

Simulation landwirtschaftlicher Online-Sensorik mit Hilfe abbildender Hyperspektraldaten

Simulation of agricultural online-sensors using hyperspectral imaging

Holger Lilienthal⁽¹⁾, Nicole Richter⁽¹⁾, Thomas Jarmer⁽²⁾, Bastian Siegmann⁽²⁾,
Thomas Selige⁽³⁾, Bernhard Höfle⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, D- 38116 Braunschweig,
Email: holger.lilienthal@jki.bund.de, nicole.richter@jki.bund.de

⁽²⁾ Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück, Barbarastrasse 22b, D-49076
Osnabrück, Germany, Email: tjarmer@igf.uni-osnabrueck.de, bsiegmann@igf.uni-osnabrueck.de

⁽³⁾ TU München, Lehrstuhl für Bodenökologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Neuherberg,
Email: selige@wzw.tum.de

⁽⁴⁾ Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Geographisches Institut, Berliner Straße 48, D-69120 Heidelberg,
Email: bernhard.hoefle@geog.uni-heidelberg.de

Zusammenfassung

Online-Sensoren zu Erfassung der räumlichen Variabilität von Vegetationsbeständen finden immer mehr Eingang in die landwirtschaftliche Praxis. Vor allem die teilschlagspezifische Düngung auf Basis von Sensormessungen ist ein Hauptanwendungsgebiet. Die Sensoren messen dabei die Reflexion des Vegetationsbestandes in ausgewählten Spektralkanälen (ca. 2-5 Kanäle). Die Spektralinformationen werden anschließend zu Indizes (z.B. NDVI oder REIP) aggregiert, die einen Zusammenhang zur Biomasse oder Stickstoffversorgung aufweisen sollen. Da die meisten Systeme nur einen kleinen Teilbereich des reflektiven Spektrums aufnehmen, stellt sich die Frage, ob diese Messungen die komplette Variabilität des Schlages erfassen können.

Am 10. Mai 2011 wurde im Rahmen des Verbundprojektes *HyLand* nordwestlich von Köthen (Sachsen-Anhalt) eine Befliegung mit dem flugzeuggetragenen Hyperspektralsensor AISA-DUAL (Specim-Finnland) des UFZ Leipzig durchgeführt. Die Bilddaten wurden in 367 Spektralkanälen mit einer geometrischen Auflösung (GSD) von 3 m aufgezeichnet. Aus den Bilddaten wurden verschiedene Vegetationsindizes berechnet, die auch bei den Online-Sensoren Verwendung finden. Zur Bestimmung der räumlichen Heterogenität wurden die Bilddaten einer Hauptkomponententransformation unterzogen. Die zweite Hauptkomponente enthält die wesentlichen Strukturen der räumlichen Variabilität, diese wurde als Vergleichsstandard für die Heterogenität verwendet. Für jedes Vegetationsindexbild wurde die räumliche Korrelation im Vergleich zur zweiten Hauptkomponente berechnet.

Schlüsselwörter: *hyperspektrale Reflexionsmessung, Fernerkundung, Precision Agriculture, Online-Sensoren*

Abstract

Online-sensors for the detection of spatial in-field variability of vegetation are becoming more popular in agricultural practice. Most of all, the site-specific fertilization on the basis of sensor measurements is the major application area. The sensors measure the reflection of vegetation in selected spectral bands (ca. 2-5 bands). The spectral information will be aggregated to indices (e.g. NDVI or REIP) later, which are supposed to show a correlation to biomass or nitrogen supply. Since most systems measure only a small portion of the reflective

spectrum, the question arises whether these measurements capture the full variability of the field.

On 10th of May 2011 a flight survey with the airborne hyperspectral AISA-DUAL system (Specim Finland) from UFZ Leipzig has been performed north-west of Köthen (Saxony-Anhalt) as part of the joint project “Hyland”. The image data were recorded in 367 spectral bands with a geometric ground resolution (GSD) of 3 m. From the image data, the various indices were calculated, which are also used by online-sensors. For determining spatial heterogeneity, the image data has been converted to principle components. The second principal component contains the essential structures of the spatial variability; this was used as a comparison standard for the heterogeneity. For each vegetation index image, the spatial correlation to the second principle component was calculated.

Keywords: hyperspectral *reflectance measurement*, *remote sensing*, *precision agriculture*, *online-sensors*

1 Einleitung

Kleinräumige Standortunterschiede können zu unterschiedlichen Erträgen und Qualitätsunterschieden führen (Haneklaus et al. 1997). Bei einer einheitlichen Bewirtschaftung ohne Berücksichtigung der räumlichen Variabilität kommt es zwangsläufig zu einem ökonomisch und ökologisch ungünstigen Einsatz von Düngemitteln. Mit Hilfe von Online-Sensorik wird versucht, die Düngergaben an den tatsächlichen Bedarf der Vegetation anzupassen. Die technische Grundlage für diese Online-Sensorik stellt die Messung der spektralen Reflexion dar. In Anlehnung an die Satellitenfernerkundung werden dabei spektrale Vegetationsindizes gebildet, die in einem funktionalen Zusammenhang zu Vegetationsparametern wie zum Beispiel Biomasse oder Stickstoffzustand stehen (Mistele & Schmidhalter 2010).

Mittlerweile ist eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren verfügbar, die aber ähnliche Vegetationsindizes zur Bestimmung der Düngermenge verwenden. In Tabelle 1 sind aktuell verfügbare Online-Sensoren zusammengestellt.

Tabelle 1: Online-Sensoren für die teilflächenspezifische Düngung.

Sensor	Hersteller	Indizes
N-Sensor [®] (ALS)	Yara	REIP, SR
Crop Circle [™]	Holland Scientific	NDVI, NDRE
GreenSeeker [®]	N-Tech/Trimble	NDVI, SAVI, SR
Crop Sensor	Claas/Agrocom	NDVI
Isaria	Fritzmeier	REIP
CropSpec [™]	Yara/Topcon	NDVI

Am häufigsten findet der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) von Rouse et al. (1974) Verwendung, gefolgt vom Red Edge Inflection Point (REIP, Guyot et al. 1988) und dem Simple Ratio (SR, Jordan 1969). Darüber hinaus werden dem NDVI verwandte Indizes wie der Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI, Huete 1988) und Normalized Difference Red Edge (NDRE, Clarke et al. 2001) berücksichtigt. Die Berechnungsformeln der Indizes sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Berechnungsformeln ausgewählter Vegetationsindizes.

Index	Formel	Wertebereich
NDVI (Rouse et al., 1974)	$\frac{(\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{\text{Rot}})}{(\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{\text{Rot}})}$	-1 - +1
REIP (Guyot et al., 1988)	$700 + 40 \cdot \frac{(\lambda_{670} + \lambda_{780})}{2} - \lambda_{700}}{(\lambda_{740} - \lambda_{700})}$	700 - 760
SR (Jordan, 1969)	$\frac{\lambda_{\text{NIR}}}{\lambda_{\text{Rot}}}$	0 - 100
SAVI (Heute, 1988)	$\frac{(\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{\text{Rot}})}{(\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{\text{Rot}} + 0.5)} \cdot 1.5$	-1 - +1.5
NDRE (Clarke et al., 2001)	$\frac{(\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{730})}{(\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{730})}$	-1 - +1

Die Online-Sensoren führen auf dem Schlag Punktmessungen durch und regeln auf der Basis der Messung direkt die auszugebende Düngermenge (Online-Ansatz). Ob diese Messungen überhaupt die Variabilität des Bestandes erfassen können, ist nur mit Hilfe echter Flächendaten zu überprüfen. Dazu eignen sich flugzeuggetragene, bildgebende Hyperspektralsysteme, da diese in der Lage sind, hochauflösende Spektralinformationen im größeren räumlichen Kontext zu erfassen.

2 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet liegt nordwestlich der Stadt Köthen in Sachsen-Anhalt (51°47,62 N; 11°54,9 E) im Regenschatten des Harzes und weist eine jährliche Niederschlagssumme von 430 mm auf. Die Region ist Teil des mitteldeutschen Trockengebietes, mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von 9°C; der dominierende Bodentyp ist die Schwarzerde. Auf einem 80 ha großen Schlag wurde 2011 Winterweizen angebaut (Abb. 1). Aus technischen Gründen wurde nur ein 50 ha großes Teilstück ausgewertet.

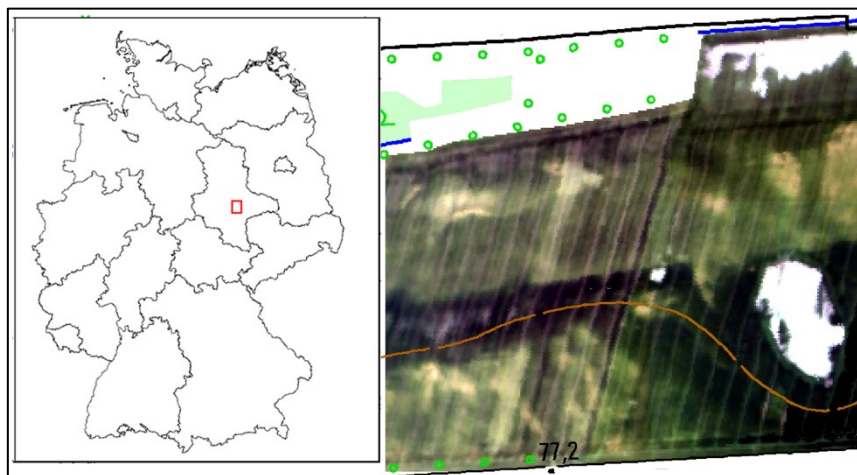


Abbildung 1: Weizenschlag im Untersuchungsgebiet Köthen

Bilddaten

Am 10. Mai 2011 fand eine Befliegung des Untersuchungsgebietes mit dem flugzeuggetragenen Hyperspektralsensor AISA-DUAL (Specim, Spectral Imaging Ltd.) statt. Die Aufzeichnung der Bilddaten erfolgte in 367 Spektralkanälen mit einer geometrischen Auflösung von 3m. Die radiometrische Korrektur der Daten wurde zunächst mit der Software CaliGeo durchgeführt. Anschließend erfolgte eine zusätzliche Korrektur der Daten mit Hilfe des Programms ROME (Reduction Of Miscalibration Effects), um Streifen in den Bilddaten zu beseitigen, die sich nach der radiometrischen Korrektur zeigten (Rogaß et al. 2011). Dadurch konnten die fehlerhaften Bildpixel, die sich in Form von Streifen entlang der Flugrichtung durch die Bilddaten ziehen verringert, aber nicht komplett beseitigt werden.

Der nächste Prozessierungsschritt bestand in der Atmosphärenkorrektur der Daten. Dazu wurde die Software FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of spectral Hyper cubes) verwendet, die in der Software ENVI (Exelis Visual Information Solutions) implementiert ist. Während der Befliegung wurden zusätzlich helle und dunkle Referenzflächen am Boden mit einem ASD FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices Inc.) spektral gemessen. Mit Hilfe der Reflexionsspektren der Referenzflächen wurde eine Empirical-Line-Korrektur der Bilddaten durchgeführt, um die Reflexionswerte der Bilddaten noch besser an die spektralen Geländemessungen anzupassen (Smith & Milton 1999). Abschließend erfolgte die geometrische Korrektur der Daten, wozu erneut die Software CaliGeo verwendet wurde.

Aus den prozessierten Bilddaten wurden fünf verschiedene Vegetationsindizes berechnet (siehe Tabelle 2.), die auf ihre räumlichen Strukturen hin untersucht wurden. Als Referenz für die räumliche Variabilität des Schlages wurde ein weiterer Datensatz aus den hyperspektralen Daten produziert: Der Bilddatensatz wurde auf 86 Kanäle reduziert (413 - 802 nm), um dem spektralen Meßbereich der verschiedenen Online-Sensoren zu entsprechen. Anschließend wurden die Daten einer Hauptkomponententransformation unterzogen; dabei enthalten die ersten beiden Hauptkomponente 98 % der Varianz. Die erste Hauptkomponente repräsentierte hauptsächlich Helligkeitsunterschiede, die zweite Hauptkomponente die räumliche Variabilität. Die zweite Hauptkomponente wurde daher als Referenz für die Variabilität festgelegt.

Da die Vegetationsindizes und die zweite Hauptkomponente unterschiedliche Wertebereiche aufweisen, wurden sie für die weitere Prozessierung normalisiert. Abschließend wurden die lokalen Korrelationen zwischen der zweiten Hauptkomponente und den entsprechenden Vegetationsindizes über ein *Moving window* Verfahren (Schmidt 2002) berechnet. Dazu wurde ein räumliches Ähnlichkeitsmaß über ein 3x3 Pixel großes Fenster über jeden Bilddatensatz errechnet und aus den jeweils 9 Pixeln der Korrelationskoeffizienten nach Pearson errechnet. Die Ergebnisbilder wurden in 20 Klassen eingeteilt, und der prozentuale Anteil der Pixel in jeder Klasse berechnet. Für die weitere Untersuchung wurden nur die 3 Klassen mit den höchsten positiven Korrelationskoeffizienten betrachtet. Hohe negative Korrelationskoeffizienten traten nicht auf.

3 Ergebnisse und Diskussion

Der untersuchte Weizenschlag weist im Nordosten und Südosten größere unbewachsene Flächen auf, die im Herbst unter Wasser standen, und deshalb nicht bestellt wurden. Diese Flächen (rote Flächen in Abb.2) wurden von den meisten Indizes auch richtig erkannt. Eine Ausnahme stellt die nordöstliche Fläche da, die im REIP Index nicht gut detektiert werden konnte. Grundsätzlich sind die verschiedenen Vegetationsindizes in der Lage, die räumliche Variabilität des Weizenbestandes, die sich in der zweiten Hauptkomponente manifestiert, abzubilden (Abb. 2). Besonders die Vorgewende, die bei der Bearbeitung mit doppelter

Saatstärke bestellt wurden, treten als Linienstrukturen in allen Indexbildern gut hervor. Die Bestände um die südöstliche Vernässungsstelle zeigen in allen Indizes eine deutlich bessere Entwicklung. Hier konnten die Wasserdefizite, die in den anderen Bereichen des Schlages vorherrschten, ausgeglichen werden.

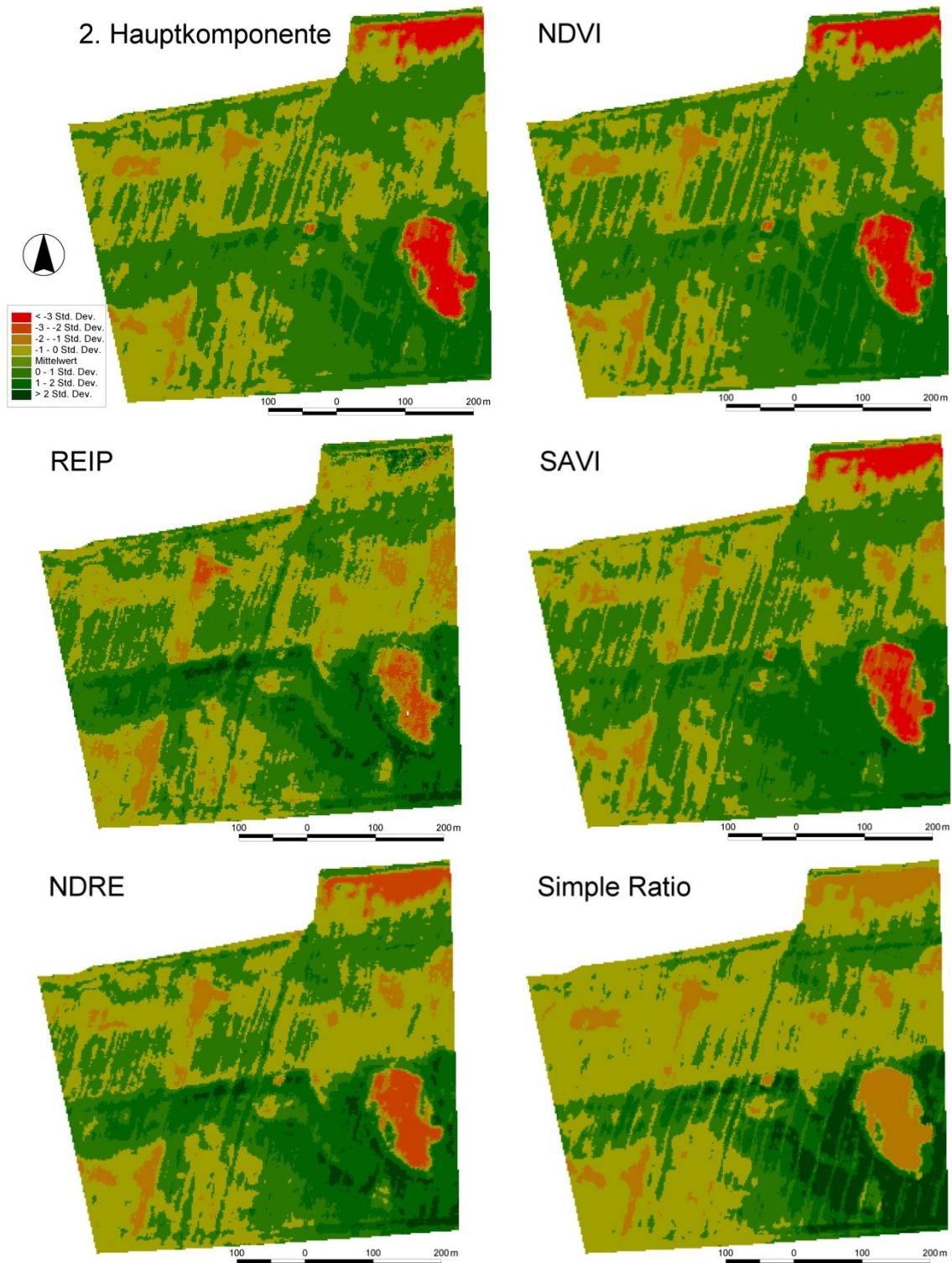


Abbildung 2: Zweite Hauptkomponente und verschiedene Vegetationsindizes eines Weizenschlages.

Betrachtet man nun die Indizes hinsichtlich der Erfassung der räumlichen Heterogenität, so weisen die räumlichen Korrelationskoeffizienten deutliche Unterschiede auf, wie die prozentualen Anteile der einzelnen Klassen an den Gesamtbildpixeln zeigen (Tab. 3).

Tabelle 3: Prozentualer Anteil der Pixel der klassifizierten lokalen Korrelationskoeffizienten zwischen Vegetationsindizes und zweiter Hauptkomponente.

Korrelationskoeffizient (Klassen)	NDVI	REIP	SAVI	NDRE	SR
0,9 -1,0	90,7	35,3	85,7	64,8	90,7
0,8 – 0,9	4,1	18,3	6,6	15,0	4,1
0,7 – 0,8	1,3	10,5	2,3	6,5	1,4
Summe	96,1 %	64,1 %	94,6 %	86,3 %	96,2 %

Es zeigt sich, dass über 96% der Pixel des Simple Ratio oder des NDVI Korrelationskoeffizienten von über 0,7 aufweisen. Der SAVI als modifizierter NDVI zeigt mit 94,6% einen ebenfalls hohen Zusammenhang zur zweiten Hauptkomponente. Der NDRE fällt mit 86,3% schon deutlich ab. Der REIP kann die räumlichen Strukturen nur deutlich schwächer reproduzieren.

Die Fernerkundung mit Spektralindizes hat das Problem, dass zwar Symptome (hier die Variabilität) gut beschrieben werden können, die Ursachen für die Variabilität (z.B. Wassermangel oder Nährstoffmangel) jedoch nicht. Das zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung besonders deutlich, da die Indizes, die für die Detektion von Stickstoffmangel optimiert wurden (REIP und NDRE), und die zu erwartende räumliche Variabilität nur schlecht wiedergeben.

Im konkreten Fall herrschte eine starke Frühjahrstrockenheit vor, womit die Bestandesunterschiede also hauptsächlich durch Wasser- und nicht durch Stickstoffmangel hervorgerufen wurden. Eine Düngung auf Basis der Indizes hätte in dem Jahr folglich nicht zu einer Verbesserung der Erträge geführt. Für den Praktiker ist es daher wichtig, einerseits zu wissen, welchen Index sein Sensor verwendet, bzw. welcher Bestandesparameter erfasst werden soll, andererseits sollte er weiter auf seine Erfahrungen vertrauen. Einen Sensor, der völlig ohne Vorwissen eingesetzt werden kann gibt es derzeit noch nicht.

Ein weiteres Problem besteht bei Indizes, die nur auf 2 spektralen Wellenlängen basieren. Der gemessene Indexwert ist nicht eindeutig, da verschiedene Reflexionskombinationen den gleichen Indexwert liefern können. (z.B. NDVI = 0,6 bei Rot-Reflexion = 7,5 % und NIR-Reflexion = 30 %, oder auch bei Rot-Reflexion = 10 % und NIR-Reflexion = 40 %).

Vielversprechender ist die direkte Bestimmung von Vegetationsparametern aus Spektraldaten (Siegmann et al. 2012). Die Reduzierung der Spektralkanäle auf die optimale Anzahl ist derzeit Forschungsgegenstand.

4 Zusammenfassung

Die Erfassung der räumlichen Variabilität mit Hilfe von Online-Sensoren ist prinzipiell möglich. Allerdings können die verwendeten Vegetationsindizes die kausale Ursache für eine Heterogenität im Bestand nicht erklären, da mehrere Ursachen dieselben Symptome hervorrufen können. Je nach verwendetem Index werden die räumlichen Strukturen unterschiedlich gut wiedergegeben. Zukünftig sollten die Zusammenhänge zwischen Vegetationsparametern und Spektralsignatur besser untersucht werden, um die

Vegetationsparameter direkt mit Reflexionsmessungen zu bestimmen, anstatt über relative Indexwerte Managementplanungen durchzuführen.

Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen des EnMap Vorbereitungsprogramms durchgeführt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Projektes ‚Hyland‘ (FKZ 50EE1014) finanziert. Ganz besonders möchten wir uns bei den landwirtschaftlichen Betrieben für ihre Kooperation und Unterstützung bedanken.

Literatur

- Guyot, G., Baret, F., & Major, D. J. 1988. High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and infrared. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 11, pp. 750–760.
- Haneklaus S., Ruehling I., Schroeder D. & Schnug E., 1997. Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of northern Germany. In: *Precision Agriculture '97: Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture*, Stafford J. V. (eds.). BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford, UK, pp. 785-792.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* Vol. 25, pp.89-105.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, Vol. 50, pp. 663-666.
- Mistele, B. & Schmidhalter, U. 2010. Tractor-Based Quadrilateral Spectral Reflectance Measurements to Detect Biomass and Total Aerial Nitrogen in Winter Wheat. *Agronomy Journal*, Vol. 102, No. 2, pp. 499-506.
- Rogaß, C., Spengler, D., Bochow, M., Segl, K., Lausch, A., Doktor, D., Roessner, S., Behling, R., Wetzel, H.U., Kaufmann, H. 2011. Reduction of Radiometric Miscalibration-Application to Pushbroom Sensors, *Sensors*, 11, pp. 6370-6395.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., Deering, D. W. & Harlan, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report Greenbelt, MD, USA, pp. 1-137.
- Siegmann, B., Jarmer, T., Lilienthal, H., Richter, N., Selige, T. & Höfle, B. 2012. Hyperspektraldaten zur Erfassung des Blattflächenindex von Weizenbeständen. In: Löwner M.-O., Hillen, F., Wohlfahrt, R. (Hrsg.): *Geoinformatik 2012 - Mobilität und Umwelt, Konferenzband Geoinformatik 2012*, 28.-30. März 2012, Braunschweig.(= Konferenzband Geoinformatik 2012), pp. 343-350.
- Schmidt, F. 2002. Topocrop-Terrain Analysis: An extension to the ArcView® GIS system developed for the Precision Agriculture Project www.preagro.de Online verfügbar unter: <http://arcscripts.esri.com>. Zitiert [14.04.2012].
- Smith, G.M., & Milton, E.J. 1999. The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 20 (13), pp. 2653-2662.