

Drohnenbasierte Messung der Pflanzenhöhe am Beispiel von Durchwachsener Silphie

Isabella Wohlfeld¹ und Sebastian Parzefall²

Abstract: Eine Möglichkeit zur Nutzung von Drohnen ist das Abschätzen der Biomasse auf dem Feld, wofür die Pflanzenhöhe wichtig ist. Deswegen wurde in diesem Versuch die Pflanzenhöhe der Durchwachsenen Silphie mit einer Drohne ermittelt. Für die Erstellung der Höhenmodelle wurden von Juni bis August vier Befliegungen mit je zwei Flügen in unterschiedlicher Höhe durchgeführt und die Bilder zur Erstellung von Oberflächenmodellen (engl. Digital Surface Model, DSM) genutzt. Das Geländemodell (engl. Digital Terrain Model, DTM) wurde mithilfe der Daten einer Befliegung vor Vegetationsbeginn berechnet. Als Differenz dieser Modelle wurden Höhenmodelle (engl. Canopy Height Model, CHM) berechnet, deren Genauigkeit mittels Höhenreferenzen untersucht wurde. Zusätzlich wurden jeweils zehn Pflanzen pro Ernteparzelle mit einem Messstab gemessen. Es wurden die RMSEs (Root Mean Square Error) zwischen den gemessenen Koordinaten der Höhenreferenzen und den aus den Modellen geschätzten Koordinaten sowie die RMSEs zwischen den geschätzten und gemessenen Pflanzenhöhen berechnet. Außerdem wurden lineare Regressionen mit diesen beiden Größen durchgeführt. Insgesamt konnten belastbare Höhenmodelle erzeugt werden, die händische Höhenmessungen überflüssig machen sowie die Weiterentwicklung zur Abschätzung der vorhandenen Biomasse erlauben.

Keywords: Pflanzenhöhe, Höhenmodell, DSM, Drohne, UAV, Durchwachsene Silphie

1 Einleitung

Ein in den letzten Jahren immer mehr erforschter Einsatzbereich ist der der Drohnen [Ya17]. Besonders für die Ermittlung der Biomasse zur Vorhersage des Ertrags, bei der die Pflanzenhöhe bedeutsam ist, sind in den letzten Jahren viele Versuche durchgeführt worden [Bo19; Ni19]. Zudem können zeitaufwändige, händische Messungen durch die Ermittlung der Pflanzenhöhe mithilfe einer Drohne vermieden werden, was beispielsweise in der Pflanzenzüchtung von großer Bedeutung ist [Vo21; Ya17]. In diesem Versuch wurde die Pflanzenhöhe mithilfe von Drohnenanhand eines Bestandes der Durchwachsenen Silphie des Technologie- und Förderzentrums im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) ermittelt. Dies diente dem Zweck, festzustellen, ob die mit einer Drohne ermittelten Pflanzenhöhen brauchbar sind und im weiteren Schritt für eine Biomasseermittlung herangezogen werden können. Deswegen wurden als Ziele zum

¹ Technische Universität München Campus Straubing & Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Schulgasse 22 & 18, 94315 Straubing, isabella.wohlfeld@gmail.com

² Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse, Schulgasse 18, 94315 Straubing, sebastian.parzefall@tfz.bayern.de

einen die Ermittlung der Pflanzenhöhe mittels einer Drohne und zum anderen die Überprüfung der Genauigkeit der erstellten Höhenmodelle festgelegt.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung des Feldversuchs

Der Versuch liegt südlich der Stadt Straubing mit den Koordinaten N 48.8566° und E 12.5856°. Der Standort befindet sich auf einer Höhe von 335 bis 338 m über dem Meeresspiegel. Die Parzellen mit Durchwachsener Silphie wurden 2017 als Untersaat in Silomais etabliert und 2018 das erste Mal geerntet. Es sind insgesamt 72 Parzellen, die jeweils sechs Pflanzenreihen mit 0,75 m Abstand umfassen.

Die Höhenreferenzen wurden durch fünf unterschiedlich hohe Kistenstapel (0,22 m, 0,43 m, 0,63 m, 0,84 m und 1,24 m) in der Versuchsmitte dargestellt. Wie bei den Ground-Control-Points (GCPs) war auf der jeweils oberen Kiste ein Schachbrettmuster aufgebracht, um die Identifizierung in den Bildern zu erleichtern. Die Koordinaten der GCPs wurden mit einem Empfänger für globale Navigationssysteme (GNSS) aufgenommen, um die spätere Georeferenzierung der Drohnenbilder zu ermöglichen.

2.2 Höhenmessung der Pflanzen und Generieren der Höhenmodelle

Für die Bestimmung der Pflanzenhöhen der Durchwachsenen Silphie wurden zwei Varianten durchgeführt. Für die erste Variante wurden Bilder von Drohnenbefliegungen mit einem Photogrammetrieprogramm verarbeitet. Hierbei wurde die Drohne Mavic 2 Pro von DJI (DJI Ltd., Shenzhen, China) eingesetzt. Sie ist ausgestattet mit einer RGB-Kamera mit 20 Megapixeln. Bei jedem Befliegungstermin wurden zwei Flüge durchgeführt, einmal in 25 m Höhe und in 35 m Höhe. Die Blickrichtung der Kamera wurde senkrecht nach unten eingestellt. Die Fluggeschwindigkeit betrug 1 bis 2 m s⁻¹. Die Bilder wurden bei einer Flughöhe von 25 m mit 70 % seitlicher und 80 % vorderer Überlappung aufgenommen. Bei dem Flug auf 35 m Höhe waren es 80 % seitliche und 80 % vordere Überlappung.

Bei der zweiten Variante wurden die Pflanzenhöhen per händischen Messungen erfasst. Dabei wurden mit dem Messstab zehn zufällig ausgewählte Pflanzen innerhalb einer Ernteparzelle gemessen. Als gemessene Höhe wurde der Wert vom Boden bis hin zum höchsten Punkt der Pflanze festgelegt. Insgesamt gab es vier Termine, zu denen beide Methoden durchgeführt wurden. Zusätzlich wurde das Entwicklungsstadium der Durchwachsenen Silphie am jeweiligen Termin bestimmt.

Um als abschließendes Ergebnis die Höhenmodelle mit den Pflanzenhöhen der Silphie zu erhalten, werden das Geländemodell und die Oberflächenmodelle benötigt. In diesem Versuch wurde die Software Pix4Dmapper (Pix4D S.A., Lausanne, Schweiz) genutzt, um die

DSMs, das DTM sowie die Orthofotos zu generieren. Die GSDs (Ground Sampling Distance) der DSMs betragen für 25 m bzw. 35 m Flughöhe jeweils 0,5 bzw. 0,8 cm je Pixel. Abschließend wurde das CHM erstellt. Dafür muss das DTM von dem DSM abgezogen werden [Bo19]. Für diesen Zweck wurde der „Wuchshöhenrechner“ der Geoinformationssoftware MiniGIS 2 (geo-konzept GmbH, Adelschlag, Deutschland) verwendet.

2.3 Auswertung und Vergleich der Messverfahren

Der RMSE der x-, y- und z-Koordinaten der Markierungen auf den Höhenreferenzen wurde für alle Befliegungen berechnet. Die Koordinaten wurden auf dem Feld mit dem GNSS-Empfänger Stonex S900T (STONEX.DE, Nienburg, Deutschland) eingemessen. In der open-source Geoinformationssoftware QGIS (Version 3.16.8) wurden die erstellten DSMs, das DTM sowie die Orthofotos hochgeladen. Die x- und y-Koordinaten des DSMs wurden mithilfe der Orthofotos erhalten. Diese wurden im DSM lokalisiert und die z-Koordinate abgelesen.

Der Mittelwert der zehn Messungen jeder Ernteparzelle diente als „ground truth“. Um festzustellen, welche der vom CHM erhaltenen Pflanzenhöhen am ehesten mit den tatsächlichen Messungen übereinstimmen, wurden drei Bereiche definiert, um zu erkennen, bei welchem die geschätzte Pflanzenhöhe am ehesten mit den tatsächlichen Messungen übereinstimmt. Als Bereiche wurden jeweils der Mittelwert der 70-80 %, 80-90 % sowie 90-99 % Quantilen der Ernteparzellen der Höhenmodelle festgelegt. Diese drei Mittelwerte repräsentieren die geschätzten Pflanzenhöhen und wurden genutzt, um den RMSE zwischen den Pflanzenhöhen des CHMs und den händisch gemessenen Werten zu berechnen. Zusätzlich wurden lineare Regressionen durchgeführt. Bei der vierten Befliegung wurden aufgrund stärkeren Lagers sechs Parzellen von den Berechnungen ausgeschlossen.

3 Ergebnisse

Die Werte der RMSEs der Höhenreferenzen reichten für die x-Koordinate von 0,40-1,40 cm, für die y-Koordinate von 0,60-2,20 cm und für die z-Koordinate von 1,60-9,90 cm. Der höchste Wert mit 9,90 cm wurde bei dem vierten Termin bei einer Flughöhe von 35 m beobachtet. Wird der RMSE für die Höhenreferenzen aller Befliegungen betrachtet, so wurde für die x-Koordinate ein RMSE von 1,00 cm, für die y-Koordinate ein RMSE von 1,20 cm und für die z-Koordinate ein RMSE von 5,50 cm erzielt.

Zusätzlich wurden die RMSEs betrachtet, die für den Vergleich zwischen den Werten der händisch gemessenen Höhe und den aus den Höhenmodellen geschätzten Pflanzenhöhen herangezogen wurden. Als Ergebnis bei 25 m Flughöhe wurden Werte von 6,00-29,00 cm erreicht. Für die RMSEs bei einer Flughöhe von 35 m betragen die Werte 4,00-28,00 cm.

Der nachfolgende Graph (Abb. 1) zeigt die Werte der gemessenen Höhe und der geschätzten Pflanzenhöhen sowie die dazugehörige Regressionsgerade aller Termine. Jeder Graph

enthält dabei zwei Regressionsgeraden. Eine für die Werte der 25-m-Flughöhe und eine für die Flughöhe von 35 m. Alle linearen Modelle und Bestimmtheitsmaße R^2 sind hoch signifikant mit $p < 0,01$. Die Werte von R^2 bezogen auf alle Befliegungen und die drei Intervalle der geschätzten Pflanzenhöhen bewegten sich im Bereich 0,53-0,57 und 0,78-0,96.

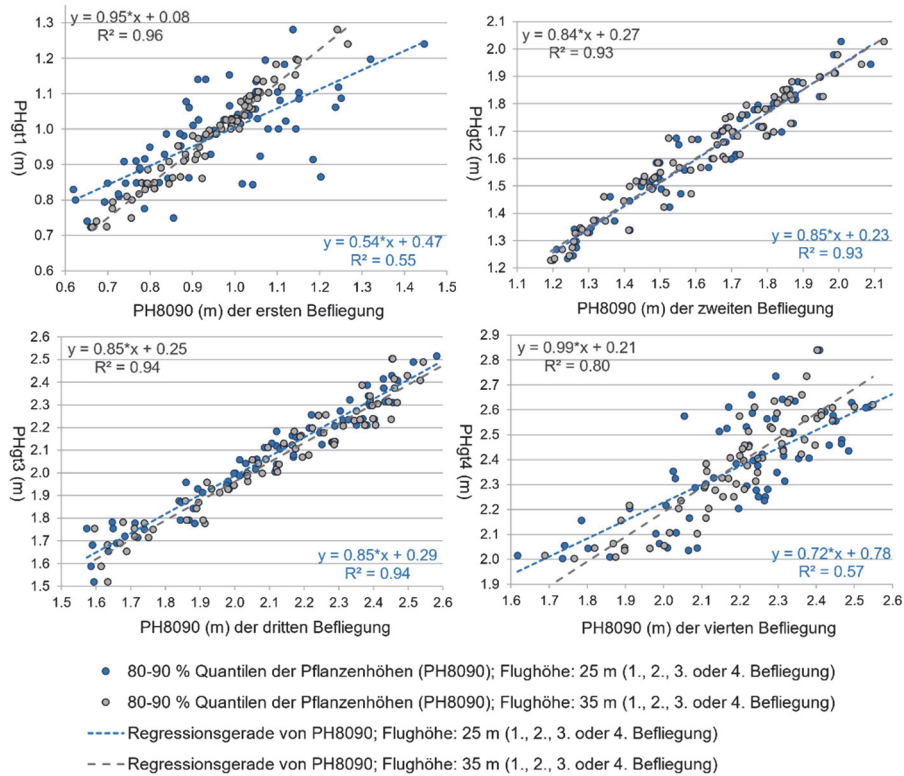


Abb. 1: Scatterplots und Regressionsgeraden aller Termine mit den geschätzten Pflanzenhöhen der 80-90 % Quantilen des CHMs (25 m und 35 m Flughöhe) und den gemessenen Pflanzenhöhen. PHgt: händisch gemessene Pflanzenhöhe der jeweiligen Befliegung (1-4). PH8090: Mittelwert der 80-90 % Quantile des entsprechenden Höhenmodells. 1. bis 4. Befliegung von links oben nach rechts unten.

4 Diskussion

Für die x- und y-Koordinaten wurden RMSEs von maximal 2,2 cm berechnet. In anderen Studien wurden ähnliche Genauigkeiten mit einem RMSE von bis zu 3,09 cm erhalten [Ha18; Bo19]. Für die z-Koordinaten erstreckten sich die RMSEs in diesem Versuch von 1,60-9,90 cm. Vergleichbare Studien erreichten geringere Werte von maximal 2,22 cm [Bo19; Ha18]. Die größten Abweichungen von über 9 cm ergaben sich bei dem vierten Termin für die RMSEs beider Flughöhen. Dies könnte durch stärkeren Wind und folglich unscharfe Bilder entstanden sein, die die Qualität der generierten Höhenmodelle negativ beeinflusst haben könnten [Ha18]. Zusätzlich könnten die wechselhaften Lichtverhältnisse während der Flüge die Ergebnisse beeinflusst haben [BP20].

Die Werte der RMSEs für die Pflanzenhöhen lagen durchschnittlich bei 0,13 m (25 m Flughöhe) und 0,11 m (35 m Flughöhe). In anderen Studien wurden ähnliche Resultate bezüglich des RMSEs in Kulturen wie Sorghum oder Mais erzielt, mit Werten von bis zu 0,20 m [Ha18; Ni19]. Eine Vielzahl von Gründen können zu den höheren Werten der RMSEs, wie bei dem vierten Termin mit 0,29 m, geführt haben. Beispielsweise Bewegungen der Pflanzen im Wind, wodurch weniger Übereinstimmungen zwischen den Bildern vorhanden sind, was dazu führt, dass die Qualität des DSMs negativ beeinflusst wird [THS20]. Zusätzlich könnten die Pixelwerte der CHMs durch die Werte von Pixeln des Bodens oder der Blätter verzerrt worden sein [Gi21], da der Bestand zu Beginn noch Lücken aufwies und später die endständigen Blüten der Silphie so klein waren, dass die Blätter der Pflanzen darunter sichtbar waren. Außerdem könnte der GSD von 0,8 bzw. 0,5 cm dafür verantwortlich sein, dass die endständigen, stark verzweigten und kleinen Blüten nicht als höchster Punkt erkannt wurden. Zusätzlich wiesen viele Parzellen Lager auf. Da für den Versuch nur aufrechte Pflanzen gemessen wurden, würden die niedrigeren Höhenwerte des CHMs dazu führen, dass die RMSEs höhere Werte erreichen.

Eine weitere Beobachtung bezüglich der RMSEs ist, dass die besten Übereinstimmungen bei verschiedenen Quantilenbereichen auftraten. Dies könnte an den unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Silphie an dem Zeitpunkt der Befliegungen liegen. Für den BBCH 33-35 waren die Werte des PH9099 die beste Repräsentation der Pflanzenhöhen, für BBCH 51 die Pflanzenhöhen des PH8090, für die dritte Befliegung bei dem BBCH 59-65 der Bereich der 70-80 % Quantilen der aus dem CHM erhaltenen Pflanzenhöhen und bei dem letzten Termin der PH9099.

Die linearen Regressionen zeigen, mit Ausnahme von Flügen des ersten und vierten Termins bei 25 m Flughöhe, mit einem $R^2 > 0,78$ einen starken Zusammenhang der gemessenen Pflanzenhöhen mit den geschätzten Höhen. Die geringeren Werte des Bestimmtheitsmaßes von 0,53-0,57 für den ersten und letzten Termin könnten durch eine schlechtere Qualität des DSMs verursacht worden sein. Ergänzend zu den oben genannten Gründen könnten Messfehler bei den händischen Messungen oder die im Vergleich mit den Datenpunkten des CHMs geringe Anzahl an händischen Messungen Fehlerquellen gewesen sein.

5 Fazit

Abschließend lässt sich der Schluss ziehen, dass der Einsatz der Drohne zur Erfassung der Pflanzenhöhe der Durchwachsenen Silphie erfolgreich war. Sowohl die Resultate der berechneten RMSEs als auch der linearen Regressionen zeigen, dass es praktikabel ist, die Pflanzenhöhen mithilfe des Einsatzes von Drohnen zu bestimmen und die Werte für eine Biomasseermittlung zu verwenden. Die Vorteile liegen dabei vor allem in der Zeitersparnis und den vermutlich genaueren Werten. Die Herausforderungen hierbei liegen unter anderem in der Wetterlage am Tag des Einsatzes (v. a. Wind), den optimalen Einstellungen der Flugparameter der Drohne (z. B. Flughöhe), der Qualität der generierten DSMs, der Wahl des optimalen Bereichs der Pflanzenhöhen, die aus dem CHM erhalten werden, und der Beurteilung der Genauigkeit der DSMs (z.B. mit Höhenreferenzen) [Bo19; Vo21].

Literaturverzeichnis

- [BP20] Berra, E. F.; Peppas, M. V.: ADVANCES AND CHALLENGES OF UAV SFM MVS PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING: SHORT REVIEW. In (Hernández Palma, H. J. et al., Hrsg.): *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sciences*. Copernicus GmbH. S. 267-272, 2020.
- [Bo19] Borra-Serrano, I.; Swaef, T. de; Muylle, H.; Nuyttens, D.; Vangeyte, J.; Mertens, K.; Saeys, W.; Somers, B.; Roldán-Ruiz, I.; Lootens, P.: Canopy height measurements and non-destructive biomass estimation of *Lolium perenne* swards using UAV imagery. *Grass and Forage Science* 3/19, S. 356-369, 2019.
- [Gi21] Gilliot, J. M.; Michelin, J.; Hadjard, D.; Houot, S.: An accurate method for predicting spatial variability of maize yield from UAV-based plant height estimation: a tool for monitoring agronomic field experiments. *Precision Agriculture* 3/21, S. 897-921, 2021.
- [Ha18] Han, X.; Thomasson, J. A.; Bagnall, G. C.; Pugh, N. A.; Horne, D. W.; Rooney, W. L.; Jung, J.; Chang, A.; Malambo, L.; Popescu, S. C.; Gates, I. T.; Cope, D. A.: Measurement and Calibration of Plant-Height from Fixed-Wing UAV Images. *Sensors* 12/18, 4092, 2018.
- [Ni19] Niu, Y.; Zhang, L.; Zhang, H.; Han, W.; Peng, X.: Estimating above-ground biomass of maize using features derived from UAV-based RGB imagery. *Remote Sensing* 11/19, 1261, 2019.
- [THS20] Tirado, S. B.; Hirsch, C. N.; Springer, N. M.: UAV-based imaging platform for monitoring maize growth throughout development. *Plant Direct*, 6/20, 2020.
- [Vo21] Volpato, L.; Pinto, F.; González-Pérez, L.; Thompson, I. G.; Borém, A.; Reynolds, M.; Gérard, B.; Molero, G.; Rodrigues, F. A.: High Throughput Field Phenotyping for Plant Height Using UAV-Based RGB Imagery in Wheat Breeding Lines: Feasibility and Validation. *Frontiers in Plant Science*, 591587/21, 2021.
- [Ya17] Yang, G.; Liu, J.; Zhao, C.; Li, Z.; Huang, Y.; Yu, H.; Xu, B.; Yang, X.; Zhu, D.; Zhang, X.; Zhang, R.; Feng, H.; Zhao, X.; Li, H.; Yang, H.: Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: Current status and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 1111/17, 2017.