

# Anwendbarkeit von kostengünstigen, drohnenbasierten Fernerkundungsmethoden auf Pferdeweiden

<sup>1</sup>D. HOFFMEISTER, <sup>1</sup>C. CURDT, <sup>2</sup>B. TONN UND <sup>2</sup>A. SCHMITZ

<sup>1</sup>Geographisches Institut, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln  
<sup>2</sup>DNPW Graslandwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

dirk.hoffmeister@uni-koeln.de

## Einleitung und Problemstellung

Im Monitoring von Grünlandaufwüchsen finden zunehmend auch Methoden der Fernerkundung Anwendung. Beeindruckende Ergebnisse lassen sich mit der Anwendung multispektraler Kamertechnik erzielen. Die Anwendung multispektraler Verfahren in der landwirtschaftlichen Praxis ist jedoch aufgrund hoher Kosten bisweilen noch relativ unattraktiv. Die stetige Weiterentwicklung vergleichsweise kostengünstiger Drohnen- und RGB-Kamertechnik hingegen lässt zukünftig eine vermehrte Anwendung von UAVs (unmanned aerial vehicles) in der landwirtschaftlichen Praxis erwarten, wenn keine neuen Regelungen und Gesetze diesem Trend entgegenwirken. Auf Grünlanddüngerversuchsflächen konnten auch mit solch kostengünstiger Technik bereits vielversprechende Erfolge im Monitoring des Biomasseaufwuchses via RGB-Kamertechnik erzielt werden (Lussem et al. 2017, Possoch et al. 2016). Die Anwendung unter komplexeren Praxisbedingungen im Wirtschaftsgrünland und auf vergleichsweise artenreichen Grünlandbeständen ist jedoch noch wenig erprobt.

Pferde spielen eine Rolle zunehmender Bedeutung im Wirtschaftsgrünland. Aktuelle Schätzungen gehen davon aus, dass aktuell etwa 15-20% des deutschen Grünlands für Pferde genutzt werden (Schmitz und Isselstein, 2018). Die Weiterentwicklung kostengünstiger Monitoringmethoden ist auch in Hinblick auf eine nachhaltige Gestaltung des Pferdeweidenmanagements erstrebenswert. Zur Erprobung von Fernerkundungsmethoden im diversen Grünland scheinen sich Pferdeweiden aufgrund ihrer ausgeprägten, großflächigen und stabilen Patchstrukturen (Schmitz und Isselstein, 2013) besonders gut zu eignen.

In 2017 wurde erstmals ein UAV-basiertes Monitoring auf Pferdeweiden durchgeführt. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, unter Praxisbedingungen zu testen, ob sich die auf Versuchsflächen erfolgreich erprobte Methodik als Schätzer für den Biomassezuwachs im diversen Grünland im Vergleich zur bodennahen *compressed sward height* (CSH)-Messung eignet. Ferner wurde der Zusammenhang der lokalen Diversität mit der Genauigkeit der UAV-basierten Pflanzenhöhenzuwächse und –abnahmen untersucht.

## Material und Methoden

Die Studie wurde auf 1,5 ha vergleichsweise artenreichem Grünland im Bergischen Land (Rheinisches Schiefergebirge, NRW) durchgeführt. Die Versuchsfläche befindet sich auf 200m üNN und ist stark inkliniert, die Nährstoffverfügbarkeit der vorherrschenden Braunerden gering (Gehaltsklassen A-B). Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 1100mm.

Die Fläche wird seit 25 Jahren unterteilt in drei Weiden extensiv mit Islandpferden beweidet. Die Beweidung erfolgt in einem Umtriebsweidesystem mit langen Umtrieben von bis zu sechs Wochen. Im Untersuchungsjahr belief sich die Besatzdichte auf 0.4 GV ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die Fläche wird nicht gedüngt und es werden keine Pflegemaßnahmen durchgeführt. Fläche 3

(Abb. 1) wies starke Schwarzwild-Wühlschäden nach dem Winter 2016/2017 auf, die im Frühjahr 2017 eingeebnet wurden. Der Auftrieb erfolgte im Untersuchungsjahr Anfang Mai auf Weide 1, der erste Umtrieb in Mitte Juni auf Weide 2 und Mitte August auf Weide 3 (Abbildung 1). Der Pflanzenbestand der beweideten Flächen ist kleinräumig changierend geprägt von Vertretern trockener Glatthaferwiesen hin zu Rotschwengel-Straußgrasrasen. Ein Teil einer angrenzenden, relativ artenarmen Vielschnittwiese wurde in der vorliegenden Studie zum Vergleich herangezogen (Fläche 4).

Die Versuchsflächen wurde von Mai bis September 2017 monatlich mit einer kostengünstigen Kleindrohne (Typ: DJI Phantom 4) befliegen. Diese Drohne ist mit einer fest installierten, vibrationsgedämpften, dreiachsigen Kameraaufhängung versehen. Die Kamera selbst besteht aus einem 1/2.3" CMOS Sensor, die bei einem Objektiv mit 94° Sichtfeld (entspricht 20 mm Brennweite) Bilder mit 12,4 Megapixel Auflösung liefert. Die Drohne ist mit einem GPS und GLONASS Sensor zur Positionsbestimmung ausgestattet und besitzt neben der sicheren Infrarotentfernungsbestimmung viele weitere Funktionen und eine erweiterte Flugzeit im Gegensatz zu den Vorgängern.

Alle Aufnahmen wurden über den structure-from-motion Ansatz in der Software Agisoft Photoscan Professional ausgewertet. Das Gesamtsystem aller Aufnahmen wurden jeweils über zehn gleichmäßig verteilte, mittels hochgenauem RTK-GPS (Typ: Topcon GR 5) erfassten Zielmarken, georeferenziert. Die aus den Aufnahmen resultierenden, hochauflösenden Punktwolken repräsentieren die Pflanzenoberfläche. Anhand des multiscale model to model cloud comparison (M3C2) Algorithmus (Lague et al., 2013) wurden die Punktwolken miteinander verglichen um Pflanzenhöhenzuwächse und –abnahmen (*sward height change*, SHC) flächenhaft zu bestimmen. Für die Visualisierung der Ergebnisse wurden diese punktbasierten Vergleiche in einer Auflösung von 50 mm interpoliert.

Weitere 40 über die Fläche verteilte Bodenmesspunkte wurden zu Beginn der Studie festgelegt und zu jedem Befliegungstermin wiederholt aufgesucht und Grasnarbenhöhenmessungen (*Compressed sward height*, CSH) mit dem *rising plate meter* (RPM) durchgeführt. Die wiederholten CSH-Messungen dienen als Indikator für Zu- bzw. Abnahme der Biomasse am Messpunkt im Jahresverlauf.

Um die drohnenbasierte und RPM-basierten Schätzungen des Biomasseaufwuchses zu vergleichen, wurde ein gemischtes lineares Modell (*linear-mixed effects model*, LME, R package nlme) verwendet. Die drohnenbasierte SHC wurde als Funktion der CSH-Narbenhöhendifferenz, dem Aufnahmedatum sowie ihrer Interaktion modelliert, die Flächennummer diente als Randomterm. Pseudo  $R^2$  und RMSE wurden jeweils für die vollständigen Modelle sowie für die jeweiligenden Messintervalle berechnet.

Unmittelbar auf die Befliegung im Juli folgend wurde die Vegetation eines Subsets von 20 Bodenmesspunkten erfasst. Auf jeweils 1 m<sup>2</sup> Subplots wurden alle Pflanzenarten bestimmt und ihre jeweiligen Ertragsanteile geschätzt. Aus diesen Daten wurden als Vegetationsvariablen die Artenanzahl sowie Pilon's evenness  $J'$  (als ein Maß der Gleichverteilung der Arten) berechnet.

Um zu analysieren, inwiefern sich die (lokale) Diversität der Grasnarbe auf Genauigkeit der Schätzmethode auswirkt, wurden die Residuen der o.g. Funktion (für das zweite Messintervall) modelliert als Funktion der Pilon's evenness  $J'$ .

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der flächenhaften, monatlichen Pflanzenhöhenzuwächse und –abnahmen (SHC) zwischen Ende Mai bis Ende August 2017 sind in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich lassen sich Bereiche mit Zuwächsen (z.B. Weide 2 im Zeitraum A und Weide 3 im Zeitraum

B) und Abnahmen in der Vegetationshöhe v.a. während und in Folge der Beweidung (z.B. Weide 2 in Zeitraum B und in Teilen auf Weide 3 in Zeitraum C) feststellen. Dabei gibt die UAV-basierte SHC, wie erwartet, höhere Unterschiede als die CSH-basierten Schätzung wieder. Das LME bestätigt einen signifikanten Zusammenhang ( $P < 0,01$ ) der beiden Messmethoden (UAV-basiert und RPM-basiert). Auch der jeweilige Zeitschritt ( $P < 0,001$ ) und die Interaktion von CSH-Messung und Zeitschritt ( $P < 0,001$ ) beeinflussen signifikant die Ausprägung der UAV-basierten Messung. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  des gesamten Modells war 0,5 (RMSE 0,12 m). Die Genauigkeit der Anpassung zwischen den Überwachungsmethoden ist für jeden Zeitschritt unterschiedlich, mit  $R^2 = 0,02$  (RMSE 0,15 m) im Mai - Juni,  $R^2 = 0,5$  (RMSE 0,13 m) im Juni - Juli und  $R^2 = 0,3$  (RMSE 0,06 m) im Juli - August. Die Ergebnisse früherer Studien mit einer hohen Korrelation ( $R^2 = 0,86$ ) zwischen UAV-basiertem SHC und CSH auf Versuchsgrünland (Lussem et al., 2017) können hier nicht bestätigt werden.

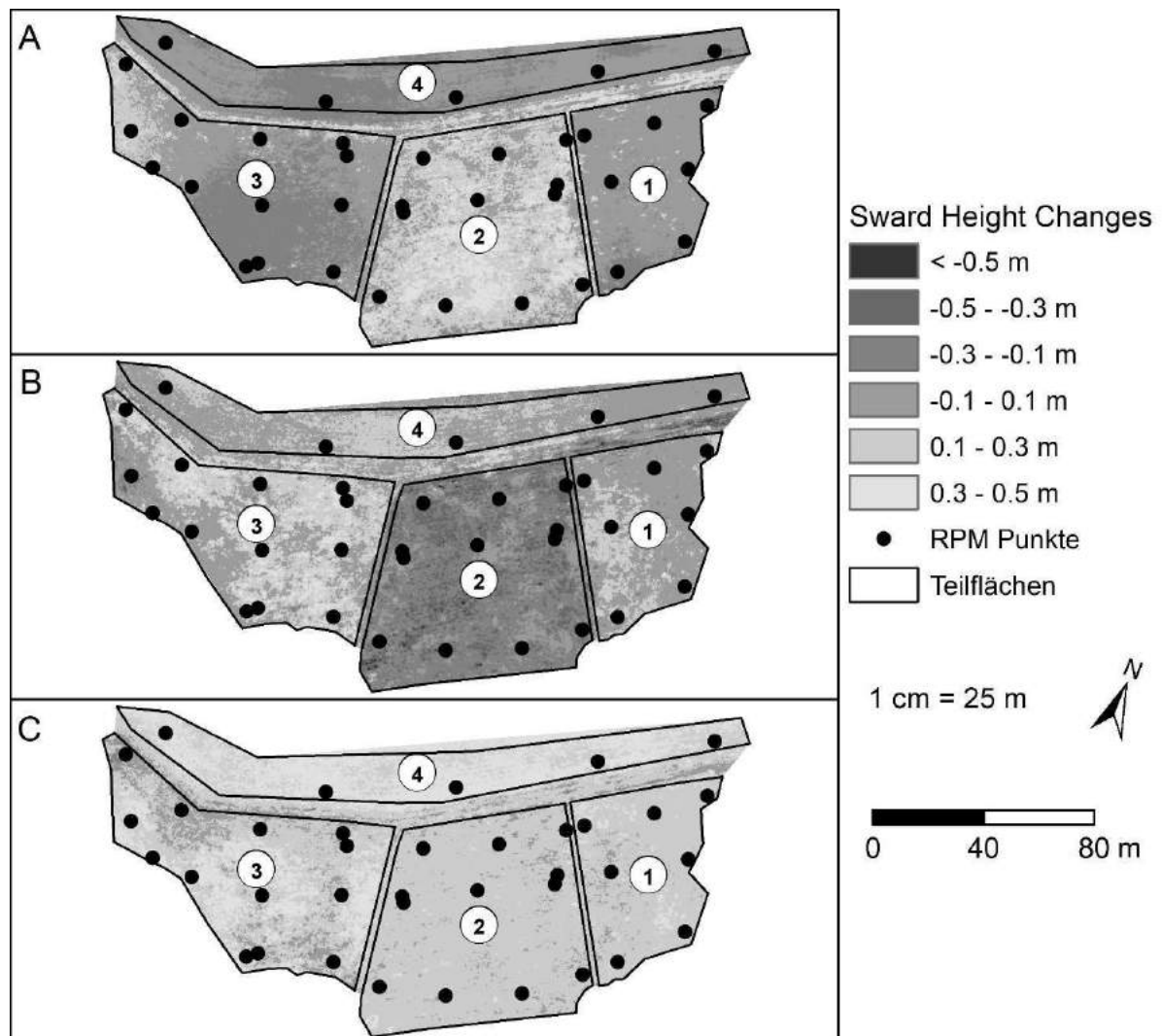


Abb. 1: Karten der drohnenbasierten Pflanzenhöhenzuwächse und –abnahmen (SHC) mit den einzelnen Flächen 1-4 und den Bodenmesspunkten für RPM- und Vegetationsbestimmung. A: 26. Mai 2017 – 23. Juni 2017; B: 23. Juni 2017 – 22. Juli 2017; C: 22. Juli 2017 – 20. August 2017.

Das untersuchte Grünland ist vergleichsweise artenreich. Auf den 20 herangezogenen Bodenmesspunkten der beweideten Flächen wurden insgesamt 88 Arten erfasst. Die durchschnittliche Artenanzahl betrug  $42,2 (\pm 9,5)$  Arten pro  $m^2$ . Pielou  $J'$  als Maß der lokalen Gleichverteilung (1 = alle Arten zu gleichen Anteilen) der Arten variierte zwischen 0,34 und

0,69. Einige Messpunkte waren damit stärker von einzelnen Arten dominiert als andere Messpunkte.

Eben diese starke Variation der lokalen Diversität könnte ein Erklärungsansatz für die geringen Korrelationen zwischen der drohnenbasierten Messung und den RPM-basierten Messungen, im Vergleich zu den Ergebnissen auf Düngeversuchsflächen. Die Analyse der LME-Modellresiduen als Funktion der lokal erfassten Diversität deutet zumindest einen tendenziellen Zusammenhang ( $P < 0,064$ ;  $R^2 = 0,5$ ) der Diversität mit den Abweichungen von der Modellvorhersage an. Um diesen Zusammenhang besser beschreiben zu können und für zukünftige Anwendungen nutzbar zu machen, bedarf es jedoch weiterer Analysen.

Insbesondere bedarf es der verstärkten Analyse der Grasnarbenzusammensetzung. Eine höhere Anzahl von Bodenmesspunkten zur Erfassung der Vegetation und der Dichte der Grasnarbe ist notwendig, ebenso wie eine gezielte Auswahl dieser Messpunkte in Hinblick auf unterschiedlich diverse Grasnarbenzusammensetzung. Da sich die Genauigkeit der Biomasseschätzungen zwischen den Messzeiträumen unterscheidet, ist ferner eine wiederholte Aufnahme der Vegetation und ihrer Entwicklung über den Verlauf der Vegetationsperiode notwendig.

Pferde etablieren i.d.R. eine ausgeprägte Heterogenität in der Grasnarbenstruktur, sogenannte Patches, die sich in ihrer Artenzusammensetzung unterscheiden (Schmitz & Isselstein, 2013). In dieser Studie wurden keine signifikanten Unterschiede der erhobenen Variablen Artenvielfalt und Vegetationszusammensetzung zwischen den Patches bestätigt. Dies mag einerseits an der vergleichsweise geringen Beweidungsintensität liegen, die mit weniger prägnant ausgeprägten Patches einhergeht. Andererseits erfolgte die Auswahl der Bodenmesspunkte gleichverteilt über die Fläche und nicht gezielt in Hinblick auf die Unterscheidung der Patchtypen, was es in zukünftigen Studien zu berücksichtigen gilt.

Vielversprechend in Hinblick auf das Monitoring von beweidetem Grünland ist, dass die Entwicklung der Patches visuell im Orthofoto und den ermittelten Pflanzenhöhenzuwachsen und –abnahmen (Abb. 1) zu erkennen ist. Insbesondere in den letzten Aufnahmen wurden auf Fläche 3 die Patches mit hoher Narbenhöhe stark von der vom Fraß ausgesparten *Centaurea jacea* dominiert. Deren Blühaspekt zeigte sich gut erkennbar im Orthofoto und ging mit vergleichsweise hohen Schätzern für Biomassezuwachs einher. Vor diesem Hintergrund ist die Berücksichtigung der Phänologie mit wiederholten Aufnahmen zu betonen.

## Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie war ein erster Versuch, die auf experimentellem Grünland erfolgreichen Methoden auf von Pferden beweidetem Grünland anzuwenden. Sie verdeutlicht insbesondere die Herausforderungen, die sich bei der Anwendung solcher Monitoringmethoden in der Praxis im Vergleich zu Experimentalflächen stellen. Die Messgenauigkeit ist abhängig vom Aufnahmezeitraum und damit einhergehender Phänologie. Auch scheint die Diversität einen gewissen Einfluss zu haben, der in der Studie zumindest tendenziell bestätigt werden konnte.

Dennoch haben diese Methoden ein vielversprechendes Potenzial für eine zukünftige Anwendung, auch wenn es weiterer Analysen für verschiedene Standorte und Diversitätsstufen bedarf. Sollen Biomassezuwächse unterschiedlicher Patchtypen analysiert und Patches quantifiziert werden, muss das Stichprobendesign neu definiert werden. Optimalerweise wird ein stratifizierteres Design mit einer erhöhten Anzahl von Bodenmesspunkten angewendet.

## Literatur

JOUVEN, M., VIAL, C. & FLEURANCE, G. (2016): Horses and rangelands. Perspectives in Europe based on a French case study. *Grass and Forage Science* 71(2), 178–194.

LAGUE, D., BRODU, N. & LEROUX, J. (2013): Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 82, 10–26.

LUSSEM, U., BARETH, G., BOLTEN, A. & SCHELLBERG, J. (2017): Feasibility study of directly georeferenced images from low-cost unmanned aerial vehicles for monitoring sward height in a long-term experiment on grassland. In: *Grassland Science in Europe 20*, 354–356.

POSSOCH, M., BIEKER, S., HOFFMEISTER, D., BOLTEN, A., SCHELLBERG, J. & BARETH, G. (2016): Multi-Temporal crop surface models combined with the RGB vegetation index from UAV-based images for forage monitoring in grassland. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLI-B1, pp. 991-998.

SCHMITZ, A. & ISSELSTEIN, J. (2013): Effects of management on vegetation structure in horse pastures. In: *Grassland Science in Europe 18*, 394–396.