

Störungsfreie Erfassung von Biomassen in Leguminosen/Gras-Beständen mit einem Ultraschallsensor

T. Fricke, F. Richter, M. Wachendorf

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe
Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, Email: thfricke@uni-kassel.de

Einleitung und Problemstellung

Für die Leistungsfähigkeit ökologisch wirtschaftender Betriebe haben Leguminosengrasgemenge einen hohen Stellenwert. Ihre Produktivität unter Berücksichtigung der schlaginternen Variation genauer abschätzen zu können, trägt zu einer optimierten Kalkulation des Futteraufkommens und der Nährstoffflüsse bei. Zahlreiche sensorbasierte Systeme zur Ertragserfassung konzentrieren sich auf geerntetes Material. Eine Übersicht von u. a. Ertragserfassungssystemen ist bei Schellberg *et al.* (2008) aufgeführt. Andere Ansätze eignen sich zur Ertragsmessung in stehenden Beständen. Insbesondere aus dem Weidemanagement sind Anwendungen bekannt, die über Bestandeshöhen und teilweise unter Einbezug der Bestandesdichte eine Schätzung der Biomasse ermöglichen (Hutchings *et al.* 1990, Murphy *et al.* 1995, Sanderson *et al.* 2001). Von den verwendeten Systemen eignet sich die Ultraschallmessung neben der statischen Messung auch für die mobile Anwendung, die in Kombination mit dem Global Positioning System (GPS) eine Ertragskartierung ermöglicht. Diese Studie stellt Ergebnisse zur Evaluierung von Ultraschalldistanzmessungen vor, mit dem Ziel deren prinzipielle Eignung und bestandesspezifische Einflussgrößen zur Ertragsschätzung in Leguminosen/Gras-Beständen (statisches Experiment) sowie eine erste mobile Anwendung (On-the-go Experiment) zu bewerten.

Material und Methoden

Die im weiteren Verlauf der Studie wird für die Bestandeshöhe der Begriff Ultraschallhöhe (USH) verwendet. Die USH beschreibt die errechnete Höhe der Bestände aus der Differenz zwischen der Position des Sensors über dem Boden und der gemessenen Distanz zur Bestandesoberfläche. Die Distanzmessung des Ultraschallsensors bezieht sich hierbei auf das oberste Objekt des Pflanzenbestandes, das ein verlässlich messbares Reflektionssignal im konischen Messkegel (ca. 12° Öffnungswinkel) verursacht.

Die Messungen für das statische Experiment erfolgten auf einem Parzellenversuch des Versuchsbetriebs Neu-Eichenberg (Nordhessen, 53°23' N, 9°54' O, 227 m üNN.) in den Jahren 2005 (Herbstaufwuchs) und 2006 (ganzjährig). Die Varianten aus Reinsaaten und binären Gemengen mit Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Weißklee (*Trifolium repens*), Rotklee (*Trifolium pratense*) und Luzerne (*Medicago sativa*) wurden in vier Aufwuchsperioden beprobt. Die Hauptnutzungstermine erfolgten am 4. Oktober (2005) sowie am 12. Juni, 25. Juli und 14. September (2006). In Reingrasbeständen wurde zusätzlich die Jahresdüngergabe (40/80/120/160/200 Kg N/a) variiert. In wöchentlichen Intervallen erfolgten Messungen der Ultraschallhöhe mit einem Ultraschallsensor (Pepperl & Fuchs UC 2000-30GM-IUR-V15) über Probenflächen der Größe 50 x 50 cm an fünf Positionen innerhalb eines Trägerrahmens (Zentrum und diagonale Eckpunkte im Abstand 14.1 cm vom Zentrum). Die fünf Einzelwerte wurden für die weitere Analyse gemittelt. Spätestens einen Tag nach der Ultraschallmessung erfolgte die Beerntung der Probenflächen bei einer Schnitthöhe von 5 cm. Die Probenmengen wurden in die Artengruppen Gräser, Leguminosen und Kräuter fraktioniert und bei 65 °C 48 h getrocknet.

Die mobile Anwendung (On-the-go) wurde einmalig zur 1. Hauptnutzung 2007 in einem zweischürigen Parzellenversuch ähnlicher Bestandestypen (Var 1 - 5: Deutsches Weidelgras mit 0/150/300/450/600 kg N/ha*a, Var.6 Weißklee-Dt. Weidelgras 5/15 kg/ha, Var. 7 Rotklee-Weidelgras 8/15 kg/ha, 4 Wiederholungen) durchgeführt. Der Ultraschallsensor wurde zusammen mit einem Präzisions DGPS (Leica SR530) auf einem einachsigen Trägerfahrzeug montiert und bei 0.4 – 1.8 Km/h in Längsrichtung über die Parzellen inklusive der Wege geführt. Über die im statischen Experiment ermittelten bestandesspezifischen Funktionen (Tab. 2) erfolgte eine Validierung der errechneten Biomassen (Parzellenmittelwerte) mit Referenzbiomassen, die nach der Methodik des statischen Experiments im Zentrum der Parzellen ermittelt wurden.

Multiple Regressions- und Varianzanalysen erfolgten mit der GLM-Prozedur im Programmpaket SAS 9.1. Prozentuale Daten wurden zur Vermeidung von Varianzheterogenitäten logit-transformiert. Nicht signifikante Effekte wurden aus den Modellen eliminiert mit Ausnahme der Haupteffekte, die in Interaktionen Signifikanzen aufwiesen (Nelder 1994, Nelder and Lane, 1995). Punktdaten aus der mobilen Anwendung wurden über die „Inverse-Distanz-Wichtung“ interpoliert (Tydac SPANS 7.1, linearer Gradient, 4 Nachbarpunkte) und mit IDRISI Taiga in eine 3D-Ansicht überführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die beprobten Bestände umfassen bei einer Biomassenspanne von 0.06 – 11,3 t ha⁻¹ Aufwuchshöhen von 5 – 104,2 cm. Die Krautfraktion, nachfolgend – da nicht angesät - als Unkräuter bezeichnet, erreicht insbesondere im ersten Nutzungsjahr aufgrund einer anfangs schwierigen Bestandesentwicklung hohe Ertragsanteile bis zu 47 % (Mittel = 16,2 %).

Tab. 1: Effekte der Bestandeseigenschaften auf die Schätzung des Biomassertrages (t ha⁻¹). Ergebnisse des "General Linear Models (GLM)" unter Einbezug der Ultraschallhöhe (USH) und des Unkrautanteils (UA; in Prozent, logit-transformiert) als metrische Variablen sowie des Effekts von Bestandestyp (BT) und Aufwuchsperiode (AP) als Klassifikationsvariablen.

	SS	DF	MS	F	P
Modell ^a	1187.54	31	38.31	74.53	<0.0001
Fehler	142.38	277	0.51		

Effekte	Type III SS		MS	F	P
USH	27.69	1	27.69	53.88	<0.0001
USH ²	14.68	1	14.68	28.57	<0.0001
BT	8.60	6	1.43	2.79	0.0119
AP	2.87	3	0.96	1.86	0.1369
UA	0.14	1	0.14	0.26	0.6074
USH*BT	14.05	6	2.34	4.56	0.0002
USH ² *BT	20.41	6	3.40	6.62	<0.0001
USH*AP	4.38	3	1.46	2.84	0.0382
USH ² *AP	5.70	3	1.90	3.69	0.0124
USH ² *UA	21.75	1	21.75	42.31	<0.0001

^a R² = 0.893; SE = 0.717

Die Beziehung zwischen Ultraschallhöhe und Biomasse wird durch mehrere Interaktionen beeinflusst. Einfluss nehmen der Bestandestyp, die Aufwuchsperiode und der Unkrautanteil (Tab. 1). Während der Bestandestyp vom Landwirt im Vorfeld der Messungen identifiziert werden kann, stellt die Aufwuchsperiode keine feststehende Größe dar, sondern wird durch variierende phänologische Entwicklungen geprägt. Eine praktikable Einbindung dieser Variablen in eine Kalibration ist daher schwierig. Auch der Unkrautanteil müsste während der Messung sensorisch gleichzeitig mit der Höhe erfasst werden um den Bestandeseinfluss zu quantifizieren. Er zeigt in praxisüblichen Beständen in der Regel aber nur eine untergeordnete Bedeutung. Im weiteren Verlauf wird daher die rein bestandesspezifische

Kalibration zur Schätzung der Biomasse auf Basis der Ultraschallhöhe und des Bestandestyps in den Vordergrund gestellt.

Im Hinblick auf eine möglichst umfassend gültige Kalibration wurde die Abschätzung der Biomasse auf Basis der Ultraschallhöhe zunächst für den gesamten Datensatz aller Bestandestypen ermittelt und erreichte ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0.748$ bei einem Standardfehler (SE) von 1.046 t ha^{-1} . In bestandesspezifischen Beziehungen konnte die Schätzgüte bis zu $R^2 = 0.818$ bei $SE = 0.73$ verbessert werden. Die beste Schätzgüte wurde in reinen Weidelgrasbeständen erreicht (Tab. 2) was auf eine weitgehend homogene Struktur der Biomassen entlang der Bestandeshöhenschichtung hindeutet. Im Gegenzug zeigen Weißklee-Reinsaaten die vergleichsweise schlechteste Biomassschätzung mit Hinweis auf die kompakte Wuchsform der Art, deren Höhenwachstum in geringerem Maß mit der Ertragsentwicklung parallel läuft. In Mischbeständen kompensieren sich die Wuchseffekte beider Arten und zeigen für Gemenge (EA-Mittel 45 % Weißklee) eine hohe Schätzgüte (Tab. 2).

Tab. 2: Regressionsstatistik der gemessenen Biomassen (BM^a) und Ultraschallhöhen (USH^b) für den gesamten Datensatz sowie leguminosenspezifische Gemenge und Reinsaaten

Treatment	N	SE	R^2	Equation
Gesamter Datensatz	309	1.046	0.748 *** ^c	$BM = -0.9141 + 0.1298 \text{ USH} - 0.00041 \text{ USH}^2$
Gemenge inklusive Reinsaaten der spezifischen Bestandespartner				
White clover (W) ^d	154	0.730	0.818 ***	$BM = -1.42 + 0.1589 \text{ USH} - 0.00062 \text{ USH}^2$
Red clover (R) ^d	147	0.983	0.799 ***	$BM = -0.583 + 0.1006 \text{ USH}$
Lucerne (L)	82	1.241	0.799 ***	$BM = -0.279 + 0.0831 \text{ USH}$
Reinsaaten				
W	48	0.629	0.598 ***	$BM = -0.418 + 0.0976 \text{ USH}$
R	42	0.960	0.677 ***	$BM = -2.071 + 0.1975 \text{ USH} - 0.0013 \text{ USH}^2$
L	12	1.521	0.791 ***	$BM = -3.961 + 0.1225 \text{ USH}$
Grass (G) ^d	85	0.700	0.843 ***	$BM = -1.558 + 0.189 \text{ USH} - 0.0012 \text{ USH}^2$

^a BM = Biomasse ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) als abhängige Variable; ^b USH = Ultraschallhöhe (cm) als unabhängige Variable; ^c *** Signifikant bei $p > 0.001$; ^d Gleichungen, die für die Validation im On-the-go Experiment genutzt wurden.

Die mobilen Messungen (On-the-go) der Ultraschallhöhe in Längsrichtung entlang der Parzellen eines Feldversuchs (Abb. 1) geben ein Höhenprofil der Parzellen wieder (Abb. 1) Unter Verwendung bestandesspezifischer Funktionen (Tab. 2) wurden für jede Höhe die entsprechenden Biomassen und hieraus für jede Parzelle ein Mittelwert des Biomassertrages errechnet. Die ermittelten Werte überschätzen die gemessenen Referenzbiomassen im Mittel

um 21,4 %, wobei Gras-Reinbestände geringerer Ertragslage wegen zum Zeitpunkt der Messung geschobener Blütenstände in Verbindung mit geringer Blattmasse bis zu 40,7 % überschätzt wurden. Während in Weißklee-Gras-Beständen aufgrund gleicher Effekte ebenfalls hohe Überschätzungen auftraten (35,7 %) zeigten sich im Rotklee-Gras-Gemenge Unterschätzungen von 17,5 %. Bei der Erstellung der verwendeten Kalibrationsgleichungen war die Biomassezunahme mit einer Fortentwicklung des phänologischen Stadiums und damit einer Zunahme der Höhe verbunden. Im Parzellenversuch der mobilen Anwendung lagen dagegen bei gleichem fortgeschrittenem phänologischen Stadium (BBCH 60-70 des Dt. Weidelgrases) unterschiedliche Biomassen vor, die über eine Höhenmessung unzureichend abgeleitet werden konnten. Auf der anderen Seite kann der kompakte Wuchs der Rotklee-Grasbestände zu einer Unterschätzung führen.

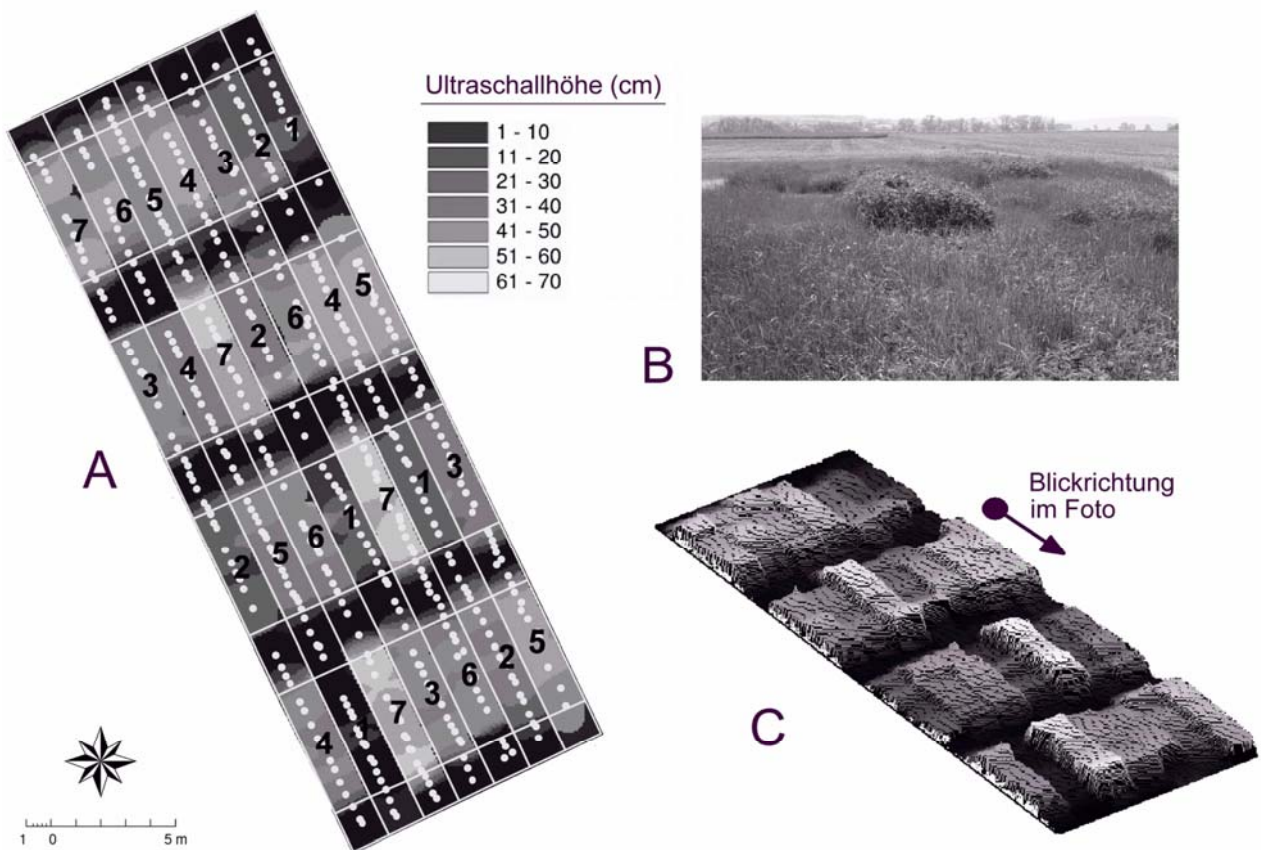


Abb. 1 Interpolierte Karte (A) der Ultraschallhöhen aus der mobilen Anwendung ergänzt durch eine 3D-Ansicht (C) und ein Foto (B) des überfahrenen Parzellenversuches. Die Punkte in Karte A kennzeichnen die GPS-Positionen an denen Ultraschallhöhen aufgezeichnet wurden.

Karte A in Abb. 1 zeigt an den Parzellengrenzen anstatt exakter Übergänge teilweise kontinuierliche Höhengradienten, die, besonders im Übergang von hohen Beständen, bis zur Mitte der Wege reichen können. Eine Analyse der Messwerte ergab signifikante Höhenabweichungen in den Wegen bis zu 50 cm Distanz vom Parzellenrand. Ursachen hierfür liegen u.a. in der Messcharakteristik des Sensors. Dieser identifiziert Objekte innerhalb seines akustischen Mess-Kegels ($D \leq 50\text{cm}$), wobei sich die GPS-Position auf das Zentrum des Sensors bezieht. Weiterhin kann ein Überhängen von z. B. Gräsern in den gemähten Arealen die Höhenmessung in diesen Übergangsbereichen beeinflussen

Der zur mobilen Messung verwendete Pflanzenbestand ist aufgrund der vom Kalibrationssatensatz abweichenden phänologischen Entwicklung nur eingeschränkt zur Validation geeignet, dennoch weist er auf Grenzen der Methode hin und zeigt den Bedarf einer weiteren Anpassung der Ultraschallsensorik.

Schlussfolgerungen

Die Schätzung der Biomass über die Ultraschallhöhe der Bestände ist insbesondere bei bestandesspezifischer Anpassung der Schätzfunktionen mit akzeptabler Güte ($R^2 = 0.6 - 0.85$) möglich. Unkraut- und phänologisch bedingte Inkonsistenzen in der Höhen-Biomasse-Beziehung beeinflussen insbesondere bei fortgeschrittenen Entwicklungsstadien der Bestände die Schätzgüte. In weiteren Schritten wäre zu prüfen, inwieweit die Kombination des Ultraschallsensors mit anderen Sensortechnologien eine Verbesserung der Ertragsschätzung ermöglicht.

Literatur

- HUTCHINGS, N.J., PHILLIPS, A.H., DOBSON, R.C., 1990: An ultrasonic rangefinder for measuring the undisturbed surface height of continuously grazed grass swards. *Grass and Forage Science* 45 (2), 119-127.
- MURPHY, W.M., SILMAN, J.P., BARRETO A.D.M., 1995: A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow grass-dominant white clover sward. *Grass and Forage Science* 50 (4), 452-455.
- NELDER, J.A., 1994: The statistics of linear models: Back to the basics. *Statistics and Computing* 4, 221-234.
- Nelder, J.A., Lane, P.W., 1995: The computer analysis of factorial experiments. In memoriam: Frank Yates. *American Statistician* 49, 382-385.
- SANDERSON, M.A., ROTZ, C.A., FULTZ, S.W., RAYBURN, E.B., 2001: Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter and pasture ruler. *Agronomy Journal* 93, 1281-1286.
- SHELLBERG, J., HILL, M.J., GERHARDS, R., ROTHMUND, M., BRAUN, M., 2008: Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy* 29 (2-3), 59-71.