# Validation photogrammetrischer Pflanzenhöhen-bestimmung mittels GPS-gestützte Ground Truth Erhebung in Exaktversuchen

**PAUL HERZIG[1], BASTIAN SANDER[1], JANINE KOPKA[1], PETR NIKITIN[1] & UWE KNAUER[1]**

*Zusammenfassung: Die präzise Bestimmung der Pflanzenhöhe landwirtschaftlichen Kulturen hilft bei der Vorhersage von Biomasse und Ertrag und lässt eine Beurteilung der Entwicklung des Bestandes zu. Die photogrammetrische Pflanzenhöhenbestimmung mittels Drohnen ermöglicht dies flächendeckend ohne aufwendige Messungen im Feld. Die Präzision der photogrammetrischen Pflanzenhöhenbestimmung erreichte in vergleichenden Untersuchungen zwischen UAV-Daten und terrestrisch erhobenen Vergleichsdaten über den gesamten Vegetationszeitrum hinweg eine Vorhersagegenauigkeit von $R^2$ = 0,85 und lag auch innerhalb der einzelnen Messkampagne auf einem hohen Niveau von $R^2$ > 0,75.*

## 1 Einleitung

Die präzise Bestimmung der Pflanzenhöhe landwirtschaftlichen Kulturen hilft bei der Vorhersage von Biomasse und Ertrag und lässt eine Beurteilung der Entwicklung des Bestandes zu. Die photogrammetrische Pflanzenhöhenbestimmung mittels Drohnen ermöglicht dies flächendeckend ohne aufwendige Messungen im Feld. Darüber hinaus können die 3D Modelle dabei helfen, Lager- und Wildschäden zu quantifizieren. Ziel der Arbeit ist die Bestimmung der Präzision photogrammetrischer Pflanzenhöhenbestimmung und die Identifikation von Faktoren, die diese Präzision beeinflussen.

Dafür wurden während der Vegetationsperiode von Mai bis Juli 8 UAV Flüge auf dem Versuchsflächen der Hochschule Anhalt in Bernburg durchgeführt. Auf der Versuchsfläche befanden sich unterschiedlichste Sommer- und Wintergetreidekulturen (Gerste, Roggen, Weizen Hafer, Triticale, Durum) in vierfacher Wiederholung mit insgesamt 160 Parzellen im Anbau. Um ein präzises Höhenmodell aus den Drohnendaten zu erhalten wurden sechs Ground Control Points (GCPs) im Feldversuch positioniert und mittels RTK-GPS eingemessen. Für die Ground Truth Messungen der Pflanzenhöhen im Feld wurden 2 Methoden verwendet. Zum einen wurden parallel zur UAV-Kampagne ca. 100 RTK-GPS Punkte im Feldversuch vermessen und mittels Laserdistanzmessgerät die Pflanzenhöhe bestimmt. Die Auswahl der 100 RTK-GPS Punkt im Feld wurde so getroffen, dass sie sich gleichmäßig über den Versuch verteilen und den gesamten Wertebereich der im Feld vorkommenden Pflanzenhöhen abdecken. Zum anderen wurde, wie in der konventionellen Bonitur der Pflanzenhöhe üblich, ein Mittelwert pro Parzelle ermittelt. Um ein Maß für die Präzision zu erhalten wurde das Bestimmtheitsmaß ($R^2$) zwischen den gemessenen Pflanzenhöhen im Feld und der Bestimmung durch das photogrammetrische Verfahren berechnet.

[1] Hochschule Anhalt, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung, Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg,
E-Mail: [paul.herzig, bastian.sander, janine.kopka, uwe.knauer]@hs-anhalt.de

 DOI: 10.24407/KXP:1885668228

# 2 Problemstellung

Die Begleitung von landwirtschaftlichen Feldversuchen durch UAV-Flüge ist ein zeitgemäßes Mittel zur Dokumentation der Bestandesentwicklung sowie zur Ermittlung von Prüf- und Beobachtungsmerkmalen. Dafür kommen RGB-, Multispektral-, Hyperspektral-, TIR- und LiDAR-Sensoren zum Einsatz. Dem Vorteil einer enormen Zeitersparnis bei der Aufnahme von Sensordaten für die gesamte Versuchsfläche stehen der Aufwand bei der Ableitung von Prüf- und Beobachtungsmerkmalen im Rahmen der Auswertung sowie die Frage nach der Vergleichbarkeit mit einer klassischen Bonitur von Merkmalen gegenüber. Am Beispiel ausgewählter Feldversuche wird deshalb die Genauigkeit der Pflanzenhöhenbestimmung überprüft und am Beispiel eines weiteren Feldversuchs die Verwendung der UAV-gestützten Pflanzenhöhenbestimmung in der Versuchsauswertung getestet. Dabei werden frühere Arbeiten zur Pflanzenhöhenbestimmung bei Gerste aufgegriffen und weiterentwickelt (HERZIG 2021; HERZIG 2022)

## 2.1 Feldversuche

Die den Untersuchungen zugrunde liegenden Feldversuche wurden am Standort Bernburg-Strenzfeld, am Südrand der Magdeburger Börde und im nordöstlichen Regenschatten des Mittelgebirges Harz gelegen, durchgeführt. Die Bodenart ist schluffiger Lehm (uL) und der Bodentyp Lößschwarzerde. Die Bodenzahlen betragen am Versuchsstandort 86-100 bei einer nutzbaren Feldkapazität von 220 mm (1 m Tiefe) (vgl. (DALLMANN 2023)). Unter den zahlreichen Feldversuchen des Erntejahres 2023 fiel die Wahl auf den Artenvergleich verschiedener Winter- und Sommergetreidekulturen (AV/23) (DALLMANN 2023).

| | | | |
|---|---|---|---|
| R | Donau | ZZ | R |
| Wi-Gerste | Donau | ZZ | KWS |
| Wi-Gerste | SU Laubella | ZZ | Saatenunion |
| Wi-Gerste | Nimbus | MZ | Secobra |
| Wi-Gerste | SU Virtuosa | MZ | Saatenunion |
| Wi-Gerste | SY Galileoo | H | Syngenta |
| Wi-Gerste | SY Dakoota | H | Syngenta |
| Wi-Roggen | SU Bebop | L | Saatenunion |
| Wi-Roggen | KWS Tutor | H | KWS |
| Wi-Triticale | Charme | L | SZ Oberlimburg |
| Wi-Triticale | Lumaco | L | Syngenta |
| Wi-Weizen | KWS Emerick | E | KWS |
| Wi-Weizen | Komponist | E | Secobra |
| Wi-Weizen | Foxx | A | IG Pflzucht |
| Wi-Weizen | Donovan | A | KWS |
| Wi-Weizen | Complice | B | DSV |
| Wi-Weizen | Akasha | B | SZ Oberlimburg |
| Wi-Weizen | KWS Keitum | C | KWS |
| Wi-Weizen | RGT Revolver | C | RAGT |
| Wi-Weizen | SU Hyvega | H | Saatenunion |
| Wi-Weizen | Hymalaja | H | Nordsaat |
| WiDur | SU Winterstern | L | Saatenunion |
| ÖkoWW | a) Rübezahl | A | Secobra |
| ÖkoWW | b) Rübezahl | A | Secobra |
| ÖkoWW | a) Grannosos | A | Dottfelderhof |
| ÖkoWW | b) Grannosos | A | Dottfelderhof |
| Wi-Hafer | Eagle | L | Saatzucht Edelhof |
| Wi-Spelz | Frankentop | L | Oberlimburg |

| | | | |
|---|---|---|---|
| R | Patricia | B | WW |
| So-Weizen | Expectum | E | KWS |
| So-Weizen | Broca | A | DSV |
| So-Weizen | Jordum | B | KWS |
| So-Durum | Duralis | 300 Kö/m² | Südwestsaat |
| So-Durum | Duralis | 400 Kö/m² | Südwestsaat |
| So-Durum | Durofinus | L | IG Pflzucht |
| So-Gerste | Firefoxx | Br-G | Saatenunion |
| So-Gerste | Lexy | Fu-G | Hauptsaaten |
| Hafer | Max | Gelb-Ha | IG Pflzucht |
| Hafer | Scotty | Wei-Ha | Saatenunion |
| Hafer | Asterion | Schw-Ha | Hauptsaaten |
| Hafer | Samuel | Nackt-Ha | Grö Saaten |

Abb. 1: Versuchsplan des Artenvergleichs der Winterungen (links) und Sommerungen (rechts) aus (DALLMANN 2023)

Ausschlaggebend war die Vielzahl unterschiedlicher Kulturen und Sorten innerhalb eines Versuchs, so dass einerseits der Aufwand für die Erfassung der Referenzwerte für die Pflanzenhöhenbestimmung reduziert ist und andererseits eine hohe Variabilität der Pflanzenhöhen bereits für die Daten eines Fluges zu erwarten ist. Die Abb. 1 zeigt die in vierfacher Wiederholung angebauten Kulturen und Sorten. Die Winterkulturen sind links und die Sommerkulturen rechts dargestellt.

## 2.2 Einsatz von UAV-gestützter Sensorik

Die Erfassung der Daten erfolgte mit einer hochauflösenden RGB-Kamera, die an einem UAV vom Typ DJI Matrice M210 montiert war. Die Datenaufnahme erfolgte über den DJI Skyport auf eine SD-Karte.

Bei der Kamera handelte es sich um eine DJI Zenmuse X5S. Die Brennweite des Objektivs beträgt 13 mm, die Auflösung des Sensors 5280x3956 Pixel. Bei der maximalen Flughöhe von 120 m beträgt die erzielbare GSD 3,03 cm.

Die RGB-Einzelbilder wurden mit der Software Pix4Dmapper prozessiert (JARASHIZADEH 2024). Dabei wurden mittels RTK-GPS eingemessene Bodenkontrollpunkte für die Georeferenzierung verwendet. Mit Pix4Dmapper wurden ein Digitales Oberflächenmodell (DSM) und ein Orthofoto als GeoTIFF erstellt. Abb. 2 zeigt die verwendeten Bodenkontrollpunkte, die zu Beginn der Messkampagne einmalig eingemessen wurden und bis zur Ernte auf dem Versuchsfeld verblieben.

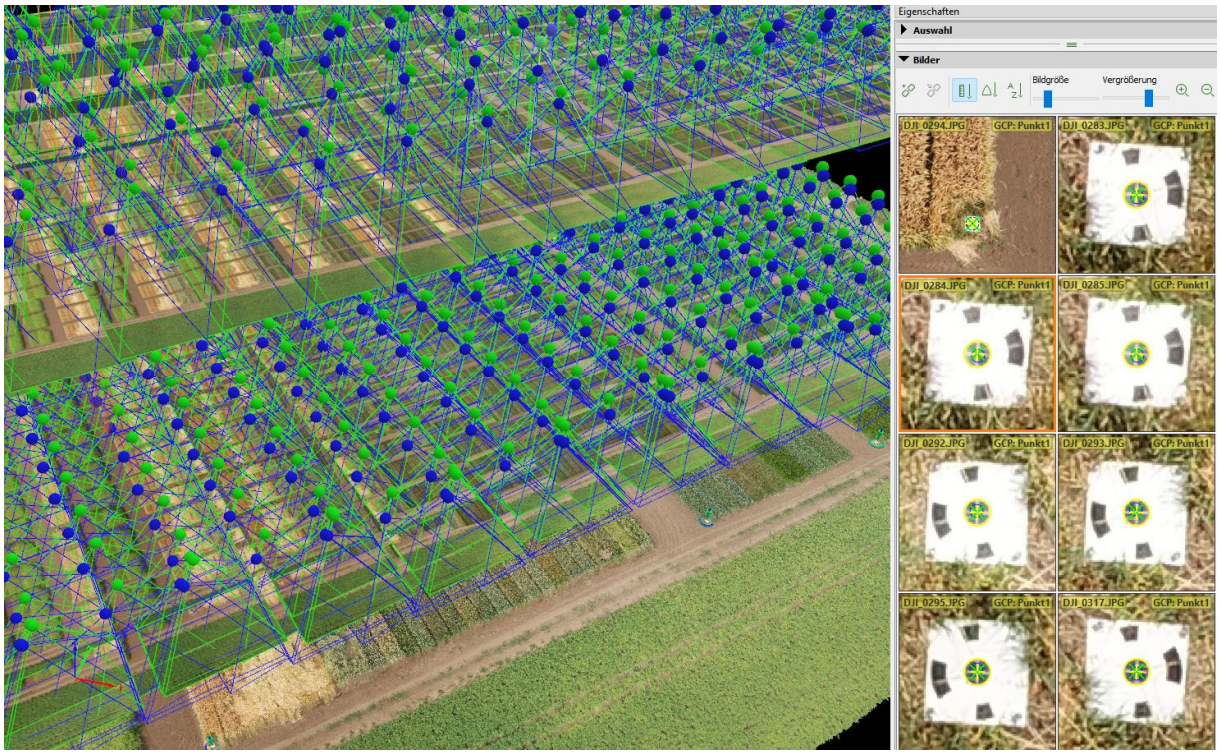
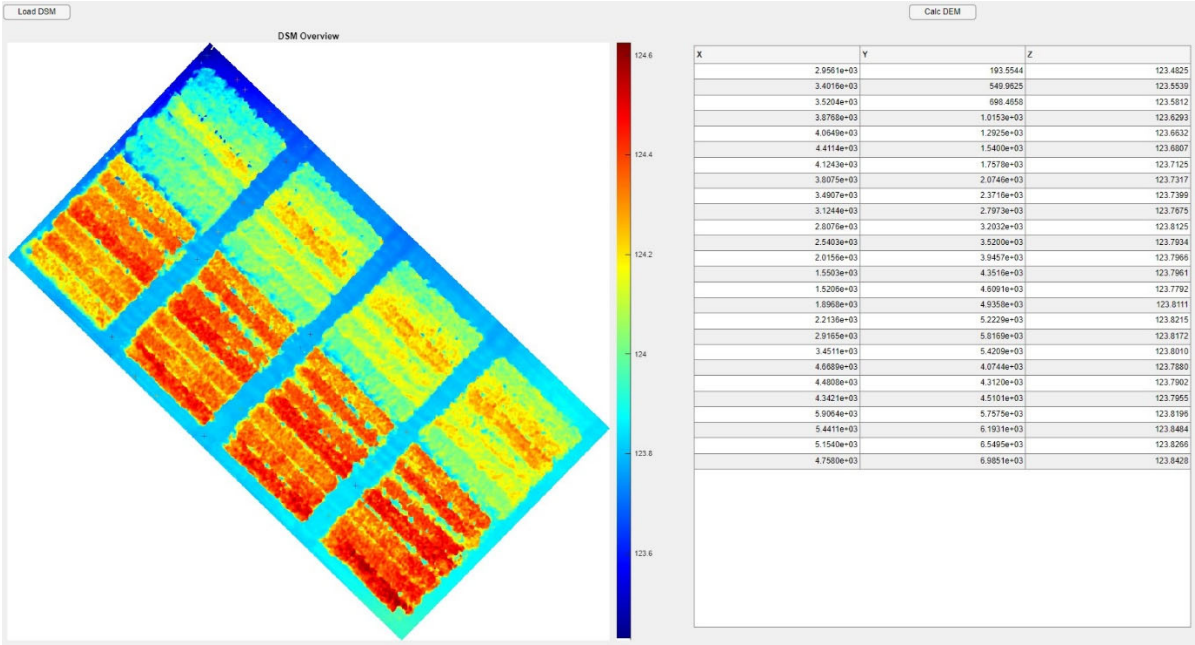



Abb. 2: Programmoberfläche von Pix4Dmapper und Darstellung der verwendeten Bodenkontrollpunkte.

Das DSM wird mittels eines MATLAB-Programms um das Geländemodell (DEM) korrigiert. Das korrigierte Modell repräsentiert die Pflanzenhöhen. Abb. 3 zeigt das DSM im Bereich der Sommerkulturen. Interaktiv werden Punkte auf der Geländeoberfläche ausgewählt. Die Menge aller gewählten Punkte bildet die Grundlage für die Berechnung des Geländemodells. Durch das MATLAB-Programm wird das korrigierte DSM als GeoTIFF exportiert.
Das korrigierte GeoTIFF kann in die Software Pix4Dfields importiert werden. Mit Pix4Dfields erfolgt eine parzellenweise Auswertung der Höheninformation. Dazu werden die Parzellengrenzen über ein Shape-File als Anmerkungen importiert. Anschließend erfolgt der Export der Statistiken für die Ebene mit den Höheninformationen als CSV-Datei.




| X | Y | Z |
|---|---|---|
| 2.9561e+03 | 193.5544 | 123.4825 |
| 3.4016e+03 | 549.9625 | 123.5539 |
| 3.5204e+03 | 698.4658 | 123.5812 |
| 3.8768e+03 | 1.0153e+03 | 123.6293 |
| 4.0649e+03 | 1.2925e+03 | 123.6632 |
| 4.4114e+03 | 1.5400e+03 | 123.6807 |
| 4.1243e+03 | 1.7578e+03 | 123.7125 |
| 3.8075e+03 | 2.0746e+03 | 123.7317 |
| 3.4907e+03 | 2.3716e+03 | 123.7399 |
| 3.1244e+03 | 2.7973e+03 | 123.7675 |
| 2.8076e+03 | 3.2032e+03 | 123.8125 |
| 2.5403e+03 | 3.5200e+03 | 123.7934 |
| 2.0156e+03 | 3.9457e+03 | 123.7966 |
| 1.5503e+03 | 4.3516e+03 | 123.7961 |
| 1.5206e+03 | 4.6091e+03 | 123.7792 |
| 1.8968e+03 | 4.9358e+03 | 123.8111 |
| 2.2136e+03 | 5.2229e+03 | 123.8215 |
| 2.9165e+03 | 5.8169e+03 | 123.8172 |
| 3.4511e+03 | 5.4209e+03 | 123.8010 |
| 4.6689e+03 | 4.0744e+03 | 123.7880 |
| 4.4808e+03 | 4.3120e+03 | 123.7902 |
| 4.3421e+03 | 4.5101e+03 | 123.7955 |
| 5.9064e+03 | 5.7575e+03 | 123.8196 |
| 5.4411e+03 | 6.1931e+03 | 123.8484 |
| 5.1540e+03 | 6.5495e+03 | 123.8266 |
| 4.7580e+03 | 6.9851e+03 | 123.8428 |

Abb. 3: Programmoberfläche einer MATLAB-App zur Korrektur der Höhendaten um die Geländehöhe. Der rechte Teil zeigt eine Liste mit Punkten auf der Ackeroberfläche, die vom Auswertenden anhand der Bilddaten festgelegt werden. Anhand der 3D-Koordinaten dieser Punkte wird das Geländemodell berechnet

## 2.3 Terrestrische Referenzmessungen

Die Referenzmessungen der Pflanzenhöhe erfolgten mit einem Laserdistanzmessgerät, das in konstanter Höhe an einem RTK-GPS-Messstab befestigt wurde. Mit diesem Gerät wurde der Abstand zu einer beweglich angebrachten Platte gemessen, die bei der Messung auf das Niveau der Pflanzenhöhe angehoben oder abgesenkt wurde. Durch Differenzbildung zwischen der bekannten Montagehöhe und dem gemessenen Abstand konnte die Pflanzenhöhe im Feld messtechnisch erfasst werden. Durch die Kombination mit RTK-GPS wurde gleichzeitig eine genaue Georeferenzierung ermöglicht.
Abb. 4 zeigt im linken Teilbild die Position der Messorte für die Pflanzenhöhe mittels der beschriebenen Methodik. Rechts ist die 3-dimensionale Rekonstruktion des Getreidebestandes dargestellt.

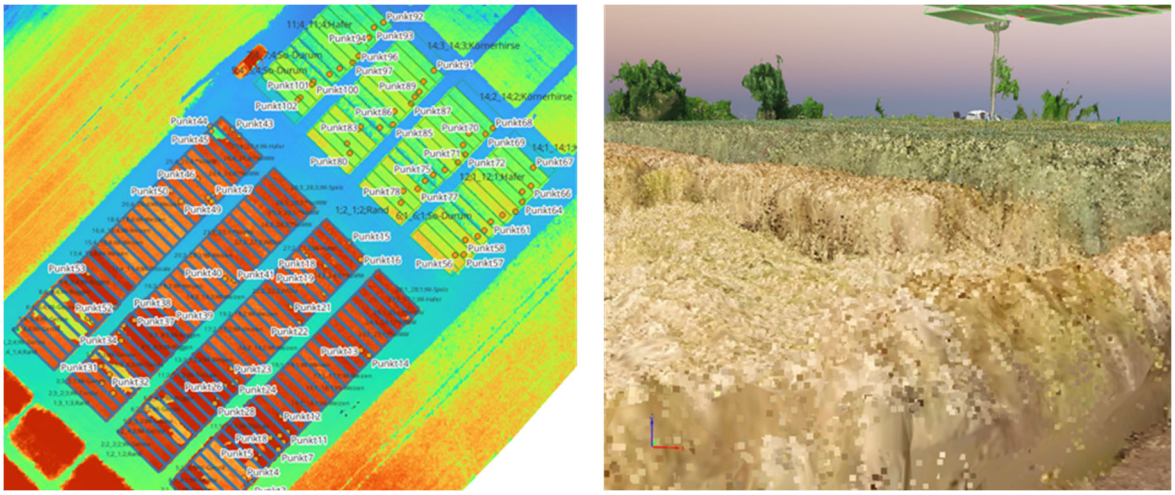


Abb. 4: Lage der Parzellen und der Messorte für die terrestrische Bestimmung der Pflanzenhöhen im Programm QGIS (links) und 3-dimensionale Rekonstruktion des Getreidebestandes mit Pix4Dmapper (rechts)

## 2.4 Untersuchungen zur Genauigkeit

Die Abb. 5 zeigt den Vergleich der terrestrisch ermittelten Pflanzenhöhe mit der photogrammetrische aus den UAV-Bildern ermittelten Pflanzenhöhe. In der Abbildung werden die Sommerungen (blau) von den Winterungen (orange) unterschieden. Für die Sommerungen wird die Pflanzenhöhe im Vergleich zur terrestrischen Messung unterschätzt. Ein deutlicher linearer Zusammenhang zeigt sich für Pflanzenhöhen zwischen 0,8 und 1,4 m. Bei größeren Pflanzenhöhen steigt der Messfehler, da diese in den UAV-Daten unterschätzt werden. Das Bestimmheitsmaß über die Messungen der gesamten Saison beträgt 0,85 und erreicht damit ein hohes Niveau.

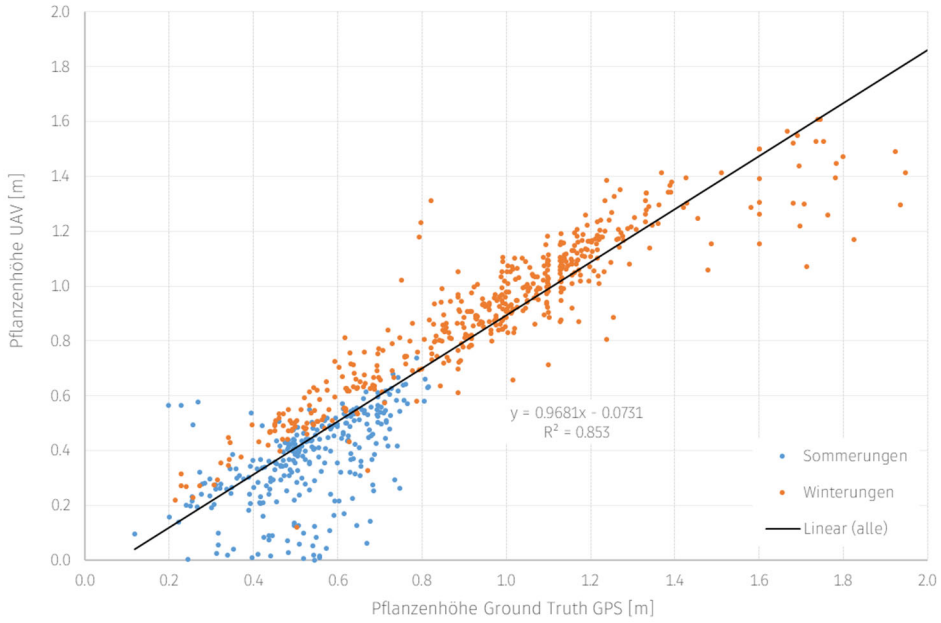



Abb. 5: Streudiagramm der terrestrisch ermittelten Pflanzenhöhe und der UAV-gestützt ermittelten Pflanzenhöhe mit Trendlinie und Bestimmheitsmaß für Sommerungen (blau) und Winterungen (orange)

## 2.5 Pflanzenhöhenbestimmung als Beobachtungs- und Prüfmerkmal

Abb. 6 illustriert die Möglichkeit, starke Unterschiede in der Pflanzenhöhe sicher zu erkennen und anhand dieser Information Schäden präzise quantifizieren zu können. Im rechten Teilbild sind die Bereiche mit Lagerschäden am gelblichen Farbton und im Vergleich zu den stehenden Getreidebeständen mit rotem Farbton gut anhand der unterschiedlichen gemessenen Pflanzenhöhen zu unterscheiden.

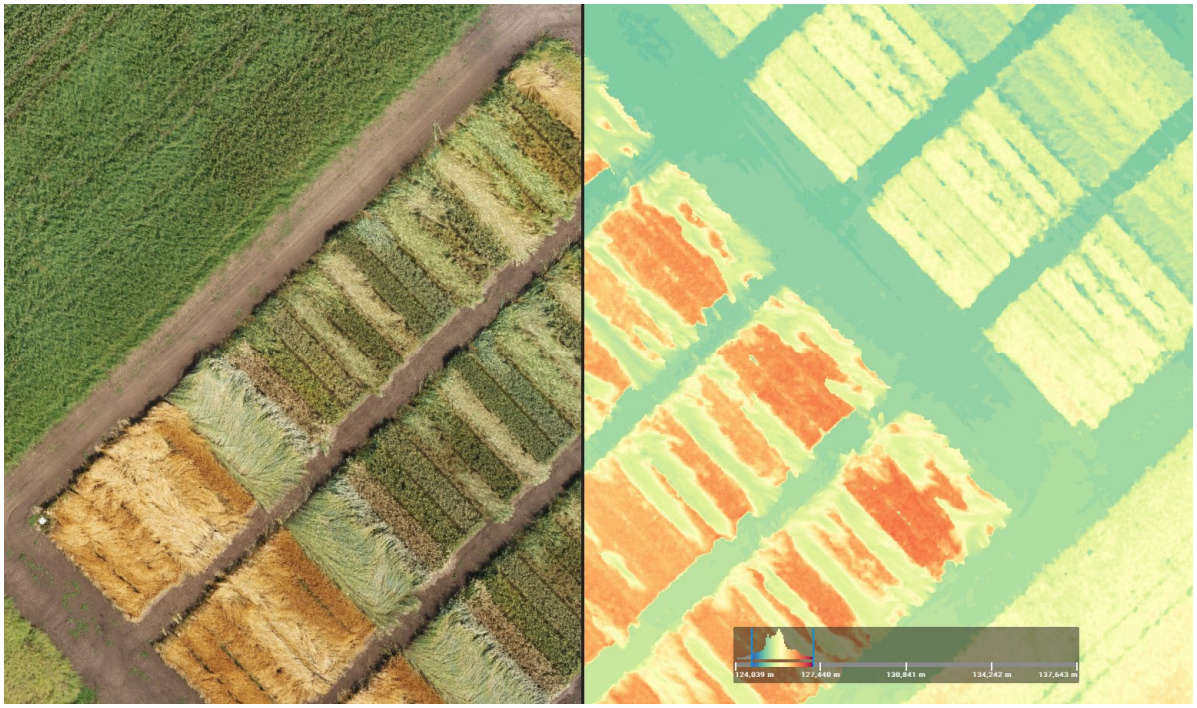


Abb. 6: Erkennung von Lagerschäden im Getreidebestand im Bereich der Winterungen

Die Abb. 7 zeigt exemplarisch das mit der vorgestellten Methodik zur Pflanzenhöhenbestimmung erzielte Ergebnis im Kontext des einfaktoriellen, pseudo-randomisierten Blockversuchs WW30.0/21 (GILLE 2021). Es handelt sich um eine Winterweizensorte in 4 Düngungsvarianten. Die Abbildung zeigt farbkodiert die Variabilität der Pflanzenhöhenbestimmung und die mittlere Pflanzenhöhe pro Parzelle.

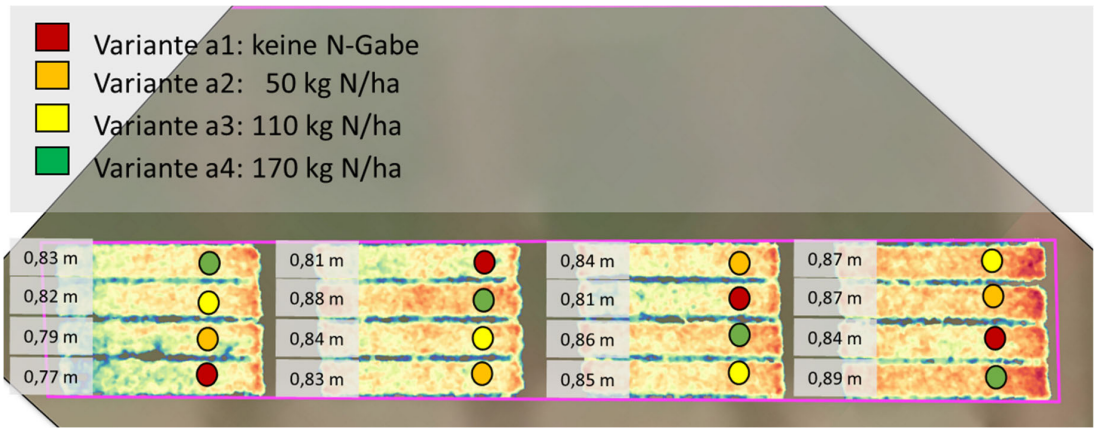



Abb. 7: Beispiel für die UAV-gestützte Messung der mittleren Pflanzenhöhe pro Versuchsparzelle in einem Feldversuch mit 4 Versuchsblöcken (Wiederholungen) und 4 Prüffaktorstufen für den Prüffaktor Düngung

Abb. 8 zeigt die mittleren Pflanzenhöhen und deren Standardabweichung in Abhängigkeit des Prüffaktors Düngung am 25.6.2021. Die Differenzierung der Ergebnisse nach den Versuchsblöcken (vgl. Abb. 9) zeigt für alle Blöcke eine Zunahme der Pflanzenhöhe mit der Intensität der Stickstoffdüngung und gleichzeitig einen deutlichen Blockeffekt (Versuchsblock b4 weist eine geringere Pflanzenhöhe über alle Düngungsvarianten auf).

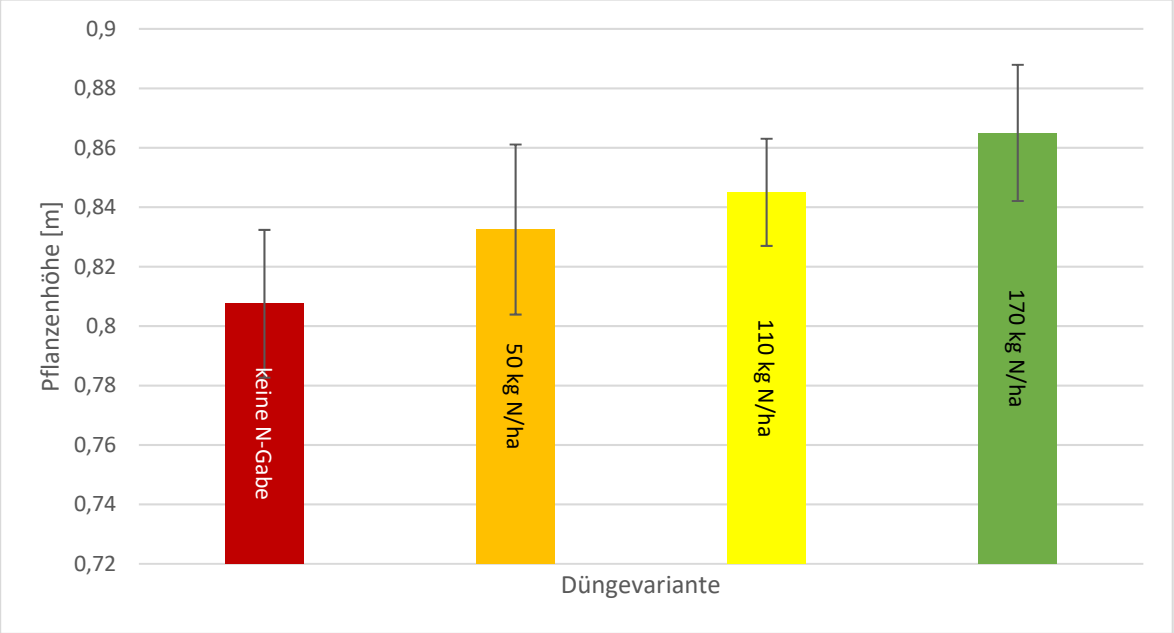



Abb. 8: Mittlere Pflanzenhöhe in Abhängigkeit der Stufen des Prüffaktors Düngung. Die Unterschiede zwischen den Wiederholungen sind als Fehlerbalken mit dem Betrag der Standardabweichung dargestellt

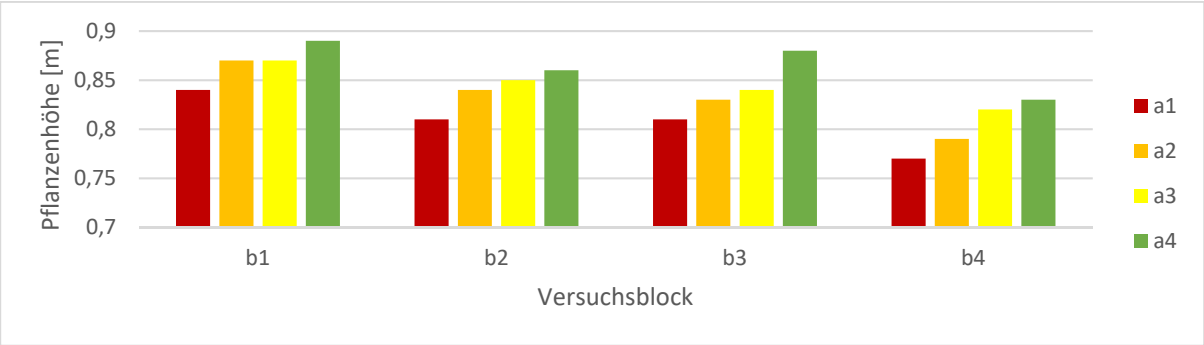



Abb. 9: Mittlere Pflanzenhöhe jeder Parzelle unterschieden nach den Versuchsblöcken (Wiederholungen) und den Prüffaktorstufen

Das Beispiel illustriert die Möglichkeit, anhand der Messungen der Pflanzenhöhe mittels UAV Rückschlüsse auf die Biomasseentwicklung zu ziehen.
Die Nullhypothese, dass die Wuchshöhen sich zwischen den Düngevarianten nicht signifikant unterscheiden, kann ohne Berücksichtigung des Blockeffekts nicht verworfen werden, da die Irrtumswahrscheinlichkeit bei einfaktorieller ANOVA $p=0{,}076$ beträgt. Bei Überprüfung mit zweifaktorieller ANOVA ohne Messwiederholung und Berücksichtigung der Blöcke als zweitem Faktor, zeigen sich sowohl für den Blockeffekt als auch den Effekt der Düngung eine hohe Signifikanz mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p<0.0001$.

## 3 Fazit & Ausblick

Der Beitrag untersucht die UAV-gestützte Pflanzenhöhenbestimmung im Vergleich zur terrestrischen Messung der Pflanzenhöhe. Die Ergebnisse zeigen einen hohen Grad an Übereinstimmung über alle durchgeführten Messungen ($R^2$ = 0,85). Die UAV-gestützte Erfassung der Pflanzenhöhe ermöglicht die schnelle und flächenhafte Erfassung dieses Merkmals für große Teile der Versuchsfläche oder einzelne Versuche. Anhand der Daten soll aufbauend die Abhängigkeit der Messgenauigkeit von der Kulturart und Sorte untersucht werden. Systematischen Abweichungen in Abhängigkeit dieser Faktoren könnte durch Korrekturwerte Rechnung getragen werden, die empirisch ermittelt werden können. Praktischen Anwendungen ergeben sich zusätzlich in der Möglichkeit zur Kartierung von Schäden, wie Fehlstellen, Lagergetreide, Wildschäden) in den Pflanzenbeständen, die sich anhand der 3D-Rekonstrution und des DSM sicher erkennen lassen.

## 4 Danksagung

Wir danken der AG Feldbau der Hochschule Anhalt für die Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Feldversuche für unsere Untersuchungen, der AG IBAS für die Durchführung von Bodenanalysen zur Ermittlung der Düngungsstufen sowie Ole Spickermann für die Durchführung der UAV-Befliegung und die Aufnahme der Daten am 25.6.2021.

## 5 Literaturverzeichnis

DALLMANN, J., GILLE, S., HERZIG, P., ORZESSEK, D., DEUBEL, A. & KNAUER, U., 2023: Versuchsfeldführer 2023: Hochschule Anhalt, https://www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB1/Forschung/Feldbau/Auswertungsberichte/versuchsfeldfuehrer_2023_web.pdf, letzter Zugriff 30.01.24.

GILLE, S., DALLMANN, J., SPICKERMANN, O., ORZESSEK, D. & DEUBEL, A., 2021: Versuchsfeldführer 2021: Hochschule Anhalt, https://www.hs-anhalt.de/fileadmin/Dateien/FB1/Forschung/Feldbau/Auswertungsberichte/versuchsfeldfuehrer_2021_web.pdf, letzter Zugriff 30.01.24.

HERZIG, P., BORRMANN, P., KNAUER, U., KLÜCK, H.-C., KILIAS, D., SEIFFERT, U., PILLEN, K. & MAURER, A., 2021: Evaluation of RGB and Multispectral Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for High-Throughput Phenotyping and Yield Prediction in Barley Breeding, Remote Sensing, **13**(14), 2670, https://doi.org/10.3390/rs13142670.

HERZIG, P., KNAUER, U., BORRMANN, P., KILIAS, D., KLÜCK, H.-C., SEIFFERT, U., PILLEN, K. & MAURER, A., 2022: Bewertung des Phänotyps in der landwirtschaftlichen Züchtungsforschung anhand der photogrammetrisch bestimmten Wuchshöhe und spektraler Indizes am Beispiel verschiedener Genotypen der Gerste. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 30, 65-83, https://doi.org/10.24407/KXP:1795647809.

JARASHIZADEH, S. & SALEHI, B., 2024: A Comparative Analysis of UAV Photogrammetric Software Performance for Forest 3D Modeling: A Case Study Using AgiSoft Photoscan, PIX4DMapper, and DJI Terra. Sensors, **24**(1), 286, https://doi.org/10.3390/s24010286.