

# **Remote Sensing im Feldversuchswesen**

Henrik Battke  
Dr. Andreas Muskolus

VDI-Konferenz LAND.TECHNIK  
3., 4. November

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>Technologische Grundlagen</b>	<b>4</b>
Feldversuche	4
Drohnenbasierte Photogrammetrie	4
Multispektrale Bildanalyse	5
Lidar	6
Thermografie	6
Drohnen und Sensorik	6
<b>Vergleich mit bisherigen Zähl-, Mess-, und Boniturmethoden</b>	<b>6</b>
Pflanzenzählung bei Sonnenblumen Mai 2020 - Oktober 2020	7
Versuchsbeschreibung	7
Zählung der Pflanzenanzahl	7
Bonitur des allgemeinen Zustandes von Parzellen im Winterroggen Oktober 2019 - Juni 2020	8
Versuchsbeschreibung	8
Zeitlicher Vergleich des Pflanzenwachstums	8
Messung der Pflanzenhöhe und Biomasse von Roggen	9
Bedeckungsgrad	12
Indexmessungen	13
Hirse Mai 2020 - Oktober 2020	15
Versuchsbeschreibung	15
Höhenmessung	15
Kompatibilität zu bestehender Feldversuchstechnik	16
Fazit	17
<b>Die Autoren</b>	<b>17</b>
Dr. Andreas Muskulus	17
Henrik Battke	17
<b>Firmenprofile</b>	<b>18</b>
Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP)	18
Pix4D	18
<b>Literaturnachweis</b>	<b>19</b>

# Zusammenfassung

Wissenschaftler, Züchter, Agrochemieunternehmen und Landwirte nutzen Feldversuche seit langem um die Wirkung ausgesuchter Anbautechniken (z. B. Düngung, Sorten, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung) auf Pflanzen, Boden und Atmosphäre testen zu können [6]. Ein Feldversuch ist im Allgemeinen so gestaltet, dass er statistisch gesicherte Ergebnisse ermöglicht. Dazu sind Messungen, Zählungen und Bonituren nötig, die teilweise einen erheblichen personellen und technischen Aufwand bedeuten.

Fernerkundung und bildbasierte Techniken können dabei wesentliche Vorteile gegenüber manuellen Bewertungsverfahren bieten:

- Quantitativ und qualitativ, maschinell ermittelte Daten reduzieren menschliche, individuelle Fehlerquellen und führen zu einer Objektivierung der Versuchsauswertung.
- Bildbasierte Techniken und Softwarewerkzeuge ermöglichen einen hohen Grad an Automatisierung bei der Datenerfassung und -verarbeitung.
- Drohnengestützte Fernerkundung kann im Vergleich zu manuellen Prozessen ein größeres Gebiet der Versuchswesens schneller und frequenter erfassen.
- Die Fernerkundung kann das gesamte Gebiet einer Versuchsfläche messen, nicht nur die vom Feldarbeiter individuell ausgewählten Punkte.
- Fernerkundungsdaten werden im Laufe der Zeit und unter verschiedenen Umweltbedingungen vergleichbar.

Drohnengestützte Fernerkundung kann dabei mehrere Aspekte der Phänotypisierung und botanischen Bewertung adressieren:

- Flächenmessungen in multispektralen Orthomosaiken geben einen genauen quantitativen Überblick über Biomasse, indirekte N-Verteilung, Stressfaktoren oder Trockenmasse.
- Photogrammetrische Techniken helfen bei der präzisen Berechnung der Wuchshöhe auf einem Feld oder einer Versuchsparzelle. Im Vergleich zu Laserscannern ist diese Lösung kosteneffizienter und bietet eine höhere Datenauflösung.
- Statistische Mittelwerte und Standardabweichungswerte für Indexkarten und digitale Oberflächenmodelle lassen sich automatisch ermitteln.
- Spezielle Indizes ermöglichen die Quantifizierung des Bedeckungsgrads der Parzellen.
- Hochauflösende Orthomosaiken ermöglichen eine präzise Zählung von Pflanzen oder sogar Blättern.

In einem zehnmonatigen Projekt hat Pix4D in Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP) wurden Methoden der Fernerkundung im Feldversuchswesen anhand typischer Mess- und Bonituraufgaben auf der Versuchsstation Berge in Brandenburg getestet und mit herkömmlichen Ansätzen verglichen.

Es geht hierbei weniger um die wissenschaftliche Auswertung konkreter Feldversuche als vielmehr um die Bewertung der technologischen Methodologie.

# Technologische Grundlagen

## Feldversuche

Wissenschaftliche Feldversuche dienen dem Ziel den Einfluss einer Anbautechnik auf Pflanzen, Boden und Atmosphäre vergleichend bewerten zu können. Biologische Systeme sind räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. Die wissenschaftlich korrekte Durchführung eines Feldversuches muss deshalb immer auf die räumliche Variabilität landwirtschaftlicher Flächen eingehen. Dazu werden die zu vergleichenden Anbautechniken (Düngung, Sorte, Bodenbearbeitung etc.) parzellenweise variiert und wiederholt in einem Feldversuch angeordnet. Da sich die Untersuchungen auf den definierten Raum der Parzelle beziehen, ist ihre (Zentimeter-) genaue räumliche Abgrenzung wichtig. Die Bewertung der untersuchten Anbautechnik erfolgt auf Basis der gemessenen, gezählten und bonitierten Merkmale. Eine statistische Verrechnung ermöglicht es, signifikante Unterschiede festzustellen. Seit jeher wird in Feldversuchen spezielle Versuchstechnik eingesetzt, da die hier gestellten Anforderungen oft andere sind als die in der sonstigen Landwirtschaft. Gleiches gilt für den Einsatz von Drohnen im Versuchswesen. Die Anforderungen an Drohnen im Versuchswesen unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der möglichen Auflösung und der erreichten Genauigkeit der georeferenzierten Positionierung. Die zu befliegenden Flächengrößen sind dagegen meist deutlich geringer als jene in der Landwirtschaft.

## Drohnenbasierte Photogrammetrie

Die Beschreibung photogrammetrischer Methoden geht zurück auf die 1850er Jahre. Erste mechanische photogrammetrische Systeme sind seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt. Doch erst mit der Einführung leistungsstarker Computer ist es möglich, große Bilddatenmengen in angemessener Zeit zu verarbeiten. Softwarealgorithmen berechnen dabei über die Erkennung wiederkehrende Eigenschaften von Einzelaufnahmen einer Szenerie aus unterschiedlichen Blickpunkten 3D-Punktwolken, Orthomosaiken oder Vermaschungen (siehe auch [2]-[5]).

Obwohl photogrammetrische Methoden mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Kameras und Sensoren möglich sind (Digitalkamera, Handykamera, Luftbildkamera im Flugzeug, Multispektralkamera, Rigsysteme, ...), gelten unbemannte, preiswerte Luftfahrzeuge - Drohnen - als wesentlicher technologischer Impuls der rasanten Entwicklung der letzten Jahre. Drohnen wiederum wurden erst ermöglicht durch einen Durchbruch in der Batterie- und Motorentechnologie. Nur Lithium-Polymer-Batterien haben ein hinreichend kleines Gewicht, große Energiedichte und Leistungsabgabe, um Drohnen in der Luft zu halten. So bildet die Verfügbarkeit von Digitalkameras, leistungsstarken Prozessoren, preiswertem Speicher und Drohnen die technologischen Grundlagen für eine breite Anwendung der Photogrammetrie in



der Vermessung, Bau, Bergbau, Landwirtschaft, Infrastrukturinspektion und vielem mehr. Der Zeitpunkt dieser Entwicklung lässt sich auf die Jahre 2010-2013 festlegen.

Zukünftig werden sich durch preiswerten, cloudbasierten, nahezu unbegrenzten Speicher und Rechenleistung weitere Anwendungsfelder ergeben. Machine-Learning basierte Klassifizierungsmethoden werden zu einem maschinellen Verständnis in digitalen Karten und 3D-Modelle führen und die Entwicklung entscheidungsunterstützender Systeme auch in der Landwirtschaft ermöglichen.

## Multispektrale Bildanalyse

Wenn die von der Sonne ausgesandte elektromagnetische Strahlung auf die Erdoberfläche trifft, werden Teile der Strahlung reflektiert und anderer Teile absorbiert. Das Reflexionsvermögen ist eine charakteristische Eigenschaft, die genutzt werden kann, Materiale zu identifizieren und zu klassifizieren. Zum Beispiel absorbieren gesunde Pflanzen vor allem den roten und blauen Anteil des sichtbaren Lichtspektrums, da Chlorophyll diese Teile des Lichts in der Photosynthese als Energiequelle nutzt. Gleichzeitig reflektieren sie viel stärker den Nahinfrarotbereich.

Gestresste Pflanzen ändern ihre spektrale Reflexionssignatur. Sie reflektieren stärker den sichtbaren Bereich des Spektrums und weniger den Nahinfrarotbereich. Auch ist die Steigung im Übergang von niedrigen Werten im visuellen zu höheren Werten im Nahinfrarotbereich weniger steil. So haben Böden typischerweise ein flaches Spektrum ohne einen ausgeprägten Übergang zwischen visuellem Bereich und Nahinfrarot.

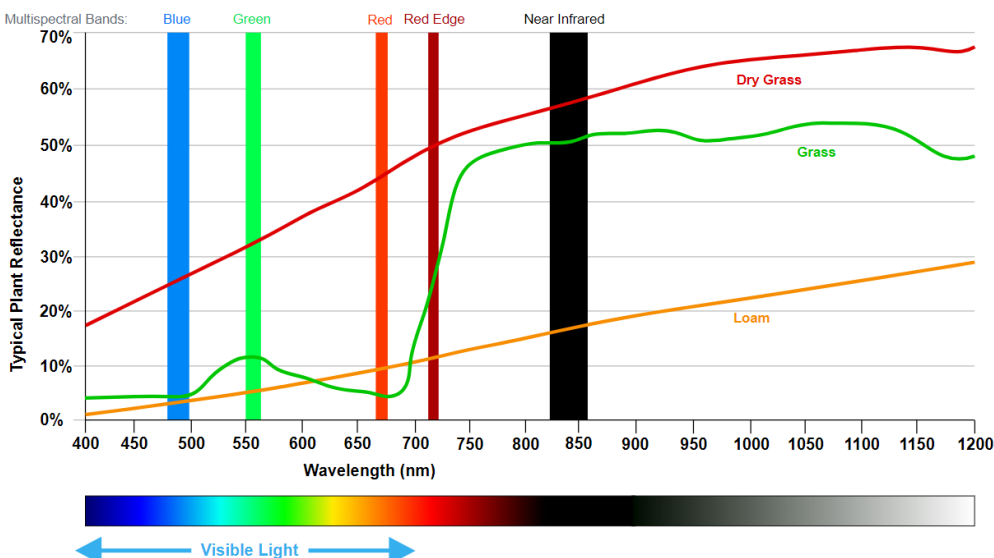


Abbildung: Beispielspektren für Erde und Gras. Multispektralkameras erfassen dedizierte Bänder des Gesamtspektrums.

Multispektrale Bildanalyse umfasst die Messung von Multispektralsensordaten, die Erzeugung präziser Orthomosaiken für Reflektion und Indizes, sowie die agronomische und statistische Auswertung der digitalen Reflektions- und Indexkarten (siehe [1]).

## Lidar

Lidar-Sensoren emittieren Laserstrahlen und erfassen die Reflektion des Lichts des untersuchten Objekts. Die Zeitdifferenz zwischen Laseremission und Sensormessung wird genutzt, um die Entfernung eines Bildpunkts zu bestimmen.

Bei UAV-basierten Lidar-Messungen für eine landwirtschaftliche Anbaufläche werden die Laserstrahlen von unterschiedlichen Ebenen des Bewuchses reflektiert. Das Sensorbild liefert eine 3D-Tiefenstruktur. Insbesondere bei Anwendungen in der Forstwirtschaft lassen sich so Art, Form und Anzahl der untersuchten Bäume einer Fläche bestimmen, sowie das unterliegende Höhenprofil.

## Thermografie

Bei der Thermografie wird die Infrarotabstrahlung eines Objekts sensorisch bestimmt und als Temperatur des Objekts interpretiert.

Thermalsensoren können ebenfalls in Drohnen verbaut werden und mit z.B. dem Softwaretool Pix4Dmapper zu 3D-Modellen und Orthomosaiken verarbeitet werden.

Thermalsensoren können im Feldbau dazu dienen, Trockenstress zu erkennen.

## Drohnen und Sensorik

Im Rahmen der Versuche kamen folgende Drohnen mit RGB- und Multispektral-Sensorik zum Einsatz:

- Parrot Bluegrass inklusive Sequoia+ Multispektralkamera
- DJI Phantom 4
- DJI Phantom 4 Multispektral RTK
- Parrot Anafi
- Parrot Anafi Thermal
- DJI Mavic 2

Lidar-Messungen wurden bisher nicht durchgeführt.

## Vergleich mit bisherigen Zähl-, Mess-, und Boniturmethoden

Neben Messungen und Zählungen werden Merkmale in Pflanzen bonitiert. Eine Bonitur ist eine fachgerechte, qualitative Beurteilung landwirtschaftlicher Betrachtungsobjekte. Im Feldversuchswesen werden Bonituren durchgeführt, um Parameter des Wachstums und der

Entwicklung von Pflanzen aufnehmen zu können, die nicht oder nur mit großem Aufwand direkt gemessen oder gezählt werden können. Die Qualität der Bonitur ist abhängig von der Erfahrung und Fachkompetenz der Bonitierenden aber auch von der physischen (Sehvermögen) und mentalen (Müdigkeit) Verfassung. Für die Weiterverarbeitung der in einer Bonitur erzeugten Daten (z.B. statistische Verrechnung) werden meist vorab Boniturnoten definiert (z. B. 0 - 9), die dann, während der Bonitur entsprechend der Merkmalsausprägung vergeben werden.

Im Folgenden wird anhand von drei Feldversuchen exemplarisch gezeigt, wie Drohnen bei der Datenerfassung in Feldversuchen eingesetzt werden können. Insbesondere wird auf die Mess- und Boniturparameter

- Allgemeiner Zustand der Parzellen (Z. b. Stand nach Winter, zeitliche Veränderungen im Pflanzenwachstum)
- Pflanzenzählungen
- Höhenmessung
- Homogenität

eingegangen.

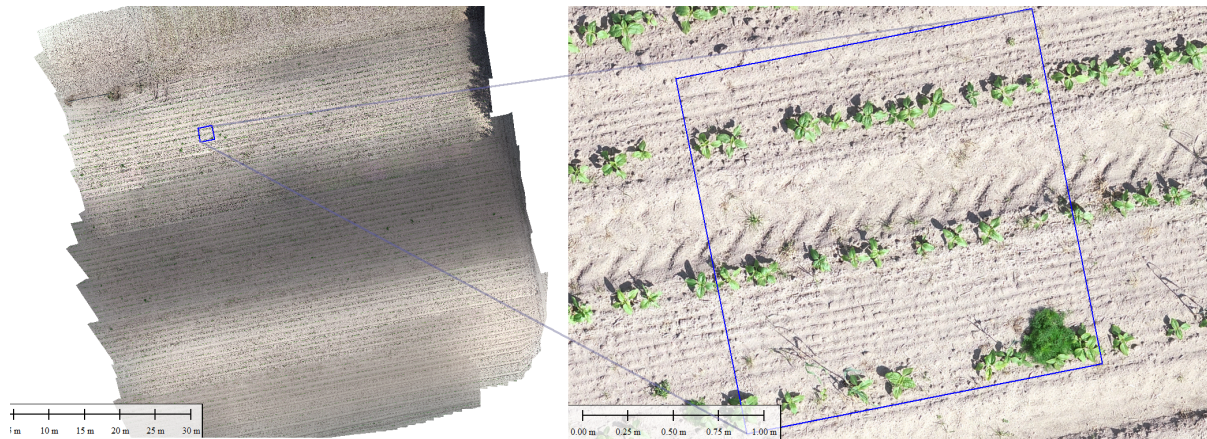
## Pflanzenzählung bei Sonnenblumen Mai 2020 - Oktober 2020

### Versuchsbeschreibung

Die Verteilung von Pflanzen auf einer Versuchsfläche ist wesentlich von der Verteilung des Saatgutes, dem Feldaufgang, und der nachfolgenden Beschädigung aufgelaufener Pflanzen durch Schaderreger abhängig. Grundsätzlich ist eine gleichmäßige Verteilung von Pflanzen vorteilhaft, die jeder Einzelpflanze einen definierten Standraum zuweist. Auf einem sandigen Boden der Versuchsstation Berge (Havelland) wurden Sonnenblumen in Reihenabständen von 75 cm angebaut. Die Zählung der Pflanzen erfolgte im Vier- bis Sechsstadium manuell auf definierten Streckenabschnitten der Reihenkultur. Dabei sollten nur die Kulturpflanzen und nicht etwaige Unkräuter berücksichtigt werden.

### Zählung der Pflanzenanzahl

Das Sonnenblumenfeld wurde mit einer DJI Phantom 4 in einer Höhe von 7 m befliegen. Das Orthomosaik wurde mit Pix4Dfields erzeugt und hat eine Auflösung von 0,2 cm / Pixel. Die Schattierung resultiert aus wechselnder Bewölkung während der Befliegung. Mithilfe des Softwareprodukts Global Mapper wurde ein Bereich von 2 m x 2 m frei an verschiedenen Orten platziert, um die Anzahl von Pflanzen zu zählen und die Keimrate zu beurteilen.



*Abbildung: Markierter 2m x 2m Bereich*

Ergebnis: Mit Hilfe der Drohne gelang es, die Sonnenblumen-Pflanzen zu zählen und die Abstände der Pflanzen innerhalb einer Reihe zu erfassen. Nur in wenigen Fällen unterschieden sich die manuellen Zählungen von der Erfassung per Drohne. Wo zwei Pflanzen direkt nebeneinander standen erschienen diese bei der Zählung per Drohne als eine Pflanze. Außerdem wurden Unkräuter, die in der Drillreihe standen und in Form und Farbe der Sonnenblumen ähneln, als Sonnenblumen gezählt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Genauigkeit der Zählung per Drohne sinkt, je mehr Pflanzen in sehr geringem Abstand voneinander stehen und je mehr störende Strukturelemente Elemente (Unkraut, Steine) vorhanden sind. Dem kann mit einem erhöhten Aufwand bei der Befliegung und Nachbearbeitung begegnet werden.

## Bonitur des allgemeinen Zustandes von Parzellen im Winterroggen Oktober 2019 - Juni 2020

### Versuchsbeschreibung

Um die Wirkung diverser Biogas-Gärreste auf den Boden und auf das Pflanzenwachstum zu bestimmen, wurde 2011 ein Feldversuch mit einer Grünroggen-Silomais-Grünroggen-Sorghumhirse Fruchtfolge angelegt. Seitdem werden regelmäßig Parameter des Wachstums und der Entwicklung aufgenommen. Zu den regelmäßigen Bonituren gehört auch die visuelle Inaugenscheinnahme, um den Wachstums- und Entwicklungsfortschritt der Pflanzen sowie Unregelmäßigkeiten in den Parzellen bewerten zu können. Die Bonitur des allgemeinen Zustandes der Parzellen dient auch der Qualitätskontrolle von Versuchen. Im Folgenden wird dargestellt, wie diese Aufgabe mit Hilfe einer Drohne erledigt werden konnte.

### Zeitlicher Vergleich des Pflanzenwachstums

Der Versuch zum Winterroggen vom 31.3.2020 und vom 21.4.2020 wurde visuell verglichen. Die Bilder wurden mit einer DJI Phantom P4 ohne RTK aufgenommen und mit Pix4Dmapper



verarbeitet. Die Georeferenzierung erfolgte mit QGIS über die Zuordnung charakteristischer Geländepunkte.

Die Befliegungen ließen sich bei guten Witterungsbedingungen durchführen. Starker Wind ab ca. 35 km/h führte in unseren Versuchen dazu, dass die Einzelbilder der Parzellen sich so stark voneinander unterschieden, dass diese nicht mehr zu einem Orthomosaik zusammengefügt werden konnten.



*Abbildung: Vergleich hochauflöser RGB Orthomosaiken*

Ergebnis: Auf den mit der Drohne produzierten Bildern sind Unregelmäßigkeiten (Stellen mit geringer Anzahl Pflanzen) in den Parzellen gut zu erkennen. Der Wachstums- und Entwicklungsfortschritt lässt sich ebenfalls ausreichend genau abschätzen. Die regelmäßige manuelle Inaugenscheinnahme der Parzellen lässt sich durch den Einsatz der Drohne grundsätzlich ersetzen. Ein Vorteil der Drohne ist dabei die Draufsicht, bei der sich Lücken auch in der Mitte einer Parzelle gut erkennen lassen während der Betrachter vor Ort die Pflanzen nur in einem bestimmten Winkel sieht. Insbesondere bei hohen Pflanzen ergibt sich hier ein Vorteil.

## Messung der Pflanzenhöhe und Biomasse von Roggen

Das Versuch mit Winterroggen wurde mit einer DJI Phantom 4 am 21.4.2020 in einer Höhe von 15 m befliegen. Mithilfe von Pix4Dcloud wurde das digitale Höhenmodell (DSM) berechnet und anschließend in Global Mapper importiert. Dort wurden die zu untersuchenden Parzellen

ausgeschnitten und die Histogramme erstellt. Die Histogramme können in verschiedenen Auflösungen berechnet und exportiert werden. In z.B. Microsoft Excel lassen sich dann Mittelwerte und Standardabweichungen berechnen. Die Wuchshöhen dicht beieinander liegender Parzellen können quantitativ verglichen werden.

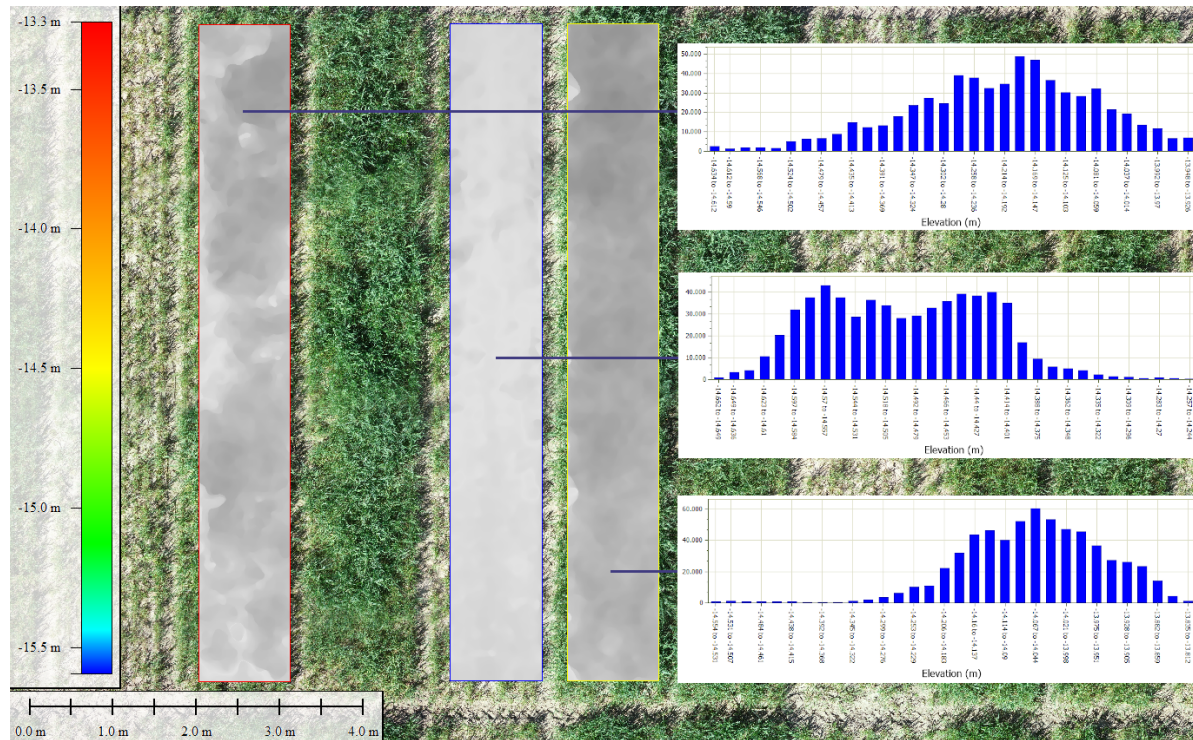


Abbildung: Photogrammetrische Höhenmessung über ein digitales Höhenmodell (DSM)



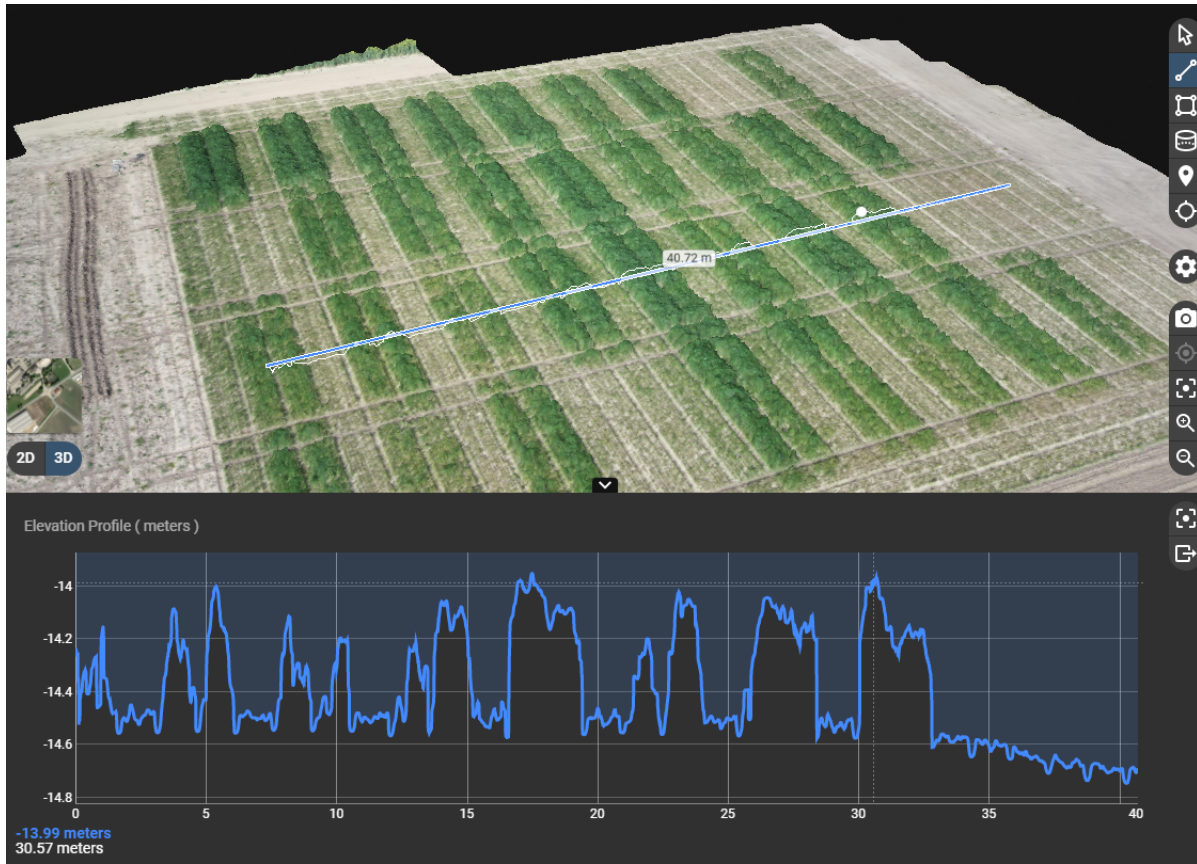


Abbildung: Alternative Höhenmessungen über Profile. In der Pix4Dcloud kann innerhalb der Punktwolke ein Höhenprofil entlang einer beliebig festgelegten Strecke angezeigt werden, die die relative Wuchshöhe der Parzellen darstellt. Die Daten können als csv-Datei exportiert werden. Die Profillinien können an beliebigen Stellen im digitalen Modell platziert werden.

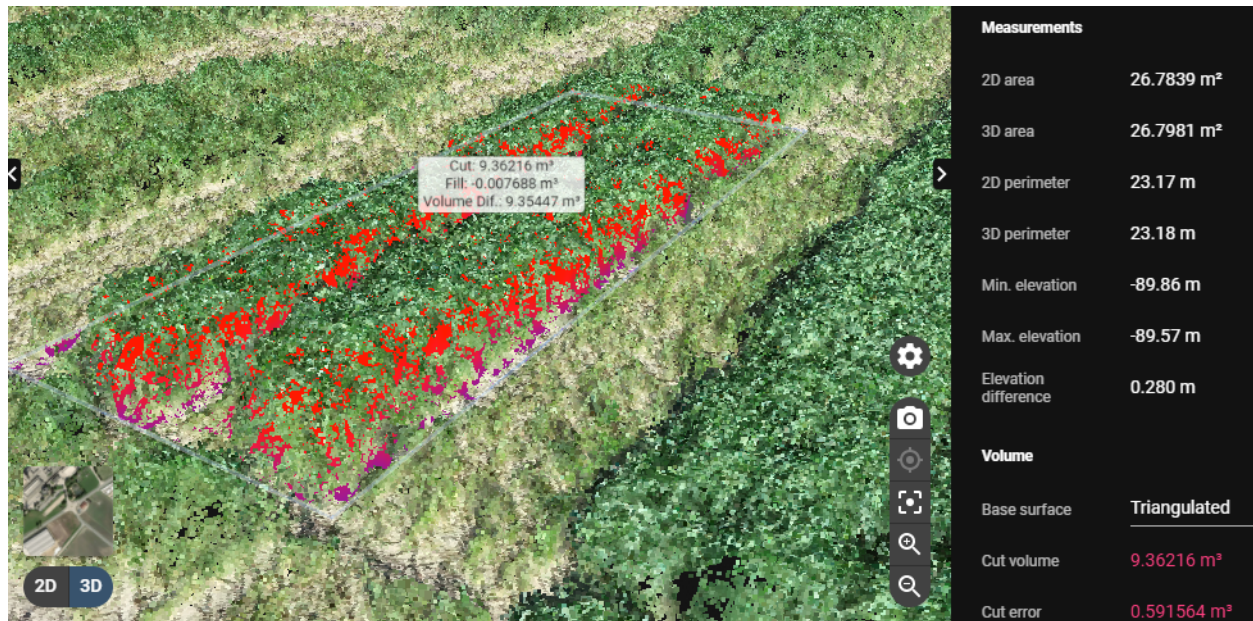


Abbildung: Aus der 3D-Punktwolke kann auch das Volumen der Bewuchses bestimmt werden. Dazu wird die Bodenfläche der Parzelle markiert. Die Software berechnet das zugehörige Volumen und dessen Dimensionen.

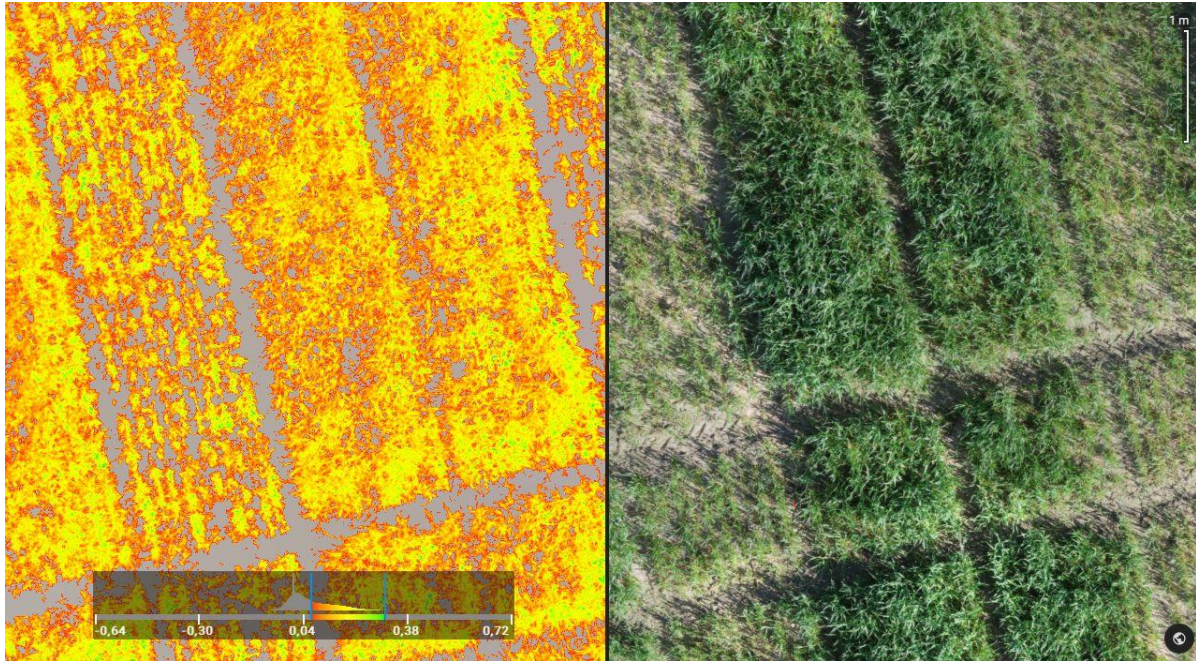
Ergebnis: Die Datenerhebung und Berechnung sind vergleichsweise einfach. Es wird keine spezielle (und teure) Lidarsensorik benötigt. Einfache Kameradrohnen liefern bereits gute Resultate in hoher Datendichte. Anders jedoch als bei Lidarmessungen werden bei der photogrammetrischen Messung nur die sichtbaren Punkte verarbeitet. Ist der Boden nicht sichtbar, fehlt die Referenzhöhe für die Wuchshöhenmessung, was insbesondere problematisch ist, wenn das Terrain des Versuchs uneben oder abschüssig ist. Hier können digitale Oberflächemodelle helfen, die ohne Bewuchs erfasst und berechnet wurden. Wenn z. B. bei der Aussaat der Parzellen ein RTK-Lenksystem eingesetzt wird, ist eine ausreichend genaue Aufzeichnung der Höhe der Antenne über NN möglich. Die so erzeugte Höhenkarte kann als Basis für die Höhenberechnung einzelner Parzellen verwendet werden. Die Differenz der Höhenmodelle liefert die absolute Pflanzenhöhe. Gegebenenfalls müssen zusätzlich Fehler der vertikalen GNSS-Messung korrigiert werden.

Über Volumenmessungen lässt sich die Biomasse der Parzellen qualitativ abschätzen.

## Bedeckungsgrad

Auf einem multispektralen Orthomosaik wird ein NDVI-Index in Pix4Dfields berechnet. Ein Teil des Spektrums, der charakteristisch für Boden ist, wird maskiert. Eine Analyse der Histogramme der einzelnen Parzellen (wie schon oben beschrieben) lässt Rückschlüsse auf den Bedeckungsgrad des Versuchs zu.





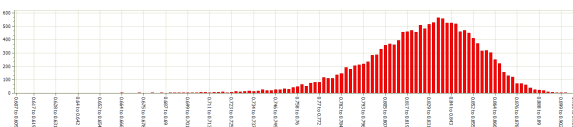
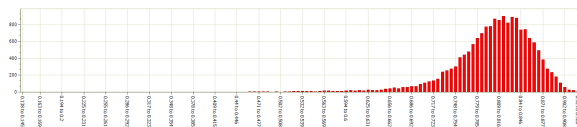
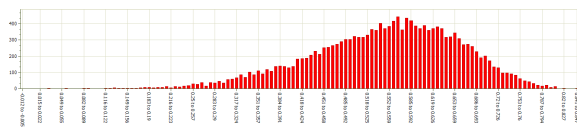
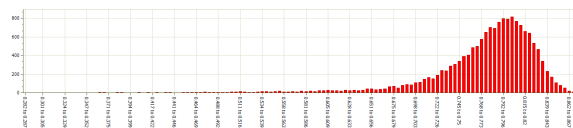
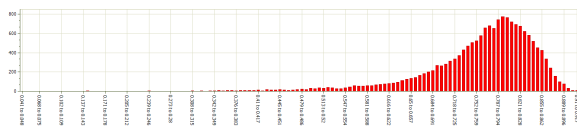
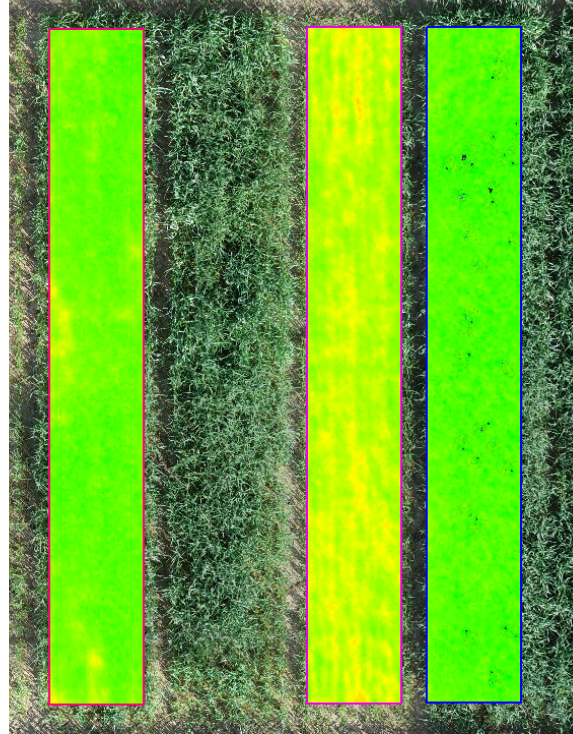
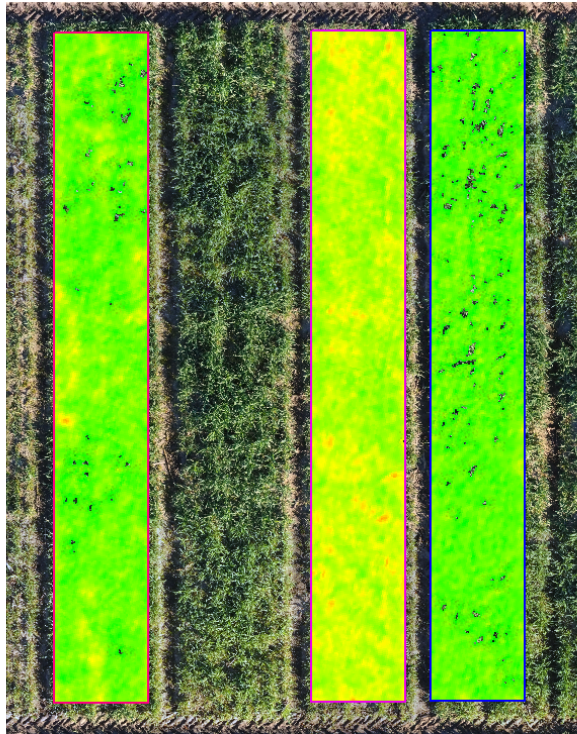
*Abbildung: Messung des Bedeckungsgrad*

Ergebnis: Bislang wird der Bedeckungsgrad von Parzellen meist in einer zeitaufwändigen Bonitur festgestellt. Aus RGB-Bildern und aus multispektralen Sensordaten lassen sich relativ einfach qualitative Aussagen zum Bedeckungsgrad einer Kultur gewinnen. Die Auswahl des Index sowie die Eingrenzung der Histogrammwerte sind von Fall zu Fall unterschiedlich, können aber recht einfach interaktiv gefunden werden. Die Maskierung des Bodens kann auch verwendet werden, um Indexmessungen sowie statistische Messungen auf den Bewuchs einzuschränken.

## Indexmessungen

Es soll untersucht werden, ob die Biomasse der einzelnen Parzellen und deren zeitliche Veränderungen mit multispektralen Messmethoden quantifiziert werden können.

Das NDVI wurde mithilfe einer Parrot Bluegrass und einer Sequoia Multispektralkamera aufgenommen. Das NDVI wurde mit Pix4Dfields berechnet. Georeferenzierung und Nachbearbeitung erfolgte mit Global Mapper. Die NDVIs zeigen eine leichte Grünverschiebung entsprechend der Versuchsentwicklung über einen Monat. Die Histogrammverteilungen korrelieren mit den visuell sichtbaren Unterschieden der Parzellen und können als csv-Dateien für die statistische Auswertung exportiert werden.



*Abbildung: Zeitliche Veränderung der NDVIs dreier ausgewählter Parzellen. Die Daten wurden links am 31.3.2020 und rechts am 28.4.2020 erhoben. Die Diagramme zeigen die NDVI-Histogramme der zugehörigen Parzellen.*

Ergebnis: Die Histogramm Daten korrelieren mit dem sichtbaren Wachstumsfortschritt der Parzellen. Die Standardabweichungen der Verteilungen beschreiben gut die Homogenität der Parzellen. Die Verarbeitung der Daten erfordert allerdings viele wiederkehrende Softwarearbeitsschritte. Hier wäre ein höherer Grad der Automatisierung wünschenswert.

## Hirse Mai 2020 - Oktober 2020

### Versuchsbeschreibung

Im zuvor beschriebenen Versuch mit Winterroggen wurde nach der Ernte im Mai 2020 Sorghumhirse angebaut. Wachstum und Entwicklung sind im Versuch durch differenzierte organische und mineralische Düngung beeinflusst.

### Höhenmessung

Die photogrammetrische Höhenmessung im Hirseversuch gestaltete sich schwieriger als im Roggenversuch. Die Pflanzen stehen in größeren Abständen. Die Pflanzen sind sehr verschieden groß. Die Größenverteilung ist inhomogen.

Zur möglichst umfassenden Bestimmung dieser Eigenschaften wurde die Versuchsfläche in einer Höhe von 10m mit einer DJI Phantom 4 befliegen, um eine besonders hohe Datenauflösung zu erzielen. Die Eingangsbilder mit einer niedrigen Subzentimeter-GSD (Ground Sampling Distance) wurden in Pix4Dmapper verarbeitet, um eine 3D Punktwolke und ein digitales Höhenmodell zu berechnen.



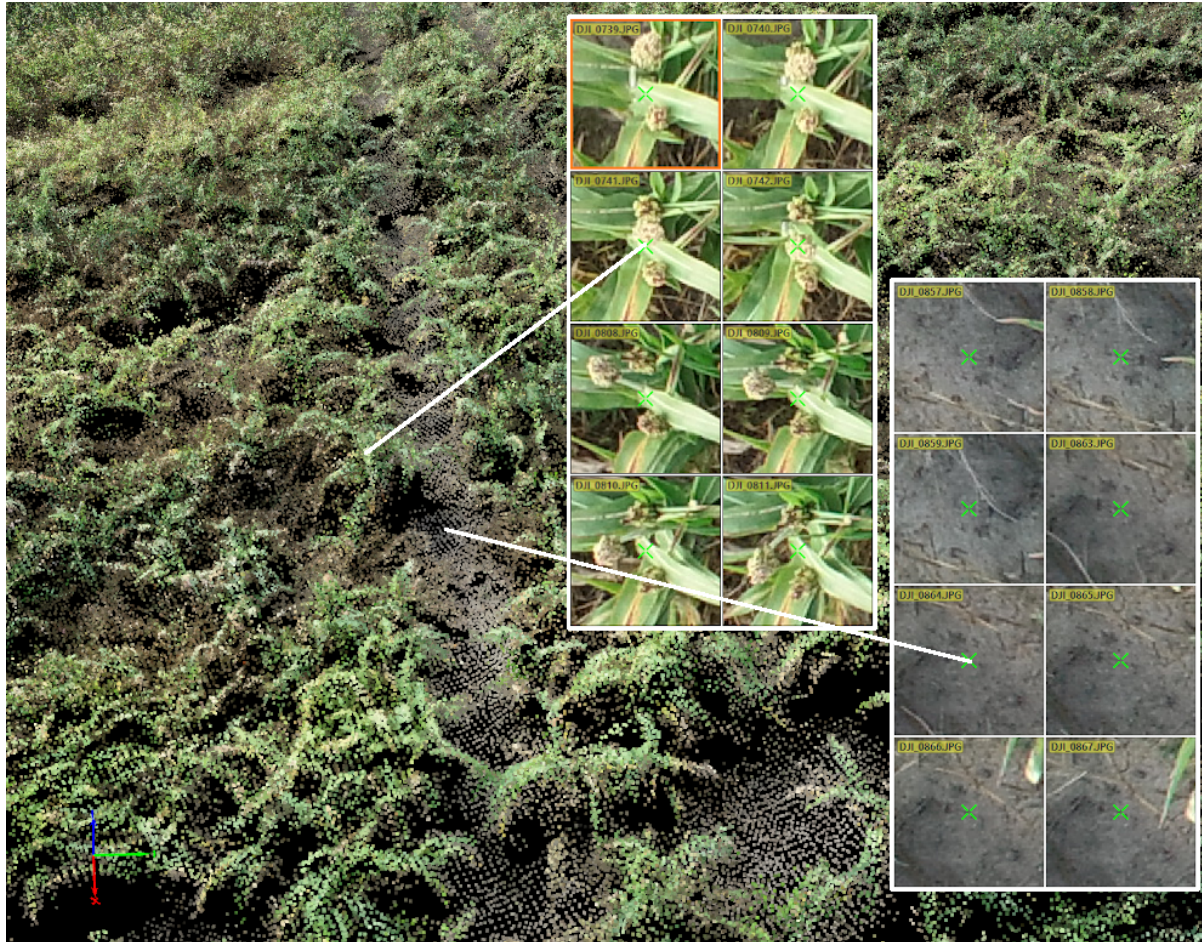


Abbildung: 3D-Punktwolke des Versuchs. Jeder 3D-Punkt korrespondiert zu einer Anzahl von Pixeln in den Eingangsbildern. Im Modell lässt sich der vertikale Abstand zwischen Boden und Fruchtstand genau als Differenz bestimmen. In diesem Fall 75 cm. Die Messung kann natürlich an mehreren frei gewählten Punkten wiederholt werden.

Ergebnis: Erfolgt die Datenerhebung mit einer zu großen GSD, d.h. in einer zu großen Flughöhe, kann das digitale Höhenmodell des Versuchs nicht hinreichend genau berechnet werden. Einzelne Merkmale der Pflanzen werden nicht erfasst und Messungen in der Punktwolke sind nicht möglich.

## Kompatibilität zu bestehender Feldversuchstechnik

Bei Verwendung einer Drohne im Versuchswesen stellt sich die Frage, wie sich diese Technik in vorhandene Versuchstechnik integrieren lässt. Auf vielen Versuchsstationen sind inzwischen RTK-Lenksysteme und spezielle Software zur Erstellung von Parzellenplänen verfügbar. Insbesondere die Aussaat und die Düngung wird meist auf Basis, der auf der Versuchsfläche erzeugten oder vorab definieren AB-Linien durchgeführt. Diese Linien oder auch shp-Dateien aus der Software zur Erstellung des Parzellenplans lassen sich auch für die Drohne nutzen. Zu beachten ist dabei, dass RTK-fähige Drohnen das Korrektursignal von einem Server beziehen

und Versuchsstationen oftmals eigene Referenzstationen nutzen, die per Funk mit den Fahrzeugen verbunden ist. Um eine hohe Genauigkeit zu erreichen, empfiehlt es sich daher, für alle Nutzer des Korrektursignales eine einheitliche Quelle zu verwenden.

## Fazit

Drohnenbasiertes Remotesensing führt zu einer Objektivierung der Messergebnisse bei bestimmten Boniturmethode. Preiswerte Drohnenmodelle und Sensorik ab ca. 700 EUR liefern bereits sehr gute Daten zur Analyse der Pflanzenanzahl, Bedeckungsgrad, Höhe und Homogenität. Drohnenmodelle ab ca. 5.000 EUR ermöglichen durch die Verwendung von RTK zentimetergenaue Messungen und damit zeitliche Vergleichbarkeit der Daten ohne zusätzlichen Aufwand zur Georeferenzierung. Multispektralsensorik erlaubt in dieser Preisklasse qualitative Messungen der Biomasse und Stressfaktoren.

Die Datenauswertung erfolgt manuell interaktiv, ist zeitaufwendig und erfordert aktuell die Verwendung unterschiedlicher Softwaretools. Der Austausch der teilweise sehr umfangreichen Daten zwischen den Tools ist dabei teils aufwendig. Automatisierte Auswertungsschritte sind nur ansatzweise verfügbar.

Beide Aspekte sollten zukünftig verbessert werden, um eine höhere Akzeptanz der Technologie im Feldversuchswesen zu erreichen.

## Die Autoren

### Dr. Andreas Muskolus

Dr. Andreas Muskolus studierte Agrarwissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin und Natural Resource Management an der Cranfield University (UK). Nach Abschluss des Studiums promovierte er zum Thema "Anthropogenic Plant Nutrients as Fertiliser" im Jahr 2007. Nach Forschungstätigkeiten an der University of Southampton, School of Biological Sciences und dem Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) an der Georg-August Universität Göttingen übernahm er die Leitung der Versuchsstation Berge. Seit 2012 ist er stellvertretender Geschäftsführer des IASP und lehrt an der Humboldt-Universität zu Berlin.

### Henrik Battke

Henrik Battke studierte Informatik und Mathematik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Im Jahr 2002 gründete er das Unternehmen bit-side GmbH mit und stand dem Unternehmen bis zum Verkauf an Nokia im Jahr 2009 als Geschäftsführer vor. Nach verschiedenen Leitungsfunktionen bei Nokia und HERE Technologies in der Plattformentwicklung und dem B2B-Geschäft übernahm er 2017 die Leitung und den Aufbau des Standorts der Firma Pix4D in Berlin.

# Firmenprofile

## Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP)

Im Sinne der Klassifizierung der ostdeutschen Forschungsstrukturen ist das IASP eine gemeinnützige „externe Industrieforschungseinrichtung“. Es versteht sich als wissenschaftlicher Partner für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), insbesondere für solche ohne eigene Forschungskapazitäten. Das IASP ist Mitglied der Zuse-Gemeinschaft. Es ist darüber hinaus Partner für zahlreiche Institute von Universitäten und andere wissenschaftliche Einrichtungen des In- und Auslandes und erfüllt damit eine Brückenfunktion an der Schnittstelle zwischen universitärer Forschung einerseits und gesellschaftlicher bzw. unternehmerischer Anwendung andererseits.

Seit 2010 betreibt das IASP die 1951 durch die Humboldt-Universität zu Berlin gegründete Versuchsstation Berge im Havelland. Dort werden auf 15 ha Versuchsfläche pflanzenbauliche Parzellenfeldversuche zu aktuellen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Fragestellungen im Acker- und Pflanzenbau durchgeführt.

## Pix4D

Pix4D ist der weltweite Marktführer im Bereich professioneller Softwarelösungen für Drohnenkartierung und Photogrammetrie. Das Unternehmen mit Sitz in der Schweiz und Büros in San Francisco, Denver, Shanghai, Berlin, Madrid und Tokio bietet Softwarelösungen, mit denen Einzelpersonen ihre Karten von sich verändernden Umgebungen sofort erfassen können. Bilder, die von Hand, mit einer Drohne oder einem Flugzeug aufgenommen wurden, werden automatisch in georeferenzierte 2D-Mosaik, Index- und Zonenkarten, 3D-Oberflächenmodelle und Punktwolken umgewandelt.

Pix4D-Produkte nutzen moderne Prinzipien der Photogrammetrie, Computer Vision, Radiometrie und des maschinellen Lernens.

Das Produkt Pix4Dmapper wurde im Jahr 2012 erstmals veröffentlicht. Mit der Entwicklung von Pix4Dfields für die Landwirtschaft im Jahr 2018 und Pix4Dreact im Jahr 2019 für die BOS-Industrie erfolgten weitere Schritte zur Diversifizierung Pix4D's industriellen Produktportfolios. Mit klarem Fokus auf den professionellen Anwender gilt Pix4D damit als Pionier und Wegbereiter photogrammetrischer Softwareprodukte.

Als Teil der Parrot Group Holdings arbeitet Pix4D eng zusammen mit den Schwesterunternehmen senseFly und Micasense. senseFly ist Marktführer auf dem Markt der

Starrflügeldrohnen, während MicaSense ein führender Hersteller von hochauflösenden Multispektralkameras ist. Mit einer eng aufeinander abgestimmten Hard- und Softwareentwicklung bietet die Parrot-Unternehmensgruppe weltweit führende drohnenbasierte Sensortechnologie mit leistungsstarker Analytik, die speziell für den globalen Agrarmarkt entwickelt wurde.

## Literaturnachweis

- [1] K. Schneider-Zapp, M. Cubero-Castan, D. Shi, and C. Strecha: [A new method to determine multi-angular reflectance factor from lightweight multispectral cameras with a sky sensor in a target-less workflow applicable to UAV](#). Remote Sensing of Environment 229, 60-68, 2019
- [2] M. Cubero-Castan, K. Schneider-Zapp, M. Bellomo, D. Shi, M. Rehak, and C. Strecha: Assessment of the radiometric accuracy in a targetless workflow using Pix4D Software, 9th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 2018.
- [3] C. Becker, N. Häni, E. Rosinskaya, E. D'Angelo, and C. Strecha: [Classification of Aerial Photogrammetric 3D Point Clouds](#). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 84, 287-295, 2018
- [4] J. Vautherin, S. Rutishauser, K. Schneider-Zapp, H.F. Choi., V. Chovancova, A. Glass, and C. Strecha: [Photogrammetric Accuracy and Modeling of Rolling Shutter Cameras](#). ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 3, 139-146, 2016
- [5] C. Strecha, R. Zoller, S. Rutishauser, B. Brot, K. Schneider-Zapp, V. Chovancova, M. Krull, and L. Glassey: Quality assessment of 3D reconstruction using fisheye and perspective sensors. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences 2, 215-222, 2015.
- [6] E. Möller-Arnold & E. Feichtinger: Der Feldversuch in der Praxis. Verlag von Julius Springer, Wien, 1929.