

## Drohnenbasierte Schätzung der räumlichen Variabilität von Luzerne-Ertragsanteilen in Luzerne-Gras-Gemengen

Wengert M<sup>1</sup>, Schulze-Brüninghoff D<sup>1</sup>, Weigelt L<sup>1</sup>, Wachendorf M<sup>1</sup>, & Wijesingha J<sup>1</sup>

*Keywords: UAV, Precision Farming, Alfalfa, Remote Sensing, Machine Learning*

### Abstract

*Legume-Grass-Mixtures provide valuable forage for livestock, while at the same time they are of high importance for fertilization through nitrogen-fixing, especially in organic agriculture. Through the relationship of fixed nitrogen with N-content in the aboveground biomass of legumes, the percentage of legumes in the total dry matter yield (PL) can be estimated with remote sensing methods. The present study utilized multispectral data captured with a UAV of alfalfa-grass-mixtures (*Medicago sativa*) from two fields in Hesse, Germany, to model PL. Using PLSR, PL could be modelled with high ( $RMSE_{val}$  12.2 %,  $R^2_{val}$  0.88) and medium accuracies ( $RMSE_{val}$  11.01 %,  $R^2_{val}$  0.52). It could be shown that UAV-borne remote sensing is well suited to model legume content with a high spatial resolution and coverage. However, the results revealed that modelling accuracies decreased when incorporating data from a region within a field with low variability in PL. Thus, we suggest focusing future research on alfalfa-grass fields with a high variability in PL, which is exactly where additional information for farming practices is needed most.*

### Einleitung und Zielsetzung

Der Anbau von Leguminosen-Gras-Gemengen dient neben der Bereitstellung von hochwertigem Grundfutter für Wiederkäuer als zentrale N-Quelle in ökologischen Fruchtfolgen. Um die knappen Vorräte verfügbaren Stickstoffs effizient nutzen und Betriebsabläufe bestmöglich daran anpassen zu können, ist die genaue Kenntnis dessen raum-zeitlicher Verfügbarkeit hilfreich. N-Emissionen können durch kleinräumig angepasste bedarfsgerechte Düngegaben potenziell vermieden werden. Da die N-Fixierungsleistung von Leguminosen eng mit dem N-Gehalt in deren oberirdischer Trockenmasse korreliert (Stülpnagel, 1982), können fernerkundliche Sensoren, welche die Reflektanz von Pflanzenbeständen erfassen, zur hochaufgelösten und großflächigen Schätzung der N-Fixierung ( $N_{fix}$ ) eingesetzt werden (Grüner et al., 2021). Ebenso können aus fernerkundlichen Daten Ertrag (Wengert et al., 2022) und Futterqualitäten (Wijesingha et al., 2020) des Aufwuchses modelliert werden. Drohnen eignen sich aufgrund ihres kostengünstigen Einsatzes und der hohen möglichen räumlichen und zeitlichen Auflösung besonders für diese Anwendung. Wie Vorversuche gezeigt haben, lassen sich mittels Methoden des Maschinellen Lernens aus multispektralen Daten von Luzerne-Gras-Gemengen die Anteile von Luzerne (*Medicago sativa*) im Bestand mit hoher Genauigkeit schätzen. Diese Ergebnisse wurden in größerem Maßstab zunächst über eine Vegetationsperiode auf einem Praxisschlag validiert. Ziel ist die Erstellung hochaufgelöster Karten der räumlichen Verfügbarkeit von  $N_{fix}$  auf Schlägebene, sodass Nachfruchteffekte analysiert werden

---

<sup>1</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, Deutschland, [m.wengert@uni-kassel.de](mailto:m.wengert@uni-kassel.de), [www.uni-kassel.de/go/gnr](http://www.uni-kassel.de/go/gnr)

und in einem Precision-Farming-Ansatz nachfolgende Wirtschaftsdüngergaben zur Reduzierung von Kosten und Emissionen zielgenau angepasst werden können.

## Methoden

In einem Vorversuch wurden im September 2021 von einem Luzerne-Gras-Schlag bei Hebenschhausen (Hessen, Deutschland) vor dem letzten Schnitt mit einer multispektralen Kamera (MicaSense RedEdge-M), montiert an einer Oktokopter-Drohne (CopterSquad RTK-X8) in 50 m Flughöhe Aufnahmen erstellt. Zur Referenz wurden innerhalb eines 50 x 75 m großen Untersuchungsgebiets an 20 randomisiert verteilten und mit GPS eingemessenen Subplots 1 m<sup>2</sup> große Probenschnitte genommen, von denen neben Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM) die Masseanteile der Fraktionen Leguminosen, Kräuter und Gräser erhoben wurden. Mit derselben Methode wurde über die Vegetationsperiode 2022 auf dem Gladbacherhof (Hessen, Deutschland) der Schlag „Kreuz“ zu drei Schnitterminen befliegen, wobei innerhalb einer 100 x 100 m großen Fläche ebenfalls zu jedem Termin 20 Referenzprobenschnitte genommen wurden. Aufgrund eines Sensorfehlers konnten nicht alle Subplots für die Auswertung verwendet werden (n = 73).

Aus den multispektralen Einzelaufnahmen wurden Orthomosaik erstellt, sodass anschließend die mittlere Reflektanz jedes Subplots errechnet werden konnte. Auf Basis der Reflektanzwerte der Subplots zu jedem Schnittermin wurden in nächsten Schritt mit der Methode Partial Least Squares Regression (PLSR) die Zielvariable prozentueller Anteil der Leguminosen-TM in der gesamten TM (PL) modelliert. Dazu wurde der Datensatz im Verhältnis 80/20 für Kalibrierung und Validierung geteilt. Um den Einfluss einzelner Subplots auf die Modellierungsergebnisse zu reduzieren, wurde die zufällige Auswahl der Probenpunkte für Kalibrierung und Validierung zehnmal mit jeweils anderen Proben wiederholt. Die Ergebnisse der Modellierung sind folglich als Median von 10 Wiederholungen angegeben. Es wurden zwei Modelle erstellt: eines auf Basis der Daten des Standorts Hebenschhausen und ein weiteres auf Basis der Daten von den Standorten Hebenschhausen und Kreuz.

Mit den erstellten Modellen wurde schließlich unter Einbezug aller Datenpunkte (100 %) Karten der gesamten befliegenen Flächen produziert, welche räumliche Interpretationen der Unterschiede im Anteil der Leguminosen ermöglichen.

## Ergebnisse

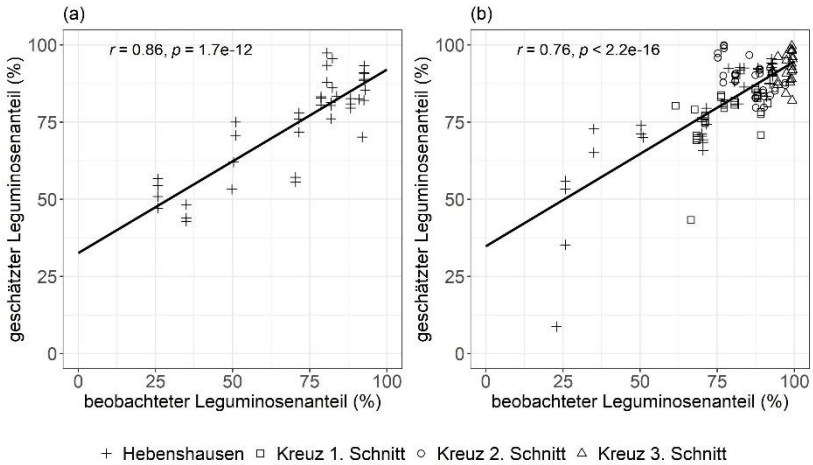
Die Modellierung des prozentualen Leguminosenanteils zeigte für den Standort Hebenschhausen eine sehr hohe Genauigkeit der Schätzung (RMSE<sub>val</sub> 12.2 %, R<sup>2</sup><sub>val</sub> 0.88, vgl. Tab. 1). Bei Kombination der Datensätze von Hebenschhausen und Kreuz sank das Bestimmtheitsmaß der Vorhersage trotz erhöhten Stichprobenumfangs deutlich, während der RMSE sank (RMSE<sub>val</sub> 11.01 %, R<sup>2</sup><sub>val</sub> 0.52).

**Tabelle 1: Ergebnisse der Modellierung des Leguminosenanteils (% d. TM)**

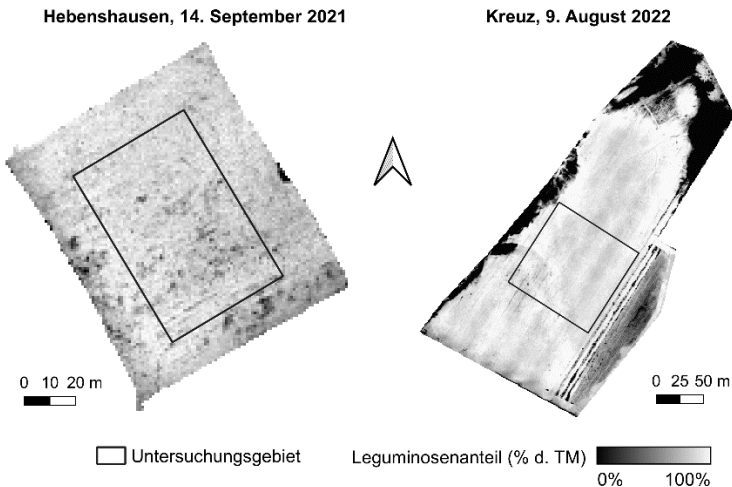
Datensatz	Probenanzahl (Validierung)	Modellierungs- methode	Median RMSE <sub>val</sub> (% d. TM)	Median R <sup>2</sup> <sub>val</sub>
Hebenschhausen	20 (4)	PLSR	12.2 %	0.88
Hebenschhausen + Kreuz	73 (15)	PLSR	11.01 %	0.52

Modellierungsergebnisse sind Medianwerte der Validierung von zehn Wiederholungen mit zufällig ausgewählten Proben für Kalibrierung und Validierung (Verhältnis 80/20).

Die Darstellung von beobachtetem gegenüber geschätztem Leguminosenanteil (Abb. 1) macht deutlich, dass die Messwerte an Subplots des Standorts Kreuz nur eine geringe Variabilität und zu allen Schnittermitteln hohe Leguminosenanteile aufwiesen, woraus mit hoher Wahrscheinlichkeit die verminderte Schätzgenauigkeit resultierte.



**Abbildung 1: Beobachteter vs. geschätzter Leguminosenanteil.** Modelle aus Standort (a) Hebenshausen, sowie (b) allen Probenpunkten (Hebenshausen + Kreuz)



**Abbildung 2: Karten der räumlichen Variabilität des Leguminosenanteils auf den untersuchten Standorten zu zwei ausgewählten Zeitpunkten**

Die auf Basis der oben dargestellten Modelle produzierten Karten (Abb. 2) zeigen eine deutliche Variabilität der Luzerneanteile innerhalb, sowie im Umfeld der untersuchten Flächen. Sie unterstreichen somit die Bedeutung der teilflächenspezifischen Betrachtung von Luzerne-Gras-Schlägen und deren sehr wahrscheinlich hohe Variabilität in der Verfügbarkeit von  $N_{fix}$  für die Folgekultur.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorgestellten Methode zur Schätzung des Leguminosenanteils in Luzerne-Gras-Gemengen zeigen deren Eignung für die großflächige, hochaufgelöste Erfassung bei hoher Genauigkeit. Obwohl der Stickprobenumfang beim Modell mit Proben vom Standort Hebenshausen und Kreuz zusammen erheblich höher war, konnte nicht die gleiche Modellgüte erreicht werden. Dies ist vermutlich auf die geringe Variabilität der Luzerneanteile am Standort Kreuz zurückzuführen, wodurch nicht ausreichend Datenpunkte mit geringem Leguminosenanteil für die Kalibrierung zur Verfügung standen. Die Reduktion auf Reflektanzwerte als erklärende Variablen, sowie die Einschränkung auf PLSR als Modellierungsmethode schränken möglicherweise die Schätzgenauigkeit ein, wie in bisherigen Studien mit weiteren Methoden des Maschinellen Lernens gezeigt werden konnte (Wijesingha et al., 2020). Es zeichnet sich ab, dass die Modellierung allein mit multispektralen Daten nur bei Luzerne-Gras-Schlägen mit hoher Variabilität des PL hohe Schätzgüten liefern kann, da sich nur in diesem Fall die Reflektanzwerte deutlich unterscheiden. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind jedoch vor allem Schläge mit ebendiesen Unterschieden für eine fernerkundliche Untersuchung interessant, sodass die Fokussierung weiterer Studien auf diese Anwendungsfälle ohnehin naheliegt. Wie bisherige Studien gezeigt haben (Grüner et al., 2021; Schulze-Brüninghoff et al., 2021), lassen sich deutliche Verbesserungen der Modellgüte außerdem durch die Erweiterung der Sensorik bei der Befliegung auf Erfassung von 3D-Punktclouds, welche die Höheninformation des Bestands einschließen, erwarten.

## Förderhinweis

Das Projekt wird im Rahmen des LOEWE-Forschungsschwerpunktes „GreenDairy – Integrierte Tier-Pflanze-Agrarökosysteme“ des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst gefördert.

## Literatur

- Grüner, E., Astor, T., & Wachendorf, M. (2021). Prediction of Biomass and N Fixation of Legume-Grass Mixtures Using Sensor Fusion. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.603921>
- Schulze-Brüninghoff, D., Wachendorf, M., & Astor, T. (2021). Remote sensing data fusion as a tool for biomass prediction in extensive grasslands invaded by *L. polyphyllus*. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(2), 198–213. <https://doi.org/10.1002/rse2.182>
- Stülpnagel, R. (1982). Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 151, 446–458.
- Wengert, M., Wijesingha, J., Schulze-Brüninghoff, D., Wachendorf, M., & Astor, T. (2022). Multisite and Multitemporal Grassland Yield Estimation Using UAV-Borne Hyperspectral Data. *Remote Sensing*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/rs14092068>
- Wijesingha, J., Astor, T., Schulze-Brüninghoff, D., Wengert, M., & Wachendorf, M. (2020). Predicting Forage Quality of Grasslands Using UAV-Borne Imaging Spectroscopy. *Remote Sensing*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/rs12010126>