

Sachbericht (Teil 2) zum Projekt

Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen (AutoDGB)

Förderkennzeichen:

2818407D18

Laufzeit

01.10.2019 bis 30.06.2025

Zuwendungsempfänger

geo-konzept Gesellschaft für Umweltplanungssysteme mbH

Wittenfelder Str. 28

85111 Adelschlag

Projektleitung

Matthias Leipzig

mleipzig@geo-konzept.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten

Über die fünf-jährige Projektlaufzeit fanden an zwei Standorten jeweils wiederkehrende UAV-Befliegungen im Zeitraum März bis Juli eines jeden Jahres mit verschiedenen Sensorsystemen statt. In der Regel wurde mit einer RGB-Kamera als auch einer Multispektralkamera befliegen, da für verschiedene Zielmerkmale die spezifischen Vorteile eines der beiden Sensorsysteme relevant sein können. Mitunter wurde zusätzlich ein Hyperspektralsensor mit einer feineren Spektrallinienauflösung eingesetzt. In einem Versuchsjahr (2022) wurde auch eine Befliegung mit einer Thermalkamera zur Bestimmung der Bestandes-Oberflächentemperaturen durchgeführt.

Mit Hilfe der UAV-Befliegungen wurden an den Versuchsstandorten reflexionsoptische Messungen durchgeführt. Diese wurden vorprozessiert, gespeichert und für die weiteren Arbeitspakete den Datenbank- und Modelliererfordernissen angepasst (z.B. Größe, Format). Im Anschluss wurden diese Daten mit den manuellen Boniturdaten zusammengeführt und ausgewertet. Die Befliegungen erfolgten an den Standorten Herzogenaurach (BY) und Morgenrot (ST), an denen die Saatgutlinien vom Partner Saatzucht Josef BREUN GmbH & Co. KG in Versuchspartellen jedes Jahr erneut angelegt worden sind. Das angestrebte Ziel war ein Befliegungsintervall von ca. zehn Tagen. In den frühen Terminen war der Abstand zwischen den Terminen noch etwas weiter gehalten aufgrund der langsameren Vegetationsentwicklung. Zum Ende der Vegetationsentwicklung wurde der Boniturabstand meist eingehalten. Faktoren wie Wind, Niederschlagsperioden und wechselnde Bewölkung erschwerten das Einhalten eines konstanten Intervalls. Die generell hohe Frequenz wurde als notwendig erachtet, da so Zeitreihen der Bestandesentwicklungen und Reflexionswerte aufgenommen werden konnten. Die Zeitreihen konnten zur Bestimmung optimaler Zeitpunkte für die Erhebung von Bestandesdaten verwendet werden.

Die Verarbeitung der Befliegungsdaten erfolgte, wenn möglich direkt nach den Befliegungen und im Anschluss an die Befliegungssaison und umfasste die Erstellung von orthorektifizierten verorteten Aufnahmen zur Auswertung durch die beteiligten Projektpartner involviert im Arbeitspaket 6 (AP6). Im Hinblick auf AP 6 wurde auch die Fusion der Daten der verschiedenen Sensoren (RGB, Multispektral, Hyperspektral) als Möglichkeit zur Zielgrößenvorhersage genutzt.

Überdies wurden separate UAV-Befliegungen zu verschiedenen Zeitpunkten mit einem RGB-Sensor durchgeführt, die eine Detailaufnahme des Bestandes ermöglichten, um das Zählen von Ähren mittels Bilderkennung zu verbessern. Dazu war es erforderlich, dass die Flughöhe reduziert und somit eine deutlich höhere räumliche Auflösung bei der Erfassung des Pflanzenbestandes erreicht wurde. Durch die geringe Flughöhe ergibt sich eine erheblich

reduzierte Flächenleistung. Mit Hinblick auf die notwendigen manuellen Bonituren und den Aufwand, den das Ährenzählen dort erforderte, fanden diese Befliegungen nur in Teilbereichen der Versuche und nicht über die gesamte Versuchsfläche statt.

Die Datenverarbeitung folgte zu Beginn des Projekts überwiegend dem klassischen Workflow, der mehrere Programme und umfassende manuelle Eingriffe und Bearbeitungsschritte durch Mitarbeiter erforderte. Im weiteren Projektverlauf wurden relevante Arbeitsschritte weitestgehend automatisiert. Die vorgenommenen Automatisierungsschritte wurden im Projekt kontinuierlich in den Datenverarbeitungsworkflow eingearbeitet. So erfolgte eine fortlaufende Verifizierung der Effizienz, die die Automatisierung im Vergleich zum klassischen Workflow bietet. Die Automatisierung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, um die spezifischen Anforderungen (z.B. Genauigkeitsanforderungen) im Parzellenversuchswesen und die Spezifik der eingesetzten UAV-Systeme zu berücksichtigen. Der Zeitaufwand und das notwendige Expertenwissen durch die erfolgten Automatisierungsschritte konnte deutlich reduziert werden, sodass ein wesentliches Erfordernis für einen breiteren Einsatz von UAVs und der Verarbeitung dabei anfallender großer Datenmengen erfüllt werden konnte. Eine Automatisierung konnte im Wesentlichen für die Schritte der Georeferenzierung, Orthorektifizierung, Indexberechnung und Zuordnung zu räumlichen Einheiten erarbeitet werden. Eine vollständige Automatisierung ist allerdings nicht realisierbar (zurzeit) um den Ansprüchen einer qualitativ hochwertigen Bonitur im Parzellenversuchswesen weiterhin entsprechen zu können. Teilaspekte der Automatisierung betrafen auch die Filterung und Korrektur von Zwischenergebnissen, die den Anforderungen des Parzellenversuchswesens genügen mussten. Die Automatisierung der Prozessketten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Projektpartnern (HSWT), um ebenfalls die Anforderungen des Datenbanksystems und Prozessen der Analyse bzw. Auswertung (u.a. maschinelles Lernen) zu berücksichtigen.

Befliegungen

Über die Projektlaufzeit wurden je Versuchsstandort (Herzogenaurach, Morgenrot) über 50 bzw. über 40 Befliegungen jeweils von ca. März bis Juli durchgeführt. In den Jahren 2021 und 2022 wurden auch einzelnen Befliegungen im November/Dezember bzw. Oktober/November zur Erfassung des Einwinterungszustands bzw. der Bodenreferenzhöhe (Bodenniveau) durchgeführt. Ansonsten wurde auch die erste Befliegung möglichst früh im Jahr zur Erfassung des Bodenniveaus herangezogen. Im Projekt wurden in einzelnen Versuchsjahren einzelne Versuchsglieder mit dem Pathogen *Fusarium* inokuliert. Diese mit *Fusarium*-inokulierten Parzellen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten nochmals mit verschiedene Spektrenauflösenden Kamerasystem überflogen (Herzogenaurach, 2020, 2021). Das angestrebte Ziel war ein Befliegungsintervall von ca. zehn Tagen über die Vegetationsperiode wurde über alle Jahre hinweg gut eingehalten, auch wenn Faktoren wie Wind, Niederschlagsperioden und wechselnde Bewölkung das Einhalten eines *konstanten* Intervalls mitunter erschweren konnten. Zu Vegetationsbeginn wurden die Flugtermine aufgrund der verlangsamt Vegetationsentwicklung gestreckt.



Abbildung 1 Hauptversuch Standort Herzogenaurach



Abbildung 2 Versuchsstandort Morgenrot



Abbildung 3 *Fusarium*-Inokulationsversuch Standort Herzogenaurach abseits vom Hauptversuch.

In der Regel wurde sowohl mit Multispektralkamera als auch mit RGB-Kamera befliegen. An einzelnen Terminen wurde die Befliegungssensorik ergänzt um einen hyperspektralen Zeilenscanner und/oder eine Wärmebildkamera (Thermalkamera).

Zusätzliche Befliegungen neben der regelmäßigen Boniturbefliegung wurden durchgeführt, um Vergleiche zwischen der Methodik der Georeferenzierung, der Sensorqualität und der Höherfassung durchführen zu können. Diese Vergleiche waren auch nötig, um die Prozessabläufe der Datenverarbeitungs-Pipeline weiter optimieren zu können.

Bei den RGB-Flügen wurden zwei verschiedene Sensoren verwendet. Eine flexibel montierbare Sony Alpha6000 und eine fest verbaute RGB-Kamera an der DJI P4 RTK. Im Verlauf wurde auch die Sony Alpha 7RII gegenüber der DJI P4 RTK zum Vergleich verschiedener RGB-Sensoren auf die Aufnahmequalität und deren Einfluss auf die weiterführende Datenanalyse durchgeführt (2021). Die im Wesentlichen verwendete Multispektralkamera war die Macaw von Tetracam sowie die Rededge von Micasense. Die Hyperspektralkamera war der Nano von Headwall Photonics (Headwall Inc.USA).

Automatisierung der Datenabläufe

Die Datenverarbeitung geschah in der Software Metashape Professional von Agisoft (Abb. 4). Die erzeugten RGB-Einzelbilder werden zu einem digitalen Orthomosaik und einem digitalen Geländemodell weiterverarbeitet (Abb. 5, 6). Bei Multispektralaufnahmen erfolgte zuvor in der Software *PixelWrench2* von Tetracam eine Vorverarbeitung der Bilder.

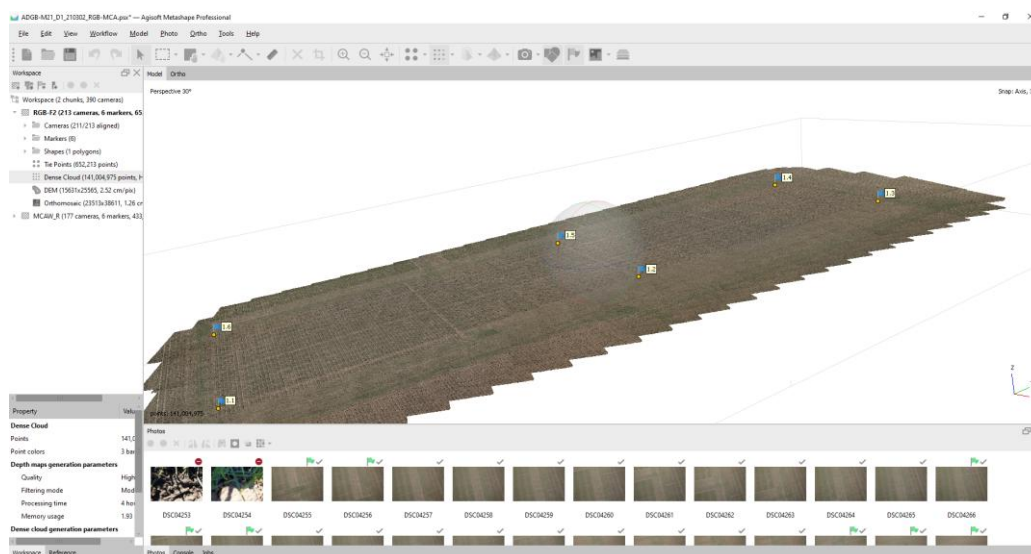


Abbildung 4 Bildmosaickierung in der Photogrammetriesoftware Metashape Professional (Fa. Agisoft).

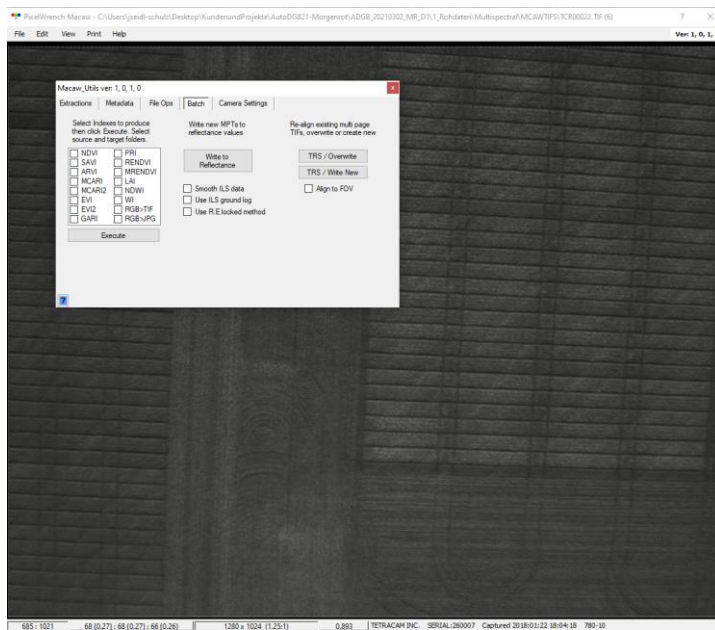


Abbildung 5 Software PixelWrench for Macaw zur Vorverarbeitung multispektraler Bilddaten.



Abbildung 6 Orthomosaik zum Versuchsstandort Herzogenaurach; deutliche Bodenzonierung als potentielle Störgröße zu erkennen.

Die erzielten Ergebnisse wurden hochgeladen auf einen Server der geo-konzept GmbH und zum Download für die Projektpartner zur Verfügung gestellt (Abb. 7). Die Auswertung der Daten und die entsprechende Vergleichs- und Korrelationsberechnungen erfolgten in MS Excel.

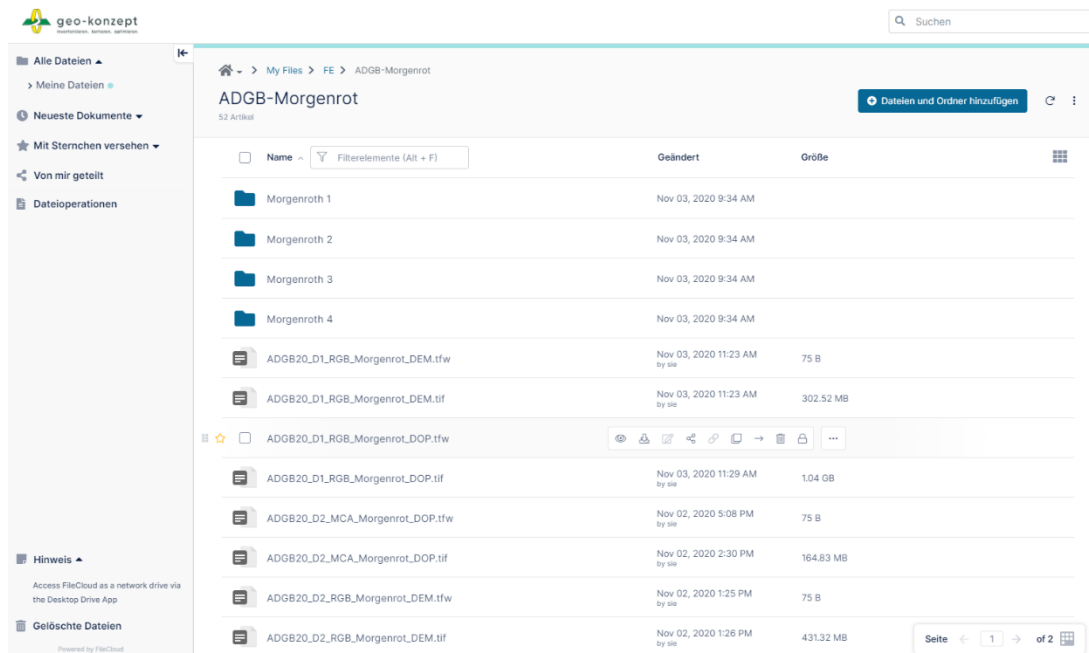


Abbildung 7 Datentransfermöglichkeit über eine Webplattform der geo-konzept GmbH an die Projektpartner.

Im ersten Projektjahr wurden die grundsätzlichen Abläufe der Datenaufnahmen, -verarbeitung, -übertragung und -auswertung etabliert. Es wurden erste Ansätze zur Automatisierung der Abläufe überprüft. Die Mosaickierung der Bilddaten kann weitgehend automatisiert erfolgen. Ein Schritt der bisher zwingend manuell erfolgen musste, ist die Georeferenzierung des UAV-Bildes mittels Bodenkontrollpunkten in der Photogrammetriesoftware Metashape Professional (Fa. Agisoft). Diese Spezialsoftware ermöglicht eine Orthomosaikerstellung sowie Entwicklung digitaler Geländemodelle aus einer Vielzahl zuvor aufgenommener Drohnen-Einzelbilder. Drohnen-daten (u.a. Yaw, Pitch, Roll, RTK-Infos) als auch Bildstrukturerkennung findet zum Stitchen der Einzelbilder Anwendung. Im Projektzeitraum kamen bei einer Befliegung erstmals codierte Bodenkontrollpunkte zum Einsatz (Abb. 8). Agisoft Metashape Professional, bietet die Option diese codierten Bodenkontrollpunkte automatisch zu erkennen und somit eine automatisierte Zuordnung. Bei den ersten Tests dieses Verfahrens hat sich gezeigt, dass der Erfolg der Detektion an der Größe der Targets und der Bodenauflösung der Luftbilder liegt.



Abbildung 8 Codierte Bodenkontrollpunkte im Hauptversuch in Herzogenaurach.

Bereits im Herbst 2020 und auch im Jahr 2021 wurden hierbei Tests durchgeführt, um die Genauigkeit der Erkennung von Bodenkontrollpunkten unter Nutzung der DJI P4 RTK festzustellen (Abb. 9). Hier lag die Abweichung an sogenannten Checkpoints durchschnittlich bei 10 bis 20 cm. Der Versuchsplan und das UAV-Bild werden jeweils in einer Genauigkeit von ca. 5 cm georeferenziert. Im Allgemeinen ist eine Pufferung von UAV-Bildern zwischen 20 und 40 cm üblich. In einem weiteren Test im Jahr 2022 zur Erkennung von codierten Bodenkontrollpunkten wurden diese mit der DJI P4 RTK und der DJI M300 mit der Zenmuse P1-Kamera in wechselnden Höhen befliegen. Je nach Sensor konnten bis zu einer bestimmten Höhe alle Targets erkannt werden und bis zu einer weiteren größeren Höhe zumindest ein Teil der Targets (Tabelle 1). Diese Tests mit kodierten Bodenkontrollpunkten haben gezeigt, dass mit der DJI-P4 eine geringe Flughöhe von 30-40 m über Grund notwendig ist, damit die kodierten GCPs genutzt werden können. Durch die geringe Flughöhe wird die Flächenleistung negativ beeinflusst. Das bedeutet, dass in gleicher Zeit bzw. mit gleichem Energieverbrauch nur eine geringe Fläche überflogen werden kann. Besonders die Genauigkeit der Höhenangabe bzw. Höhenmodellierung kann ohne Bodenkontrollpunkte nicht zur Bonitur genutzt werden; die modellierten Daten sind zu ungenau. Die Daten aus der Höhenmodellierung sind in der Bonitur von Pflanzen- bzw. Zuchtselektionsbeständen von besonderer Bedeutung, da hieraus die jeweils aktuelle Wuchshöhe der einzelnen Zuchtlinien möglichst genau ermittelt werden sollte. Dies ist schließlich ein Selektionskriterium.

Tabelle 1 Flughöhe zu der alle codierten Targets oder mindestens ein Target erkannt wurde

Eingesetzte Kamera	Vollständig erkannt	Mind. 1 Target erkannt
DJI-P4-Kamera	35 m	50 m
DJI Zenmuse P1 (Test 2)	60 m	102 m
DJI Zenmuse P1 (Test 1)	60 m	102 m

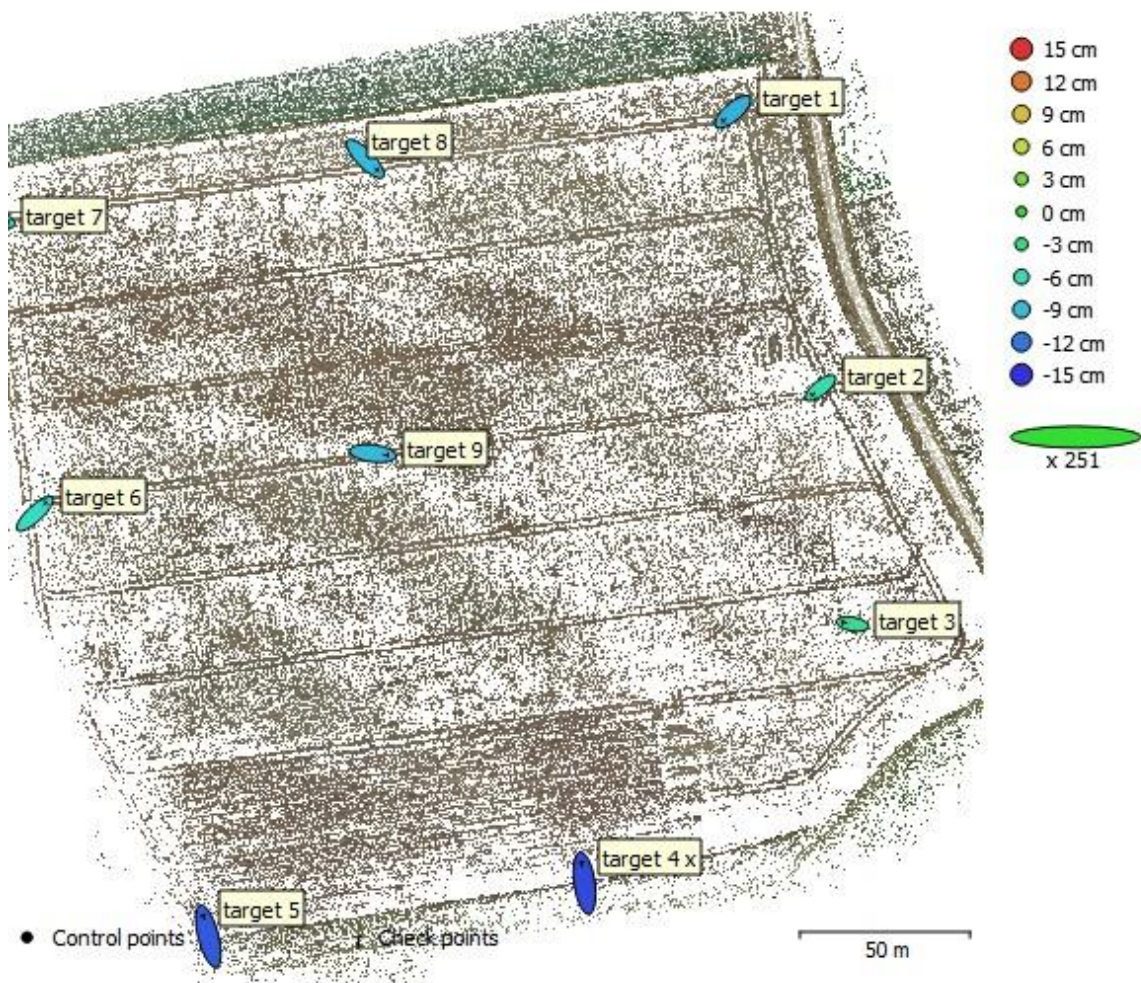


Abbildung 9 Genauigkeit bzw. Abweichung von ausgelegten Bodenkontrollpunkten einer Georeferenzierung wenn Bodenkontrollpunkte nicht genutzt werden sollten.

Der komplette Verzicht auf Bodenkontrollpunkte würde die Automatisierung der Datenverarbeitung deutlich voranbringen. Immer häufiger bieten auch niedrigpreisige UAVs eine einfache Möglichkeit die Bilder mit einer RTK-genauen Position zu versehen. Zur Evaluation, welche Methode zur automatisierten Georeferenzierung in den Ablauf der automatisierten drohnengestützten Bonitur integriert werden kann, wurde in den Jahren 2022

und 2023 jeweils ein identischer Versuch durchgeführt: einmal wurden nur Kontrollpunkte genutzt, einmal nur RTK-Geotags und einmal eine Kombination aus beiden Verfahren. Ein wichtiger Parameter, der hier weiter betrachtet wurde ist die genaue Ermittlung der Höhe – wesentlich zur Bestimmung der Pflanzen-/Wuchshöhe (Bestandshöhe).

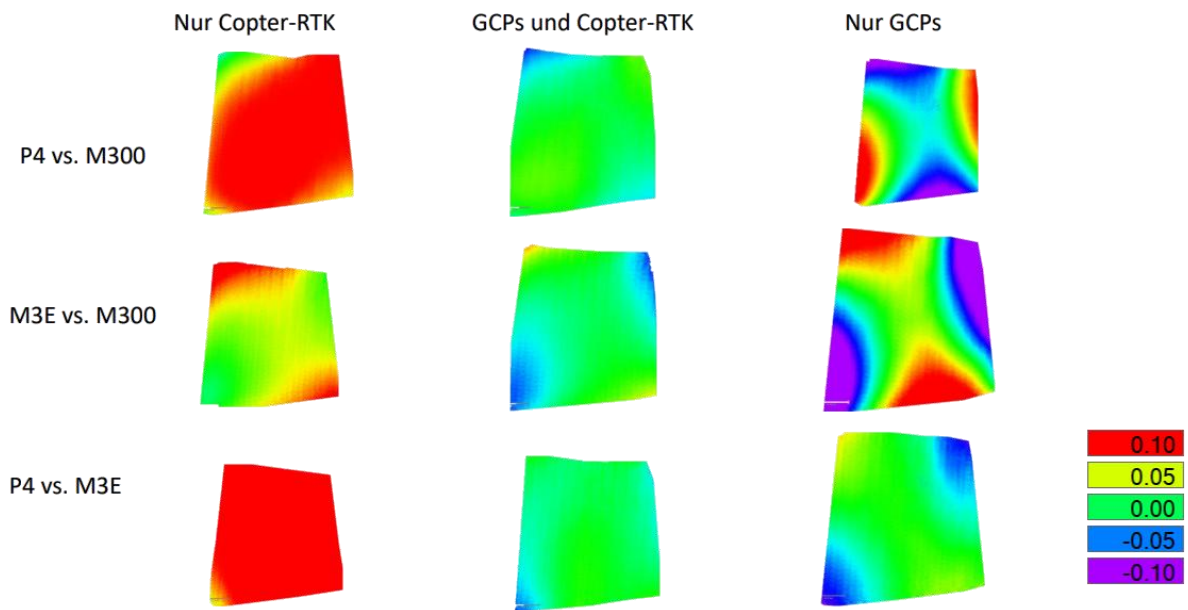


Abbildung 20 Vergleich der Drohnenmodelle untereinander im Versuchsjahr 2023. Farblich codiert sind die Abweichungen der Höhenmodelle zueinander (verschiedene Drohnensysteme verglichen gegen drei Georeferenzierungsmethoden: nur das Drohnen-RTK-Signal, RTK-Signal und Bodenkontrollpunkte (GCPs), oder nur GCPs).

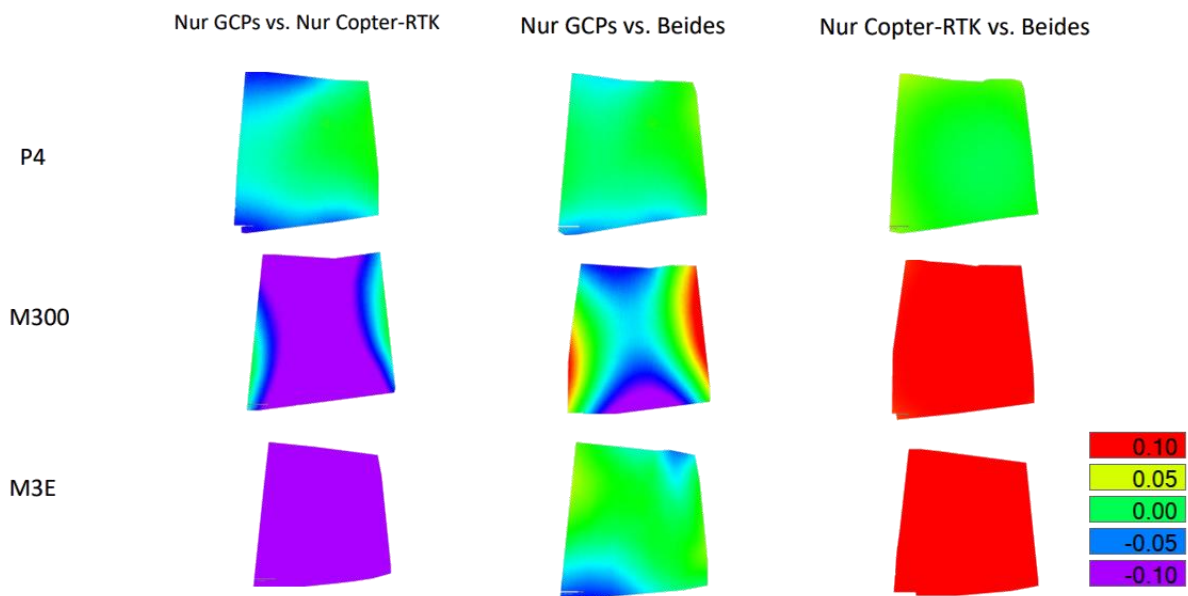


Abbildung 11 Vergleich der verschiedenen Georeferenzierungsmethoden untereinander bei verschiedenen Drohnensystemen im selben Versuchsjahr 2023 (Aufnahmezeitpunkt).

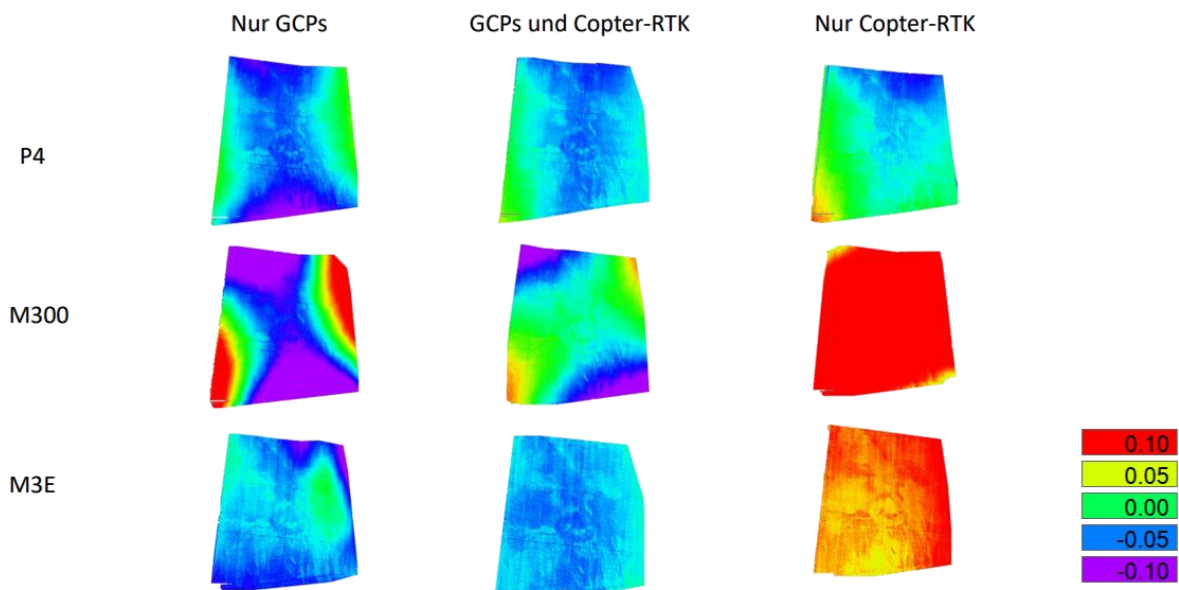


Abbildung 12 Vergleich von Höhenmodellen zu verschiedenen Befliegungs-Zeitpunkten (2022 vs. 2023) bei gleichen Georeferenzierungsmethoden und Drohnensystemen zwischen den Jahren.

Als **Fazit** aus den erzeugten Befliegungsflächen ließ sich die Befliegung weiter optimieren. Für die Automatisierung wäre es ein immenser Vorteil, wenn auf das Auslegen von Bodenkontrollpunkten komplett verzichtet werden könnte. Diese Untersuchungen bestätigen aber unsere Einschätzung, dass Drohnen mit RTK-Aufzeichnung der Auslösepunkte zwar gut im automatisierten Ablauf genutzt werden können, aber sich nur für bestimmte Bonituren eignen. Die Lage der Orthomosaike in X- und Y-Richtung erwies sich als ausreichend für die Bonituren der Biomasse oder des Feldaufgangs. Auf einen Verzicht auf Bodenkontrollpunkte zur horizontalen Verortung ist vertretbar. Die Variation in der Höhe (d.h. der Z-Achse) schwankt bei den Drohnen allerdings noch in einem Bereich der nicht genügend ist um damit zuverlässige Höhenbonituren durchzuführen. Im Ergebnis zeigte sich hier, dass man für die Höhenmessung zur Pflanzenbonitur noch nicht komplett auf Bodenkontrollpunkte verzichten kann.

Ein weiterer Arbeitsschritt, der bisher aus Qualitätsgründen nicht vollständig automatisiert werden konnte, ist die Bereinigung der erzeugten Punktwolke. Vor diesem Hintergrund sind die praktikablen Automatisierungsschritte von Seiten geo-konzepts abgeschlossen (*MS 4.5 Photogrammetrieprozess und Georeferenzierung der UAV-Daten im Hinblick auf die Genauigkeitsanforderungen im Parzellenversuchswesen automatisiert; MS 4.6 Verarbeitungskette Photogrammetrie, Georeferenzierung und Ergebniszuordnung zu definierten räumlichen Einheiten erfolgreich*). Das betrifft die Datenaufnahme, -verarbeitung, -übertragung und -auswertung. Auch wenn ein Großteil der Arbeitsschritte automatisiert werden konnte, benötigen einzelne Arbeiten händische Zuarbeit, um eine hohe Qualität des

Orthomosaiks zu garantieren. Nach Verarbeitung der Daten wurden diese an den Projektpartner HSWT zur weiteren Verarbeitung (i.e, machine learning) übergeben.

Eine wichtige Information zur Nutzung von Multispektralkamerasystemen und daraus errechneten Vegetationsindizes, die zunehmend standardmäßig zur Bonitur genutzt werden: die hier genutzten, codierten GCPs zur akkuraten Verortung bei Befliegungen können nicht mit Multispektralkameras genutzt werden!

Thermal-Befliegungen

Thermalaufnahmen im Versuchswesen sind schwierig durchzuführen. Zur Ermittlung der (absoluten) Oberflächentemperatur gibt es aktuell keine zuverlässige, kostengünstige Lösung. Bei vorliegendem Trocken- oder Hitzestress könnten diese Wärmebild-Aufnahmen ökophysiologisch grundsätzlich interessant sein. Dabei wird ein Mischsignal aus Bestandesdichte, aktueller Verdunstungskühlung der Pflanzenbestände und Bodenrückstrahlung erfasst. Hier könnte unter anderem auf das Transpirationsvermögen, bereits eingestelltem Transpirationsverhalten aufgrund Trockenstress und weiteren ökophysiologischen Parametern geschlossen werden. Bei Nutzung bestimmter Referenzmaterialien kann auch direkt die (stomatäre) Leitfähigkeit bzw. Bestandestranspiration berechnet werden. Im Jahr 2023 konnte mit der DJI Mavic 3 Thermal an mehreren Tagen ein Orthomosaik der Versuchsflächen erstellt werden. Aufgrund der Art der Datenerfassung ist das im Versuchswesen nur dort möglich, wo aufgrund freier Wege in jedem Bild ein möglichst konstantes Temperatur-Minimum und -Maximum vorliegen. Leider ist es nicht möglich die Graustufen bzw. Bit-Werte direkt in absolute Temperaturwerte zu übersetzen und parzellenspezifisch auszuwerten. Die Berücksichtigung transpirationsbezogener, ökophysiologischer Parameter zur Bonitur von pflanzenzüchterischen Merkmalen sollte in der Zukunft nicht nur im Hinblick auf klimawandelangepasste Züchtungen weiterverfolgt werden.

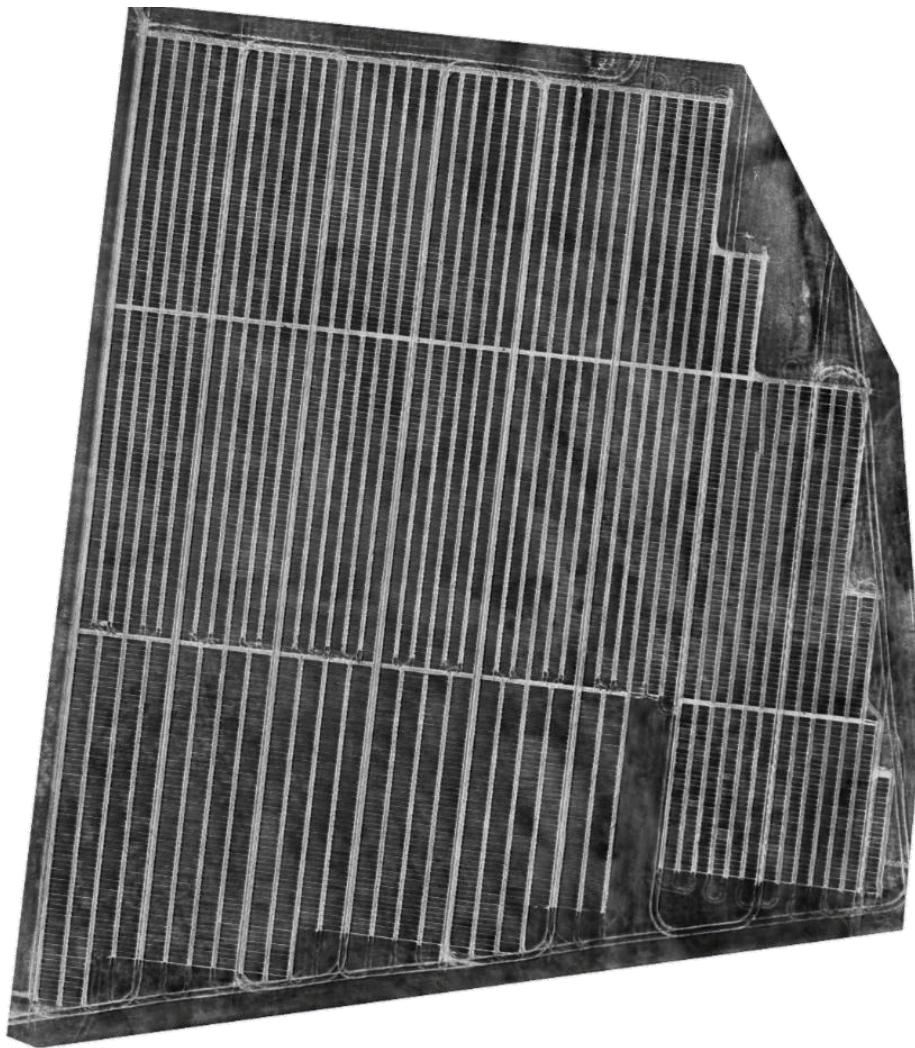


Abbildung 13 Zusammengesetztes Orthomosaik (Software Metashape Professional, Fa. Agisoft) aus Thermalbildern am Hauptversuch Standort Herzogenaurach am 22.06.2023; Befliegung mit DJI Mavic 3 Thermal. Je heller desto wärmer die Oberflächen, je dunkler desto kälter.

Automatisierung des „Ährenzählens“

Ein weiterer besonderer Parameter zur Bonitur von Getreidepflanzen ist die Anzahl an Ähren pro m² (Ährendichte) als Maß für die Bestandsdichte mit Ertrag-tragenden Pflanzenteilen. Dieses „Ährenzählen“ ist eine manuelle, zeitaufwendige Maßnahme mit hohem Personalaufwand. Hier wurde versucht im Jahr 2021, und darüber hinaus, dieses Ährenzählen mit verschiedenen RGB-Sensoren (Sony Alpha 7RIII, DJI P4 RTK) und einer geo-konzept-eigenen Softwarelösung (miniGIS) zu automatisieren. Über diese teil-automatische Software-Lösung konnte ein guter Teil der Ährendichte (Ähren pro m² Grundfläche) bestimmt werden, jedoch ist hier noch eine Überprüfung von geschultem Personal notwendig. In Kooperation mit der TH Ingolstadt und dem Projektpartner von der HSWT wurde ein KI-Algorithmus zum Zählen von Weizenähren anhand von Drohnenbildern entwickelt. Der Algorithmus, Deep

Neuronal Network (DCNN), bewies seine Effektivität bei der Erkennung von Ähren mit einer genauen Erkennung von 6.338 Ähren in 77 Testbildern, mit einer Abweichung von nur 2,14% von der Gesamtzahl annotierten Ähren (6.200). Es wurden zwei effektive Hochrechnungstechniken für die Analyse größerer Parzellen verglichen. Die erste Technik beinhaltet die Verwendung einer Schiebefenstermethode, die sich für die Ermittlung der Ährendichte in ganzen Versuchspartzen empfiehlt. Bei der zweiten Technik wird ein Upscaling-Ansatz verwendet, der eine effiziente Schätzung der Spike-Zahlen mit nur einer einzigen Teilfläche ermöglicht. Aus dieser Entwicklung wurde eine Firma ausgegründet (FeldSchau GmbH), mit der geo-konzept weiterhin an der „Ährenzählen“-Methodik im Austausch steht. geo-konzept hat in miniGIS eine Schnittstelle für FeldSchau zum Datenaustausch und anschließender Auswertung von Ährendaten geschaffen, so dass nun in miniGIS direkt mittels KI-Lösung von FeldSchau vollautomatisches Ährenzählen möglich ist.

Hinweise zu spezifischen Drohnen und Sensorsystemen zur Nutzung in der Boniturbefliegung

Bei der DJI Matrice M300 war eine weitere Erkenntnis, dass das 30-mm-Objektiv, als Standardobjektiv für diese Drohne, tendenziell nicht optimal ist für die Photogrammetrie. In unabhängigen weiteren Untersuchungen erwies sich ein 24-mm-Objektiv zuverlässiger in der photogrammetrischen Auswertung und effizienter im Befliegungsablauf.

Die DJI Mavic 3 Enterprise bietet die Möglichkeit einer photogrammetrietauglichen Drohne zu einem deutlich kleineren Preis und in einer niedrigeren Gewichtsklasse (ca. 900 g). Für Fragestellungen der Bonitur könnte die Drohne ein neues Standardwerkzeug im Versuchswesen werden. Die DJI Mavic 3 Enterprise erwies sich als tauglich für die Versuchsbonitur und kann zusammen mit der DJI Mavic 3 Multispectral als Nachfolger der P4-RTK in der Versuchsbonitur gesehen werden.

Tests mit der DJI P4 RTK haben bestätigt, dass das System mit integriertem, günstigeren, Sensor für die Höhenmessung des Bewuchses geeignet ist (Abb. 14) und auch geringe Unterschiede im Zuwachs sich detektieren lassen. Grundsätzlich eröffnet dies eine Nutzung der DJI P4 RTK für das Versuchswesen. Bei den RGB-Flügen wurden zwei verschiedene Sensoren verwendet. Eine flexibel montierbare Sony Alpha6000 und eine fest verbaute RGB-Kamera an der DJI P4 RTK. Erste Ergebnisse deuten an, dass auch der integrierte, günstigere Sensor für die Höhenmessung geeignet ist.

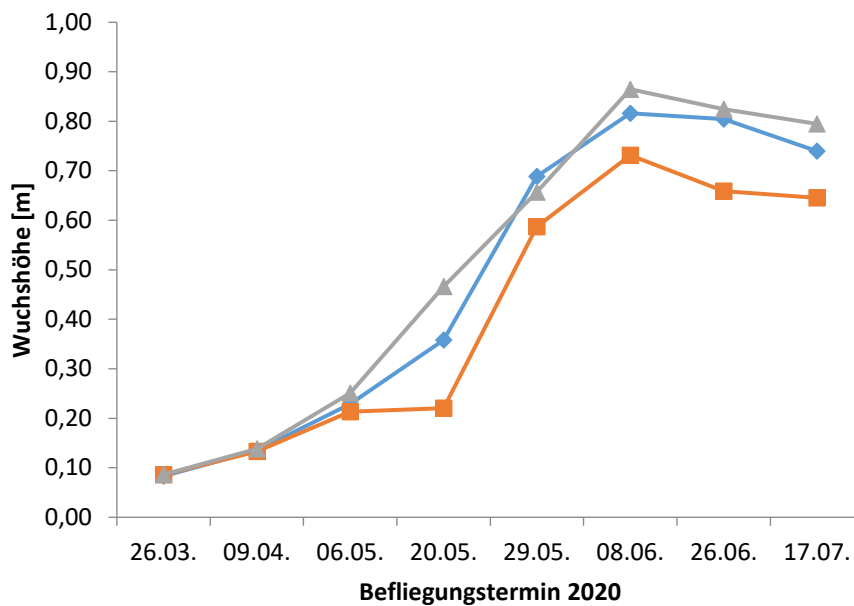


Abbildung 14 Entwicklung der Wuchshöhe über den Vegetationszeitraum im Jahr 2020 (beispielhaft dargestellt an drei Genotypen), abgeleitet aus UAV Befliegungsdaten (DJI P4 RTK unter Nutzung von georeferenzierten Bodenkontrollpunkten).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

not for publication

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die geleistete Arbeit im Projekt lässt sich durch unterschiedliche Aspekte legitimieren. Allen voran stellt das Gesamtziel, die zu Beginn des Projekts existierenden Lücken zu schließen eine praxistaugliche, weitgehend automatisierte und optimierte Lösung für die Anwendung der drohnengestützten Bonitur in der Weizenzüchtung zu entwickeln. Grund hierfür war eine bestehende Automatisierungslücke zwischen der Erfassung und der Verrechnung der Daten welche via UAV erfasst werden. Die vermehrten Entwicklungen und Forschungsarbeiten in der sensorgestützten Phänotypisierung bieten eine wachsende Anzahl an Möglichkeiten, Pflanzen- oder Bestandeseigenschaften zuverlässig und objektiv auf eine nicht destruktive Weise sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erfassen. Eine Vielzahl der im Projekt entwickelten Prozesse und Methoden können nach Ablauf des Projekts durch die beteiligten Firmen genutzt werden. Das Erreichen des Gesamtziels gelang unter anderem aufgrund der sinnvollen Strukturierung des Gesamtprojekts und der effizienten Zusammenarbeit der erfahrenen Partner.

4. Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die entwickelte (teil-)automatisierte Prozesskette von der UAV-Befliegung mit Sensoraufnahmen und anschließender, komplexer Orthomosaikbildung bis zur Weitergabe der großen Datenmengen wird seit der Entwicklung hier im Projekt auch im Parzellenversuchswesen, Dienstleistungs- und FuE-Bereich von geo-konzept für unsere Kunden und Partner eingesetzt. Daneben sind wir bestrebt diese Prozesskette stetig den neuen Anforderungen weiterzuentwickeln.

Die Methodik des „Ährenzählens“, zu der auch eine Ausgründung stattfand (FeldSchau GmbH), wird auch in unserer eigenen GIS- und Versuchswesen-Software miniGIS weiterentwickelt. So wurde eine Datenschnittstelle zu FeldSchau zur Verfügung gestellt. Nun ist durch die Zusammenarbeit eine KI-basierte Auswertung der UAV-Bilder hinsichtlich der Ährendichte möglich.

5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Fortschritte im Bereich der drohnengestützten Bonitur wurden im Projekt fortlaufend anhand von Literaturrecherchen beobachtet und in den entsprechenden Veröffentlichungen dargestellt (s. Veröffentlichungen).

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Vorstellung auf Tagungen

Veranstaltung	Termin	Titel	Art (Vortrag/Poster)
ProWeizen, online	21.04.2021	Development of an automated solution for the drone-assisted assessment of field trials	Vortrag
Biomasseinstitut Evaluierung (HSWT), Triesdorf	08.05.2021	AutoDGB: Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen	Poster
Biometrische Sommertagung	01.07.2021	Development of an automated solution for the drone-assisted assessment of field trials	Vortrag
Wissenschaftstag, Ansbach	30.09.2021	Intelligente Agri-Kultur Anwendungen	Vortrag

AI4Life (HSWT), online	22.10.2021	von KI in der Landwirtschaft AutoDGB: Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen	Vortrag
XII International scientific-practical conference of young scientists "Information technologies: economics, technology, education", NULES, Kiew, online	11.11.2021	Drone-assisted assessment of field trials	Vortrag
DLG- Technikertagung, Hannover	26.01.2022	Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen	Vortrag
ProWeizen, online	23.03.2022	Development of an automated solution for the drone-assisted assessment of field trials	Vortrag
Johannitag, Triesdorf	26.06.2022	AutoDGB: Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen	Poster
BIT-Treffen, Ansbach	14.10.2022	AutoDGB: Entwicklung einer automatisierten Lösung für die drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen	Vortrag
KNEDL, Ruhstorf an der Rott	19.10.2022	"Drohnengestützte Bonitur von Feldversuchen (AutoDGB)"	Vortrag
KoDA, HSWT: AI4Life	21.10.2022	Development of an automated solution for the drone-assisted assessment of field trials	Vortrag

DLG- Technikertagung 2023, Hannover	01.02.2023	Drohngestützte Ertragsprognose im Rahmen des Projekts AutoDGB	Vortrag
DLG Ausschuss Feldversuchswesen, Frankfurt	02.03.2023	Automatische nicht- invasive Bonitur der Ährenfusariose bei Winterweizen anhand von RGB-Bildern	Vortrag

Veröffentlichungen

Die Ergebnisse des Projekts wurden in bisher fünf Publikationen mit Peer-Review veröffentlicht. In vier Publikationen ist geo-konzept direkt als Co-Autor beteiligt – diese VÖs sind hier aufgeführt. Drei weitere Artikel zum Ährenzählen, der Größe von Testdatensätzen und KNN-Architekturen befinden sich derzeit noch in der Begutachtung.

1. Prey, L., Hanemann, A., Ramgraber, L., **Seidl-Schulz, J.**, & Noack, P. O. (2022). UAV-Based Estimation of Grain Yield for Plant Breeding: Applied Strategies for Optimizing the Use of Sensors, Vegetation Indices, Growth Stages, and Machine Learning Algorithms. Remote Sensing, 14(24). <https://doi.org/10.3390/rs14246345>
2. Prey, L., Ramgraber, L., **Seidl-Schulz, J.**, Hanemann, A., & Noack, P. O. (2023). The Transferability of Spectral Grain Yield Prediction in Wheat Breeding across Years and Trial Locations. Sensors, 23(8). <https://doi.org/10.3390/s23084177>
3. Heinemann, P., Prey, L., Hanemann, A., Ramgraber, L., **Seidl-Schulz, J.**, & Noack, P. O. (2025). Enhancing model performance through data fusion in multispectral and RGB image-based field phenotyping of wheat grain yield. Precision Agriculture, 26(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10211-3>
4. Prey, L., **Seidl-Schulz, J.**, Noack, P.O. (2025). Evaluation of plot level aggregation statistics for spectral grain yield prediction, European Journal of Agronomy, Volume 170, 2025, ISSN 1161-0301, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127733>