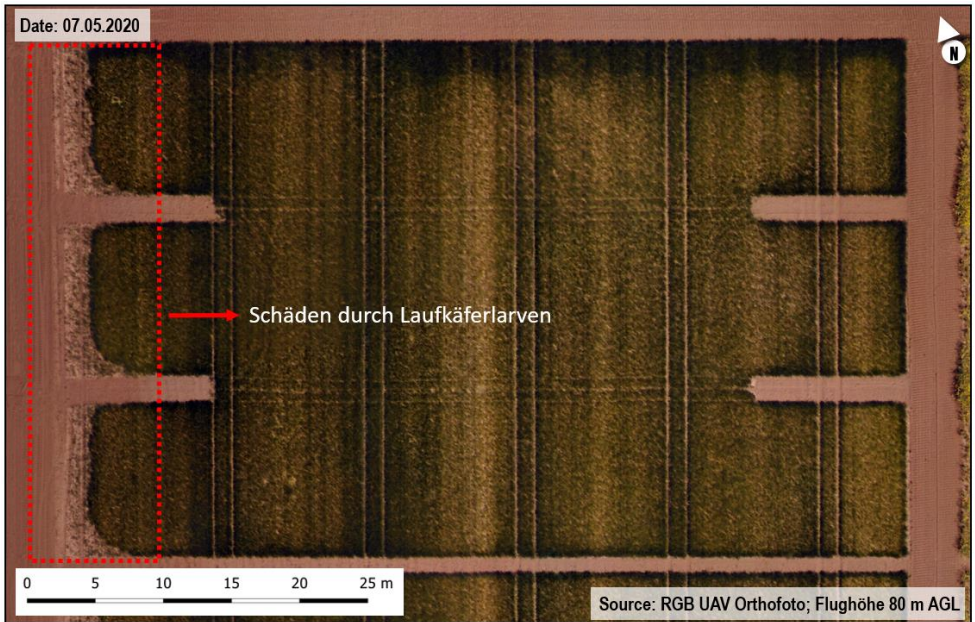


Abbildung 26: Orthofoto des „Winterweizen-2“ auf dem „Westerfeld“ mit typischem Fraßbild durch Getreidelaufkäferlarven (*Zabrus tenebrioides*) im linken Randbereich des Parzellenblocks

Der Laufkäferlarvenbefall betrifft mehr als 50% der Parzellenfläche in der Extensivvariante. Dies wirkt sich entsprechend auf die Erträge aus, sodass an Stelle der möglichen 83 dt/ha, wie bei den Extensivparzellen des gegenüberliegenden Blocks, nur ca. 61 dt/ha geerntet werden konnten. Mit Hilfe der Fernerkundung kann bei diesem Beispiel der Befall direkt dokumentiert und der Schaden je Flächeneinheit erfasst werden. Zusätzlich kann flächendeckend relativ gezielt die Ausbreitung verhindert werden. Die direkte Bekämpfung durch Insektizide ist hier zwar nicht möglich, aber störende Bodenbearbeitungsmaßnahmen durch bspw. Kreiselegen und eine Nachsaat mit Sommergetreide könnten die Verluste in der Praxis geringhalten. Im Praxisbetrieb sollte zusätzlich die Fruchtfolge auch auf angrenzenden Flächen überarbeitet und auf Gramineen verzichtet werden, um dem Käfer die Nahrungsgrundlage zu entziehen.

Natürlich haben auch Mensch und Technik Einfluss auf das Erscheinungsbild der Kulturpflanzenbestände. Die Fernerkundung hilft dabei, diese Einflüsse zu verstehen, zu dokumentieren und in bestehende Qualitätsmanagementsysteme zu integrieren. Das Feldversuchswesen hat die Aufgabe, im natürlichen Umfeld Forschung an Kulturpflanzen zu betreiben. Dabei sollen die natürlichen Bedingungen möglichst realistisch auf die Versuche wirken können. Randeffekte wie in Abbildung 27, bspw. am oberen Rand, sind jedoch unerwünscht.

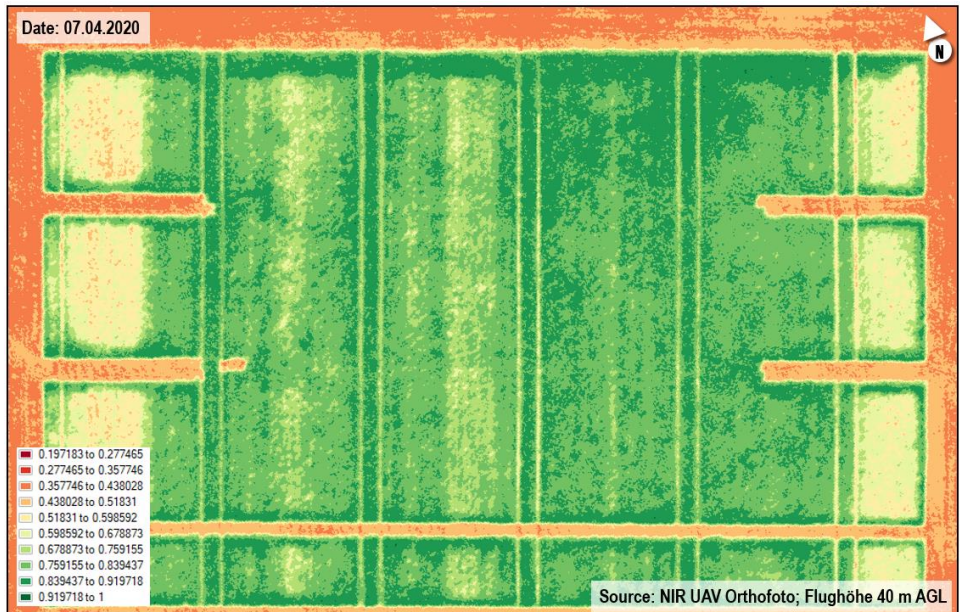


Abbildung 27: NDVI eines Versuchsblockes der Wintergerste; dunkelgrüne Bereiche besonders an den Rändern weisen auf eine hohe Vitalität und eine tendenziell höhere Bestandsdichte hin

Daher wird auf dem „Westerfeld“ immer ein Kerndrusch der Versuchspartzellen durchgeführt, um Randeffekte möglichst zu vermeiden. Wie der NDVI verrät, sind jedoch nicht nur die Einwirkungen der Wege vom Versuchsrand von Bedeutung. Jede einzelne Fahrgasse der Feldtechnik bewirkt eine Beeinflussung des Versuches (streifenartige Farbgebung). Aufgrund zahlreicher Luftaufnahmen wäre es allerdings jetzt möglich, die zu beerntenden Parzellen gezielt auszuwählen, um Objektivität und Aussagekraft der Versuchsergebnisse zu optimieren.

Bei der Versuchsfläche „Ochsendorf“ handelt es sich um einen ca. 7 ha großen Produktionsversuch mit der Fruchtfolge Winterraps-Winterweizen-Winterweizen. In diesem Direktsaatversuch, welcher den Großteil der Fläche einnimmt, ist am nordöstlichen Ende ein weiteres Produktionsexperiment integriert. Bei diesem Versuch werden die Aussaatverfahren Strip Till, Mulchsaat und Aussaat nach Pflug bei Sojabohnen, mit der Vorfrucht Winterweizen, verglichen.

Der Direktsaatversuch beim Winterraps zeichnete sich in der Saison 2019/2020 durch einen sehr unregelmäßigen Feldaufgang aus. Bereits auf den ersten Aufnahmen des Bestandes lassen sich Unregelmäßigkeiten erkennen. Die Kombination des roten (650 nm) und nahinfraroten (840 nm) Kanals des Multispektralsensors hebt die Vegetation besonders hervor. In Abbildung 28 ist zu erkennen, dass der Feldaufgang der Rapspflanzen im nördlichen Bereich des Schlages einheitlicher und somit auch flächendeckender stattfand.

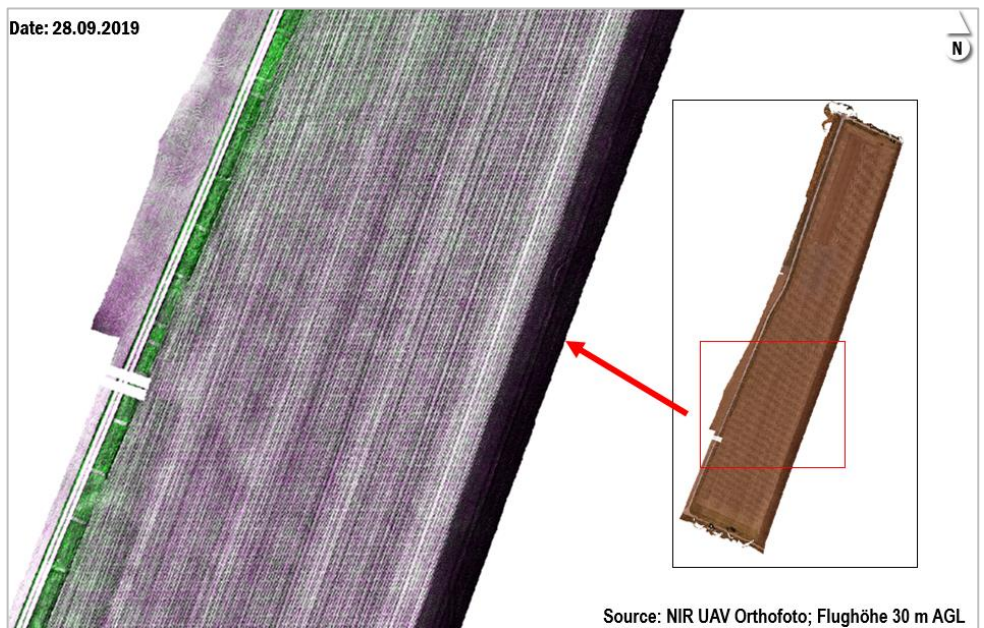


Abbildung 28: Orthofoto aus der Kanalkombination rot und NIR des Versuchsfeldes „Ochsendorf“ mit grün eingefärbter Vegetation; der Blühstreifen am westlichen Rand der Versuchsanlage sticht hervor

Die Aufnahmen der folgenden Monate, beginnend mit Abbildung 29, bestätigen die ersten Eindrücke.

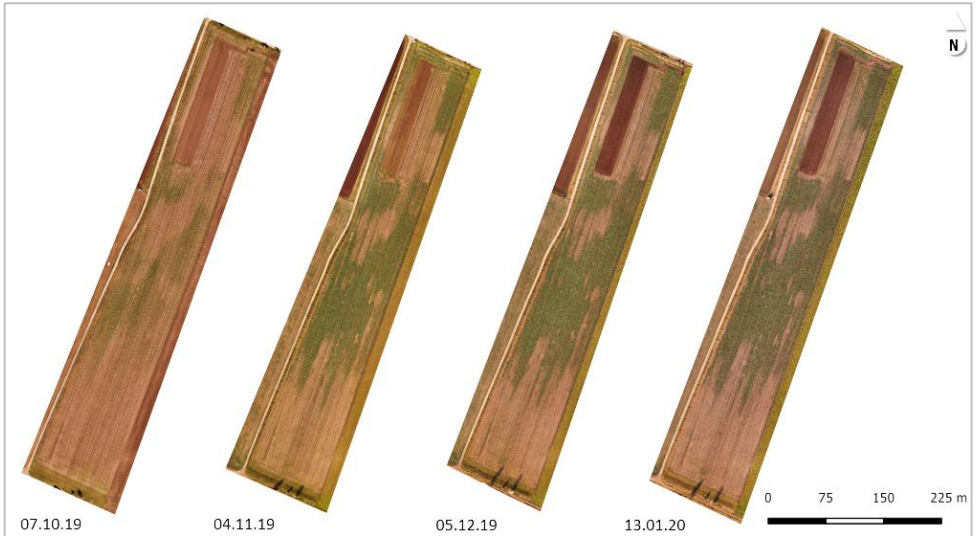


Abbildung 29: RGB Orthofotos des Schlages „Ochsendorf“ von Oktober 2019 bis Januar 2020

Die großen Bestandslücken bleiben über die Herbst- und Wintermonate weitestgehend unverändert. Besonders im unteren Drittel sind die Defizite sehr deutlich zu erkennen. Erst ab April, kurz vor der Blüte, beginnt sich der Bestand langsam zu schließen. Ab Mitte April ist der Bestand größtenteils geschlossen, weist aber bis zur Ernte noch Lücken auf. In Abbildung 30 sind die Bestandslücken noch gut zu erkennen.

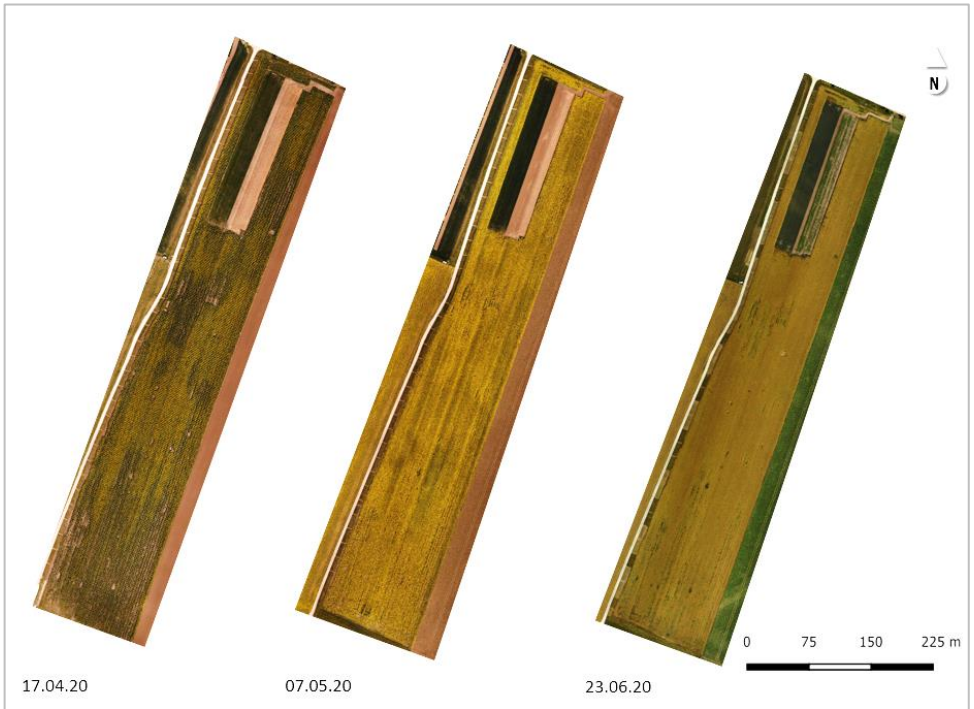


Abbildung 30: RGB Orthofotos des Schlages „Ochsendorf“ von April bis Juni 2020

Auffällig ist auch die sehr ungleichmäßige Blüte Mitte April. Zwar sind ab dem späten Frühjahr keine Bestandslücken mehr direkt zu sehen, aber die Auswertung der Ertragskarten zeigt deutlich, dass die defizitäre Entwicklung im Frühjahr nicht mehr ausgeglichen werden konnte. Die Ertragskarten aus Abbildung 31, welche von einem CLAAS Mähdrescher mit 5,6 m Schneidwerk erstellt worden sind, spiegeln die Aussagen der Luftaufnahmen aus dem Frühjahr wider.

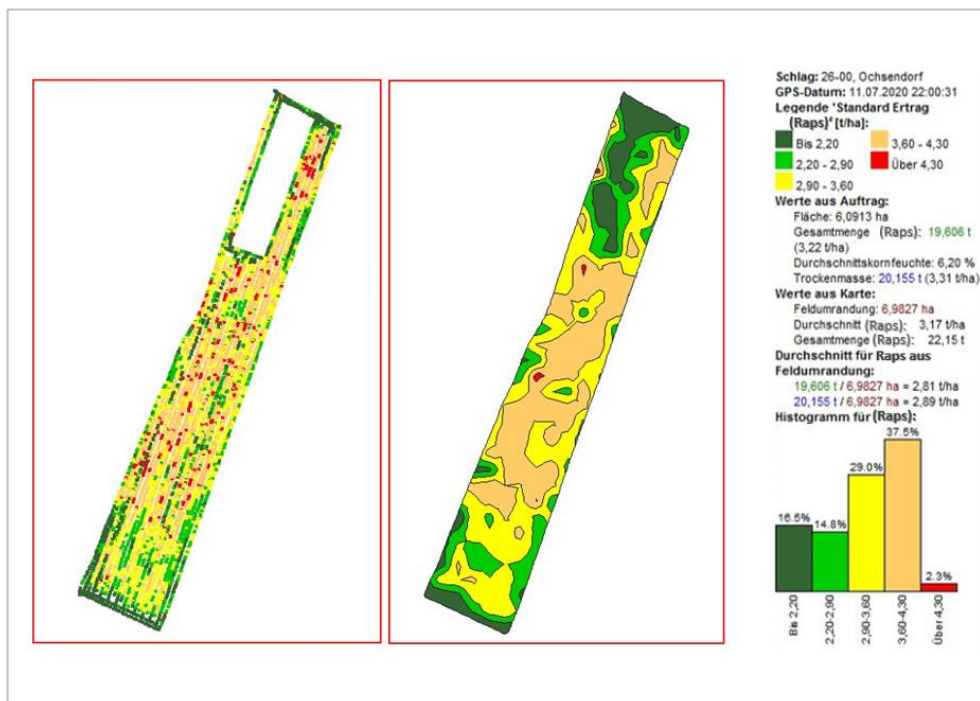


Abbildung 31: Ertragskarten aus CLAAS AGROCOM MAP PILOT, links in detaillierter Rechteckdarstellung und rechts als Zonenkarte

Neben unterdurchschnittlichen Hektarerträgen veranschaulichen beide Karten die Ertragsseinbußen insbesondere im unteren Drittel des Schlages. Aber auch im oberen Bereich lassen sich noch Fehlstellen vom Frühjahr nachvollziehen.

Diese über mehrere Monate dokumentierte Entwicklung lässt jetzt verschiedene Schlüsse für die weitere Bestandsführung zu. Damit künftig die Erträge auf dieser Fläche gesichert bzw. besser abschätzbar sind, sollte der Boden beprobt und die Pflanzen bonitiert und somit auf Unregelmäßigkeiten untersucht werden. Die Bewirtschaftungsintensität für das untere Drittel sollte dann in Abhängigkeit der Analysenergebnisse angepasst werden. Dies kann bspw. bedeuten, die Gabe von Dünger zu erhöhen, um Nährstoffmangel im Boden auszugleichen. Sollte die Ursache eine zu geringe Tiefgründigkeit des Bodens verbunden mit Wassermangel sein, wäre es hingegen sinnvoll, die Gabe von Düng- und Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und somit an die veränderten Ertragserwartungen anzupassen. Die Entwicklung anderer Kulturen nach dem Fruchtwechsel sollte bei diesem Beispiel näher beobachtet und dokumentiert werden.

Bodenkarten, wie unter Abbildung 32, geben Hinweise darauf, dass die heterogene Bestandsentwicklung mit dem Boden in Verbindung stehen könnte. So wechselt bei der Versuchsfläche „Ochsendorf“ im unteren Drittel die Bodenliegendschicht von Normallehm zu Lehmsand, wodurch beispielsweise Änderungen des Bodenwasserhaushalts oder Mineralstoffverfügbarkeit stattfinden können.

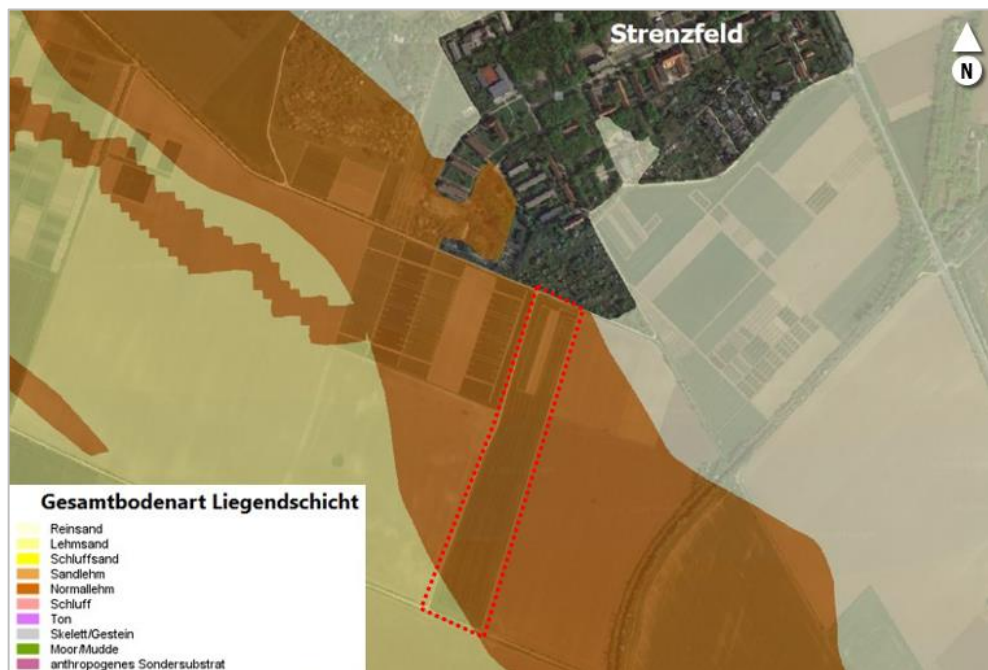


Abbildung 32: Darstellung der Liegendschicht der Böden auf den Versuchsflächen der Hochschule Anhalt, basierend auf den Basisdaten der Böden des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalts (Hintergrund Google Satellite Image 2018)

Zusätzliche negative Auswirkungen können auch kleinteilige Bodenunterschiede mit sich bringen, welche aus Bodenkarten nicht unbedingt ersichtlich sind. In solchen Fällen sollten professionelle Bodenanalysen durch ein Labor erfolgen.

Beim Betrachten historischer Satellitenaufnahmen wiederholt sich die Beobachtung der Saison 2019/2020. Rapsbestände weisen ähnliche Auffälligkeiten auf. Abbildung 33 aus dem Frühjahr 2017 lässt dasselbe Phänomen erkennen. Die Rapspflanzen im unteren Drittel zeigen eine defizitäre Entwicklung, was sich vom erstellten NDRE gut ableiten lässt.



Abbildung 33: Grauwertbild vom Schlag „Ochsendorf“ erzeugt aus dem Nahinfrarotkanal (Band 8) des Sentinel 2A Satelliten (links); NDRE aus Band 8 und Band 4 (zur Optimierung der Auflösung) von Sentinel 2A (rechts); 28.03.2017

Dies legt in Kombination mit gesichteten Bodenkarten den Schluss nahe, dass die Tiefgründigkeit des Bodens für eine ausgewogene Entwicklung der Rapspflanzen nicht ausreichend ist. Die enge Fruchtfolge und Minimalbodenbearbeitung fördert im Fall des Raps diesen Effekt auf der Demonstrationsfläche „Ochsendorf“ zusätzlich.

5. UAVs in der Bestandspflege

Eine weitere neue Errungenschaft für die Feldversuche der Hochschule Anhalt war ein UAV vom Typ Agrica 3, welches in Abbildung 34 zu sehen ist.



Abbildung 34: Agrica 3 UAV mit Abwurfteinheit für Trichogrammakapseln

Dieses UAV ist speziell für die biologische Schädlingsbekämpfung im Mais entwickelt worden. Für diesen Zweck bringt es, in einem zuvor festgelegten Raster, Kapseln aus, welche verschiedene Entwicklungsstadien von *Trichogramma brassicae* enthalten.

Trichogramma brassicae wird den Erzwespen (Chalcidoidea) zugeordnet und ist eine parasitisch lebende Art der Gattung *Trichogramma* [Wetzel 2004] (Abbildung 35).



Abbildung 35: Digitalmikroskopaufnahme bei 500facher Vergrößerung von *Trichogramma brassicae*

Diese Art ist in Mitteleuropa heimisch und bei Temperaturen ab 15°C aktiv. Als Eiparasiten legen sie ihre Eier in den Eiern des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) ab. [AMW Nützling 2020] Die Trichogrammarlarven entwickeln sich dann im Ei des Schädling und zerstören dieses so. Der Maiszünsler ist eine Mottenart und gilt als der bedeutenste Maisschädling weltweit. Ihm fallen laut FAO ca. 4% der jährlichen Maisernte zum Opfer. Aufgrund einer relativ geringen Suchaktivität der adulten Erzwespen [Wetzel 2004] und des mehrwöchigen Aktivitätszeitraums des Maiszünslers beinhalten die Trichogrammakapseln mindestens 7 verschiedene Entwicklungsstadien der Tiere. Dies erhöht den Aktionszeitraum auf bis zu 3 Wochen. [AMW Nützlinge]

Die erste Ausbringung mittels UAV erfolgte Ende Juni mit einer Wiederholung nach 14-tägiger Wartezeit. Pro Hektar mussten mindestens 100 Kapseln ausgebracht werden, damit die Wespen ihre volle Wirkung entfalten konnten. Die große Abwurfvorrichtung des UAV (1000 Kapseln) kombiniert mit den starken Motoren erlaubt bei günstigen Bedingungen eine Flächenleistung von bis zu 5 ha/Akkuladung.

Im Rahmen des diesjährigen Einsatzes der neuen Technik konnten noch keine umfänglichen Daten zur Effektivität der Erzwespen gesammelt werden. Dies war zum einen, aufgrund des Modellwechsels, der späten Auslieferung des UAV und zum anderen der noch nicht ganz ausgereiften Betriebssoftware geschuldet. So konnte beispielsweise keine einheitliche Anzahl an Kapseln pro Flächeneinheit definiert werden.

Festzuhalten sind jedoch die höchsten Korneträge im vier Jahresmittel sowohl bei den Intensiv- wie auch Extensivvarianten. Es konnten auch keine typischen Fraßschäden, wie abgeknickte Stängel, festgestellt werden.

Für die kommende Saison sind dann umfangreichere Bonituren geplant, um die Effektivität dieser Form der biologischen Schädlingsbekämpfung im mitteldeutschen Trockengebiet besser beurteilen zu können.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die neu eingeführten Techniken der Fernerkundung konnten in der Saison 2019/2020 bereits viele innovative Einblicke für das Feldversuchswesen liefern. So wurden zusätzliche Bonitur- bzw. Monitoring Maßnahmen etabliert, umfassende Dokumentationen erstellt und generell neue Einblicke in die Bestände und Versuche geliefert.

Die über mehrere Monate dokumentierte Bestandsentwicklung erwies sich als besonders nützlich, da hierdurch zahlreiche zusätzliche Informationen zu den Versuchen generiert werden konnten, welche der objektiven Ergebnisauswertung besonders zuträglich waren.

Erste generierte Modelle gaben einen Ausblick darüber, aus welchem Leistungsvermögen künftig noch geschöpft werden kann. Besonders die Kombination verschiedener Techniken der Fernerkundung und Ableitungen aus den gesammelten Daten konnten eine Vielzahl neuer Anwendungsbereiche offenbaren. Diese ersten Resultate begründen, dass Oberflächen- und perspektivisch auch 3D-Modelle in Verbindung mit multispektralen Orthofotos wertvolle Hilfsmittel bspw. bei der Ertragsschätzung sein können, da sich vielfältige Informationen aus den Höhen- und Volumendaten gewinnen lassen.

Die Qualität dieser Informationen hängt insbesondere von der Lagegenauigkeit der Luftaufnahmen ab. Diese Hürde konnte in der ersten Saison noch nicht vollständig genommen werden, weshalb künftig, neben einem weiterhin umfangreichen Monitoring der Versuche, die Optimierung der Georeferenzierung im Vordergrund stehen wird, um den Informationsgehalt der Modelle zu erhöhen.

Neben zusätzlicher Software, die hauptsächlich bei digitalen Bonituren unterstützen soll, wird in der kommenden Saison auch die Sensorik eine Erweiterung erfahren. Thermalaufnahmen sollen ab der Saison 2020/2021 dabei helfen, den Wasserhaushalt der Versuchsflächen zu verstehen und Bestandsrelevante Veränderungen zu dokumentieren.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Fernerkundung aus diesem einen Jahr das Feldversuchswesen bereits mit einer Vielzahl an Daten bereichern konnte, aber vor allem in den kommenden Jahren noch mit vielen neuen Erkenntnissen aufwarten wird. Die Schaffung und Ausweitung einer belastbaren Datengrundlage wird daher das Ziel der nächsten Saison sein.

7. Literaturverzeichnis

AMW NÜTZLINGE GMBH: <https://www.mamwnuetzlinge.de/anwendungsgebiete/zuckermais/>

KLINGAUF, U.: <https://www.dglr.de/?id=2502>

TAILPALE, E.: <https://sentera.com/ndvi-vs-ndre-whats-difference/>

WETZEL, T.: Integrierter Pflanzenschutz und Agroökosysteme; Halle (Saale); 2004; S.38 ff. u. 101 ff.



Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft,
Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28
06406 Bernburg
Telefon: 03471 355 1242
E-Mail: ole.spickermann@hs-anhalt.de