

Multilokale Modellierung der Bestandesentwicklung von Klee-grasgemengen mittels Leaf Area Index (LAI) und multispektralen Drohnendaten

Konstantin Nahrstedt¹, Tobias Reuter², Maria Vergara Hernandez², Dieter Trautz²
und Thomas Jarmer¹

Abstract: Klee-grasgemenge kennzeichnen sich durch ihre ausgeprägte Heterogenität. Im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeit als Futterpflanze sind dabei mögliche Einflüsse auf das Biomasseaufkommen zu berücksichtigen. Biomassebestimmungen sind jedoch zeit- und kostenintensiv. Mittels punktuellen Messungen des Blattflächenindex (engl. LAI) kann das Pflanzenwachstum stichprobenartig ohne größeren Aufwand bestimmt werden. Unter Einsatz von UAV-basierten Bilddaten ist folglich eine Übertragbarkeit auf den gesamten Bestand möglich. Im Zuge dessen wurden auf drei ökologisch bewirtschafteten Klee-grasflächen im Raum Osnabrück zu je zwei Terminen der LAI sowie drohnengestützte Multispektralbilder aufgenommen. Mithilfe der daraus abgeleiteten Vegetationsindizes zeichnete sich bei der Modellierung des LAI für den NDVI ein Abfall in der Modellgüte zwischen den beiden Terminen ab, während der NDRE eine verbesserte Genauigkeit aufwies. Ferner wirkten sich auch die Flächenanteile von Klee und Gras auf die Modellgüte aus.

Keywords: Grünland, Futterbau, Precision Agriculture, Remote Sensing, UAV

1 Einleitung

Klee-gras wird in der Landwirtschaft hauptsächlich als Futterpflanze angebaut. In Abhängigkeit von Bodenstruktur, Relief und Nährstoffverfügbarkeit lassen sich zum Teil deutliche räumliche Unterschiede in der phänologischen Entwicklung innerhalb eines Bestandes feststellen. Verschiedene Pflanzenparameter erlauben eine punktuelle Modellierung von Bestandesstruktur und -heterogenität in Klee-grasgemengen. Darunter ist der Blattflächenindex (engl. LAI) ein geeigneter Indikator zur Abschätzung des Biomasseaufwuchses. Mittels drohnengestützter (engl. UAV) Bildaufnahmen kann dieser Parameter flächendeckend erhoben werden. Ziel der Arbeit ist daher die Ableitung des LAI aus UAV-Bilddaten unter unterschiedlichen Standortbedingungen (multilokal).

¹ Universität Osnabrück, Institut für Informatik, Arbeitsgruppe Fernerkundung und Digitale Bildverarbeitung, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, konstantin.nahrstedt@uni-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0002-8116-3412>; thomas.jarmer@uni-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0002-4652-1640>

² Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, tobias.reuter@hs-osnabrueck.de,  <https://orcid.org/0000-0002-2860-5613>; m.vergara-herandez@hs-osnabrueck.de; d.trautz@hs-osnabrueck.de

2 Methodik

Im Rahmen einer zweijährigen Studie im Zeitraum von August 2021 bis Juli 2022 wurden drei ökologisch bewirtschaftete Flächen im Raum Osnabrück zu je zwei Terminen beprobt. Jedes Versuchsfeld beinhaltete 48 in einer Rasterstruktur gleichmäßig über die Fläche angelegte Beprobungsstellen der Größe 0,25 m². Die Position der Beprobungsstellen wurde mittels Stonex GNSS-Empfänger verortet. Zur Bewertung der Bestandesstruktur und Biomasseverteilung erfolgte je Beprobungsstelle die Bestimmung des Leaf Area Index (LAI) mittels LiCOR Plant Canopy Analyzer. Der LAI ist ein dimensionsloser Index zur Bestimmung der Blattfläche je Bodenoberfläche [Br03]. Dazu wurden insgesamt fünf Messungen im Bestand und eine Referenzmessung oberhalb des Bestandes durchgeführt. Zusätzlich erfolgte eine visuelle Schätzung der Klee- und Grasbedeckungsanteile für jede Beprobungsstelle. Zur Gewährleistung einheitlicher phänologischer Stadien je Termin zwischen den Standorten orientierte sich die Wahl der Beprobungstermine an der Wuchshöhe und der Zeitspanne bis zur letzten Mahd. Begleitend zu jedem Aufnahmeterrain wurden drohnengestützte Multispektralbilder mithilfe einer DJI Phantom Multispectral aufgezeichnet. Hierbei können spektrale Eigenschaften der Bodenoberfläche in den Wellenlängen Blau (450 nm), Grün (560 nm), Rot (650 nm), RedEdge (720 nm) sowie Nahinfrarot (840 nm) erfasst werden. Die Flughöhe von 12 m lieferte eine räumliche Auflösung von 6 mm pro Pixel. Die Einzelaufnahmen der Drohne wurden unter Einsatz der Bildbearbeitungssoftware AgiSoft Metashape (Version 1.7.2) radiometrisch und geometrisch korrigiert und zu einem Orthophoto mosaikiert. Über einen Lichteinstrahlsensor konnten Beleuchtungsunterschiede während der Überflüge berücksichtigt werden.

Diverse Forschungsarbeiten diskutierten unterschiedliche Vorgehensweisen zur Modellierung des LAI auf Basis von Drohnen Daten in verschiedenen landwirtschaftlichen Kontexten [Tu18; Li21]. Weit verbreitet ist die indexbasierte Schätzung des LAI mittels Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Dieser wird zur Bewertung der Bestandesstruktur und Biomasseverteilung eingesetzt. Der NDVI berechnet sich aus den Spektralwerten im nahinfraroten (R_{NIR}) und roten (R_R) Wellenlängenbereich [RHD74]:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R) \quad (1)$$

Daneben wird auch der Normalized Difference RedEdge Index häufig zur Modellierung des LAI verwendet. Dieser berücksichtigt in Relation zum NDVI anstelle des roten Wellenlängenbereiches das Reflexionsverhalten im RedEdge (R_{Re}) [Li18]:

$$NDRE = (R_{NIR} - R_{Re}) / (R_{NIR} + R_{Re}) \quad (2)$$

Aus den aufgenommenen UAV-Bilddaten wurden für jeden Termin und Standort NDVI und NDRE bestimmt. Hierbei war das Reflexionsverhalten der Blütenstände an den Kleepflanzen durch spektrale Extremwerte auffällig. Da diese Besonderheit in dem nach Blattfläche definierten LAI nicht gleichermaßen abgebildet werden kann, wurden die Blüten mittels unüberwachter Klassifikation (Iso-Clustering) aus den Bilddaten (Indizes) ausmaskiert. Aus den bereinigten Indizes wurde je Beprobungsstelle repräsentativ der

Mittelwert berechnet und als unabhängige Variable in einem linearen Regressionsmodell zur Modellierung des feldgemessenen LAI eingesetzt. Ziel war die Bewertung der Modellierbarkeit der Biomasseverteilung in Klee grasbeständen in unterschiedlichen Wachstumsstadien und Standortbedingungen. Darüber hinaus sollte der Einfluss der Bestandeszusammensetzung auf die Modellgüte bestimmt werden. Dazu wurden in einem folgenden Schritt die Beprobungsstellen hinsichtlich der geschätzten Gras- und Kleebedeckungsanteile unterteilt und die korrespondierenden Indexwerte zur Modellierung des LAI eingesetzt. Die Modellvalidierung erfolgte anhand einer Leave-on-out Cross-Validation (LOOCV). Zur Bilddatenverarbeitung wurde die Software Quantum GIS (3.24.1) und für die statistische Analyse der Entwicklungsumgebung R Studio (4.0.3) genutzt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Anhand des feldgemessenen LAI ließen sich standort- und terminübergreifend deutliche räumliche Unterschiede feststellen, welche auf die für Klee grasgemenge typische Heterogenität bedingt durch Aussaat und Bodenunterschiede zurückzuführen sind. Auf Grundlage der UAV-Bilddaten sollte die räumliche Repräsentation dieser Heterogenität mittels NDVI und NDRE über eine Regressionsanalyse abgebildet werden (Tab. 1). Der Stichprobenumfang (N) von 47 für den Standort *Belm* zum zweiten Termin ist auf eine fehlerhafte LAI-Messung zurückzuführen.

Termin	Standort	N	NDVI		NDRE	
			R ²	RMSE	R ²	RMSE
<i>Termin 1</i>						
11.08.2021	Kiesschacht	48	0,35	0,391	0,24	0,424
19.08.2021	Rulle	48	0,58	0,700	0,46	0,801
28.06.2022	Belm	47	0,70	0,287	0,61	0,325
<i>Termin 2</i>						
07.09.2021	Kiesschacht	48	0,04	0,618	0,01	0,625
06.09.2021	Rulle	48	0,57	0,786	0,52	0,824
11.07.2022	Belm	48	0,62	0,508	0,62	0,527

Tab. 1: Modellkoeffizienten der Linearen Regression

Mit Blick auf die Standortunterschiede zeigte sich der Einfluss der Bestandesstruktur auf die Modellierungsgüte. Im vergleichsweise sehr heterogen ausgeprägten Bestand am *Kiesschacht* konnte ein R² von lediglich 0,35 (NDVI) bzw. 0,24 (NDRE) erreicht werden. Demgegenüber stehen R² von mind. 0,58 (NDVI) bzw. 0,46 (NDRE) bis 0,70 (NDVI) bzw. 0,61 (NDRE) an den insgesamt homogenen Standorten *Rulle* und *Belm*. Darüber hinaus fiel auf, dass die erklärte Varianz durch den NDVI zum zweiten Termin durchgehend sank. Dies ist auf den Aufsättigungseffekt des NDVI bei hohen LAI-Werten

zurückzuführen und deckt sich mit den Beobachtungen vergleichbarer Studien [HSS99; Mu10]. Am Standort *Kiesschacht* wurden hierbei schon zum ersten Aufnahmetermin sehr hohe Messwerte in den Vegetationsindizes ermittelt. Trotz des annähernd gleichen phänologischen Stadiums war der Bestand schon zum ersten Termin dicht strukturiert. Dieser Umstand musste als zusätzlicher negativer Einflussfaktor auf die Modellgüte gewertet werden. Diese Entwicklung war in den NDRE-basierten Modellen zwischen den Terminen 1 und 2 insbesondere für die Standorte *Rulle* und *Belm* nicht zu beobachten, da der Aufsättigungseffekt bei hohen LAI-Werten weniger ausgeprägt war als beim NDVI. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass Indizes mit benachbarten Kanälen geringere Sensitivitätsunterschiede für die Reflexion aufweisen und somit stabiler gegenüber Aufsättigung sind [Li18]. Termin 2 am Standort *Kiesschacht* soll hierbei ausgeklammert werden, da das zugehörige Modell keine hinreichende Erklärbarkeit ($R^2 = 0.04$) lieferte.

Eine visuelle Gegenüberstellung der Vegetationsindizes und LAI-Messungen unterstrich diesen Effekt (Abb. 1). In Korrelation mit dem LAI sättigte der NDVI bereits ab Werten $>0,85$ auf und reduzierte somit die Modellgenauigkeit. Mit Blick auf die geschätzten Bedeckungsanteile ließ sich dies im Besonderen an Standorten und Terminen mit hohem Kleeanteil beobachten. Ein vergleichbarer Effekt wurde für den NDRE nur am Standort *Rulle* festgestellt. Zum zweiten Aufnahmetermin konnte dort ein geringerer Gras- und damit dominierender Kleeanteil ermittelt werden. Zur Bewertung des Einflusses des Bedeckungsanteils auf die Modellierungsgenauigkeit wurden die Datensätze beider Termine folglich je Standort kombiniert, hinsichtlich Klee- und Grasanteil unterteilt und darauf aufbauend der LAI neu modelliert (Tab. 2). Ein Grasanteil $< 30\%$ korrespondiert dabei mit einem Kleeanteil $\geq 70\%$. Diese Aufteilung resultierte aus der Verteilung der geschätzten Flächenanteile über beide Standorte und Termine. Der Standort *Kiesschacht* blieb in diesem Fall unberücksichtigt (vgl. oben).

Standort	Grasanteil	N	NDVI		NDRE	
			R ²	RMSE	R ²	RMSE
Rulle	> 30 %	24	0,78	0,504	0,67	0,612
	< 30 %	72	0,66	0,788	0,66	0,777
Belm	> 30 %	45	0,61	0,503	0,60	0,514
	< 30 %	50	0,53	0,469	0,51	0,477

Tab. 2: Modellkoeffizienten der linearen Regression nach Aufschlüsselung hinsichtlich der Bedeckungsanteile

Die Differenzierung nach Bedeckungsanteilen ermöglichte für grasdominierte Bestände eine Reduzierung des Aufsättigungseffektes in NDVI und NDRE. Dabei zeigte sich außerdem, dass der LAI mithilfe der Stichproben mit einem erhöhten Grasanteil an beiden Standorten besser zu modellieren ist. Mittels NDVI konnte ein R^2 von 0,78 bzw. 0,61 erzielt werden, während über den NDRE ein R^2 von 0,67 bzw. 0,60 erreicht wurde.

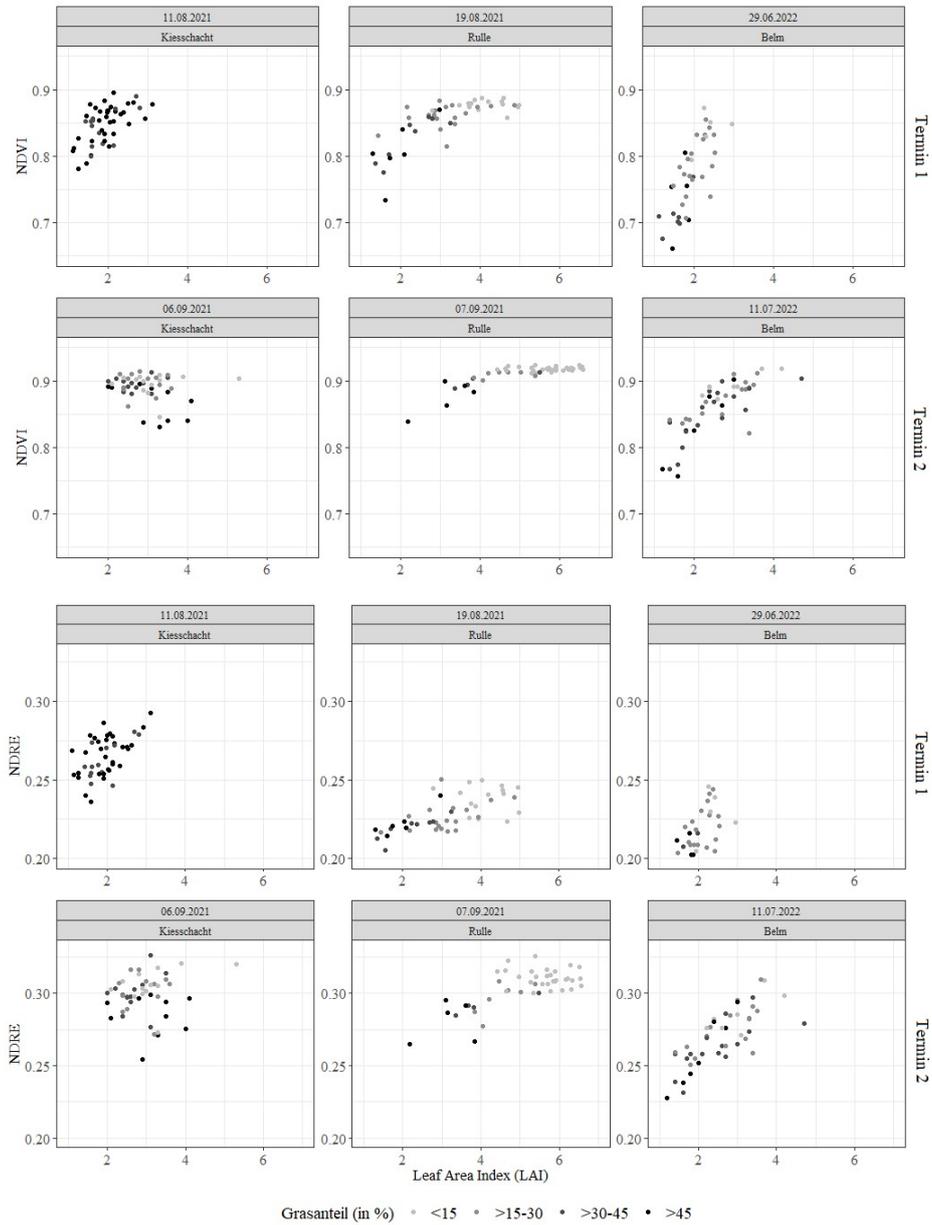


Abb. 1: Korrelationsmatrizen zwischen NDVI/NDRE und LAI

4 Schlussfolgerung

Die für Klee-grasgemenge typische Heterogenität bietet Potential für teilflächenorientierte Managementempfehlungen. Die Quantifizierung dieser Unterschiede ist durch eine räumliche Modellierung von Biomasseindikatoren wie dem LAI mittels UAV-basierter Vegetationsindizes möglich. Bei der Modellierung des LAI ist dabei der Beobachtungszeitpunkt entscheidend. Aufsättigungseffekte im LAI ließen sich standortunabhängig besonders im zweiten Aufnahme-termin beobachten. Ein linearer Zusammenhang kann hier nur eingeschränkt formuliert werden. Hierbei zeigte sich auch die Bedeutung der Bestandeszusammensetzung für die Modellierung, da diese Effekte vorwiegend an Beprobungsstellen mit hohem Kleeanteil zu beobachten waren. Zur Bewertung der Biomasseverteilung in Klee-grasbeständen eignen sich folglich vorwiegend Jungstadien. Dies gilt im Besonderen für klee-dominierte Standorte. In den Folgestadien sind Informationen zur Bestandeszusammensetzung von besonderer Bedeutung.

Förderhinweis: Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft des Projektes Experimentierfeld Agro-Nordwest erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Literaturverzeichnis

- [Br03] Breda, N. J. J.: Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies, *Journal of Experimental Botany*, 54/392, S. 2403-2417, 2003.
- [Li18] Li et al.: Potential of UAV-Based active Sensing for Monitoring Rice Leaf Nitrogen Status, *Frontiers in Plant Science*, 9/1834, 2018.
- [HSS99] Hanna, M. M., Steyn-Ross, D. A., Steyn-Ross, M.: Estimating Biomass for New Zealand Pasture Using Optical Remote Sensing Techniques, *Geocarto International*, Vol. 14, 3: 89-94, 1999.
- [Li21] Lin et al.: UAV Based Estimation of Forest Leaf Area Index (LAI) through Oblique Photogrammetry, *Remote Sensing*, 13/803, 2021.
- [Mu10] Munoz et al.: Nonlinear hierarchical models for predicting cover crop biomass using Normalized Difference Vegetation Index, *Remote Sensing of Environment*, 144, S. 2833-2840, 2010.
- [RHD74] Rouse, W.; Haas, H.; Deering, W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, S. 10-14, 1974.
- [Tu18] Tunca et al.: Yield and leaf area index estimations for sunflower plants using unmanned aerial vehicle images, *Environ Monit Assess*, 190, S. 682, 2018.