

# Quantifizierung der Ährenanzahl mittels UAV gestützter Bildaufnahmen

**NORMAN WILKE<sup>1</sup>, BASTIAN SIEGMANN<sup>1</sup>, ANDREAS BURKART<sup>2</sup>,  
LASSE KLINGBEIL<sup>3</sup> & UWE RASCHER<sup>1</sup>**

*Zusammenfassung: Die Erfassung von Vegetationsparametern in landwirtschaftlichen Beständen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Mit Hilfe von Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) können Kulturpflanzen mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung phänotypisiert werden. In der vorliegenden Studie wird die Ährenanzahl von Gerste mit Hilfe eines Multikopters und einer RGB Kamera multitemporal erfasst. Zur Validierung des UAV-Ergebnisses wurden die Ähren im Feld innerhalb eines definierten Quadratmeters gezählt. Um den optimalen Aufnahmezeitpunkt für die Erfassung der Ähren mittels UAV-Aufnahmen identifizieren zu können, wurde im wöchentlichen Abstand die Ährenanzahl an einer Versuchsparzelle im UAV-Einzelbild bestimmt. Verglichen mit der Referenzmessung im Feld konnten in den UAV-Einzelbildern etwa jede zweite Ähre innerhalb des vordefinierten Quadratmeters erfasst werden. Bei der Analyse der Diskrepanz zwischen Referenzmessung und Einzelbild war auffällig, dass die Werte hinsichtlich der Genotypen und Saatedichten konstant zwischen 50% und 56% abweichen und die Standardabweichung ( $\pm 3\%$ ) gering ist. Wird dieser Wert von zukünftigen Untersuchungen bestätigt, könnte die aus den UAV-Bildern ermittelte Ährenanzahl mit einem entsprechenden Faktor multipliziert werden, um eine genauere Erfassung der Ährenanzahl zu ermöglichen. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass der Termin direkt zu Beginn der Ährenentwicklung (BBCH 61) der beste Zeitpunkt für die Bonitur mittels UAV-Bildaufnahmen ist. Beeinflusst wurde dies durch den hohen Farbkontrast in diesem Entwicklungsstadium, in dem sich die Ähre deutlich vom Rest der Pflanze abhebt.*

## 1 Einleitung

Die Einsatzgebiete von Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) wie Multikopter, Modellflugzeuge oder ähnlichen Flugobjekten mit Autopiloten sind vielseitig und breit gefächert. Abhängig von der angestrebten Datenaufnahme bieten unterschiedliche Systeme verschiedene Vor- und Nachteile (KHOT et al. 2015). Neben der in der Studie wesentlichen Domäne der Landwirtschaft (Burkart et al. 2015), finden sie ebenfalls Verwendung in der Forstwirtschaft (GRENZDÖRFFER et al. 2008), in der Geowissenschaft (WESTOBY et al. 2012) sowie in der Geodäsie (ELING et al. 2015) oder beim Militär (BENJAMIN & EHRENREICH 2013). Gründe für die vielseitige Verwendung sind die niedrigen Kosten, die leichte Bedienbarkeit und die deutlich höhere Flexibilität beispielsweise im Vergleich zu klassischen Flugzeugen. Die notwendige Vorbereitungszeit mit dem UAV ist gering und die Bodenauflösung kann, verglichen mit Satellitenbildern, erheblich gesteigert werden (CANDIAGO et al. 2015).

---

<sup>1</sup> Forschungszentrum Jülich GmbH, IBG-2: Plant Sciences, Wilhelm-Johnen-Straße, D-52428 Jülich, E-Mail: [n.wilke, b.siegmann, u.rascher]@fz-juelich.de

<sup>2</sup> JB Hyperspectral Devices UG, Am Botanischen Garten 33, D-40225 Düsseldorf, E-Mail: andreas@jb-hyperspectral.com

<sup>3</sup> Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Nußallee 17, D-53115 Bonn, E-Mail: klingbeil@igg.uni-bonn.de

Die Erfassung von Vegetationsparametern in landwirtschaftlichen Beständen gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung (SANKARAN et al. 2015; TORRES-SÁNCHEZ et al. 2014; BENDIG et al. 2013; LIU et al. 2014). Moderne Verfahren der Bildverarbeitung in Kombination mit neuen Sensoren und autonom agierenden Kleinflugzeugen werden in den kommenden Jahren eine Revolution in der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung und in der Nutzpflanzenproduktion nach sich ziehen.

Als Bestandteil dieser Entwicklung wird in der vorliegenden Studie die Ährenzahl von Gerste mit Hilfe einer RGB Kamera und eines Multikopters unter Verwendung verschiedener Bildverarbeitungsschritte (z. B. Structure from Motion) erfasst. Die Ährenzahl kann zur Phänotypisierung, zur Pflanzenzüchtung oder ebenfalls zur Ertragsabschätzung verwendet werden. Die frühzeitige Abschätzung des Ertrags wird unter anderem für die Organisation der Ernte- und Lagerlogistik benötigt. Im Bereich Precision Agriculture (PA) kann sie zusätzlich dazu genutzt werden, den späteren Einsatz von Düngemitteln zu optimieren oder dessen Wirksamkeit zu überprüfen (COINTAULT et al. 2008). Der Begriff PA umfasst Techniken und Methoden, die Heterogenität eines Bestandes ortspezifisch zu erfassen. So wird zum einen umweltschonende Landwirtschaft ermöglicht (LELONG et al. 2008), zum anderen kann die Farmprofitabilität und Pflanzenproduktivität optimiert werden. In Anbetracht der stetig wachsenden Bevölkerung und der abnehmenden Flächenverfügbarkeit pro Kopf stellt dies ein wichtiges Unterfangen dar (ATZBERGER 2013).

Durchgeführt wurde die Ährenerkennung bereits unter Verwendung von Lichtschrankensensoren durch KOVACHEVA et al. (2014). Mit Hilfe der Lichtschranke wird ein Schattenbild von den Pflanzen erzeugt. Anhand von Bildbearbeitungsalgorithmen kann die Ährenzahl automatisiert bestimmt werden. Im Gegensatz zur UAV-Aufnahme können durch die seitliche Erfassung mit einer Lichtschranke Informationen gewonnen werden, die durch den Blick von oben (Nadir) nur eingeschränkt erfasst werden können. Der Abstand zwischen den Lichtgittern ist mit 30 Zentimetern sehr gering, um jede Einzelpflanze und Ähre identifizieren zu können. Dementsprechend wäre die Erfassung eines Bestandes mit dieser Methode allerdings sehr zeit- und kostenintensiv. Des Weiteren wurde von COINTAULT et al. (2008) bereits versucht die Ähren mit einem Stativ und einer RGB Kamera automatisch zu identifizieren. Der Abstand zwischen Kamera und Bestand betrug dabei etwa 0,85 Meter, in dem ein Bereich von 0,25 Quadratmetern untersucht werden konnte. Verglichen mit einer manuellen Referenzmessung im Bild konnte durch eine automatische Erkennung eine Genauigkeit in einem Bereich von 73% bis 85% erzielt werden. Eine Referenzmessung im Feld wurde nicht durchgeführt, da diese durch den geringen Abstand nicht zwingend erforderlich ist.

Das UAV-Verfahren liefert im Vergleich zu den genannten Praktiken die Möglichkeit, die Ährenzahl auf einer deutlich größeren Fläche zu quantifizieren. Um die Aussagekraft des UAV-Ergebnisses abzuschätzen, wurde eine manuelle Referenzmessung im Feld durchgeführt.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Versuchsfläche**

Sommergerste (*Hordeum vulgare*) wurde am 09.04.2016 mit einer niedrigen und normalen Saattiefe in der Nähe von Bonn (Campus Klein-Altendorf, GPS: 50.617285, 6.990364, WGS84)

ausgesät. Die normale Saatkichte mit 300 Körnern pro Quadratmeter beschreibt die in der Regel übliche Praxis in der Landwirtschaft. Die niedrige Saatkichte betrug 150 Körner pro Quadratmeter. In der Studie wurden zwei zweizeilige Sorten (Buloke, Commander) mit drei Wiederholung je Saatkichte untersucht. Eine Versuchsparzelle hatte eine Größe von 7,86 m<sup>2</sup>. Für die Georeferenzierung der Bilddaten wurden acht Passpunkte gleichmäßig auf der Versuchsfläche verteilt.

## 2.2 Datenerfassung

Für die Datenaufnahme wurde der Falcon-8 Oktokopter von der Firma AscTec (Ascending Technologies GmbH, Krailing, Deutschland) verwendet. Dieser ist mit einer Sony Alpha NEX-5N RGB Weitwinkelkamera (16 Megapixel, Bildauflösung 4.912 × 3.264) ausgestattet. Die RGB Kamera ist in einen Gimbal integriert, der die UAV-Bewegungen ausgleicht und die zuvor programmierte Kameraausrichtung beim Flug hält.

Bei einer Flughöhe von 10 Metern (Bodenauflösung: 2,3 mm/Pixel) wurde die UAV-Aufnahmen 89 Tage nach Aussaat (TnA) bei einer Kameraausrichtung von 90° (Nadir) aufgenommen.

Um das UAV-Ergebnis validieren zu können, wurden vor dem Überflug auf horizontaler Ebene Schnüre gespannt, die in den Versuchspartellen einen Quadratmeter definieren (Abb. 2). Für die Referenzmessung im Feld wurden die Ähren zum gleichen Zeitpunkt 89 TnA innerhalb des Quadratmeters mit Blickrichtung in die Saatreihe gezählt, sodass auch tiefer liegende Ähren in die Zählung einfließen (Abb. 1).



Abb. 1: Zählung der Ähren für die Referenzmessung im Feld mit Blickrichtung in die Saatreihe

Die Entwicklung von der Blüte (BBCH 61) bis hin zur Frucht- und Samenreife (BBCH 89) fand in einem Zeitfenster über sechs Wochen (68 TnA bis 102 TnA) statt. Um den optimalen Aufnahmezeitpunkt für die Erfassung der Ähren mittels UAV-Bilddaten identifizieren zu können, wurde im wöchentlichen Abstand die Ährenanzahl an einer Versuchsparzelle im UAV-Einzelbild bestimmt.

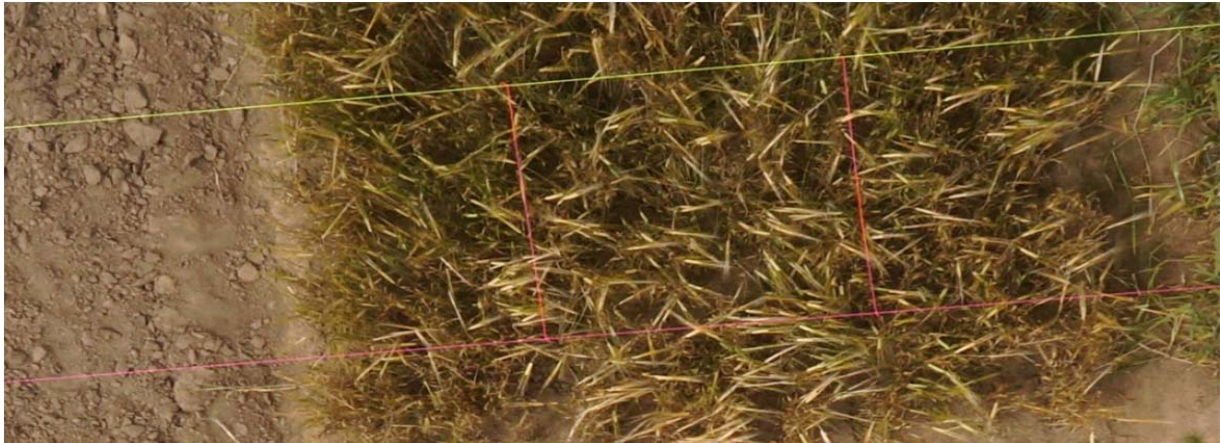


Abb. 2: Definition eines Quadratmeters unter Verwendung von Schnüren zur Validierung der UAV-Ergebnisse mit der Referenzmessung im Feld

### 2.3 Bildprozessierung und Analyse

Die UAV-Einzelbilder wurden unter Verwendung der Structure from Motion (SfM) Technik in Agisoft Photoscan (Version 1.2.4) prozessiert. Der Begriff SfM stammt aus dem Bereich der Computer Vision. Er bezeichnet einen Prozess mit verschiedenen Algorithmen, indem korrespondierende Merkmale in Bildern erkannt und durch eine gewisse Anzahl überlappender Bilder in einer räumlichen dreidimensionalen (3D) Struktur dargestellt werden können (WESTOBY et al. 2012). Details zu den Algorithmen der SfM Technik werden in LOWE (2004) oder KERSTEN (2016) behandelt. Die durchgeführten Schritte für die Datenprozessierung und die dabei verwendeten Einstellungen werden in Abb. 3 zusammengefasst. Auf der Grundlage einer erstellten 3D Punktwolken (2. Prozess) sowie durch die Generierung von Oberflächenelemente (3. Prozess), kann ein georeferenziertes Orthomosaik berechnet werden.

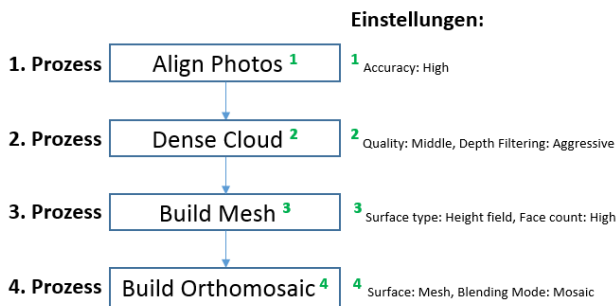


Abb. 3: Schritte der Prozessierung in Agisoft PhotoScan mit Einstellungen für den jeweiligen Prozess

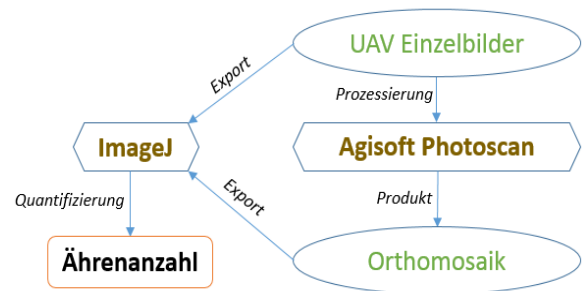


Abb. 4: Schematische Übersicht der Datenverarbeitung zur Erhebung der Ährenanzahl mit Einstellungen für den jeweiligen Prozess

Mit Hilfe des Orthomosaiks können Bestandsparameter wie die Ährenanzahl unabhängig von Flughöhe und Einzelbildern auf einer beliebigen großen Fläche quantifiziert und lokalisiert werden (TURNER et al. 2012).

Für die Analyse wurden die Ähren im vordefinierten Quadratmeter für die UAV-Bilddaten (Einzelbild, Orthomosaik) in ImageJ manuell markiert und gezählt (Abb. 4). Ausschlaggebendes Kriterium der Ährenerkennung ist die farbliche Absetzung der Ähren vom restlichen Teil der Pflanze.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Optimaler UAV-Aufnahmezeitpunkt

Zur Ermittlung des optimalen UAV-Aufnahmeszeitpunktes wurde im wöchentlichen Abstand die Ährenanzahl exemplarisch an einer Versuchsparzelle im UAV-Einzelbild gezählt. Zusammengefasst ist das Ergebnis in Abb. 5. Im Vorhinein wurde von der Vermutung ausgegangen, dass sich das Entwicklungsstadium der Frucht und Samenreife (BBCH Makrostadium 8) am idealsten für die Bonitur mittels UAV-Bildaufnahme eignet. Die oberen Ähren befinden sich kurz vor dem abreifen, die restliche Pflanze ist zum Teil noch grün und die Ähre setzt sich farblich vermeintlich am besten in den Aufnahmen ab (Abb. 1).

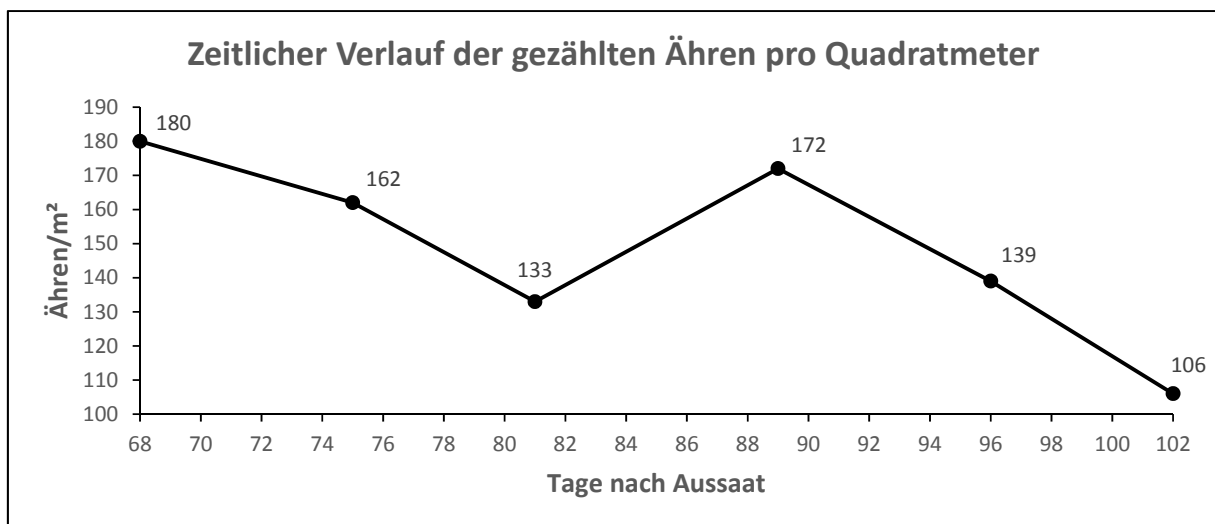


Abb. 5: UAV Ährenzählung im definierten Quadratmeter einer exemplarischen Versuchsparzelle in einem zeitlichen Verlauf von 68 bis 102 TnA zur Ermittlung des optimalen Aufnahmezeitpunktes

Die Auswertung zu Beginn des Entwicklungsstadiums 68 und 75 TnA ist stark von der Ährenposition abhängig. Für eine quantitative Auswertung müssen Bilder verwendet werden, auf denen die Ähren in einer Windrichtung positioniert sind (Abb. 6 A).

Bei einer Aufnahme ohne Neigung der Ähren, wie in Abb. 6 (B) dargestellt, können deutlich weniger Ähren zum gleichen Zeitpunkt identifiziert werden. Mit den richtigen Voraussetzungen kann beim ersten Termin 68 TnA (BBCH 61) mit 180 Ähren/m<sup>2</sup> die höchste Ährenanzahl bonitiert werden (Abb. 5). Im BBCH Stadium 61 sind die Ähren erstmalig vollständig sichtbar und die Grannen noch nicht sehr weit entwickelt.

Die Ähren setzen sich farblich deutlich von der Gesamtpflanze ab und können gut identifiziert werden (Abb. 6 A). An den beiden fortlaufenden Zählterminen (75 und 81 TnA) überdecken die Grannen zunehmend den entscheidenden hellen Bereich der Ähre, sodass eine Identifizierung erschwert wird. Zusätzlich verringert sich der Farbkontrast zwischen Ähre und Pflanze. Als Konsequenz können weniger Ähren im Einzelbild identifiziert werden (Abb. 5).



Abb. 6: Ergebnis der UAV-Ährenzählung einer Versuchsparzelle 68 TnA abhängig von der korrekten Aufnahme- und Ährenposition

Entgegen dieses Trends wird 89 TnA (BBCH 85) mit 172 Ähren/m<sup>2</sup> die zweithöchste Anzahl von Ähren erfasst. Die oberen Ähren sind überwiegend abgereift und beginnen sich zu senken (Abb. 7). Nachzügler, die sich in den unteren Schichten des Bestandes befanden und noch grün waren, wurden sichtbar und konnten ebenfalls erfasst werden. Mit fortlaufender Entwicklung (Abreifung der Pflanze inklusive Ähre) vermindert sich dieser farbliche Kontrast und die Identifizierung der Ähren wird erneut deutlich schwieriger (Abb. 7 B).

Die Ährenanzahl nimmt in den beiden nachfolgenden Messungen folglich wieder ab (Abb. 4).

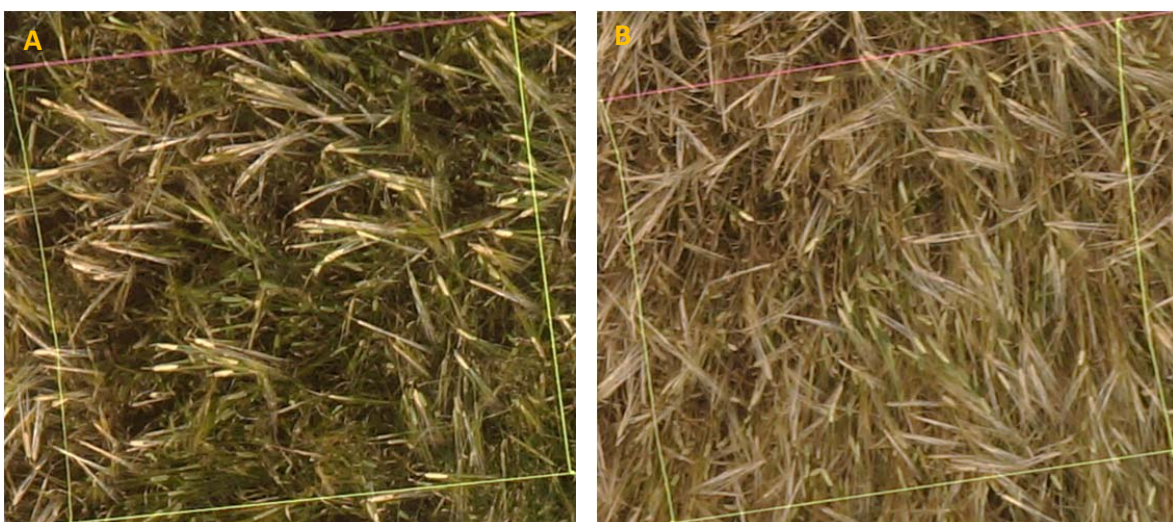


Abb. 7: Erfassung der Ährenzahl 89 TnA (A) und 96 TnA (B) im definierten Bereich des Quadratmeters über die UAV-Aufnahmen aus 10 Metern Flughöhe

Die Ergebnisse zeigen, dass der Termin direkt zu Beginn des Entwicklungsstadiums 68 TnA mit 180 Ähren/m<sup>2</sup> der vermeintlich beste Zeitpunkt für die Erfassung der Ähren mittels UAV-Bildaufnahmen ist. Beeinflusst wird dies durch den guten Farbkontrast, durch den sich die Ähre sehr deutlich vom Rest der Pflanze abhebt (Abb. 6 A). Die Ähre kann mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Das Ergebnis wird jedoch von der Neigung der Ähren durch externe Faktoren wie Wind beeinflusst, da die Ähren zur Blüte (BBCH 61) nach oben orientiert sind und durch Fernerkundungsdaten aus der Nadir Perspektive (90° Kameraausrichtung) erschwert erfasst werden können.

Zum Zeitpunkt der Datenerfassung in der Studie (89 TnA) wird lediglich die zweithöchste Anzahl von Ähren bestimmt. Durch die verringerten Farbkontraste können die oberen Ähren im Vergleich zum Zeitpunkt 68 TnA schwieriger erfasst werden. Verstärkt wird die Problematik durch die entwickelten Grannen und die Senkung der Ähren, durch die weitere Ähren durch auftretende Überlappungen schwieriger identifiziert werden können. Wie bereits zuvor vermutet können zum Zeitpunkt 89 TnA jedoch Nachzügler oder tiefere Ähren in der Zählung berücksichtigt werden (Abb. 7 A). Durch die natürliche Neigung der Ähren im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium ist die Quantifizierung der Ähren ebenfalls unabhängiger von externen Faktoren. Schlussfolgernd ist der Aufnahmezeitpunkt 89 TnA mit einer marginalen Abweichung von fünf Prozent im Vergleich zum maximal Wert ebenfalls gut geeignet um die Ähren zu quantifizieren.

### 3.2 UAV Ährenanzahl und Validierung

Mit den UAV-Aufnahmen können größtenteils nur die Ähren im oberen Kronendach bonitiert werden und nur eingeschränkt Ähren, die sich in weiter untenliegenden Schichten des Bestandes befinden. Verglichen mit der Referenzmessung im Feld wird somit im Einzelbild unabhängig von der Saatkichte mindestens jede zweite Ähre im definierten Bereich des Quadratmeters erfasst (Abb. 8). Verglichen mit der niedrigen Saatkichte kann in der normalen Saatkichte eine erhöhte Ährenanzahl im UAV-Einzelbild identifiziert werden.

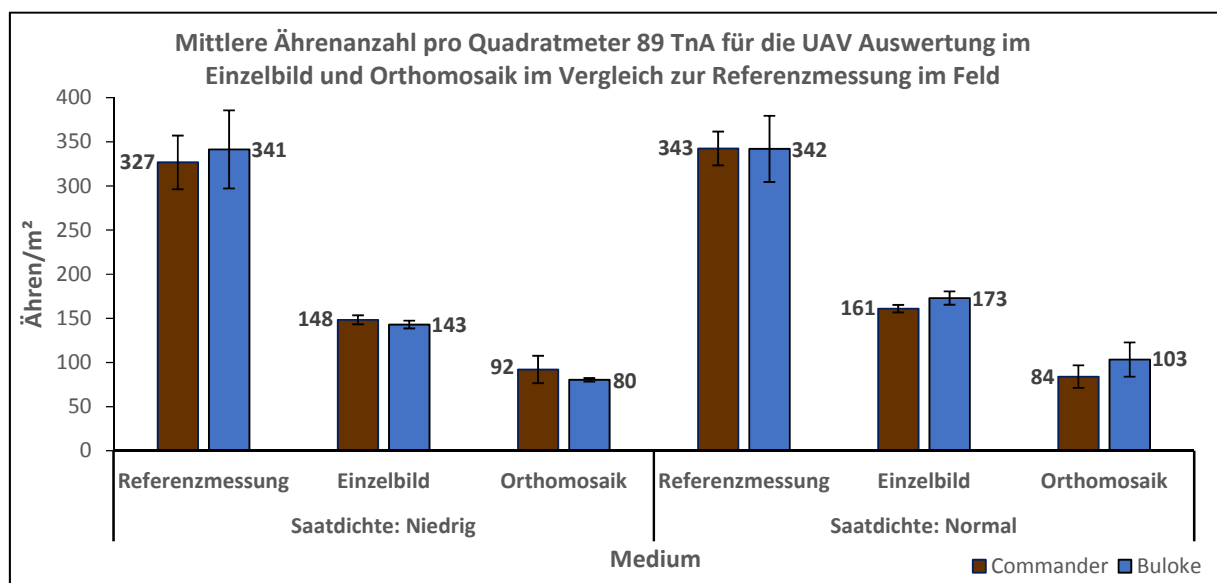


Abb. 8: UAV Ergebnis der mittleren Ährenanzahl pro Quadratmeter und Vergleich der UAV-Auswertung im Einzelbild und Orthomosaik mit der Referenzmessung im Feld 89 TnA (n = 3)

Im Orthomosaik kann lediglich etwas mehr als ein Viertel der Ähren im Vergleich zur Referenzmessung im Feld identifiziert werden (Abb. 8).

Bei der Analyse der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Referenzmessung im Feld ebenfalls fehlerbehaftet sein kann. Um die Erfassung der Ähren zu vereinfachen und mögliche Fehler zu vermeiden, sollte in zukünftige Studien der verwendete Quadratmeter in mehrere Raster von beispielsweise 10\*10 Zentimetern unterteilt werden. Durch die Definition eines kleineren Bereiches wird die Wahrscheinlichkeit verringert, dass Ähren im Feld doppelt gezählt werden oder unberücksichtigt bleiben. Diese Fehlerquelle kann in der UAV-Auswertung durch die farbliche Markierung der Ähren ausgeschlossen werden.

Der Vergleich zwischen der Referenzmessung im Feld und der Zählung im UAV-Einzelbild zeigt deutlich, dass durch auftretende Überlappungen und durch unterschiedliche Höhenebenen der Ähren (Abb. 9), nur ein Teil der Ähren mit Hilfe einer RGB Kamera identifiziert werden können. Anders als bei der Untersuchung von KOVACHEVA et al. (2014) ist es in der vorliegenden Studie durch die Nadir Perspektive nicht möglich, jede Ähre zu erfassen. Im Vergleich zu COINTAULT et al. (2008) trägt die limitierende Auflösung und der deutlich höhere Abstand zwischen Bestand und RGB Aufnahme von 10 Metern (zwölf-facher Abstand) dazu bei, dass deutlich weniger Ähren erfasst werden konnten. Durch die höhere Distanz muss bei der Auswertung zusätzlich die korrekte Ährenposition berücksichtigt werden, wie im vorherigen Kapitel bereits erläutert wurde.



Abb. 9: Hohe Sprosszahl und unterschiedliche Höhenebenen der Ähren erschweren die Quantifizierung der Ähren mittels UAV-Aufnahmen

Bei der Analyse der Diskrepanz zwischen Referenzmessung und Einzelbild war auffällig, dass die Werte hinsichtlich der Genotypen und Saaddichten konstant zwischen 50% und 56% abweichen und die Standardabweichung ( $\pm 3\%$ ) gering ist (Abb. 8).



Wird dieser Wert von zukünftigen Untersuchungen bestätigt, könnte die aus den UAV-Bildern ermittelte Ährenzahl mit einem Faktor (von ca. zwei) multipliziert werden, um eine genauere Erfassung der Ährenzahl zu ermöglichen.

Die Resultate für das Orthomosaik sind stark davon abhängig, wie gut die Oberfläche anhand der UAV-Einzelbilder rekonstruiert werden kann. Durch die geringe Flughöhe von 10 Metern ist die Fläche reduziert, die von einem Einzelbild abgedeckt werden kann. Die Bildanzahl für die notwendige Überlappung und die Komplexität des Orthomosaik zu berechnen, nimmt dadurch deutlich zu (GÓMEZ-CANDÓN et al. 2014). Zusätzlich sind die Ähren durch Windeinflüsse auch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten oftmals in Bewegung. In unterschiedlichen Aufnahmen befinden sich die Ähren somit nicht zwangsläufig in den gleichen Positionen. Für die Rekonstruktion des Orthomosaiks ist dies jedoch eine Voraussetzung, da die berechnete 3D-Oberfläche durch die Bewegung der Ähren unter Umständen bereits fehlerhaft sein kann. Dies führt zu unscharfen Bereichen und Artefakten im Orthomosaik, die die Erfassung einer einzelnen Ähre erschweren und in einer Abweichung im Vergleich zum Einzelbild resultiert. Zur Veranschaulichung der Problematik ist in Abb. 10 (A) ein Bereich eines Orthomosaiks mit geringer Rekonstruktionsgüte visualisiert. Dem gegenüber steht ein Ausschnitt mit einer qualitativ hochwertigen Rekonstruktion (Abb. 10 B).

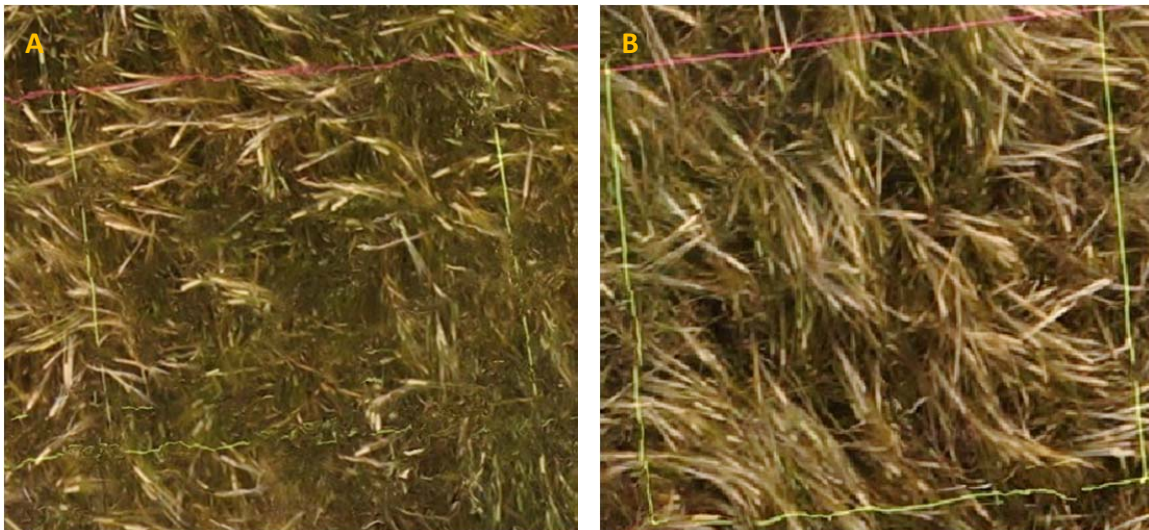


Abb. 10: Auswirkung von externen Faktoren wie Wind auf die korrekte Rekonstruktion im Orthomosaik mit schlechter Rekonstruktionsgüte (A) in Gegenüberstellung mit einer qualitativ hochwertigen Rekonstruktion (B)

#### 4 Fazit & Ausblick

Die vorliegende Studie hat resümierend aufgezeigt, dass die Quantifizierung der Ähren über UAV RGB-Aufnahmen eingeschränkt möglich ist. Für zukünftige Studien können die ermittelten Resultate berücksichtigt werden, um das Verfahren zu optimieren. Letztendlich kann mittels UAV jedoch lediglich das Kronendach eines Bestandes bonitiert werden. Dementsprechend könnte die Ährenzahl, die über die UAV-Bilddaten erfasst werden, mit einem entsprechenden Parameter (Ährenzahl im Kronendach) neu definiert werden.

Alternativ sollte das Verfahren bei einer höheren Saatedichte angewandt werden. Durch die geringe Saatedichte und die erhöhte Sprossanzahl pro Pflanze wird die Problematik der unterschiedlichen Höhenebenen der Ähren verstärkt (Abb. 8). Je höher die Saatedichte, desto geringer die Sprossanzahl und desto weniger Ähren befinden sich in den tieferen Bereichen, die über die UAV-Aufnahmen nicht erfasst werden können. Die erhöhte Ährenanzahl, die im UAV-Einzelbild für die normale Saatedichte detektiert werden konnten, unterstreicht dies. Zusätzlich könnte eine Identifizierung der Ähren bei Genotypen mit mehrzeiligen sowie größeren Ähren mit weniger dominanten Grannen erleichtert werden.

Unter Berücksichtigung der Resultate des optimalen Aufnahmezeitpunktes könnten die UAV-Ergebnisse verbessert werden, wenn die Quantifizierung bereits direkt zu Beginn des Entwicklungsstadiums (BBCH 61) durchgeführt wird. Der deutliche Farbkontrast zwischen Ähren und Pflanzen zum genannten Zeitpunkt könnte ebenfalls dazu verwendet werden, eine automatisierte Erkennung zu entwickeln. Durch die Erfassung der Ähren über die Farbinformationen reduziert sich unter Umständen die erforderliche Auflösung. Die Flughöhe von zuvor 10 Metern könnte erhöht und die praxisnähe dadurch zusätzlich gesteigert werden. Untersucht werden muss dabei jedoch, inwiefern die Aufnahme- und Ährenposition das Verfahren im genannten Entwicklungsstadium beeinflussen. Alternativ könnte bei der Datenaufnahme die Kameraausrichtung von 90° (Nadir) auf beispielsweise 45° geändert werden, um die dargelegte Problematik zu vermeiden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Ähren mit Hilfe einer Multispektralkamera zu erfassen. Die multispektrale Information im NIR-Bereich erleichtert unter Umständen die Separierung von Pflanze und Ähre und könnte die Ergebnisse optimieren.

Resümierend kann die Ährenanzahl im Vergleich zum Orthomosaik im Einzelbild genauer erfasst werden. Das Orthomosaik ist ein Produkt aus überlappenden Bildern aufgenommen zu verschiedenen Zeitpunkten, wohingegen das Einzelbild eine Momentaufnahme ist. Die Entwicklung einer Methode, durch die die Flughöhe zukünftig gesteigert werden kann, vergrößert die durch ein Einzelbild abgedeckte Fläche und würde die notwendige Bildüberlappung verringern. Mögliche Fehlerquellen, die zu unscharfen Bereichen und dadurch zu einer erhöhten Abweichung führen, können dementsprechend reduziert werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- Atzberger, C., 2013: Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, **5**(2), 949-981.
- Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S. & Bareth, G., 2014: Estimating Biomass of Barley Using Crop Surface Models (CSMs) Derived from UAV-based RGB Imaging. *Remote Sensing*, **6**(11), 10395-10412.
- Burkart, A., Aasen, H., Alonso, L., Menz, G., Bareth, G. & Rascher, U., 2015: Angular Dependency of Hyperspectral Measurements over Wheat Characterized by a Novel UAV Based Goniometer. *Remote Sensing*, **7**(1), 725-746.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M. & Gattelli, M., 2015: Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing*, **7**(4), 4026-4047.

- Cointault, F., Guerin, D., Guillemain, J. P. & Chopinet, B., 2008: In-field *Triticum aestivum* ear counting using colour-texture image analysis. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **36**(2), 117-130.
- Eling, C., Wieland, M., Hess, C., Klingbeil, L. & Kuhlmann, H., 2015: Development and Evaluation of a UAV based Mapping System for Remote Sensing and Surveying Applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, **40**(1), 233-239.
- Gómez-Candón, D., De Castro, A. I. & López-Granados, F., 2014: Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*, **15**, 44-56.
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A. & Teichert, B., 2008: The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **37**, 1207-1213.
- Kersten, T. P., 2016: Auf Knopfdruck – Auswertung und Resultate UAV-gestützter Bildflugdaten. *UAV 2016 - Vermessung mit unbemannten Flugsystemen, Schriftenreihe des DVW*, **82**, 135-158.
- Khot, L. R., Sankaran, S., Espinoza, C. Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V. R., Vandemark, G. J. & Miklas, P. N., 2015: Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, **70**, 112-123.
- Kovacheva, I., Kerssen, S., Mentrup, D., Rosemann, T., Bilges, K. & Ruckelshausen, A., 2014: Bildgebende Lichtschrankensensoren zur Detektion von Pflanzenhöhen, Ähren und Grannen. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, **88**, 179-190.
- Lelong, C. C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbé, S. & Baret, F., 2008: Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. *Sensors*, **8**, 3557-3585.
- Liu, H. Y., Yang, G. J. & Zhu, H. C., 2014: The Extraction of Wheat Lodging Area in UAV's Image Used Spectral and Texture Features. *Applied Mechanics and Materials*, 651-653, 2390-239.
- Lowe, D. G. 2004: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, **60**(2), 91-110.
- Sankaran, S., Khot, L. R. & Carter, A. H., 2015: Field-based crop phenotyping: Multispectral aerial imaging for evaluation of winter wheat emergence and spring stand. *Computers and Electronics in Agriculture*, **118**, 372-379.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., De Castro, A. I. & López-Granados, F., 2014: Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, **103**, 104-113.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. & Reynolds, J. M., 2012: Structure- from- Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, **179**, 300-314.
- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C., 2012: An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, **4**(5), 1392-1410.