

Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaugemengen- mit Hilfe bildanalytischer Methoden – erste Ergebnisse eines Gefäßversuchs

M. Himstedt, T. Fricke und M. Wachendorf

Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel

Einleitung

Futterbaubestände weisen in ihrer Zusammensetzung oft eine große Heterogenität auf, die sich auf zahlreiche Leistungsparameter auswirkt. Um die Bestandeszusammensetzung effizienter und flächengenaue ermitteln zu können soll eine indirekte, nicht destruktive Methode entwickelt werden. Wichtigstes Kriterium hierbei ist der Ertragsanteil der Leguminosen, da er entscheidenden Einfluss auf die meisten Leistungsparameter, wie z. B. N-Fixierungsleistung und Ertrag hat. Die Methoden sollen längerfristig in Konzepte für teilflächenspezifische Bearbeitung einfließen, da unter Berücksichtigung der Bestandesunterschiede einzelne Bearbeitungsverfahren und auch die N-Versorgung der Nachfrucht genau abgestimmt werden können.

Zur Entwicklung der bildanalytischen Methode werden verschiedene Leguminosen-Gras Gemenge eines Gefäßversuchs digital fotografiert. Erste Ergebnisse der Bildanalyse werden mit visuell klassifizierten Deckungsgraden der Leguminosen und mit den durch Fraktionierung der geernteten Biomasse erhaltenen Leguminosen-Ertragsanteilen korreliert, um die Genauigkeit der bildanalytischen Methode abzuschätzen. Für die Bildanalyse wird das Programm Optimas[®] der Firma Media Cybernetics[®] verwendet.

Material und Methoden

In einem 9-wöchigen Gefäßversuch wurden unterschiedliche Leguminosen-Gras Gemenge unter kontrollierten Licht-, Temperatur- und Feuchtebedingungen untersucht. Angesät wurden Reinsaaten und binäre Gemenge von Rotklee, Weißklee, Luzerne und Deutschem Weidelgras in jeweils vier Wiederholungen. Das Substrat bestand aus homogenisiertem, feinkrümeligem Boden der Versuchsstation Neu-Eichenberg (sL- IS; 3,6% S, 73% U, 23,4% T und ca. 2% Humus; pH-Wert 6,7; P-, Mg-, K- Versorgung in Gehaltsklassen D bis E). Für die Bestimmung der Bestandeszusammensetzung wurde zur Ernte nach 77 Tagen Aufwuchszeit die gesamte oberirdische Biomasse in Gras, Leguminosen und nicht angesäte Arten fraktioniert. Die Fraktionen wurden für eine spätere Qualitätsbestimmung 18h bei 65°C getrocknet.

Vor jeder Ernte wurden die Varianten mit einer Digitalkamera fotografiert. Ein horizontal in Aufwuchshöhe platzierter Aluminiumrahmen ermöglicht die für die Bildanalyse nötige Georeferenzierung der Bilder mit SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses Version 2.0, Göttingen, 2005) anhand von vier konkreten Eckpunkten.

Die Bildanalyse mit Optimas[®] erfasst den Deckungsgrad der Leguminosen in Prozent der Gesamtfläche des digitalen Bildes. Um eine direkt vergleichbare Referenz zu erhalten, wurden mit dem GIS-Programm TopoL[®] (Version 6.5) bei acht ausgewählten Versuchsbeständen die Leguminosen visuell klassifiziert und durch Umranden der Leguminosen-Flächen vektorisiert. Ausgewählt wurden jeweils eine Gras(G)-, Rotklee(R)-, Weiß-

klée(W)- und Luzerne(L)-Reinsaat, zwei Rotklee gras-Gemenge mit 8kg/ha (R8G) bzw. 2 kg/ha (R2G) Aussaatstärke des Rotklee s, ein Weißklee gras(WG)- und ein Luzerne gras(LG)-Gemenge. Die in den Bildern vektorisierten Leguminosenbestandteile wurden als Fläche ausgewiesen und in Prozent der Gesamtfläche angegeben (visuelle Bildklassifikation P_v). Dieser Deckungsgrad wird verglichen mit dem mit Optimas[®] ermittelten Flächen-Anteil der Leguminosen (Bildanalyse mit Optimas[®] P_a).

Die Ermittlung des Leguminosen-Deckungsgrades P_a wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Einlesen der digitalen Bilder in Optimas[®] im tiff-Format.
2. Konvertierung der digitalen Farbbilder in 8 bit Graustufenbilder.
3. Segmentieren des Bildinhaltes in Vorder- und Hintergrund (Schwellenwert). Der Vordergrund enthält den Anteil des Bildes aus dem Informationen gewonnen werden sollen, also möglichst alle Leguminosen und wenig Gras, Beikräuter und Boden. Der Schwellenwert wurde für jedes Bild neu berechnet, indem jeweils 10% der Bildpunkte mit den höchsten (hellsten) und niedrigsten (dunkelsten) vorhandenen Grauwerten dem Hintergrund zugeordnet wurden. Nur Bildpunkte mit Grauwerten innerhalb des Schwellenwertbereichs werden in die Berechnung der Fläche am Ende der Prozedur mit einbezogen.
4. Da die sichtbaren Leguminosenflächen im Gegensatz zu den Gräsern auf den Bildern breiter sind, kann die Kombination der Prozeduren *Erode* (abschneiden) und *Dilate* (erweitern) zu einem ersten Ergebnis führen. Mit der Erodierung werden alle Graustufenwerte der Pixel einer Nachbarschaft mit dem Graustufenwert des dunkelsten Pixels innerhalb der Nachbarschaft (Nachbarschaft definierbar durch Größe und Form des Probengitters) ersetzt. Durch diese Aktion werden schmale Flächen eliminiert und nur noch Flächen mit einer bestimmten Größe bleiben erhalten. Durch eine anschließende Dilatation in gleichem Umfang wie die Erodierung werden die verbliebenen Flächen wieder auf ihre Ausgangsgröße gebracht. Der Deckungsgrad der noch vorhandenen Flächen im oben festgelegten Graustufenbereich (Schwellenwert) kann nun bestimmt werden. Die Erodierung und Dilatation kann in verschiedenen großen Nachbarschaften (Probengitter mit 3*3, 5*5, 7*7 und 9*9 Pixel) und in verschiedenen Iterationen (Wiederholung der Prozedur) durchgeführt werden. Als Form der Nachbarschaft wurde einheitlich ein Quadrat gewählt. Um die beste Kombination von Größe und Iteration zu ermitteln wurden an acht Digitalbildern alle möglichen Verfahrens-Kombinationen geprüft und mit den vorliegenden visuell klassifizierten Leguminosen-Deckungsgraden verglichen.
5. Die beste Kombination wurde durch Differenzbildung der durch Bildanalyse ermittelten Deckungsgrade (P_a) und der durch visuelle Klassifikation (P_v) ermittelten Deckungsgrade berechnet. Das Verfahren ist umso günstiger zu beurteilen, je mehr sich Mittelwert und Standardabweichung der Differenz dem Wert Null nähern.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswirkungen der beiden Faktoren Größe der Nachbarschaft und Iteration von *Erode* und *Dilate* auf die Güte der Ermittlung des Deckungsgrades ist in Abb.1 dargestellt. Am Beispiel der Varianten Gras-Reinsaat und Rotklee gras (R8G) sind die Differenzen von $P_v - P_a$ dargestellt, die Bezugslinie ist die Null-Linie. Je geringer die Differenz-Werte, desto besser ist die Abschätzung des Leguminosen-Deckungsgrades durch Bildanalyse mit

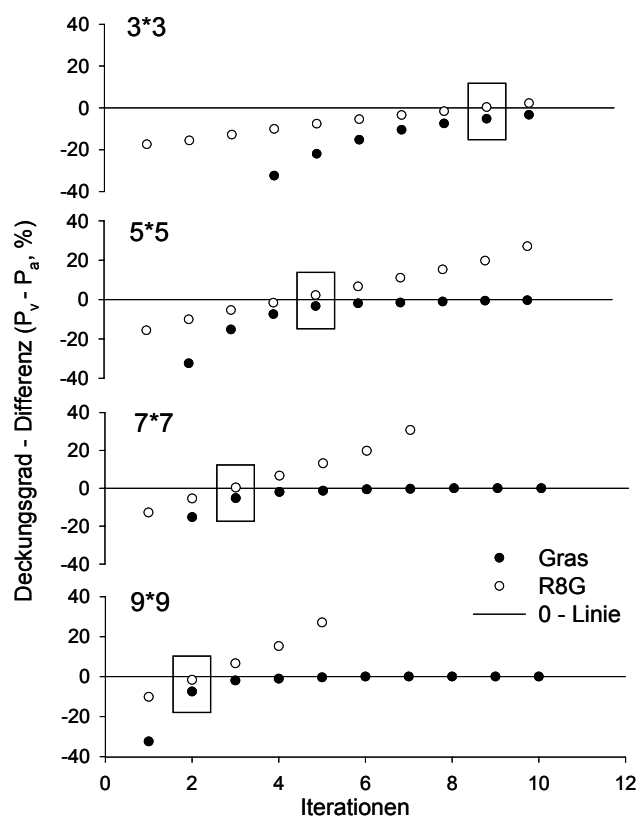


Abb.1: Differenzen der ermittelten Leguminosen-Deckungsgrade der geprüften Kombinationen (Größe 3*3, 5*5, 7*7, 9*9 Pixel und Iterationen) der Erode/ Dilate-Prozedur am Beispiel der Gras-Reinsaat und des Rotkleegrases (R8G). Die Kästchen heben die Prozeduren mit minimalen Differenzen hervor. Differenzen > 40% werden nicht dargestellt.

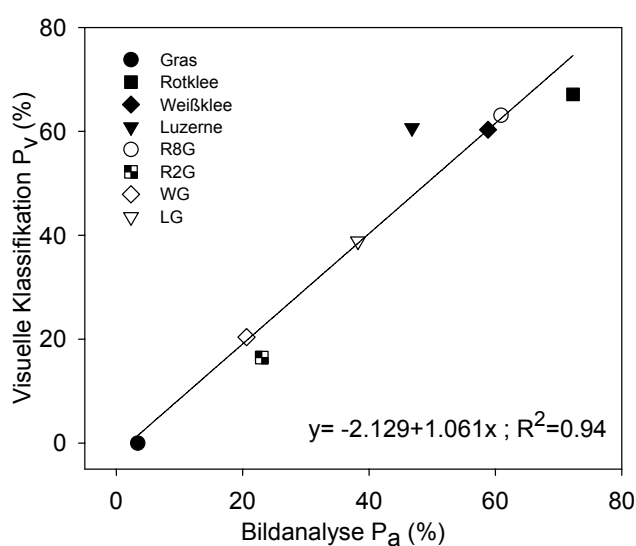


Abb.2: Beziehung zwischen den durch Bildanalyse errechneten Deckungsgraden P_a und den visuell klassifizierten Deckungsgraden P_v der acht Kalibrationsbestände.

Optimas[®] (P_a) bezogen auf die visuell klassifizierte Deckungsgrade (P_v). Mit zunehmender Iterationszahl nähern sich die Differenzen der Null-Linie, bis sie sie durchschneiden. Ist die Differenz negativ, so wurde mit der Bildanalyse (P_a) ein höherer Deckungsgrad errechnet als visuell klassifiziert (P_v) wurde. Ist die Differenz positiv, so wurden mit der Bildanalyse weniger Leguminosen ermittelt als vorhanden. Bei der Gras-Reinsaat bleibt die Differenz ab einer bestimmten Iterationsstufe bei Null, da durch die Bildanalyse keine Flächen mehr erkannt wurden. Das bedeutet, dass mit diesem Verfahren zu Beginn auch in der Gras-Reinsaat Leguminosenblätter identifiziert wurden, obwohl keine vorhanden waren.

Entscheidend für die Wahl der optimalen Prozedur ist diejenige Iterationszahl, an der das Gras nicht mit zum Leguminosen-Deckungsgrad gerechnet wird, aber noch möglichst wenig von der Leguminosen-Fläche durch Erodieren eliminiert wurde. Der Vergleich der verschiedenen Prozeduren anhand von Mittelwert und Standardabweichung ergab die besten Ergebnisse bei einer Nachbarschaftsgröße von 5*5 Pixeln mit 5 Iterationen. Der Mittelwert der Differenzen der acht Varianten ist mit 0,36 sehr nah bei Null ($s=6,3$).

Die oben ermittelte optimale Prozedur liefert anhand der acht ausgewählten Varianten Leguminosen-Deckungsgrade, die in einem sehr engen linearen Zusammenhang zu den durch visuelle Klassifizierung ermittelten Deckungsgraden stehen (Abb. 2). Es stellt sich nun die Frage, ob diese Güte der Beziehung auch zwischen den berechneten Deckungsgradwerten P_a und den gemessenen Leguminosen-Ertragsanteilen besteht. Das Ergebnis ist in

Form einer Regressionsanalyse in Abb. 3 dargestellt, wobei alle Varianten in jeweils vier Wiederholungen untersucht wurden (insgesamt 32 Bilder). Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen P_a und den Ertragsanteilen ($R^2=0.7$), der allerdings nicht ein so hohes Bestimmtheitsmaß wie im Vergleich mit P_v aufweist. Auffällig ist, dass Rotklee und Weißklee in Reinsaat und Mischung eher auf einer Linie liegen, Luzerne und Gras dagegen etwas abweichen.

Bei der Gras-Reinsaat wurde mit der Bildanalyse P_a mehr Leguminosen identifiziert als vorhanden waren. Ursache hierfür könnten rundblättrige Beikräuter wie *Stellaria media* und der teilweise sichtbare Boden

sein. Die Luzerne dagegen wurde mit der Bildanalyse P_a mit geringerem Deckungsgrad gemessen als die Ertragsanteile ergaben. Hier könnte die längliche Blattform der Luzerneblätter eine Rolle spielen, sodass sie durch zu starke Erodierung nicht vollständig miterfasst wurden. Bei einem Vergleich von P_a und den durch Fraktionieren ermittelten Ertragsanteilen der Parzellen muss auch bedacht werden, dass unter dem Blätterdach der Leguminosen vorhandene Beikräuter und Gräser nicht mit in den von Optimas ermittelten Deckungsgrad einfließen, den Ertragsanteil aber entscheidend beeinflussen können.

Es bleibt anhand umfangreicher Versuchsanstellungen zu prüfen unter welchen Bedingungen ein robuster Zusammenhang besteht und welche weiteren Möglichkeiten der Mustererkennung für die Ermittlung der Leguminosen-Ertragsanteile eingesetzt werden können (komplexe Klassenzugehörigkeitskriterien wie z. B. Rechtwinkligkeit/ Rundheit, Größe).

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Anhand von acht Kalibrationsbeständen wurde eine optimale *Erode-Dilate*-Prozedur zur bildanalytischen Bestimmung des Leguminosen-Deckungsgrades ermittelt und eingesetzt. Es besteht eine sehr gute lineare Beziehung zwischen diesen ermittelten Deckungsgraden und den visuell klassifizierten Referenz-Deckungsgraden der acht Bestände ($R^2=0.94$). Die Prozedur angewendet auf insgesamt 32 Bestände und verglichen mit den jeweils gemessenen Ertragsanteilen der Leguminosen bestätigte auch hier einen guten Zusammenhang durch eine Regressionsanalyse ($R^2=0.7$). Der Einsatz der Bildanalyse zur Ermittlung der Bestandeszusammensetzung zeigt erste gute Ergebnisse. Es folgen weitere Versuchsanstellungen zur Prüfung robuster Zusammenhänge auch in Bezug auf das Bestandalter. Weitere Möglichkeiten der Mustererkennung werden ebenfalls geprüft.

Literatur

Media Cybernetics® The Imaging Experts, 81999, Optimas 6.5 From Images to Answers™ User Guide and Technical Reference, 9. Ausgabe, Silver Spring.

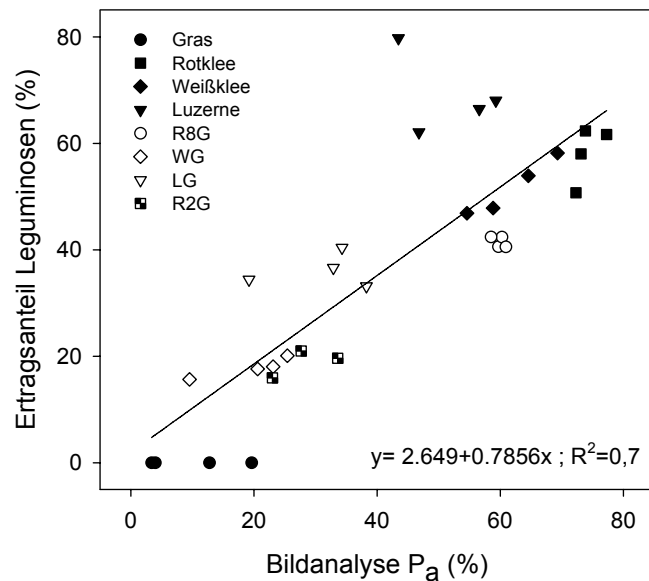


Abb.3: Beziehung zwischen Deckungsgrad nach Bildanalyse P_a und dem gemessenen Ertragsanteil der Leguminosen in 77 Tage alten Beständen, alle Varianten in je 4 Wiederholungen.