

# Feldspektroskopische Messungen zur Bestimmung des Trockenmasseertrags von Leguminosen/Gras-Gemengen

S. Biewer<sup>1</sup>, S. Erasmi<sup>2</sup>, T. Fricke<sup>1</sup>, M. Kappas<sup>2</sup> und M. Wachendorf<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Grünlandwissenschaften und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel

<sup>2</sup>Geographisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen

## Einleitung

Der Informationsgehalt des reflektierten Sonnenlichts an Oberflächen wird in der Satellitenfernerkundung genutzt, um Aussagen über die Besiedlung, die Bebauung oder die Beschaffenheit der Erdoberfläche zu treffen. Dieselben Methoden werden in der Feldspektroskopie angewendet, nur dass sich hier der Sensor direkt über dem Pflanzenbestand befindet. Die gewonnenen Messwerte variieren u. a. je nach Pflanzenart, Bestandesarchitektur, Entwicklungsstadium, Ernährungszustand oder Pflanzendichte der Bestände. Diese Unterschiedlichkeit kann dazu genutzt werden, um auf verschiedene Parameter wie z. B. den Trockenmasseertrag, den Proteingehalt oder den Blattflächenindex der Pflanzen zu schließen. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass hierfür die Pflanzenbestände weder abgeerntet noch in anderer Form gestört werden.

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der feldspektroskopischen Erfassung des Trockenmasseertrags verschiedener Leguminosen/Gras-Gemenge. Der Versuch wurde unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt. Damit sollten, insbesondere für die feldspektroskopischen Messungen, äußere Störeinflüsse wie z. B. unterschiedliche Strahlungsverhältnisse ausgeschlossen werden.

## Material und Methoden

Es wurden 16 verschiedene Varianten in drei Wiederholungen zu vier verschiedenen Entwicklungsstadien geprüft. Neben Reinsaat von Einjährigem Weidelgras, Rotklee, Weißklee und Luzerne wurden verschiedene Gemengevarianten in unterschiedlichen Ansaatverhältnissen ausgesät (Tab.1). Es wurde keine der Varianten gedüngt.

	Ansaatverhältnis (kg/ha)				
Einjähriges Weidelgras (EW)	20				
Rotklee/EW	2:20	4:20	6:20	8:20	8:0
Weißklee/EW	1:20	2:20	3:20	4:20	4:0
Luzerne/EW	4:20	8:20	12:20	16:20	16:0

**Tab. 1:** Saatmengen (kg/ha) und Ansaatverhältnisse der Versuchsbestände.

Art der Gemenge	N	Mittelwert	s.e.	Min.	Max.
alle Gemenge u. Reinsaat	188	26.1	23.9	0	91.5
Bestände mit Rotklee	58	33.3	22.7	7.8	91.5
Bestände mit Weißklee	60	20.1	20.7	1.8	83.6
Bestände mit Luzerne	58	30.5	25.8	1.5	90.3

**Tab.2:** Verteilung der Ertragsanteile von Leguminosen (in %) im Gemenge und Reinsaat.

Um Bestände in verschiedenen Altersstufen beobachten und vergleichen zu können, wurden alle Varianten an vier Aussaatterminen in 2wöchigem Abstand gesät. Nach einem ersten Schröpfungsschnitt, der bei jeder Aussaat nach 9 Wochen erfolgte, standen zum gemeinsamen Erntezeitpunkt 4, 6, 8 sowie 10 Wochen alte Bestände zur Verfügung. Die Aussaat erfolgte von Hand in einem Reihenabstand von 12 cm und einer Saattiefe von 0,5 cm. Die

Holzgefäße (40 x 40 x 20 cm) wurden mit 16 cm homogenisiertem, feinkrümeligem Boden (sL- 1S; 3,6% S, 73% U, 23,4% T und ca. 2% Humus) befüllt. Die Phosphor-, Magnesium- und Kalium Versorgung lag bei einem pH-Wert von 6,7 in den Gehaltsklassen D bis E. Für die Bestimmung der Bestandeszusammensetzung wurde zur Ernte die gesamte oberirdische Biomasse in Gras, Leguminosen und nicht angesäte Arten fraktioniert. Nach der Bestimmung aller Arten wurden die Fraktionen für eine spätere Qualitätsbestimmung 30h bei 65°C getrocknet.

Vor jeder Ernte wurden alle Varianten unter Kunstlichtbedingungen mit einem Spektrometer der Firma Analytical Spectral Devices (ASD) im Wellenlängenbereich zwischen 350 und 2500 nm gemessen. Aus den Daten dieser Messungen wurden vier verschiedene Vegetationsindizes errechnet und mit den Daten der geernteten Gesamterträge in Beziehung gesetzt. Verwendet wurden die Indizes Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), Simple Ratio (SR) und Enhanced Vegetation Index (EVI), die aus dem Verhältnis nahinfraroter und roter Strahlung berechnet werden. Als weiterer Index wurde der Red Edge Index (REI) berechnet, der den Wendepunkt des Kurvenanstiegs zwischen sichtbarer und nahinfraroter Reflektion darstellt; (MW = Mittelwert):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{MW } 800\text{nm}-900\text{nm}) - (\text{MW } 650\text{nm}-700\text{nm})}{(\text{MW } 800\text{nm}-900\text{nm}) + (\text{MW } 650\text{nm}-700\text{nm})}$$

$$\text{SR} = \frac{940\text{nm}}{640\text{nm}}$$

$$\text{EVI} = \frac{((\text{MW } 800\text{nm}-900\text{nm}) - (\text{MW } 650\text{nm}-700\text{nm}))}{(\text{MW } 800\text{nm}-900\text{nm}) + 6 * (\text{MW } 650\text{nm}-700\text{nm}) - 7,5 * (\text{MW } 450\text{nm}-500\text{nm}) + 1} * 2$$

$$\text{REI} = \frac{700 + 40 * (((670\text{nm} + 780\text{nm}) / 2) - 700\text{nm})}{(740\text{nm} - 700\text{nm})}$$

## Ergebnisse und Diskussion

Für die TM-Ertragschätzung der untersuchten Pflanzenbestände eignet sich EVI von den vier untersuchten Vegetationsindizes am besten (Tab.3). Während der NDVI und der SR durch einfache Verhältnisbildung zwischen nahinfraroter und roter Strahlung errechnet werden, stellt der EVI eine weiter entwickelte Form dieser Indizes dar. Durch Korrekturwerte für atmosphärische Störungen und Hintergrundsignale der Pflanzenbestände wie z. B. Boden, abgestorbene oder verholzte Pflanzenteile kann eine genauere Erfassung der

**Tab. 3:** Standardfehler (s.e.) und Bestimmtheitsmaße (R<sup>2</sup>) der multiplen Regressionsanalysen des TM-Ertrags aller Ansaaten in Abhängigkeit von den Vegetationsindizes (EVI, REI, NDVI, SR) und den Ertragsanteilen der Leguminosen.

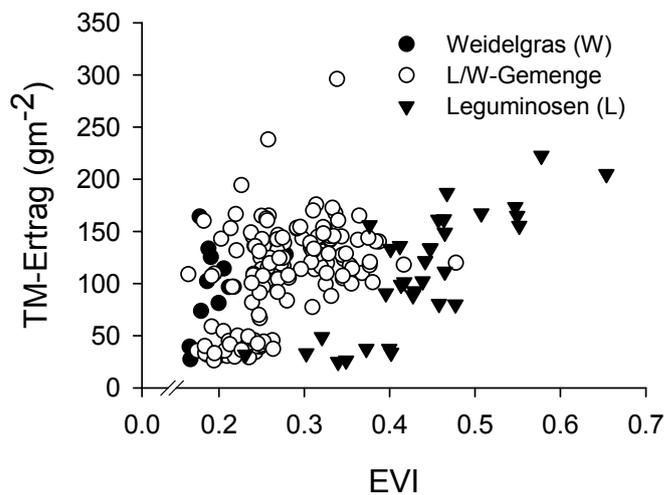
EVI		REI		NDVI		SR	
R <sup>2</sup>	s.e.						
0.34	40.2	0.09	47.1	n.s.		n.s.	

er für die Schätzung des TM-Ertrags der untersuchten Bestände nicht so gut geeignet zu sein.

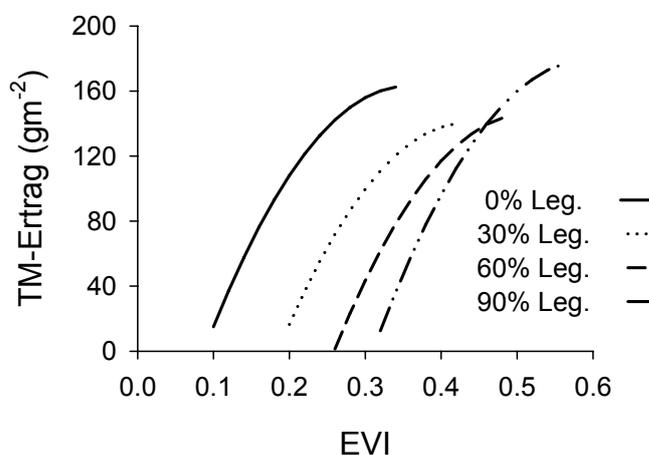
Die untersuchten Pflanzenbestände befanden sich je nach Saatzeitpunkt (2-wöchiger Abstand zwischen den Aussatterminen) in den Entwicklungsstadien Bestockung, Schossen, Ährenschieben und Anfang Blüte. Da bei der Feldspektroskopie das gesamte Reflexions-signal einer Variante gemessen wird, haben Bestandesarchitektur und Anteile sichtbaren Bodens einen erheblichen Einfluss auf die Ausprägung der Messwerte. Große Anteile des



**Abb. 1:** Leguminose und Weidelgras in seitlicher Ansicht (a, c) und in Aufsicht (b, d).



**Abb. 2:** TM-Erträge von Weidelgras, Leguminosen/ Weidelgras-Gemenge und Leguminosenreinsaat in Abhängigkeit vom EVI.



**Abb. 3:** TM-Ertrag in Abhängigkeit vom EVI ( $x_1$ ) und vom Ertragsanteil der Leguminosen ( $x_2$ ).

$R^2 = 0.34$ ; s.e. = 40.2

$$y = (-123,14) + 1607,7x_1 - 2258,38x_1^2 - 5,42x_2 + 11,81x_1 \cdot x_2$$

Bodens waren vom Sensor aus bei allen Varianten des jüngsten Aufwuchses sichtbar. Bei den drei älteren Aufwüchsen war bei allen Leguminosenreinsaaten kein Boden mehr zusehen, wohingegen das Weidelgras durch seine erectophile Blattstellung auch bei höheren Biomasseerträgen noch größerer Areale Bodens in der Aufsicht zeigte (Abb.1).

Der Einfluss der Bestandesarchitektur ist vermutlich auch für die uneinheitliche Beziehung zwischen EVI und TM-Ertrag verantwortlich (Abb.2). In Abb.2 sind die TM-Erträge der Reinsaaten von Weidelgras und Leguminosen sowie von Leguminosen/Weidelgras-Gemengen in Abhängigkeit vom EVI dargestellt. Das Einjährige Weidelgras in Reinsaat weist relativ geringe Werte des Vegetationsindex auf, wohingegen die Leguminosenreinsaaten hohe Werte zeigen. Die Indexwerte der Leguminosen/Weidelgras-Gemenge liegen zwischen denen der Leguminosen- und Grasreinsaaten. Die Vermutung liegt hier nahe, dass der Ertragsanteil der Leguminosen im Gemenge die Beziehung zwischen EVI und dem TM-Ertrag beeinflusst. Aus diesem Grund wurde neben dem EVI der Leguminosenanteil als Einflussgröße für die

Berechnung des TM-Ertrages aller Gemengevarianten hinzugezogen (Abb. 3, Tab. 2). Das Ergebnis dieser Regressionsanalyse ergibt einen signifikanten negativen quadratischen Effekt des EVI mit einer positiven Interaktion zwischen EVI und dem Ertragsanteil der

Leguminosen. Der TM-Ertrag der verschiedenen Varianten nimmt also mit steigendem Vegetationsindex EVI bis zu einem Maximum zu. Im abfallenden Bereich der Kurve sind keine Messwerte vorhanden, so dass an diesen Stellen die Funktion nicht unterstützt wird und daher auch nicht dargestellt ist. Daneben erhöhen sich gleichzeitig die Werte des EVI mit zunehmendem Ertragsanteil der Leguminosen im Gemenge. Die Ertragskurve verschiebt sich also mit steigendem Anteil Leguminosen in den Gemengen nach rechts. Für die untersuchten Pflanzenbestände scheint eine Abschätzung des TM-Ertrags durch den Vegetationsindex EVI demnach nicht möglich zu sein, wenn der Leguminosenanteil im Gemenge nicht bekannt ist. Dahinter könnte sich aber auch die Tatsache verbergen, dass der Ertragsanteil der Leguminosen auch als Indikator für die Bodenbedeckung dienen könnte. Mit zunehmendem Ertragsanteil der Leguminosen im Gemenge nimmt nämlich auch der Anteil sichtbaren Bodens ab. Die Einbeziehung des Deckungsgrades von Pflanzenbeständen wäre demnach ein vielversprechenderer Ansatz für die Schätzung des TM-Ertrages.

### **Fazit**

- Für die Schätzung des TM-Ertrages von Leguminosen/Gras-Gemengen eignet sich von den untersuchten Vegetationsindizes SR, NDVI, REI und EVI vor allem EVI, da er relativ unempfindlich gegenüber äußeren Störeinflüssen wie z. B. die des Bodens und der Atmosphäre ist.
- Das einfallende Licht wird von Leguminosen- und Einjährigem Weidelgrasbeständen aufgrund ihrer verschiedenartigen Bestandesarchitektur unterschiedlich stark reflektiert. Pflanzenbestände mit einem höheren Ertragsanteil von Leguminosen im Gemenge weisen bei gleichem TM-Ertrag höhere Werte des EVI auf als grasdominierte Bestände. Diese positive Beziehung zwischen EVI und dem Ertragsanteil der Leguminosen erschwert die Schätzung des TM-Ertrags von Leguminosen/Gras-Gemengen.
- Hinter dem Ertragsanteil der Leguminosen im Gemenge verbirgt sich indirekt auch der Anteil sichtbaren Bodens im Gemenge. Das Einjährige Weidelgras der untersuchten Pflanzenbestände war sehr schnellwüchsig und wuchs deshalb rasch in die Höhe ohne vorher gut zu Bestocken. Diese in der Praxis unüblichen Pflanzenbestände hatten daher große Anteile sichtbaren Bodens, obwohl sie einen relativ hohen Biomasseertrag aufwiesen. Zur besseren Schätzung des TM-Ertrags solcher Gemenge sollte aus diesem Grund in weiteren Untersuchungen der Deckungsgrad der Pflanzenbestände mit einbezogen werden.