

Abschätzung von Kleeerträgen mit digitalem Höhenmodell und Bodenfeuchtigkeit in Nordwestdeutschland

Reuter T.¹, Nahrstedt K.², Broll G.³, Jarmer T.² & Trautz D.¹

Keywords: Futterbau, Ertragsabschätzung, Relief, UAV, DEM

Abstract

Environmental data like elevation and slope angle, slope aspect and soil moisture have a substantial impact on the fertility of a field, due to hydrological response of rainfall. Unmanned aerial vehicle imagery allows computing digital elevation models. In this research, these parameters were combined in a multiple linear regression to predict the yield of clover-grass-mixtures. The overall accuracy was adj. $R^2=0.493$. Focusing on less observation dates improved the model to 0.723. The soil moisture had the major impact on the model, but the environmental data improved it.

Einleitung und Zielsetzung

Ein Großteil der landwirtschaftlichen Flächen ist durch Heterogenitäten geprägt, was zu ungleichmäßig ausgeprägten Beständen führt. Besonderen Einfluss hat dabei das Relief. Von Hängen und Hügelkuppen wird fruchtbarer Oberboden abgetragen und Wasser fließt ab. Dies kann zu Bereichen mit schlechterer Wasser- und Nährstoffversorgung führen (Peralta et al., 2015). Grenzstandorte mit ausgeprägtem Relief werden häufig für Futterbau genutzt. Daher ist es gerade für solche Flächen und Kulturen wichtig, das Relief für die Ertragsabschätzung zu berücksichtigen. Aus Bildaufnahmen mit Unmanned Aerial Vehicles (UAV) können digitale Höhenmodelle (engl. DEM) berechnet werden, aus denen sich Reliefeigenschaften einer landwirtschaftlichen Fläche (Höhe über NN, Hangneigung und -richtung) ableiten lassen. In der vorliegenden Arbeit sollen die aus drohnengestützten Bilddaten gewonnenen Informationen über die Reliefeigenschaften sowie Feldmessungen der Bodenfeuchte genutzt werden, um die Erträge einer Kleeertragsfläche abzuschätzen.

Methoden

Die Untersuchung erfolgte auf einer ökologisch bewirtschafteten Kleeertragsfläche in der Nähe von Osnabrück. Bei der Fläche „Kiesschacht“ handelt es sich um eine Braunerde mit 30 – 40 Bodenpunkten. Zu drei Terminen wurde an 48 Messstellen der Größe 0,25 m² die Frischbiomasse (g/m²) erhoben. Die Zeitpunkte entsprachen der betriebsüblichen Ernte der gesamten Flächen. Gleichzeitig wurde die Bodenfeuchte mit einem FieldScout TDR 100 (Spectrum) in 7 bis 12 cm Tiefe gemessen. Direkt nach dem Umbruch der Fläche erfolgte die Aufnahme von RGB-Bildern mit einer Phantom 4 (DJI)

¹Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaft und Landschaftsentwicklung, Am Krümpel 31, 49090, Osnabrück, Deutschland, tobias.reuter@hs-osnabrueck.de, d.trautz@hs-osnabrueck.de

²Universität Osnabrück, Institute of Computer Science, Remote Sensing Group, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, konstantin.nahrstedt@uni-osnabrueck.de, thomas.jarmer@uni-osnabrueck.de

³Universität Osnabrück, Institut für Geographie, Seminarstraße 19 a/b 49074 Osnabrück, gabriele.broll@uni-osnabrueck.de

aus 10 m Höhe mit einer Pixelkantenlänge von 5 mm. Aus diesen Bilddaten wurde mit der Software Agisoft-Metashape (1.7.2) mittels Structure-from-Motion (SfM) ein Höhenmodell berechnet. Um kleinräumige Höhenunterschiede durch die Bodenbearbeitung auszugleichen, wurde das DEM auf eine Bodenauflösung von 0,5 m pro Pixel aggregiert. Anschließend erfolgte mit der Software QGIS (3.22.3) die Berechnung von Hangneigung und -ausrichtung sowie Höhe über NN, welche für jede Messstelle gemittelt wurden. In R (4.0.1) wurde ein multiples lineares Regressionsmodell mit den Prädiktoren Höhe über NN, Hangneigung, Hangrichtung und Bodenfeuchte zur Abschätzung der Frischbiomasse von Klee gras erstellt. Die Validierung erfolgte über leave on out cross validation. Die Residuen wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test und T-Test getestet ($\alpha=0,05$). Unterschiede zwischen den Terminen sind mithilfe einer ANOVA und eines TUKEY-Tests auf einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ ermittelt worden.

Ergebnisse

Die mittlere Höhe über NN der Fläche „Kiesschacht“ liegt auf 91,2 m mit dem niedrigsten Punkt auf 88,8 und dem höchsten auf 92,7 m. Die Hangneigung schwankt von 0,9° bis 8,0° mit einer durchschnittlichen Neigung von 3,3°.

Tabelle 1: Frischbiomasseerträge [g/m²], Bodenfeuchte [volumetrischer Wassergehalt (VWC) %] und Niederschlag [mm] 30 Tage vor Untersuchung (DWD, 2022) für die drei Untersuchungstermine. Buchstaben zeigen signifikante ($\alpha=0,05$) Unterschiede zwischen den Terminen.

Datum	Frischbiomasseerträge [g/m ²]	Bodenfeuchte [VWC %]	Niederschlag [mm] 30 Tage vor Untersuchungstermin
14.05.2021	1574,2 ^a	18,4 ^a	50,5
07.07.2021	1284,7 ^b	11,0 ^b	63,7
07.09.2021	556,6 ^c	8,9 ^c	49,5

Die Frischmasseerträge haben mit jeder Mahd von 1574,2 g/m² (14.05.2021) zu 1284,7 g/m² (07.07.2021) bis 556,6 g/m² (09.09.2021) signifikant abgenommen (Tabelle 1, $\alpha=0,05$; ANOVA und TUKEY-Test). Dies trifft auch auf die Bodenfeuchte zu, bei der die Werte von 18,4 % zu 11,0 % bis 8,9 % volumetrischer Wassergehalt (eng. VWC %) gesunken sind.

Ein multitemporales Modell über alle Beprobungstermine hat ein adj. R² von 0,493 und RMSE (Root Mean Square Error) von 440,04 erzielt. Die Prädiktoren Bodenfeuchte, Hangneigung und Höhe über NN liefern einen signifikanten Erklärungsbeitrag. Die Hangrichtung war jedoch nicht von Bedeutung. Folgende Regressionsgleichung wurde ermittelt:

$$(1) \text{ Frischmasse [g/m}^2\text{]} = 0,685 * \text{Bodenfeuchte} - 0,134 * \text{Hangneigung} + 0,130 * \text{Höhe über NN}$$

Die Residuen waren normalverteilt ($\alpha=0,05$; Kolmogorov-Smirnov-Test) und der Mittelwert der Residuen nicht signifikant von „0“ verschieden ($\alpha=0,05$; T-Test). Ein Regressionsmodell, welches sich allein auf die Bodenfeuchte bezieht, kann 47 % der Varianz beschreiben. Abbildung 1 a) zeigt die geschätzte im Vergleich zur gemessenen Frischbiomasse [g/m²]. Die Steigung von 0,51 x zeigt eine Annäherung an die gemessenen Werte, jedoch gibt es eine Verschiebung der Gerade um 569,21. Auffällig ist der zweite Termin (07.07.2021), bei denen die Werte unterschätzt werden und deutlich stärker schwanken als bei den anderen beiden Terminen.

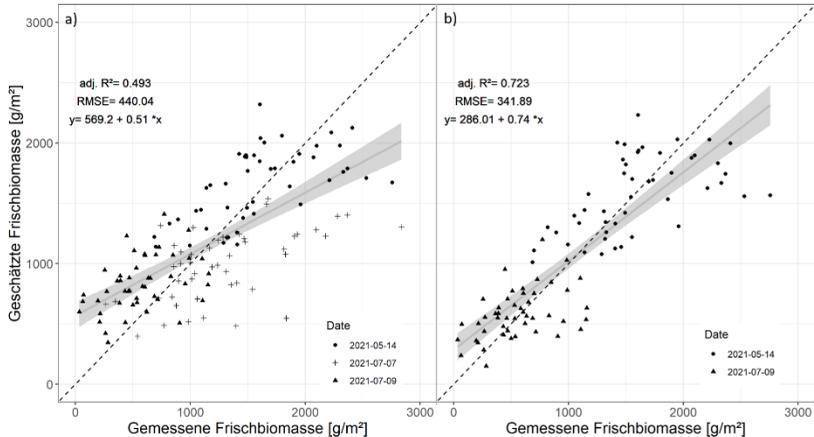


Abbildung 1: Vergleich der geschätzten zur gemessenen Frischbiomasse [g/m²].
a): Termine: 14.05.2021, 07.07.2021 und 07.09.2021. Prädiktoren: Höhe über NN, Hangneigung und Bodenfeuchte. N=143. b): Termine 14.05.2021. und 09.07.2021. Prädiktoren: Höhe über NN und Bodenfeuchte. N=96. Adj. R²= adj. Bestimmtheitsmaß. RMSE=Root Mean Square Error. Gestrichelte Linie: 1:1 Linie. Durchgezogene Linie: Regressionsgerade mit 95 %-Konfidenzintervall. Die Regression ist mit P <0.05 signifikant

Eine Modellierung der Frischbiomasse unter Ausschluss der Messungen vom 07.07.2021 zeigt ein deutlich höheres adj. R² von 0,723 mit einem RMSE von 341,89 (Abbildung 1 b)). Die Steigung ist mit 0,74x näher an 0 und auch die Verschiebung der Geraden ist mit 288,01 kleiner. Außerdem sind in diesem Fall nur die Prädiktoren Bodenfeuchte und Höhe über NN von signifikanter Bedeutung. Die Regressionsgleichung ist:

$$(2) \text{ Frischmasse } \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right] = 0,852 * \text{Bodenfeuchte} + 0,138 * \text{Höhe über NN}$$

Bei diesem Modell konnte die Normalverteilung der Residuen festgestellt werden ($\alpha=0,05$; Kolmogorov-Smirnov-Test). Beim T-Test ($\alpha=0,05$) wurde ermittelt, dass der Mittelwert der Residuen sich nicht signifikant von Null unterscheidet.

Diskussion

Ein Modell über alle Termine zeigt ein adj. R² von 0,493. Gerade die Werte des zweiten Termins schwanken stark und werden generell unterschätzt. Ohne den 07.07.2021 konnte das R² auf 0,723 gesteigert werden. Trotz deutlich geringerer Bodenfeuchte am zweiten Termin von 11,0 % VWC zu 18,4 % am ersten Termin nehmen die Erträge weniger stark ab. Die durchgeführten Bodenfeuchtemessungen sind stets nur eine Momentaufnahme und bilden nicht die gesamte Aufwuchsperiode ab. Die in Tabelle 1 abgebildeten Niederschläge der 30 Tage vor Ernte zeigen, dass vor der zweiten Mahd der Niederschlag höher war als zu den anderen Terminen und der Kleeergrasbestand insgesamt besser mit Wasser versorgt war, als die Bodenfeuchtemessungen suggerieren. Die komplexen und dynamischen Zusammenhänge des Wasserhaushaltes lassen sich potenziell durch häufigere Bodenfeuchtemessungen

darstellen, was den Aufwand für Beprobung steigert. Abhilfe könnten fest verbaute Bodensensoren oder hydrologische Modelle liefern.

In dieser Untersuchung sinken die R^2 ohne die Reliefdaten von 0,493 auf 0,471. Für diese leichte Verbesserung war es allerdings notwendig, Bilddaten von der Fläche aufzunehmen. Alternativ könnten öffentlich zugängliche Höhenmodelle genutzt werden. Peralta et al. (2015) konnten im Weizen den Zusammenhang zwischen Höhenmodellen und dem Ertragspotential feststellen, was die Wichtigkeit dieser Parameter unterstreicht. Bereiche mit geringer Hangneigung werden generell mit fruchtbareren Bereichen assoziiert (Pullanagari et al., 2018), was sich mit den Beobachtungen in dieser Untersuchung deckt. Ergebnissen von Peralta et al., (2015) zeigen das die tiefer gelegenen Bereiche höhere Erträge aufweisen. Dies steht in Kontrast zur Fläche „Kiesschacht“, auf welcher die tieferen Bereiche schlechtere Erträge erzielten. Die gegensätzlichen Ergebnisse lassen sich mit unterschiedlichen Feldhistorien erklären, da auf der Untersuchungsfläche „Kiesschacht“ Kies abgebaut wurde und an einigen Bereichen dadurch fruchtbarer Oberboden fehlt.

Schlussfolgerungen

Die Kombination von Relief- und Bodenfeuchtedaten eignet sich, um den Ertrag von Klee grasflächen abzuschätzen. Den Haupteinfluss hatte dabei die Bodenfeuchte. Da die hier durchgeführten Bodenfeuchtemessungen nur Momentaufnahmen sind, könnten fest installierte Bodensensoren oder hydrologische Modelle die Datenlücken schließen und so das Modell unabhängiger von einzelnen Beprobungsterminen machen. Eine weitere Verbesserung könnte hier durch die Einbindung UAV-basierter Vegetations- oder Topographieindizes erzielt werden. So konnten Pullanagari et al., 2018 unter Berücksichtigung der Topografie ihr Random-Forest-Modell zu Vorhersage von Grünlandqualitäten mit Hyperspektralbildern verbessern.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Förderkennzeichen 28DE103B18 und 28DE103C18.

Literatur

- DWD (2022). Deutscher Wetterdienst: Climate dataset - archive data station 342 Belm. [Index of climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/ \(dwd.de\)](https://www.dwd.de/DE/leistungen/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/dwd.de) (Zugriff: 10.08.2022)
- Peralta, N. R., Costa, J. L., Balzarini, M., Castro Franco, M., Córdoba, M., & Bullock, D. (2015). Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.017>
- Pullanagari, R. R., Kereszturi, G., & Yule, I. (2018). Integrating airborne hyperspectral, topographic, and soil data for estimating pasture quality using recursive feature elimination with random forest regression. *Remote Sensing*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/rs10071117>