# Erfassung des Stickstoffgehalts von Weizen aus bodengestützt erhobenen hyperspektralen Bilddaten

Bastian Siegmann<sup>1</sup>, Thomas Jarmer<sup>1</sup>, Holger Lilienthal<sup>2</sup>, Nicole Richter<sup>2</sup>, Thomas Selige<sup>3</sup>, Bernhard Höfle<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geoinformatik und Femerkundung, Universität Osnabrück, 49076 Osnabrück. Email: bsiegmann@igf.uni-osnabrueck.de, tjarmer@igf.uni-osnabrueck.de

Email: holger.lilienthal@jki.bund.de, nicole.richter@jki.bund.de

Email: hoefle@uni-heidelberg.de

**Zusammenfassung:** Die genaue Vorhersage des Stickstoffgehaltes von Pflanzenbeständen ist eine der Schlüsselgrößen, um hoch genaue Ertragsprognosen für die Landwirtschaft zu erstellen. Hyperspektrale Bilddaten können in diesem Zusammenhang als Informationsquelle genutzt werden, um den Stickstoffgehalt mit hoher räumlicher Auflösung abzuleiten. In dieser Studie wird das Potenzial des bodengestützten Hyperspektralsystems PentaSpek für die Vorhersage des Stickstoffgehaltes eines Weizenfeldes mit Hilfe verschiedener empirischer Regressionsmodelle untersucht. Die erzielten Ergebnisse mit den Verfahren Support Vector Regression ( $r^2_{cv}$ =0,92; RMSE $_{cv}$ =0,19; RPD=3,46) und Partial Least Squares Regression ( $r^2_{cv}$ =0,77; RMSE $_{cv}$ =0,31; RPD=2,09) verdeutlichen das hohe Potenzial der PentaSpek Daten zur genauen Vorhersage des Stickstoffgehaltes von Weizen.

**Deskriptoren:** hyperspektral, PentaSpek, Feldspektroskopie, Stickstoffgehalt von Weizen, Support Vector Regression, Partial Least Squares Regression

**Summary:** The precise assessment of canopy nitrogen status is one of the key parameters in agriculture for high accuracy yield estimations. For large agricultural areas the increasing availability of imaging hyperspectral data provides the required information to derive canopy nitrogen status with a high spatial resolution. In this study the potential of an in- field hyperspectral imaging system (PentaSpek System) was investigated to estimate the nitrogen status of a wheat field with different empirical regression models. The results of support vector regression ( $r^2_{cv}$ =0.92, RMSE<sub>cv</sub>=0.19, RPD=3.46) and partial least squares regression ( $r^2_{cv}$ =0.77, RMSE<sub>cv</sub>=0.31, RPD=2.09) indicate the high potential of the PentaSpek System to deliver predictions for canopy nitrogen status of wheat with high accuracy.

**Keywords:** hyperspectral, PentaSpek System, field-spectroscopy, wheat nitrogen content, support vector regression, partial least squares regression

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> TU München, Lehrstuhl für Bodenökologie, Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg. Email: selige@wzw.tum.de

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Geographisches Institut, Berliner Straße 48, 69120 Heidelberg

## 1 Einleitung

Die Erfassung des Stickstoffgehaltes (N) landwirtschaftlicher Kulturen ist ein entscheidender Parameter für die Optimierung des Düngemitteleinsatzes in der Landwirtschaft. Der den jeweiligen Bedingungen angepasste Einsatz von Stickstoffdüngern kann dazu beitragen, die Erträge zu stabilisieren, die Kosten zu verringern und gleichzeitig die Belastung der Umwelt durch Überdüngung zu reduzieren (Ju et al. 2009).

Das Reflexionsverhalten von Pflanzen im sichtbaren Licht und im nahen Infrarot wird hauptsächlich durch den Chlorophyllgehalt der Pflanze und durch die Zellstruktur der Blätter bestimmt. Pflanzen, die unter Nährstoffmangel leiden, haben einen niedrigeren Chlorophyllgehalt, was zu einer nicht optimal ablaufenden Photosynthese führt (CLEVERS & KOOISTRA 2012). Informationen über den Stickstoffversorgungszustand von Pflanzen können aufgrund der zahlreichen Spektralkanäle im sichtbaren Bereich des Lichtes und im nahen Infrarot aus hyperspektralen Daten abgeleitet werden (JARMER & VOHLAND 2011, DORIGO et al. 2007, KOKALY 2001).

In dieser Studie wurde das Potential verschiedener Regressionsmethoden zur Ableitung der räumlichen Verteilung des Stickstoffgehaltes von Weizen aus bodengestützten hyperspektralen Bilddaten untersucht.

## 2 Material und Methoden

## Untersuchungsgebiet

Der untersuchte Weizenschlag hat eine Größe von 80 ha und befindet sich nordwestlich der Stadt Köthen in Sachsen-Anhalt (**Bild 1**). Aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes im Regenschatten des Harzes beträgt die jährliche Niederschlagssumme lediglich 430 mm. Damit ist die Region ein Teil des mitteldeutschen Trockengebietes. Die jährliche Durchschnittstemperatur liegt bei 9°C. Schwarzerden sind der vorherrschende Bodentyp im Untersuchungsgebiet.





Bild 1: Untersuchungsgebiet mit dem ausgewählten Weizenschlag

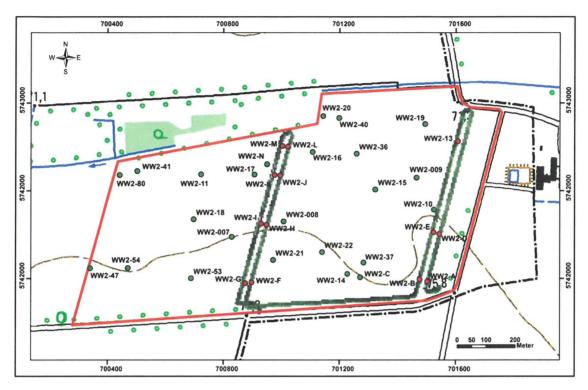
#### **Felddaten**

Während einer Geländekampagne am 7. und 8. Mai 2011 wurden Reflexionsspektren (350-2500 nm) von 37 Messflächen innerhalb des untersuchten Weizenschlages mit einem ASD FieldSpec (ASD Inc.) erfasst. Zusätzlich wurden für die Messflächen der LAI (leaf area index), der Chlorophyllgehalt sowie die Bestandshöhe gemessen. Die Auswahl der Position der einzelnen Messflächen erfolgte im Vorfeld der Geländekampagne, sodass die heterogenen Bestandsstrukturen innerhalb des Ackerschlages möglichst gut abgebildet werden konnten (vgl. Bild 2). Die 0,25 m² großen Plots wurden zusätzlich abgeerntet, um die Biomasse zu ermitteln. Anschließend wurde das Pflanzenmaterial getrocknet und der Stickstoffgehalt im Labor unter Verwendung eines Elemental Analysers (Elementar Analysensysteme GmbH) bestimmt.

### Bilddaten

Am 3. Mai 2011 wurden für Teile des untersuchten Weizenschlages hyperspektrale Bilddaten mit dem PentaSpek System aufgezeichnet. Dabei handelt es sich um ein mobiles Aufnahmesystem, das aus sechs einzelnen Spektrometern (Ocean Optics Inc.) besteht, die in zwei Modulen gruppiert sind. Fünf Spektrometer sind dabei nach unten gerichtet, um den Vegetationsbestand spektral zu vermessen. Das sechste Spektrometer wird als Einstrahlungsreferenz verwendet, um die anderen fünf Spektrometer zu kor-

rigieren. Aus den eingemessenen punktuellen Spektren werden in der anschließenden Prozessierung Bilddaten erzeugt (vgl. LILIENTHAL *et al.* 2012, LILIENTHAL &SCHNUG 2010).



**Bild 2:** Untersuchter Weizenschlag überlagert mit aufgezeichneten PentaSpek Bildstreifen und beprobten Messflächen (rot = abgedeckt durch Penta-Spek Daten)

Das PentaSpek System wurde für die Datenaufzeichnung auf einen Düngerstreuer mit 36 m Arbeitsbreite montiert. Die fünf Spektrometer wurden im Abstand von 3,75 m auf dem 18 m langen linken Ausleger fixiert. Dabei wurden 4 Bildstreifen mit jeweils 106 Kanälen zwischen 400 bis 925 nm aufgezeichnet. Da die Daten im Bereich vor 480 bzw. nach 800 nm starkes Rauschen aufweisen, wurden diese Spektralbereiche ausmaskiert und nur mit den verbleibenden 65 Spektralkanälen zwischen 480 bis 800 nm weiter gearbeitet.

# Methoden

Im Bereich der aufgezeichneten PentaSpek Bildstreifen befinden sich lediglich 13 Messflächen, sodass keine aussagekräftigen empirische Regressionsmodelle erstellt bzw. eine Validierung dieser vorgenommen werden konnte. Daher wurden die im Gelände erfassten ASD-Feldspektren der 37 Messflächen auf die spektrale Auflösung der PentaSpek Daten resampled, um so künstlich PentaSpek Daten zu simulieren.

Mit Hilfe der ermittelten Stickstoffgehalte der einzelnen Messflächen, sowie den simulierten PentaSpek Daten wurden anschließend Regressionsmodelle mit den Algorith-

men Support Vector Regression (SVR) und Partial Least Squares Regression (PLSR) zur Schätzung des Stickstoffgehaltes aus den simulierten PentaSpek Daten erzeugt. Zum Aufbau der Regressionsmodelle wurden die Programme "imageSVM" (RABE *et al.* 2009) bzw. "autoPLS" (SCHMIDTLEIN *et al.* 2012) verwendet. Beide Programme sind Bestandteil der "EnMAP Box" und frei verfügbar.

Für die Modelle wurde eine Kreuzvalidierung (cross-validation, cv) der Ergebnisse anhand der "leave-one-out"- Methode vorgenommen. Als Maße für die Schätzgenauigkeit wurden das Bestimmtheitsmaß (r²<sub>cv</sub>), der Quadratwurzelfehler (RMSE <sub>cv</sub>) und das Verhältnis des Standardfehlers der Vorhersage zur Standardabweichung (RPD) herangezogen (MALLEY *et al.* 2004).

# 3 Ergebnisse und Diskussion

Der Wertebereich des N-Gehalts der im Gelände erfassten Messflächen liegt zwischen 1,28% im Minimum und 4,13% im Maximum (**Tabelle 1**). Der Mittelwert von 2,07% weist darauf hin, dass Flächen mit niedrigem N-Gehalt überwiegen.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der im Gelände ermittelten Stickstoff-Werte

	n	Min	Max	Mean	SD	
Weizen	37	1,28	4,13	2,07	0,64	

Zur Schätzung des N-Gehaltes aus den simulierten PentaSpek Daten wurde jeweils ein Regressionsmodell mit dem Algorithmus SVR und mit dem Algorithmus PLSR erstellt. Das Ergebnis der SVR ( $r^2_{cv}$ =0,92; RMSE $_{cv}$ =0,19; RPD=3,46) zeigt, dass der N-Gehalt mit einer hohen Genauigkeit geschätzt werden konnte. Der RPD liegt weit über dem Wert 2, was ein Anzeichen für die hohe Robustheit des Regressionsmodells ist (DUNN et al. 2004). Die PLSR liefert dagegen ein Ergebnis mit einer deutlich geringerer Genauigkeit ( $r^2_{cv}$ =0,77; RMSE $_{cv}$ =0,31; RPD=2,09). **Bild 3** zeigt die Scatterplots beider Regressionsmodelle. Es wird deutlich, dass das SVR-Modell erheblich besser für die Vorhersage des N-Gehaltes geeignet ist. Lediglich größere Werte werden gering überschätzt. Der Scatterplot der PLSR zeigt dagegen eine wesentlich schlechtere Anpassung des Modells. Niedrige Werte werden durch dieses Modell über- und hohe Werte deutlich unterschätzt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Regressionen

Algorithmus	n	r <sup>2</sup> cv	RMSEcv	RPD	
SVR	37	0,92	0,19	3,46	
PLSR	37	0,77	0,31	2,09	

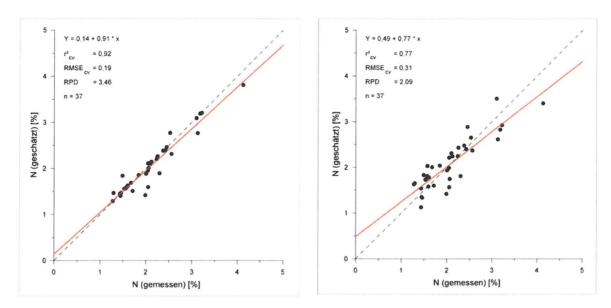
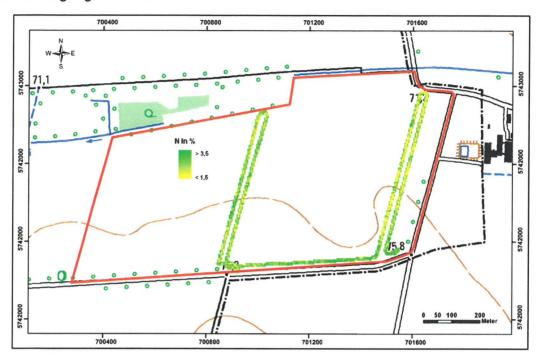


Bild 3: Scatterplots der Regressionsmodelle (links SVR, rechts PLSR)

Um eine Vorhersage des N-Gehaltes für Teile des untersuchten Weizenschlages zu ermöglichen, wurde das SVR-Modell abschließend auf die tatsächlich im Gelände aufgezeichneten PentaSpek Bilddaten übertragen. Die Übertragung des Modells zeigt erhebliche räumliche Unterschiede der N-Versorgung des Schlags (Bild 4). Der Vergleich, der im Gelände gemessenen N-Werte mit den aus den PentaSpek Daten vorhergesagten Werten für die 13 erfassten Messflächen (Bild 5), zeigt relativ gute Übereinstimmungen. Aufgrund der geringen Anzahl an Messflächen kann allerdings keine aussagekräftige Validierung der Ergebnisse stattfinden. Der Scatterplot veranschaulicht, dass hohe Werte erheblich überschätzt werden. Insgesamt gesehen ist der Wertebereich zu klein, den die 13 Werte abdecken. Zusätzlich könnte die Aufnahmegeometrie des PentaSpek Systems Einfluss auf die gemessenen Spektralwerte und damit auch auf die vorhergesagten N-Werte haben. Durch die vertikale Bewegung des Düngerstreuers bei der Datenaufzeichnung mit dem PentaSpek System werden die Reflexionsspektren durch die einzelnen Spektrometer immer wieder aus verschiedenen Winkeln aufgezeichnet. Der Einfluss der verschiedenen Messwinkel auf das erfasste Reflexionssignal muss in weiteren Studien genauer untersucht werden.

Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchung verdeutlichen das große Potenzial des bodengestützten PentSpek Systems gegenüber herkömmlichen oft ungenauen und zeitaufwendigen Methoden zur räumlichen Erfassung von N. Im Jahr 2012 erfolgte in diesem Zusammenhang die Datenaufzeichnung ganzer Schläge mit dem PentaSpek System, so dass in zukünftigen Arbeiten auf die künstliche Simulation von Daten verzichtet werden kann. Die entwickelte Methode zur Vorhersage des Stickstoffversorgungszustandes von Weizen mittels SVR und PLSR stellt eine vielversprechende Alternative zu den noch häufig im Bereich der Landwirtschaft genutzten Vegetationsindizes dar, die in den meisten Fällen schlechtere Ergebnisse liefern (SIEGMANN et al. 2013). Für zukünftige Anwendungen könnte die Entwicklung neuer landwirtschaftlicher Systeme mit Hyperspektralsenso-

ren ähnlich dem PentaSpek System dazu beitragen, den Stickstoffversorgungszustand großer Flächen in "real-time" zu ermitteln, um anschließend eine räumlich angepasste Stickstoffdüngung durchzuführen.



**Bild 4:** Geschätzte N-Werte für Teile des Weizenschlages aus dem im Gelände aufgezeichneten Penta-Spek Daten

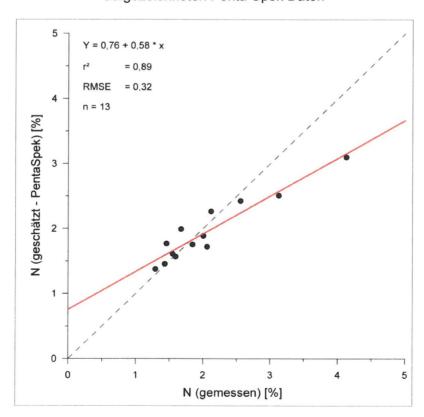


Bild 5: Scatterplot der 13 vorhergesagten N-Werte aus den PentaSpek Daten

#### **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 und FKZ 50EE1015) finanziert. Darüber hinaus danken wir Prof. Patrick Hostert (Humboldt Universität zu Berlin) für die Bereitstellung der Messinstrumente.

#### Literaturverzeichnis

- CLEVERS J.G.P.W., KOOISTRA L. (2012): Using Hyperspectral RemoteSensing Data for Retrieving Canopy Chlorophyll and Nitrogen Content. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing 5: 574-583
- **DUNN B.W., BEECHER H.G., BATTEN G.D., CIAVARELLA S. (2002):** The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis-A case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 42: 607-614
- DORIGO W.A., ZURITA-MILLA R., DE WIT A.J.W., BRAZILE J., SINGH R., SCHAEPMAN M.E. (2007): A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 9: 165–193
- **JARMER T., VOHLAND M. (2011):** Spectroscopy and hyperspectral imagery for nitrogen assessment of summer barley. Proceedings of the EARSeL 7th SIG-Imaging Spectroscopy Workshop, Edinburgh, April 11-13th 2011
- Ju X.T., XING G.X., CHEN X.P., ZHANG S.L., ZHANG L.J., LIU X.J., CUI Z.L., BIN Y., CHRISTIE P., ZHU Z.L., ZHANG F.U. (2009): Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. Proceedings of the National Academy of Sciences 106: 3041-3046
- KOKALY R.F. (2001): Investigating a physical basis for spectroscopic estimates of leaf nitrogen concentration. Remote Sensing of Environment 7: 153-161
- LILIENTHAL H., RICHTER N., SIEGMANN B., JARMER T., SELIGE T., HÖFLE B. (2012): Erzeugung von Bilddaten aus bodengestützten hyperspektralen Feldmessungen. In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Erdblicke Perspektiven für die Geowissenschaften. 32. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 14.-17. März 2012, Potsdam. DGPF-Tagungsband 21: 323-330
- **LILIENTHAL H., SCHNUG E. (2010):** Bodengestützte Erfassung räumlich hochaufgelöster Hyperspektraldaten. Das Penta-Spek System. Bornimer Agrartechnische Berichte 73: 86-93
- MALLEY D.F., MARTIN P.D., BEN-DOR E. (2004): Application in analysis of soils. Nearinfrared spectroscopy in agriculture 44: 729-783
- RABE A., VAN DER LINDEN S., HOSTERT P. (2009): Simplifying Support Vector Machines for Regression Analysis of Hyperspectral Imagery. Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing. WHISPERS '09, First Workshop on Signal Processing & Analysis, Grenoble, August 26-28th 2009
- SCHMIDTLEIN S., FEILHAUER H., BRUELHEIDE H. (2012): Mapping plant strategy types using remote sensing. Journal of Vegetation Science 23: 395-405
- SIEGMANN B., JARMER T., LILIENTHAL H., RICHTER N., SELIGE T., HÖFLE B. (2013): Comparison of narrow band vegetation indices and empirical models from hyperspectral remote sensing data for the assessment of wheat nitrogen content. Proceedings of the EARSeL 8th SIG-Imaging Spectroscopy Workshop, Nantes, April 08-10th 2013 (accepted)