



ATB
Agrartechnik Bornim

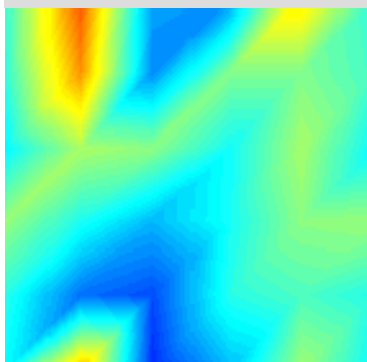
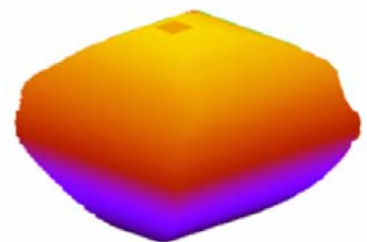


13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft

&

4. Workshop Precision Farming

15. – 16. Mai 2007
Universität Hohenheim



Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 60

Potsdam-Bornim / Stuttgart 2007

**13. Workshop
Computer-Bildanalyse
in der Landwirtschaft**

&

**4. Workshop
Precision Farming**

**15. – 16. Mai 2007
Universität Hohenheim**

**Bornimer Agrartechnische Berichte
Heft 60**

Potsdam-Bornim / Stuttgart 2007

Herausgeber:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam-Bornim

 (0331)-5699-0
Fax.: (0331)-5699-849
E-mail: atb@atb-potsdam.de
Internet: <http://www.atb-potsdam.de>

Mai 2007

Redaktion:

Dr. habil. Manuela Zude

Typografische Gestaltung:

Andrea Gabbert

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg und gleichzeitig als CD ROM.

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist unter Quellenangabe und mit Zustimmung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. möglich.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam-Bornim 2007

Inhaltsverzeichnis	Seite
<i>Table of contents</i>	<i>page</i>
Vorwort <i>Preface</i>	5
Programm <i>Program</i>	6
Geodatenservice für Precision Farming <i>Geospatial Services for Precision Farming</i> Peter Korduan	9
Nah- und Fernerkundung für Precision Farming <i>From close range to large scale remote sensing for precision farming</i> Görres Grenzdörffer	14
Sensorik und dynamische Simulationsmodelle als Grundlage teilflächenspezifischer N-Düngung zu Wintergerste und Winterraps <i>Sensors and dynamic simulation models for site specific nitrogen fertilisation of winter wheat and oilseed rape</i> Henning Kage, Ulf Böttcher, Karla Müller, Tobias Johnen	21
Quality assessment of kiwi by means of laser-induced backscattering imaging <i>Qualitätsbewertung von Kiwifrüchten auf der Basis eines bildgebenden Verfahrens zur Messung der laserinduzierter Rückstreuung im Fruchtgewebe</i> László Baranyai, Zhaoshen Qing, Manuela Zude	26
Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - dreijährige Erfahrung aus der Praxis <i>Site-specific weed control - three years of practical experience</i> Markus Sökefeld, Roland Gerhards, Horst Oebel	31
Spektrale Vermessung von Wachstumsheterogenitäten und Modellierung des Ertrages von Kartoffeln <i>Spectral measurement of growth heterogeneity and modelling of the yield in potatoes</i> Knut Hartmann, Holger Lilienthal, Ewald Schnug	39
Anwendung von Ähnlichkeitsmaßen zum Vergleich landwirtschaftlicher Geoinformationen <i>Using similarity measures for the comparison of agricultural geo-information</i> Holger Lilienthal, Christiane Itter, Ewald Schnug	48
Sensor fusion based navigation of the autonomous field robot Maizerati <i>Multisensor-basierte Navigation des autonomen Feldroboters Maizerati</i> Ralph Klose, Jörg Klever, Andreas Linz, Wilfried Niehaus, Arno Ruckelshausen, Marius Thiel, Mario Urta Saco, Kai-Uwe Wegner	56
Ertragskartierung beim Mähdrusch mittels Körperschallsensorik <i>Yield mapping by the combine's corn header using impact sound sensors</i> Oliver Hensel	63
Qualitative und quantitative Messung der Verunkrautung in Kulturpflanzenbeständen mittels Bildanalyse <i>Qualitative and quantitative measurement of weed distribution in crops using image processing</i> Martin Weis, Roland Gerhards	67

UAV (unmanned aerial vehicles) für Präzisionslandwirtschaft	75
<i>UAV (unmanned aerial vehicles) for precision farming</i> Patrick Reidelstürz, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein	
NIRS as a tool for precision horticulture in the citrus production	85
<i>Teilflächen-spezifische Citrusproduktion auf der Basis von Fruchtanalysen mittels NIR-Spektroskopie</i> Manuela Zude, Michael Pflanz, Craig Kaprielian, Brian L Aivazian	
Estimating the volume and surface of corn by means of multiple views	92
<i>Ermittlung von Volumen und Oberfläche bei Getreide auf der Basis der digitalen Stereoskopie</i> László Baranyai	
Teilflächenspezifischen Berechnung: Eine neue Berechnungsstrategie	97
<i>Precision irrigation, a new irrigation strategy</i> Heinz Sourell	
Sensorgestützte Applikation von Fungiziden in der Praxis	103
<i>Sensor-based application of fungicides in practice</i> Judith Wollny, Karl-Heinz Dammer, Roland Rosenau, Jürgen Nieter	
Anwendung bildanalytischer Methoden zur Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaugemengen	110
<i>Image analysis as a tool to evaluate the legume content in legume/grass swards</i> Maïke Himstedt, Thomas Fricke, Michael Wachendorf	
Online-Messung des Bodenbedeckungsgrades	117
<i>Online-measurement of percent residue cover</i> Florian Pforte, Oliver Hensel	
Duo-Körnerlichtschranke als bildgebendes Sensorsystem zur Charakterisierung landwirtschaftlicher Gutpartikel	123
<i>Double light barrier as an imaging sensor system for the characterization of agricultural particles</i> Frank Fender, Bernhard Lang, Johannes Marquering, Arno Ruckelshausen, Bernd Scheufler	
Ableitung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen für Körnermais in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften, Aussaatstärke und N-Düngung	129
<i>Derivation of site-specific production functions for corn in dependency of soil characteristics, seeding rate and nitrogen fertilization</i> Christoph Gutjahr, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein	
Vergleich von Düngestrategien zur teilflächenspezifischen Optimierung eines Weizenbestandes	138
<i>Comparison of nitrogen strategies for site-specific optimization of wheat crops</i> Jochen Schäfer, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein	
Eignung des Yara N-Sensors zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten	145
<i>Adaption of the Yara N-Sensor to detect plant diseases</i> Kerstin Gröll, Simone Graeff, Wilhelm Claupein	
Identifizierung von Unkräutern durch Bildanalyseverfahren	150
<i>Weed identification using digital image analysis</i> Alexander Kluge und Henning Nordmeyer	

Vorwort

Der 4. *Workshop Precision Farming* und der 13. *Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft* finden in diesem Jahr gleichzeitig an der Universität Hohenheim mit dem Schwerpunkt Sensoren für Precision Farming statt.

Es konnte in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen belegt werden, dass Ertrag und Qualität pflanzlicher Produkte verbessert und natürliche Ressourcen geschont werden, wenn kleinräumige Standortunterschiede und die Heterogenität von Kulturpflanzenbeständen erfasst und bei der Bewirtschaftung der Flächen berücksichtigt werden.

Mit Sensoren im Nah- und Fernbereich können relevante Standorteigenschaften und Merkmale von Kulturpflanzenbeständen schnell, präzise und in hoher räumlicher Auflösung quantifiziert werden. Daraus können präzise pflanzenbauliche Entscheidungen abgeleitet und mit elektronisch gesteuerten Geräten umgesetzt werden. Einige Sensorsysteme werden zurzeit erfolgreich in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt. Optische Sensoren und hier insbesondere die abbildenden Systeme im Nah- und Fernbereich bieten ein großes Potenzial für den Präzisionspflanzenbau.

Im Rahmen dieses gemeinsamen Workshops werden Bildanalysesensoren vorgestellt und diskutiert, Verfahren der Signalverarbeitung aufgezeigt und deren Verknüpfung mit Geodatenbanken demonstriert. Damit soll die Umsetzung dieser Sensorsysteme in die landwirtschaftliche Praxis vorangebracht werden.

Hohenheim, im Mai 2007

Prof. Dr. Roland Gerhards

Programm

Dienstag, 15. Mai 2007

13:00 – 13:30 **Anmeldung**

13:00 – 14:00 **Begrüßung**

Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Peter Liebig, Rektor der Universität Hohenheim

Dr. Wilfried Hermann, Leiter Versuchsstation Ihinger Hof

Vortragsveranstaltung I

Diskussionsleitung Roland Gerhards

14:00 – 14:30 **Peter Korduan** (Rostock): Geodatenservice für Precision Farming

14:30 – 15:00 **Görres Grenzdörffer** (Rostock): Nah- und Fernerkundung für Precision Farming

15:00 – 15:30 **Henning Kage**, Ulf Böttcher, Karla Müller, Tobias Johnen (Kiel): Sensorik und dynamische Simulationsmodelle als Grundlage teilflächen-spezifischer N-Düngung zu Winterweizen und Winterrraps

15:30 – 16:00 **Kaffeepause**

16: - 17:00 **Postersession**

Vortragsveranstaltung II

Diskussionsleitung Wilhelm Claupein

17:00 – 17:20 **László Baranyai**, Zhaoshen Qing, Manuela Zude (Potsdam): Quality assessment of kiwi by means of laser-induced backscattering imaging

17:20 – 17:40 **Markus Sökefeld**, Roland Gerhards, Horst Oebel (Hohenheim): Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle – dreijährige Erfahrung aus der Praxis

17:40 – 18:00 **Knut Hartmann**, Holger Lilienthal, Ewald Schnug (Braunschweig): Spektrale Vermessung von Wachstumsheterogenitäten und Modellierung des Ertrages von Kartoffeln

18:00 – 19:00 **Führung Ihinger Hof**

19:00 – 21:00 **Abendessen**

Mittwoch, 16. Mai 2007

08:30 – 09:00 **Anmeldung**

Vortragsveranstaltung III

Diskussionsleitung Wilfried Hermann

09:00 – 09:20 **Holger Lilienthal**, Christiane Itter, Ewald Schnug (Braunschweig): Anwendung von Ähnlichkeitsmaßen zum Vergleich landwirtschaftlicher Geoinformationen

09:20 – 09:40 **Ralph Klose**, Jörg Klever, Andreas Linz, Wilfried Niehaus, Arno Ruckelshausen, Marius Thiel, Mario Urra Saco, Kai-Uwe Wegner (Osnabrück): Sensor fusion based navigation of the autonomous field robot Maizerati

09:40 – 10:00 **Oliver Hensel** (Kassel): Ertragskartierung beim Mähdrusch mittels Körperschallsensorik

10:00 – 10:30 **Kaffeepause**

10:30 – 11:20 **Postersession**

Vortragsveranstaltung IV

Diskussionsleitung Johanna Link

11:20 – 11:40 **Martin Weis**, Roland Gerhards (Hohenheim): Qualitative und quantitative Messung der Verunkrautung in Kulturpflanzenbeständen mittels Bildanalyse

11:40 – 12:00 **Patrick Reidelstürz** (Emmendingen / Hohenheim): UAV für Präzisionslandwirtschaft

12:00 – 13:30 **Mittagessen**

13:30 – 16:00 **Praktische Vorfürungen**

Präsentation laufender Versuchsvorhaben einschließlich der eingesetzten Technik.

- Sensoren der Nah- und Fernerkundung
- Paralleltrecking für Mulchsaat in Zuckerrüben
- Methoden zur teilschlagspezifischen Unkrautbekämpfung

Geodatenservice für Precision Farming

Geospatial Services for Precision Farming

Peter Korduan

Universität Rostock, Institut für Management ländlicher Räume, Justus-von-Liebig-Weg 6,
18059 Rostock,

E-Mail: peter.korduan@uni-rostock.de

Zusammenfassung: Dieser Beitrag gibt einen Überblick über räumliche Dienste für das precision farming. Er beschreibt was Geodatenservices sind und wie sie für die Zwecke des precision farming genutzt werden können. Es werden allgemein bekannte Spezifikationen des Open Geospatial Consortium (OGC) WMS, WFS und WCS beschrieben. Des Weiteren wird das Konzept der Web Processing Services in einer verteilten Geodateninfrastruktur für die Landwirtschaft präsentiert. Sensor Observation Services (SOS) unterstützen die interoperable Verknüpfung von Sensoren in einem Sensor Netzwerk. Dies wird wichtig für dienstebasierte Beobachtungen und ein effektives Datenmanagement in der Landwirtschaft. Letztlich wird ein Überblick über Geodatenbanktechnologie und standardisierte Datenbankzugriffe gegeben.

Deskriptoren: Geodateninfrastruktur (GDI), GIS, Web Services, WMS, WFS, WPS, SOS, Geodatenbanken

Abstract: *This contribution gives an overview about geospatial services for precision farming. It describes what geo services are and how it can be used for the purposes of precision farming. A definition of common specification of the Open Geospatial Consortium WMS, WFS, WCS is given. Moreover the concept of Web Processing Services in a distributed spatial data infrastructure for agriculture is presented. Sensor Observation Services (SOS) serves the interoperable connection of sensors in a sensor network. This will become important for service based observations and effective data management in agriculture. Finally an overview is given over geospatial database technology and standard database connections.*

Keywords: *Spatial Data Infrastructure (SDI), GIS, Web Services, WMS, WFS, WPS, SOS, Geospatial Database*

Precision Farming berücksichtigt die räumliche und zeitliche Heterogenität der Standorte zur Pflanzenproduktion. Sowohl zur Standortanalyse, zur Entwicklung von Strategien der Teilflächenbewirtschaftung, der Anwendungstechnik als auch zur Dokumentation wird der Raum- und Zeitbezug hergestellt. Die raumbezogene Datenverarbeitung ist aber nicht trivial. Nicht um sonst gibt es separate Studiengänge zur Geoinformatik.

Die Methoden zur raumbezogenen Datenerfassung mit GPS sind weitestgehend standardisiert. Man hat sich nach langen Verhandlungen auch zu Standards für die Datenübertragung auf den landwirtschaftlichen Maschinen geeinigt (ISOBUS¹), die auch die Erfassung von Positionen berücksichtigen. Die Art der Verarbeitung, Analyse und Präsentation der im Precision Farming anfallenden Geodaten ist weitestgehend abhängig von den verwendeten Geographischen Informationssystemen (GIS). Erst so langsam setzen sich auch in der Verwendung von GIS international anerkannte Standards durch. Hervorzuheben sind hier die Standardisierungsaktivitäten des Open Geospatial Consortium (OGC)². Auf der Basis der dort entwickelten Spezifikationen implementieren immer mehr GIS Hersteller die standardisierten Schnittstellen zur Bereitstellung und die Abfrage von Geodaten. Nicht nur die Tatsache, dass so Geodaten über Systemgrenzen hinaus ausgetauscht und verarbeitet werden können wirkt sich auch positiv auf die effiziente Anwendbarkeit von Precision Farming aus, sondern vor allem, dass die neue Architektur Client-Server-basiert, ist. In einer Client-Server-Architektur stellen Server Dienste bereit, die von beliebigen Clients, die die Schnittstelle kennen, genutzt werden können. So ist eine Kommunikation über das Inter- oder Intranet möglich.

Services, die Geodaten liefern oder verarbeiten werden Geodatenservices genannt. Diese Geodatenservices kann jeder, der einen Server betreibt anbieten. Zahlreiche Einrichtungen stellen ihre Geodaten bereits über so genannte OGC konforme Web Services zur Verfügung, z.B. das LaiV³ in MV. Die bekanntesten dabei sind Web Map Service (WMS)⁴ und Web Feature Service (WFS)⁵. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen darin, dass der eine Rasterdaten und der andere Vektordaten bereitstellt.

Jeder Service lässt verschiedene Anfragen (requests) zu. Mit einem GetCapabilities-Request kann zunächst abgefragt werden, was der Dienst eigentlich liefert. Beim WMS kommen neben der Abfrage der Karte (GetMap) auch noch die Abfragen nach einer Beschreibung der zur Verfügung gestellten Layer (DescribeLayer) und der Sachdaten (GetFeatureInfo) hinzu.

Über einen WFS können gezielt einzelne Objekte mit oder ohne Raumbezug abgefragt werden. Das Ergebnis ist ein Dokument in der Geography Markup Language (GML)⁶, welches auch die Koordinaten enthält, während WMS nur ein Bild liefert. Für das Precision

¹ <http://www.isobus.net> 12.04.2007

² <http://www.opengeospatial.org/> 12.04.2007

³ <http://www.gaia-mv.de/dienste.php> 12.04.2007

⁴ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms> 12.04.2007

⁵ <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs> 12.04.2007

⁶ <http://www.opengis.net/gml/> 12.04.2007

Farming auch interessant ist der Web Coverage Service (WCS)⁷. Damit können gridbasierte Informationen abgefragt werden. Mit der Schnittstelle GetCoverage können Rasterdaten z.B. in unterschiedlichen Auflösungen oder einzelne Kanäle von Fernerkundungsdaten abgefragt werden. Das leidige Problem der unterschiedlichen Koordinatensystem wird durch die Nutzung von Geodatendiensten auch etwas entschärft. Die Dienste können je nach Anbieter Daten in unterschiedlichen Koordinatensystemen liefern. Die Umrechnung erledigt dabei der Dienst gleich mit.

Viele Geodatenserviceanbieter bilden zusammen mit den Nutzern und dem Kommunikationsnetz eine Geodateninfrastruktur. Der Landwirt kann innerhalb dieser sich entwickelnden Geodateninfrastruktur als Kunde und Geodatenlieferant fungieren. Die Kommunikation zwischen Landwirten, Dienstleistern und Behörden erfolgt in einigen Bundesländern auch schon über Web Services, z.B. dort, wo die Flächenangaben für Anträge in einem Online-GIS an die Behörde gesendet werden⁸.

Geodatenservices können nicht nur Geodaten ausliefern, sondern diese auch verarbeiten. Das OGC diskutiert derzeit über eine Spezifikation zu einem Web Processing Service (WPS)⁹. Im Rahmen des preagro Projektes sind bereits einige Services für Precision Farming implementiert. Prinzipiell lassen sich alle computergestützten Algorithmen, in denen raumbezogene Eingangsgrößen einfließen als WPS implementieren. Dabei muss die Verarbeitungslogik nicht feststehen. Jeder WPS kann ein Problem anders lösen. Der Vorteil für den Nutzer besteht nun darin, dass er auf verschiedenen Applikationen Zugriff hat ohne sich darum kümmern zu müssen wie es abläuft, z.B. eine Kriging Interpolation. Des Weiteren muss er auch nicht wissen wie der Rechner heißt, der den Prozess ausführt. Über einen Broker können Anfragen an zuständige oder geeignete Rechner verteilt werden, ohne, dass der Client etwas davon merkt. Spezielle Server (Trader) können z.B. bei einer vorgegebenen Genauigkeit auswählen, welche Dienste angesprochen werden. Das heißt der Client teilt dem Trader seine Anforderungen an Dienste mit und er Trader wählt die dafür geeigneten Dienste aus. In Prozessketten, in denen konkrete Anwendungsfälle umgesetzt werden, können einzelne Teile durch andere ausgetauscht werden. Wenn also z.B. ein Dienst zur Erstellung von Ertragskarten ausfällt, kann ein anderer dafür einspringen. Entsprechende Anwendungsfälle für die Bodenbeprobung, die N-Düngungsplanung und die Erstellung von Management Zones wurden realisiert¹⁰. Alle dabei benötigten Geodaten werden aus Geodatendiensten abgefragt und zur Verarbeitung an die WPS ausgeliefert.

Aber nicht nur Geodaten im herkömmlichen Sinne, wie Topographische Karten, Schlaggrenzen, Zonenkarten oder Luftbilder können über Geodatendienste bereitgestellt werden, sondern auch Sensordaten mit einem einfachen Raumbezug. Das OGC sieht für die Bereitstellung und Abfrage von Sensordaten einen Sensor Observation Service (SOS)¹¹ vor.

⁷ <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs> 12.04.2007

⁸ <https://ssl.stmlf.bayern.de/mfa/Login> 12.04.2007

⁹ <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/28> 12.04.2007

¹⁰ <http://www.preagro.de> 12.04.2007

¹¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/32> 12.04.2007

Mit Hilfe solcher Dienste lassen sich dann z.B. on-the-fly Wetterkarten mit aktuellen Stationswerten erstellen. Sensornetzwerke sind über da sinnvoll einsetzbar, wo an verteilten Stellen Messwerte erfasst werden, die mit anderen aggregiert werden sollen. Vorteile der dienstebasierten Abfrage von Werten sind hier, dass das Ergebnis auch berechnet werden kann, wenn ein Sensor mal ausfällt und dass verschiedene Sensoren verwendet werden können.

Im Bereich der Geodatendienste gibt es auch noch Baustellen, so haben sich z.B. Dienste für eine standardisierte Authentifizierung von Benutzern, Web Authentication Service (WAS)¹² sowie Dienste zur Bestellung und Kostenabrechnung (WPOS)¹³ noch nicht durchgesetzt. Auch ist die Standardisierung des WPS noch nicht abgeschlossen und gerade im „Request for Comment“ Status. Die Datenbereitstellung von Raster und Vektordaten ist hingegen schon recht verbreitet. Was die landwirtschaftlichen Daten anbelangt, ist auch noch nicht endgültig geklärt, ob die in AgroXML geschriebenen Dokumente GML konform gestaltet werden, damit sie über WFS austauschbar sind, oder ob das AgroXML-Schema nur Teilkonstrukte des GML-Metaschemas übernimmt.

Schließlich gibt es auch Standards für die Ablage von beschreibenden Daten (Metadaten). Der ISO 19115¹⁴ definiert Metadaten zu raumbezogenen Daten. Darin können u.a. Angaben zur Herkunft, zum Format, der Datenqualität, der Aktualität, der Entstehung und des Raumbezuges gespeichert werden. Für die Einheitliche Abfrage in verteilt vorliegenden Metadatenbeständen wird wiederum ein Service angeboten, der Catalogue Service Web (CS-W). Auch hier gilt wieder, die Daten können dort bleiben, wo sie produziert werden. Der Nutzer bezieht nur einen Ausschnitt aus dem gesamten Datenbestand. Die Daten werden nicht gekauft, sondern im Rahmen einer Dienstleistung genutzt.

Eine effektive Datenhaltung erfolgt in einer Datenbank. Raumbezogene Daten haben besondere Datentypen, müssen auf gesonderte Art und Weise indiziert werden und können mit räumlichen Operatoren selektiert und analysiert werden. Dazu benötigt man räumliche Erweiterungen (Spatial Extensions) für die Datenbanken. Für PostgreSQL¹⁵ ist dies z.B. PostGIS. In PostGIS¹⁶ besteht die Möglichkeit Flächen, Linen, Punkte und zusammengesetzte Geometrien als Eigenschaften von Objekten zu speichern. Für den Zugriff auf die Geodaten wird SQL eingesetzt. Auch hier gibt es mit SQL für Multimedia (SQL/MM)¹⁷ eine Standardisierung. Entsprechende Typen und Funktionen für die Nutzung von SQL/MM sind in PostGIS schon enthalten. So wird der Zugriff auf Geodatenbanken, z.B. über Object Database Connectivity (ODBC) oder Java Database Connectivity (JDBC) auch standardisiert möglich. Das sind dann zwar keine Web Services nach OGC, aber lassen diese auch eine verteilte Nutzung von Geodaten über das Internet zu. Letztlich greifen die Daten liefernden Web Services auch nur auf darunter liegende Geodatenbanken zu. Für die

¹² http://52north.org/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=117 12.04.2007

¹³ http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=11500 12.04.2007

¹⁴ <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=26020> 12.04.2007

¹⁵ <http://www.postgresql.org/> 12.04.2007

¹⁶ <http://www.postgis.org/> 12.04.2007

¹⁷ http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=18242 12.04.2007

Kommunikation innerhalb eines Betriebes oder gar auf einem einzelnen Rechner kann die Kommunikation zwischen Anwendung und Geodatenbank auch direkt über ODBC laufen. OpenSource-GIS Lösungen wie JUMP¹⁸ oder Quantum GIS¹⁹ machen dies möglich. Lokal kann also mit einem GIS über ODBC auf die eigene Geodatenbank zugegriffen werden, während man sich die Hintergrundkarten über einen Geodatendienst holen kann. Nach außen kann mit einem MapServer der gleiche Datenbestand auch als WMS oder WFS, z.B. für ein Amt oder Dienstleister bereitgestellt werden. Auch die Datenangebote der Earth Viewer wie Google Earth²⁰, Microsoft Live Local²¹, Mapsolute Map24²² oder NASA Worldwind²³ können als Geodatendienste herangezogen werden. Diese sind jedoch oft im ländlichen Bereich noch nicht sehr hoch aufgelöst, nicht immer aktuell und vor allem noch nicht standardisiert. Als Hintergrundkarten eignen sie sich jedoch sehr gut und können mit anderen Daten aus WMS oder WFS überlagert werden.

¹⁸ <http://jump-project.org/> 12.04.2007

¹⁹ <http://download.qgis.org/qgis/> 12.04.2007

²⁰ <http://earth.google.com/> 12.04.2007

²¹ <http://maps.live.com/> 12.04.2007

²² <http://www.map24.de> 12.04.2007

²³ <http://worldwind.arc.nasa.gov/> 12.04.2007

Nah und Fernerkundung für Precision Farming

From close range to large scale remote sensing for precision farming

Görres Grenzdörffer

Universität Rostock, Institut für Management ländlicher Räume, J.-v.-Liebig Weg 6,
18059 Rostock,

E-Mail: goerres.grenzdoerffer@uni-rostock.de

Zusammenfassung: Die Fernerkundung hat in der Landwirtschaft eine lange Tradition, vor allem für kleinmaßstäbige Anwendungen. Auf der betrieblichen Ebene haben sich vor allem traktorbasierte Systeme durchgesetzt, da sie wetterunabhängig agieren können. Unter Verwendung kalibrierter Modelle und ergänzender schlagspezifischer Informationen können traktorbasierte Systeme darüber hinaus auch im Sinne von Realtime-Applikationen eingesetzt werden.

Der Schwerpunkt der vorgestellten Arbeit beschäftigt sich mit einem Vergleich verschiedener fernerkundlicher Sensorplattformen, vom Traktor bis zum Satelliten. Darüber hinaus werden grundsätzliche Probleme bei der fernerkundlichen Erfassung von Pflanzenoberflächen angesprochen.

Schlagwörter: Fernerkundung, Precision Farming

Abstract: *Remote Sensing is a well established tool for agricultural applications. This is especially true for satellite remote sensing with large scale applications on a regional and national scale. On the other hand tractor based remote sensing is most favored for precision farming applications due to several reasons. Most important, tractor based remote sensing is largely independent of the weather conditions, while airborne or satellite remote sensing is restricted to a perfect sunny sky. Additionally tractor based remote sensing allows for black box systems with integrated models, e.g. for nutrient applications, thus enabling real-time treatments.*

The focus of the presented work is to demonstrate the large potential of remote sensing for precision farming. Thereby three different remote sensing platforms are identified and compared – from close range tractor based remote sensing to the large scale satellite based remote sensing. Hence remote sensing of crops is not trivial and a wide range of different factors affect the reflected light of the crops. A general difference is scale of the observed plants and crop surface, from the leaf level to the canopy level.

Keywords: *Remote Sensing, Precision Farming*

1 Einleitung

Die Nutzung fernerkundlicher Daten in der Landwirtschaft hat lange Tradition. Während sich die Satellitenfernerkundung vor allem im nationalen und internationalen Maßstab, z.B. zur Vorhersagen von Dürren ein bewährtes Mittel ist, fußt die Umsetzung fernerkundlicher Daten auf der betrieblichen Ebene, auf die Ermittlung von Flächengrößen im EU-Beihilfeverfahren und das Precision Farming. Dabei ist das Potential fernerkundlicher Informationen für die betriebliche Pflanzenproduktion sehr groß, wie **Bild 1** zeigt.

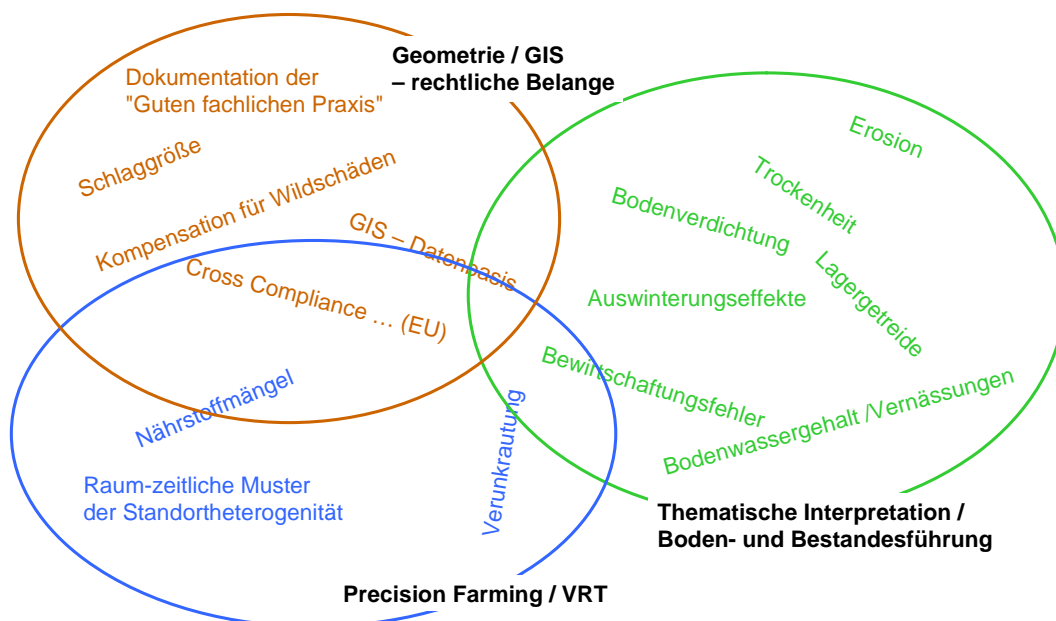


Bild 1: Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung in der Pflanzenproduktion

Wie aus der Graphik deutlich wird, können fernerkundliche Informationen nicht nur für Precision Farming im engeren Sinne genutzt werden, sondern als Interpretationsgrundlage auch in Zusammenarbeit mit Dienstleistern und Experten viele Fragen zur Boden- und Bestandesführung klären helfen. Allerdings werden diese Informationen, in Nah-Echtzeit und möglichst unter jeder Witterung benötigt. Deshalb sind entweder speziell angepasste Luftbildbefliegungen oder der Einsatz von Drohnen (engl. Unmanned airborne vehicles UAV) notwendig. Der Einsatz von Traktoren mit entsprechender Sensorik (N-Sensor, Crop-Circle, N-Veg), hat sich bei einzelnen Applikationen bewährt, allein zur Datenerfassung und als Entscheidungsgrundlage zur Bestandesführung sind sie jedoch zu teuer.

Bei der Erfassung der Bestandesheterogenität durch fernerkundliche Methoden, die z.B. im Rahmen des Precision Farming, d.h. einer differenzierten, an die jeweiligen Standortverhältnisse angepassten Landbewirtschaftung sehr wichtig ist, wird Fernerkundung mit unterschiedlichen Methoden und von verschiedenen Sensorplattformen aus betrieben. Die unterschiedlichen fernerkundlichen Sensorplattformen, die von traktor-basierten Systemen bis hin zur Satellitenfernerkundung reichen, haben verschiedene Vor- und Nachteile, was die Verfügbarkeit, Bodenauflösung etc. angeht. In der folgenden

Übersicht werden die verschiedenen Sensorplattformen und deren Einsatzschwerpunkte einander gegenüber gestellt:

Tabelle 1: Vergleich verschiedener fernerkundlicher Sensorplattformen für Precision Farming Anwendungen

	Terrestrisch	Flugzeug	Satellit
Plattform (Sensor)	Traktor (N-Sensor/Pendel/ Laserfluoreszenz)	Luftbild / MS-Sensor	Landsat/ SPOT/ IKONOS /Quickbird
Einsatzbereiche (Schwerpunkte und Stärken der Sensoren)	Applikationsunterstützung (N-Düngung, Fungizide etc.)	Applikationsunterstützung/ Management (Schlagvermessung, Bonituren etc.)	Applikationsunterstützung/ Basisdaten (Kulturarten, Ertragspotentiale, Zeitreihenanalysen)
Informationsbedarf	Echtzeit	Echtzeit/ Kurzfristig	Kurzfristig / Strategisch
Raumbezug	Schlag	Schlag / Betrieb	Schlag / Regional
Wetterunabhängigkeit	+++	++	+
Turn-around Zeitraum	Sofort – 48 h	1 – 5 d	1 – 5 d
Spektrale Auflösung	Selektive schmale Spektralbereich (10 – 20 nm), aktive Sensorik	Selektive schmale Spektralbereich (Hyperspektralsensor) – breite Spektralbereiche (Luftbild)	Breite Spektralbänder (50 – 200 nm)
Einfluss der Atmosphäre / Korrekturaufwand	Gering / Gering	Mittel / Hoch	Hoch / Mittel
Aufwand Geokodierung	Gering	Hoch	Mittel
Kosten (Schlag)	+	+	++
Kosten (Region)	+++	++	+
Spektrale Kalibration (Integration in Modelle)	+++	+	+++
Auswertung (Ableitung von Produkten)	Automatisch / Landwirt	Landwirt / Experte	Automatisch / Experte

2 Fernerkundung und Precision Farming

Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg des Precision Farming ist die Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes zu erfassen, um sie im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen. Genau hier setzt die Fernerkundung an, denn durch den Blick aus der Vogelperspektive bekommt der Landwirt detaillierte flächendeckende Informationen über seine Schläge und ist in der Lage mit seinem Wissen entsprechend darauf zu reagieren. Die Fernerkundung ist ein indirektes Verfahren, welches je nach Aufnahmezeitpunkt Unterschiede innerhalb eines Schlages dokumentiert. Diese Unterschiede sind auf viele Ursachen zurückzuführen: z.B. auf die Heterogenität des Bodens, des Bestandes, der Nährstoffversorgung, der Exposition, der Bewirtschaftung u.v.m, siehe **Bild 2**

Die Vielfalt möglicher Ursachen spektraler Unterschiede erschwert den Einsatz der Fernerkundung ungemein, da die Pflanzen auf Stress (z.B. Nährstoffmangel, Wasserstress, Pflanzenkrankheiten) unterschiedlicher Herkunft – spektral gesehen – oft recht ähnlich reagieren.

Umwelteinflüsse	Pflanzenfaktoren	Andere Faktoren
<p>Klima</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Netto Strahlung ↳ Windgeschwindigkeit ↳ Sonnenstand ↳ Niederschlag <p>Mikroklima</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Evapotranspiration ↳ Nebel ↳ Spätfröste <p>Geomorphologie</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Neigung und Exposition ↳ Bodenchemische Eigenschaften 	<p>Geometrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Pflanzenhöhe, -weite, -dichte ↳ Anteil exponierter Bodenoberfläche ↳ Pflanzreihenorientierung, -abstand <p>Physiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Pflanzenstress ↳ Blatorientierung ↳ Phänologischer Zeitpunkt 	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Absorption der Strahlung durch atmosphärischen Wasserdampf ↳ Blickwinkel ↳ Emmissionsgrad der Boden- und Pflanzenoberflächen ↳ Kultivierungstechniken

Bild 2: Einflussfaktoren auf das Reflexionsverhalten von Pflanzenoberflächen

Das gilt insbesondere für breitbandige Sensoren, die auf der so genannten Bestandesebene agieren. Im Nahbereich, bzw. unter Laborbedingungen sind auf der so genannten Einzelblattebene hingegen die Ursachen, bei der Verwendung spezieller spektraler Indizes oder durch Fluoreszenzmessungen zu identifizieren. Da ein einfaches Upscaling von der Einzelblattebene auf die Bestandesebene nicht möglich ist, muss intensiv an Transferfunktionen bzw. an der Entwicklung spezieller feldtauglicher Sensorik gearbeitet werden.

Außerdem ist der Aufnahmezeitpunkt von entscheidender Bedeutung, da sich einerseits die Reflexionseigenschaften der Vegetation und des Bodenanteils, sowie die Bestandesarchitektur kontinuierlich ändern. Andererseits lassen sich die Veränderungen der Reflexion

unterschiedlich zuverlässig mit den biophysikalischen Zielparametern, z.B. LAI, Biomasse, Chlorophyllgehalt etc. korrelieren. So gehen viele der bekannten Indizes (z.B. NDVI) mit zunehmendem Blattflächenindex in die Sättigung und lassen keine weitere Differenzierung zu, vgl. **Bild 3**.

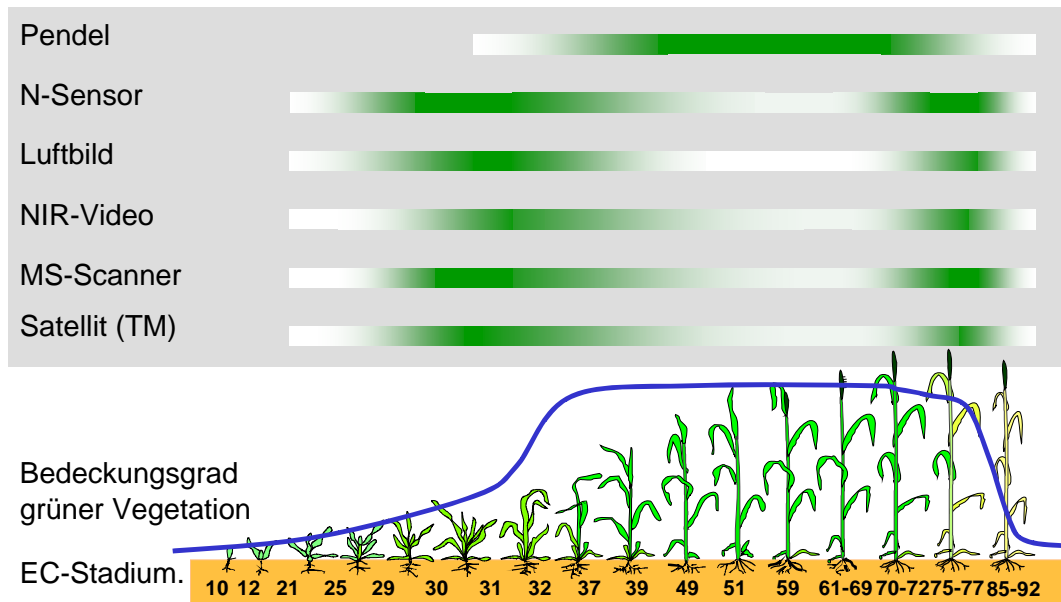


Bild 3: Zeitfenster verschiedener FE-Sensoren zur Erfassung der Bestandesheterogenität in Winterweizen

Fernerkundungsdaten sind nur Momentaufnahmen der Pflanzenentwicklung mit einer beschränkten Halbwertszeit. Die dynamischen Elemente verfügbarer Pflanzenwachstumsmodelle basieren üblicherweise auf agrarmeteorologischen Zusammenhängen. Eine Kombination aktueller Fernerkundungsdaten zur Anpassung der Modelle an die laufende Pflanzenentwicklung ist ein logischer Schritt, der Gegenstand vielfältiger Forschungsaktivitäten weltweit ist.

2.1 Terrestrische traktorbasierte Sensoren

Aus der Perspektive des Landwirts sind insbesondere terrestrische Sensoren interessant die auf einem Traktor montiert werden können, da diese Witterungsunabhängig und on-the-go spektrale Informationen für eine pflanzenbauliche Maßnahme liefern können und somit einen direkten Nutzen im Rahmen des Precision Agriculture generieren können.

Zur Erfassung der Pflanzenvitalität, mit einem speziellen Augenmerk auf die Stickstoffversorgung, sind in den letzten Jahren mehrere verschiedene traktorbasierte Verfahren entwickelt worden, die auf unterschiedlichen optischen bzw. mechanischen Prinzipien beruhen:

1. Der **YARA N-Sensor**, der mit einem Spektrometer das Reflexionsverhalten der Pflanzen im sichtbaren Licht und im NIR in der Umgebung des Schleppers erfasst. Durch einen nach oben gerichteten Referenzsensor werden unterschiedliche Lichtverhältnisse kompensiert. Der Yara-N-Sensor kann zusätzlich im so genannten Spektralmodus genutzt werden. Im Spektralmodus können die Reflexionswerte von fünf 10 nm breiten und frei definierbaren Wellenlängenbereichen abgegriffen werden.
2. Ein weiteres Verfahren, das in erster Linie die Bestandesdichte mechanisch über dessen Widerstand mißt, ist das am ATB Potsdam-Bornim entwickelte und von der Firma AgroCOM vertriebene **Crop-Meter**. Dabei wird ein an einem Potentiometer aufgehängtes Pendel durch den Widerstand des Getreidebestandes in den Fahrspuren ausgelenkt. Das Pendel wird entweder auf dem Traktor montiert. Die Auslenkung korreliert eng mit der Bestandesdichte und dem Blattflächenindex. Für eine flächenhafte Erfassung zeichnet das Fahrzeug die Position und die Pendelauslenkung mit 1 Hz auf und sollte dabei mit einer möglichst gleichmäßigen Geschwindigkeit fahren, um ungewünschte Auslenkungen zu vermeiden.
3. **Die Laserfluoreszenzsensoren** der DLR / Fa. Fritzmeier bzw. Planto GmbH / Amazonen die benutzen einen Niederenergielaser, um Pflanzenteile zur Fluoreszenz anzuregen. Mit dem aktiven Sensor ist ein auch ein tageslichtunabhängiger Betrieb möglich.

2.2 Flugzeuggetragene Sensoren

Bei Flugzeuggetragenen Sensoren gibt es eine große Vielfalt, angefangen von Farb- oder CIR-Luftbildderivationskameras bis hin zu multi- bzw. hyperspektraler Flugzeugsensorik. Für den praktischen Einsatz im Precision Farming kommen nur low-cost-Systeme in Frage, die für landwirtschaftliche Fragestellungen optimiert wurden. Um für kleinere Gebiete kostengünstig aktuelle fernerkundliche Daten zu erzeugen, sind in den letzten Jahren UAV's zunehmend in den Focus der Forschung gelangt. In den USA wurde das System Condor entwickelt. In Canada das System CropCam und in Europa ist in der Schweiz ein Hubschrauber gestütztes System in der Entwicklung¹. Darüber hinaus wird an der Universität Rostock an einem System gearbeitet.

PFIFF

Die Professur für Geodäsie und Geoinformatik setzt sich seit vielen Jahren mit der Entwicklung von digitaler flugzeuggetragener Fernerkundungssensorik auseinander. Im Rahmen der Dissertation von G. GRENZDÖRFFER (2002) ist das System PFIFF entstanden, das ursprünglich gezielt für landwirtschaftliche Anwendungen konzipiert war und somit in der Lage sein musste, innerhalb kürzester Zeit passpunktlos hochauflösende digitale Orthophotos zu generieren. PFIFF basiert auf einer digitalen Mittelformatkamera mit 22 Megapixel, einem eigens entwickelten Flugmanagementsystem und einem 2-Frequenz GPS-

¹ Annen, S. und Nebiker, S. (2007): Einsatz von Mikro- und Minidrohnen für Fernerkundungsaufgaben in der agrochemischen Forschung und Entwicklung.- DGPF-Jahrestagung 2007

Empfänger und ist in der Lage sehr flexibel hochgenaue Luftbilder und verschiedene Folgeprodukte zu generieren. Das System kann in jedes Sportflugzeug mit einer kleinen Bodenluke innerhalb von einer halben Stunde installiert und betrieben werden. PFIFF ist seit mehreren Jahren im Einsatz und wird kontinuierlich fortentwickelt, GRENZDÖRFFER 2006.

2.3 Satellitengetragene Sensoren

Bei der großen Fläche, die ein Satellitenbild abdeckt, können die Vorteile der Satellitenfernerkundung voll genutzt werden, die vor allem in der einheitlichen und großräumigen Betrachtung liegen sowie der Möglichkeit durch teilweise automatisierte Verfahren kostengünstige Informationen zu erhalten. Bei dem betrieblichen Einsatz von Satellitenfernerkundung im Sinne des Precision Farming treten die Schwachpunkte jedoch deutlicher hervor. Zum einen ist die schlechte zeitliche Verfügbarkeit der entsprechenden Information zu nennen, denn herkömmliche Satellitensysteme haben Wiederholraten von 3 – 24 Tagen. Bei den hiesigen Witterungsbedingungen ist deshalb nur mit wenigen wolkenfreien Szenen innerhalb einer Vegetationsperiode zu rechnen. Hinzu kommt, dass die Bodenauflösung von 2.5-30 m / Bildpunkt nicht für alle Fragestellungen ausreicht. Um quantitative Informationen über die Erdoberfläche zu erhalten und optische Fernerkundungsdaten überhaupt erst räumlich und zeitlich vergleichbar zu machen, muss der Einfluss der Atmosphäreinflüsse korrigiert werden. Eine Atmosphärenkorrektur ist notwendig, wenn z.B. bio- und geophysikalische Parameter wie Blattflächenindex, Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung, etc. abgeleitet und modelliert werden sollen.

Um trotz der skizzierten Schwierigkeiten im Sinne des Precision Farmings erfolgreich teilflächenbezogene Daten generieren zu können, ist eine enge Verzahnung von Satellitenfernerkundung mit Pflanzenentwicklungsmodellen notwendig, wie das in der Praxis in Frankreich und England mit dem Produkt Farmstar² auf der Basis von SPOT-Daten und hyperspektraler Flugzeugfernerkundung erfolgreich realisiert wird.

3 Literatur

GRENZDÖRFFER G. (2006): Praktische Erfahrungen mit dem digitalen Bildflugsystem PFIFF und einer Rollei AIC-45 CIR.- DGPF Jahrestagung 11.-13.9.2006, Berlin, (= Publikationen der DGPF Band 15): S. 335 – 342

GRENZDÖRFFER G. (2003): Investigations on the use of airborne remote sensing for variable rate treatments of fungicides, growth regulators and N-fertilisation.- In: STAFFORD, J. UND WERNER, A.: Precision Agriculture (= Proceedings of 4. ECPA, 16.-19.6.2003), S. 241 - 246

² http://www.specim.fi/pdf/AISA_Application12.pdf 26.04.2007

Sensorik und dynamische Simulationsmodelle als Grundlage teilflächenspezifischer N-Düngung zu Winterweizen und Winterraps

Sensors and dynamic simulation models for site specific nitrogen fertilisation of winter wheat and oilseed rape

Henning Kage, Ulf Böttcher, Karla Müller, Tobias Johnen
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel,
E-Mail: kage@pflanzenbau.uni-kiel.de

Abstract: *Site specific nitrogen fertilisation has the potential to increase nitrogen use efficiency in cereal and oilseed rape cropping systems. However, validated concepts for oilseed rape are still missing and existing, sensor based concepts for cereals do not yet sufficiently account for differences in yield potential caused by local variation of drought stress.*

New vegetation indices have been identified to estimate crop parameters like biomass and shoot N uptake of oilseed rape. Validation showed an adequate accuracy for the early vegetation until flowering. Preliminary results from plot experiments on several sites in Germany indicate that autumnal N uptake of oilseed rape has a significant effect on optimal N rates in spring. Therefore an offline approach for site specific N fertilisation based on autumnal, spectral reflection estimates of N uptake seems a promising way to partly overcome the problem of low nitrogen use efficiency of oilseed rape.

Tractor based measurements of canopy temperature and additional micrometeorological parameters can give local estimates of the crop water stress index (CWSI). Model inversion may be a tool to estimate soil parameters locally and scenario calculations then may give indications for difference in yield potential.

Keywords: *Simulation model, spectral reflection, canopy temperature, winter wheat, oilseed rape*

Es ist insbesondere für Getreidearten gezeigt worden, dass von einer teilflächenspezifisch variierten Stickstoffdüngung auf vielen Standorten eine wesentliche Verbesserung der Stickstoffeffizienz, d.h. eine Verringerung bestehender N-Bilanzüberschüsse erwartet werden kann (EBERTSEDER *et al.* 2003, RAUN *et al.* 2002). Forschungsbedarf besteht jedoch zum einen in der Entwicklung von validen Verfahren zur teilflächenspezifischen Düngung in weiteren Kulturarten und in der Erfassung ertragsbegrenzender Faktoren durch Sensorik.

Für Winterraps liegen jedoch bis heute so gut wie keine Erfahrungen zur teilflächenspezifischen Düngung vor. Ertragskartierungen belegen jedoch, dass Kornerträge von Winterraps eher noch höhere flächenhafte Schwankungen aufweisen als Getreideerträge (JOERNSGAARD & HALMOE 2002); eigene Untersuchungen) und somit ebenso erhebliche Unterschiede in den Stickstoffsalden von Teilflächen auftreten. Insbesondere vor dem Hintergrund der novellierten Düngeverordnung und den hierbei formulierten verbindlichen Obergrenzen für Stickstoffbilanzsalden ist Winterraps als „Problemkultur“ besonders herauszuheben, da er eine geringe N-Effizienz aufweist (LICKFETT 1993, LICKFETT & PRZEMECK 1995, SIELING *et al.* 1997), wodurch es zu hohen Stickstoffverlusten nach Rapsanbau, im Wesentlichen durch Auswaschung (CHALMERS & DARBY 1992) kommt und N-Salden von Betrieben mit Rapsanbau häufig den ab 2009 gültigen Grenzwert der Düngeverordnung (60 kg N/(ha*a)) überschreiten. Im Zusammenhang mit hohen N_{min}-Werten im Boden beim Rapsanbau stehen auch vergleichsweise hohe N₂O-Produktionsraten, die aufgrund ihrer Klimawirkung als kritisch einzustufen sind (SCHMÄDEKE 1998) und teilweise die Klimaschutzziele, die mit dem Anbau von Winterraps zur Produktion von Biotreibstoffen erreicht werden sollen, konterkarieren könnten. Winterraps hat in den letzten Jahren eine deutlich zunehmende Anbaubedeutung (Schätzung 2007: 1,5 Mio. ha, UFOP), wobei durch die angestrebte Quote von 20% Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien (EU-Gipfelbeschluss vom 13.3.2007) von einer weiteren Steigerung der Anbaufläche auszugehen ist.

Teilflächenspezifische N-Applikation in Winterraps bietet hierbei einen viel versprechenden Ansatz zur Verbesserung der N-Effizienz. Die hierfür nötigen Informationen über lokale Unterschiede in der Stickstoffversorgung, könnten Pflanzenparameter wie der Bestandesflächenindex (BFI), die Sprosstrockenmasse (TM) oder die Stickstoffmenge des oberirdischen Sprosses (N) liefern. Diese Pflanzenparameter sind durch Messungen der spektralen Reflexion von Beständen schätzbar, wobei in der Regel Vegetationsindizes (VI) genutzt werden, die aus verschiedenen mathematischen Kombinationen einzelner Spektralbänder bestehen. Zwar sind für Winterraps schon verschiedene VIs beschrieben worden, allerdings gibt es bisher keinen systematischen Vergleich der innerhalb eines Messbandes möglichen VIs.

Mittels dreier Methoden wurden deshalb VIs aus allen gemessenen Spektralbändern im Bereich von 400 nm bis 1000 nm in 10 nm Schritten gebildet. Zum einen wurde ein einfaches Verhältnis der Reflektion in zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 , die „Simple Ratio“ Form (SR) λ_1 / λ_2 gebildet, zum anderen die „Normalized Difference Index“ Form (NDI) $(\lambda_1 -$

$\lambda_2)/(\lambda_1+\lambda_2)$ und als letztes wurde mittels einer multiplen Regression (MR) die lineare Spektralband-Kombination aller vorhandener Bänder ermittelt, die sich für die Schätzung der jeweiligen Pflanzenparameter am besten eignet. Die Daten wurden an einem dreijährigen Datensatz, 2004-2006, eines Feldversuchs auf dem Versuchsgut Hohenschulen nahe Kiels getestet. Für die Validation wurde ein unabhängiger Datensatz des gleichen Standortes verwendet. Sowohl die Kalibrationsdaten (**Bild 1**), als auch für die Validationsdaten konnte gezeigt werden, dass es Vegetationsindices gibt, die sich von den bisher bei Getreide vorgeschlagenen unterscheiden und gut zur Schätzung der Pflanzenparameter im Winterraps geeignet sind.

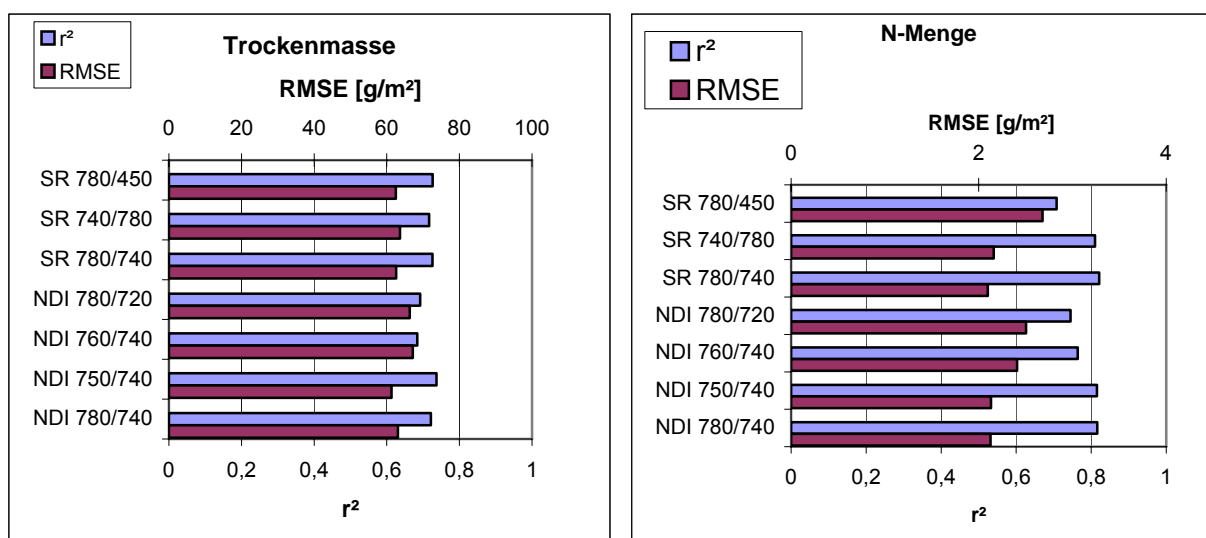


Bild 1: Mittlere Beschreibungsgüte (RMSE) und Bestimmtheitsmaß (r^2) linearer Regressionen zwischen verschiedenen Spektralindizes und Bestandesparametern von Winterraps (MÜLLER *et al.*, unveröffentlicht). NDI = normalized difference vegetation index, SR = simple ratio

Einjährige Ergebnisse eines zur Zeit bundesweit durchgeführten Projektes zur schlagspezifischen Düngung von Winterraps deuten an, dass die optimale Düngungshöhe von Winterraps negativ mit der Höhe der zum Ende der Vegetationszeit vom Bestand aufgenommenen N-Menge korreliert ist. Beziehungen zwischen Nmin-Stickstoffmenge im Frühjahr und der N-Menge in den Beständen zu Vegetationsbeginn im Frühjahr konnten dagegen nicht gefunden werden. Gegenstand laufender Untersuchungen ist die Übertragung dieser Ergebnisse in einen einfachen, empirischen Ansatz zur teilflächenspezifischen Düngung in Winterraps.

Bei der Anwendung von marktüblichen Systemen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung im Getreidebau kann es zu einer Überdüngung ertragschwacher Schlagregionen kommen, z.B. wenn Wasserverfügbarkeit ein ertragsbegrenzender Faktor ist (GEESING *et al.* 2001). Die pflanzenverfügbare speicherbare Wassermenge wird näherungsweise durch die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) charakterisiert (AG_Bodenkunde 1982). In die Berechnung der nFKWe fließen Kenngrößen des

Bodens, d.h. die nutzbare Feldkapazität in den durchwurzelten Bodenschichten (nFK) und der Pflanze, d.h. die effektive Durchwurzelungstiefe (W_e) ein.

Für eine Schätzung der nFK W_e kommen prinzipiell verschiedene Ansätze in Frage, z.B. die Bodenart (Reichsbodenschätzungsdaten) oder auch spezielle Bodensensoren wie z.B. der (EM38), der zur indirekten Bestimmung von Tongehalten dient.

Bisher wenig genutzt wurden Ansätze, die Reaktionen der Pflanzenbestände auf ein unterschiedliches Wasserangebot zur Ableitung von Wasserhaushaltsparametern nutzen. Prinzipiell sollten Verfahren dieser Art besser in der Lage sein, den Einfluss der nFK W_e auf das Ertragspotenzial zu beurteilen. Der Korntrag als direkter Maßstab für die pflanzenverfügbare Wassermenge stellt eine stark integrative Größe dar, d.h. der Einfluss von Trockenstress auf den Bestand wird hier über einen größeren Zeitraum gemittelt. Demgegenüber ist die Bestandestemperatur eine Größe, die kurzfristiger auf Trockenstress reagiert und eine starke Abhängigkeit von den aktuellen Witterungsparametern aufweist.

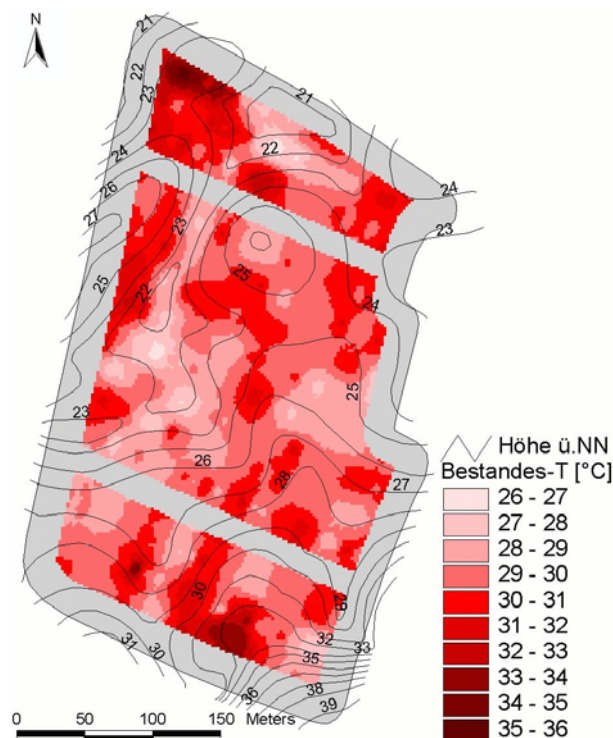


Bild 2: Bestandestemperatur auf einem Winterweizen-Schlag des Versuchsgutes Hohenschulen am 5. Juli 2006 (BÖTTCHER, unveröffentlicht)

Unter bestimmten Bedingungen (konstant hohe Einstrahlung, hohes Sättigungsdefizit der Luft und relativ gleichmäßiger Wind) können schleppergestützt, während der Befahrung eines Schlages teilflächenspezifische Variationen der Bestandestemperatur gemessen werden (**Bild 2**). Aus diesen unterschiedlichen Bestandestemperaturen kann auf unterschiedliche Verhältnisse der aktuellen zur potentiellen Evapotranspiration geschlossen werden, die wiederum auf Unterschiede in den Bodenwasservorräten hindeuten, was letztlich auf unterschiedliche Bodeneigenschaften zurückgeführt werden kann. Zur quanti-

tativen Interpretation der Informationen aus teilflächenspezifischen Bestandestemperaturmessungen ist jedoch ein mehrstufiges Verfahren notwendig, in dem Parameter dynamischer Wasserhaushaltsmodelle, die in stündlichen bzw. eintägigen Zeitschritten betrieben werden, anzupassen sind. Hierzu werden erste Ergebnisse vorgestellt.

Literatur

- CHALMERS A.G., DARBY R.J. (1992):** Nitrogen application to oilseed rape and implications for potential leaching loss. *Aspects of Applied Biology* 30, 425-430
- EBERTSEDER T., GUTSER R., HEGE U., BRANDHUBER R., SCHMIDHALTER U. (2003):** Strategies for site-specific nitrogen fertilization with respect to long-term environmental demands. *In* 4th ECPA, Berlin, 2003. pp 193-198
- GEESING D., GUTSER R., SCHMIDHALTER U. (2001):** Importance of spatial and temporal soil water variability for nitrogen management decisions. *In* Third European Conference on Precision Agriculture, Eds G Greener and S Blackmore. pp 569-664, Montpellier
- JACKSON R.D., IDSO S.B., REGINATO R.J., PINTER JR P.J. (1981):** Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17, 1133-1138
- JOERNSGAARD B., HALMOE S. (2002):** Intra-field yield variation over crops and years. *Eur. J. Agron.* 19, 23-33
- LICKFETT T. (1993):** Auswirkungen verminderter Produktionsintensität in zwei Rapsfruchtfolgen auf Elemente des N-Haushaltes im System Boden-Pflanze. pp 146 S. Göttingen
- LICKFETT T., PRZEMECK E. (1995):** Ausnutzungsgrad von Mineraldünger-Stickstoff in Rapsfruchtfolgen unterschiedlicher Produktionsintensität. *VDLUFA Schriftenreihe Kongressband 1995* 40, 833-836
- RAUN W.R., SOLIE J.B., JOHNSON G.V., STONE M.L., MULLEN R.W., FREEMAN K.W., THOMASON W.E., LUKINA E.V. (2002):** Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. *Agronomy Journal* 94, 815-820
- SCHMÄDEKE F. (1998):** Lachgas- und Methanflüsse eines Gley-Auenbodens unter dem Einfluß einer Rapsfruchtfolge und in Abhängigkeit von der N-Düngung. *In* Fakultät für Agrarwissenschaften. pp 139. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen
- SIELING K., GÜNTHER-BORSTEL O., HANUS H. (1997):** Effects of slurry application and mineral nitrogen fertilization on N leaching in different crop combinations. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 128, 79-86

Quality assessment of kiwi by means of laser-induced backscattering imaging

Qualitätsbewertung von Kiwifrüchten auf der Basis eines bildgebenden Verfahrens zur Messung der laserinduzierter Rückstreuung im Fruchtgewebe

László Baranyai¹, Zhaoshen Qing², Manuela Zude¹

¹ Leibniz-Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim (ATB),
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim, Germany,
E-Mail: zude@atb-potsdam.de; E-Mail: lbaranyai@atb-potsdam.de

² China Agricultural University (CAU), College of Food Science and Nutritional Engineering,
Qinghua Donglu No.17, 294#, 100083, Haidian District, Beijing, P.R. China

Abstract: The internal quality parameters, such as soluble solids content (SSC) and fruit flesh firmness, are key features in postharvest processing and management of the supply chain from field to fork. The nondestructive determination of these attributes is essential for real-time measurements. Acoustic and impact techniques, near-infrared spectroscopy in the range of 600-1100nm are reported to be successful in quality control. A new approach of the analysis of laser-induced backscattering is introduced in this work. The size of the fruit is calculated on the basis of the displacement of the spot on the surface. The intensity profile is created as function of distance measured from the incident point of the laser beam. The main goal of the presented study is to find the proper parameters of the intensity profile of the laser light backscattering in order to estimate firmness. The backscattering area is estimated using the distance of the inflection point, and the change of the profile is described with an exponential function. The experiments are started but the research work is in its very early stage, therefore preliminary results are shown here.

Keywords: kiwi, imaging, laser-induced light backscattering, nondestructive sensing

Zusammenfassung: Daten zu inneren Qualitätsparametern von Früchten, wie der lösliche Trockensubstanzgehalt und die Fruchtfleischfestigkeit, sind essentiell für das Prozessmanagement entlang der Versorgungskette from farm to fork. Für deren prozessnahe Erfassung eignen sich besonders zerstörungsfreie Methoden. Akustische und mechanische Messmethoden sowie die Reflexionsspektroskopie im nahinfraroten Wellenlängenbereich zwischen 600-1100 nm haben sich für die Analyse einzelner Parameter bereits in der Qualitätskontrolle bewährt. In der vorliegenden Arbeit soll ein neuer Ansatz zur kombinierten Erfassung der beiden genannten Fruchtqualitätsparameter auf der Basis von bildgebenden Verfahren zur Messung der laserinduzierten Rückstreuung vorgestellt werden. Hierbei wurde die Fruchtgröße auf der Basis der Abweichung der Laserreflexion auf der Oberfläche bestimmt. Die Intensitäten des rückgestreuten Lichtes als Funktion der Distanz vom Einstrahlpunkt in das Fruchtgewebe ergab charakteristische Verteilungsprofile. Die Analyse dieser Histogramme erfolgte mittels des ersten Wendepunktes sowie der Koeffizienten einer Exponentialfunktion. Der Zusammenhang zwischen Koeffizienten und Gewebeeigenschaften sind im Beitrag dargestellt.

Deskriptoren: Kiwi, Bildverarbeitung, laserinduzierte Rückstreuung, zerstörungsfreie Analyse

1 Introduction

There are internal quality parameters of outstanding importance in postharvest processing of fruits and vegetables, and also in the management of the logistics of food and raw materials, such as soluble solids content (SSC) and flesh firmness. Digital image processing applications are able to determine the ripeness stage of certain fruits and vegetables on the basis of their surface pattern (BARANYAI & SZEPES 2002). Nondestructive techniques are already used to measure firmness evolution during storage by means of acoustic and impact methods (DIEZMA-IGLESIAS *et al.* 2006). Due to the increasing uncertainty of the climacteric samples, it is recommended to perform firmness measurements for grading and sorting as soon as possible after harvest (DE KETELAERE *et al.* 2006).

Near-infrared spectroscopy in the wavelength range of 600-1100nm was proved to be able to distinguish between different values of SSC (MILLER & ZUDE 2004). This technique is already built into commercial fruit sorting equipments. There are also good results with analysis of laser-induced backscattering images in order to estimate fruit flesh firmness and SSC in apples (PENG & LU 2006, QING 2007). The backscattering area is segmented in the process and the intensity profile of the spot is investigated in that case. Due to the curvature of the fruit, intensity values should be corrected using the Lambertian cosine law (QING 2007). The histogram of intensities (QING 2007) and the size of the backscattering area (PENG & LU 2006) and the coefficients of the function fitted to the trend of intensity change in radial directions measured from the center of the spot (PENG & LU 2006) have good correlation with the reference values measured with standard methods.

The objective of the presented work is to analyze laser-induced backscattering images of kiwi fruit in order to estimate the firmness. It is also a goal of this study to find a more robust way to describe backscattering area and the profile of intensity values as function of distance measured from the incident point of the laser beam.

2 Experimental

Laser beams of selected wavelengths, in the range of 500-1100nm, are steered to the given position of the target point (**Figure 1**). The camera is placed above the sample and the incident angle of the laser light is 15°. Color images of 768x576 pixel size and 24 bpp color depth are acquired. The measured intensity of the backscattering area and the position of the spot are affected by the curvature of the fruit. The radius of the fruit is estimated from the same image.

According to the basic rule of the central and perimeter angles of view (eq. 1a.), radius can be estimated on the basis of the displacement of the incident point (d) and the incident angle (α) of the laser beam (eq. 1b). The error of the estimation depends on the accuracy of the setup of the incident angle and the resolution of the image.

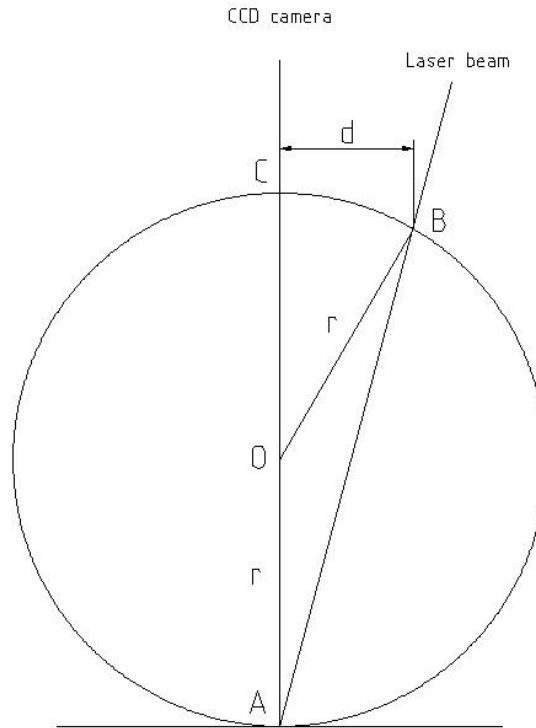


Figure 1: Geometry of the measurement. A = target point, B = incident point, d = displacement of the spot, r = radius

$$2 \times \text{CAB} \angle = \text{COB} \angle \text{ a) } \quad r = \frac{d}{\sin 2\alpha} \text{ b) } \quad (1)$$

First of all, the central point of the spot is calculated. A new layer of luminance is created where the area of the spot is segmented and the central point is given as an average with the weights of luminance values. The Lambertian cosine law is used to adjust the intensity values of the surface. The size of the selected bounding box of the spot is increased so that the darker backscattering pixels can be taken into account as well. Average values of intensity are calculated in radial directions (**Figure 2**). The distance value of zero corresponds to the central point of the spot. The intensity values are decreasing similar to a logistic function of the distance. The inflection point is identified as the position of the maximum value of the first derivatives. This point defines the width of the spot. The initial part of the profile, where distance values are lower than the distance of the inflection point, is eliminated. The slope of the function is calculated with curve fitting (eq. 2.) using the least squares method. The coefficient C shows the exponential decrease of backscattering, A means the intensity of the incident point, B means the intensity change of the profile, Y is the estimated value of intensity and x is the distance.

$$Y = A - B(1 - e^{-\frac{x}{C}}) \quad (2)$$

This exponential function is fitted to the data points well, with the $R^2 > 0.99$ ($n=106$ for **Figure 2b**).

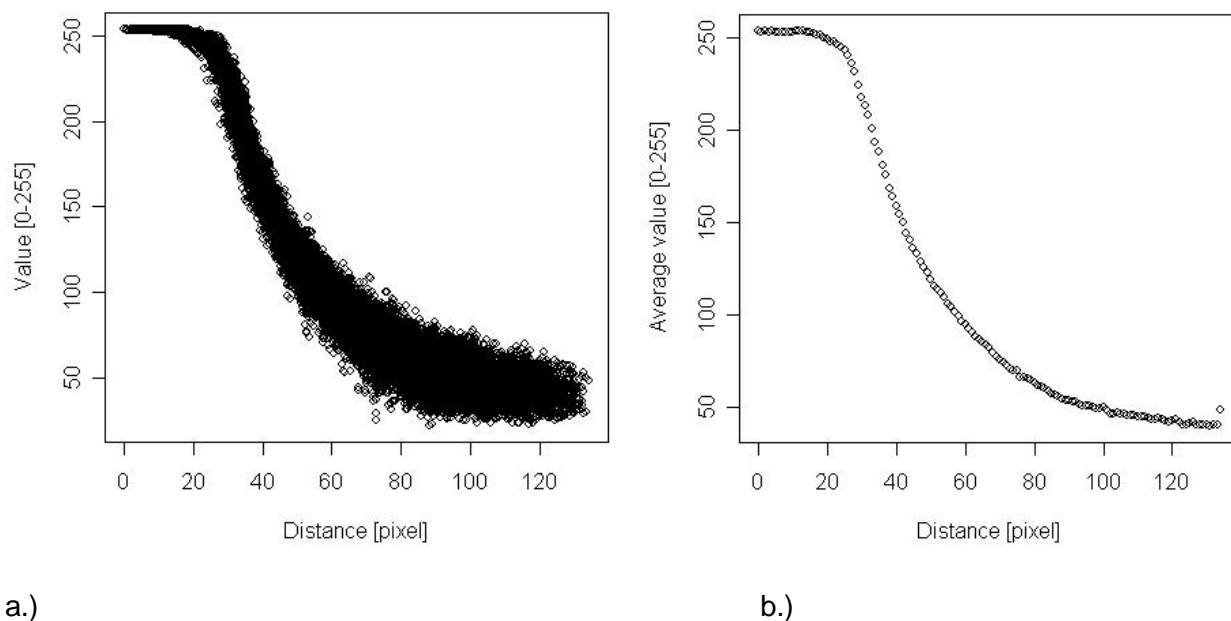


Figure 2: Profile of intensities in radial directions (a) and the average of concentric sectors (b)

Figure 3 shows the result of curve fitting, the estimated intensities versus the observed intensity values.

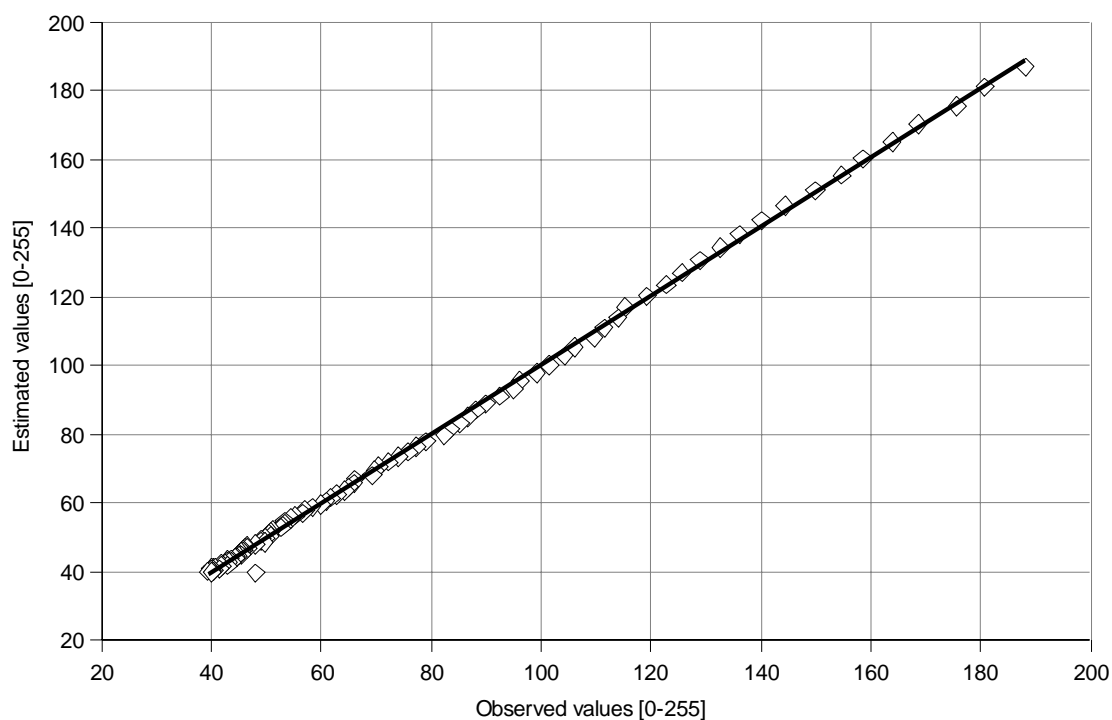


Figure 3: Measured and estimated values of the intensity profile

As a result, there are two parameters suggested to describe backscattering profile:

- the distance between the inflection point of the profile and the incident point of the laser beam
- the exponential decrease of intensity values.

3 Outlook

The presented work is in the very early stage of the experiments and has only preliminary test results. At this point, according to these results and the cited papers, only the measurements and data collection were started. Several tests, with statistical analysis, should be performed to answer the questions of

- what are the beneficial wavelengths of the laser beam for quality assessment of kiwi
- what functions are able to estimate the firmness of fruits on the basis of the parameters of the scattering profile
- what other parameters could be extracted from the intensity profile of backscattering
- what optimization can be done to increase the speed of calculations so that it could be built into a sorting line

4 References

- BARANYAI L., SZEPEŠ A. (2002):** Analysis of fruit and vegetable surface color. *Machine Graphics and Vision Journal*. 11:351-361
- DIEZMA-IGLESIAS B., VALERO C., GARCÍA-RAMO F.J., RUIZ-ALTISENT M. (2006):** Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods *Journal of Food Engineering*. 77:926-935
- DE KETELAERE B., HOWARTH M.S., CREZEE L., LAMMERTYN J., VIAENE K., BULENS I., DE BAERDEMAEKER J. (2006):** Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biology and Technology*. 41:275-284
- MILLER W.M., ZUDE M. (2004):** NIR-based sensing to identify soluble solids content of Florida citrus. *Appl. Eng. Agric.* 20:321-327
- PENG Y.K., LU R.F. (2006):** New approaches of analyzing multispectral scattering profiles for predicting apple fruit firmness and soluble solids content. In: Meeting Presentation of ASABE, Oregon, USA, 9-12 July, Paper N° 066234
- QING Z.S., JI B.P., ZUDE M. (2007):** Predicting soluble solid content and firmness in apple fruit by means of laser light backscattering image analysis. *Journal of Food Engineering*. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.016

Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - dreijährige Erfahrung aus der Praxis

Site-specific weed control - three years of practical experience

Markus Sökefeld, Roland Gerhards, Horst Oebel
Institut für Phytomedizin 360, Fachgebiet Herbologie, Universität Hohenheim,
Otto-Sander-Strasse 5, D-70599 Stuttgart,
E-Mail: m.soekfeld@netcologne.de

Zusammenfassung: Auf einem landwirtschaftlichen Praxisbetrieb wird seit dem Jahr 2004 teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auf der Basis automatischer Unkrauterken-
nung mittels Bildverarbeitung und Dreikammerspritze durchgeführt. Auf allen untersuchten
Flächen wurden durch die erzielten Einsparungen aufgrund des verminderten Herbizidein-
satz die zusätzlichen Verfahrenskosten gedeckt. Nach der Herbizidapplikation lag die
durchschnittliche Verunkrautung zwischen 0-3 Pflanzen/m².

Deskriptoren: Precision farming, teilschlagspezifische Unkrautkontrolle, Unkrauterken-
nung, Herbizideinsparungen

Abstract: *Since 2004 site-specific herbicide application based on an automatic weed
identification system and a multiple sprayer is conducted on a farm near cologne. The
achieved herbicide savings compensated the calculated costs for camera guided weed
sampling and site-specific herbicide application. After herbicide application the average
weed density was 0-3 plants/m².*

Keywords: *Precision farming, site-specific weed control, weed identification, herbicide
savings*

1 Einleitung

Die heterogene Verteilung von Unkräutern auf Ackerschlägen ist in den vergangenen Jahren mehrfach dokumentiert worden (MARSHALL 1988, CARDINA *et al.* 1995, CHRISTENSEN & HEISEL 1998, DIELEMAN & MORTENSEN 1999, GERHARDS & CHRISTENSEN 2003). Trotz der Kenntnis über das nestartige auftreten von Unkräutern auf Ackerflächen existiert bis heute keine kommerziell erhältliche Technologie um in der praktischen Landwirtschaft diesem Phänomen gerecht zu werden. Bisher werden Ackerschläge immer noch ganzflächig mit einer einheitlichen Herbiziddosis behandelt. Auf experimenteller Ebene werden seit einigen Jahren Versuche zur automatischen Ermittlung des Unkrautbesatzes mit unterschiedlichen Technologien durchgeführt (FELTON & MCCLOY 1992, SÖKEFELD *et al.* 1994, WOEBBECKE *et al.* 1995, DOHMEN 1996, BILLER 1998, CHAPRON *et al.* 1999, LEE *et al.* 1999, YANG *et al.* 2003). Die Umsetzung in die Praxis blieb bisher aus. Neben dem technischen Verfahren der Unkrauterfassung ist eine an die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle angepasste Applikationstechnik erforderlich. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein System zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Praxisflächen über den Zeitraum von drei Jahren eingesetzt und aus pflanzenbaulicher und ökonomischer Sicht bewertet.

2 Material und Methoden

Versuchsstandort

Unter Praxisbedingungen wurde die teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Hurtz in Nideggen Berg 60 km südwestlich von Bonn seit dem Anbaujahr 2004 durchgeführt. Der pfluglos arbeitende 110 ha große Ackerbaubetrieb baut die Kulturarten Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Sommergerste und Körnererbsen an. In allen Kulturarten wurde eine Unkrautkontrolle im Sinne von Precision Farming praktiziert. Die vom Landwirt zur Verfügung gestellten Flächen wurden ausgenommen der Unkrautkontrolle betriebsüblich bewirtschaftet. In den zurückliegenden Anbaujahren wurden die in **Tabelle 1** dargestellten Flächenanteile der einzelnen Fruchtarten einer teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle unterzogen.

Tabelle 1: Größe der mit dem Verfahren teilschlagspezifische Unkrautkontrolle behandelten Flächen auf dem Betrieb Hurtz unterteilt nach Anbaujahren und Kulturarten

Anbaujahr	Kultur	Fläche [ha]
2004	Sommergerste	17,1
2005	Winterweizen	20,2
	Wintergerste	8,2
	Winterraps	6,7
	Sommergerste	8,5
	Körnererbsen	5,9
2006	Winterweizen	18,3
	Wintergerste	11,1
	Winterraps	16,7
	Sommergerste	8,5
2007	Winterweizen	5,9
	Wintergerste	8,2
	Sommergerste	7,9

Unkrauterfassung

Im Sinne eines praxistauglichen Verfahrens wurde die Unkrauterfassung mit einem mobilen Kamerasystem durchgeführt. Auf einem selbstfahrenden, mit GPS ausgerüsteten, Trägerfahrzeug waren drei Kameras in einem Abstand von drei Metern quer zur Fahrtrichtung angebracht. Bei einer Vorfahrtsgeschwindigkeit von ca. 7 km/h und einer Aufnahme Frequenz von ca. 1 Bild/s und Kamera wurde eine räumliche Auflösung der Bildaufnahme von ca. 3 m * 1 m realisiert. Der Bildausschnitt pro Kamera betrug ca. 0,02 m². Zum Einsatz kamen Bispektralkameras die eine wirkungsvolle Unterdrückung der Reflexion von Mulch, Steinen und anderen Störgrößen bei einer Kontrastanhebung zwischen vitalem Pflanzenmaterial und Boden gewährleisten (SÖKEFELD *et al.* 2002). Die georeferenzierten Bilder wurden auf dem mitgeführten Bordcomputer gespeichert und standen so einer späteren Bildauswertung zwecks Erstellung einer Unkrautverteilungskarte zur Verfügung.

Für die Bildauswertung konnte aufgrund der hohen Bildqualität eine automatische Segmentierung zwischen Boden und Pflanze (Binarisierung) durchgeführt werden. Mit einem automatisierten bildanalytischen Verfahren der Mustererkennung über Formmerkmale der Pflanzen – bestehend aus: Einlesen der Binärbilder, Konturextraktion, Klassifizierung der Pflanzenarten durch einen wissensbasierten Vergleich der Konturmerkmale – wurde eine Unterscheidung in Kulturpflanze und drei Unkrautklassen (dikotyle Unkräuter, monokotyle Unkräuter, Sonderklasse z.B. *Galium aparine*) sicher und schnell (20 Bilder/s) durchgeführt (SÖKEFELD *et al.* 2000).

Aus den geokodierten Daten der Bildauswertung wurden Unkrautverteilungskarten für jede Unkrautklasse erstellt. Durch eine farbliche Codierung wurde der Unkrautbesatz in

den Stufen keine Verunkrautung, schwache Verunkrautung, mittlere Verunkrautung und starke Verunkrautung angezeigte. Zur Verifizierung der Daten erfolgte ein Vergleich mit visuell erhobenen Daten aus einer 7,5 m * 15 m Rasterbonitur. Zur Erstellung von Applikationskarten wurden die klassifizierten Unkrautklassen mit ökonomischen Schadschwellen belegt, so dass man eine Applikationskarte erhielt, die nach Bereichen ohne, geringer, mittlerer und hoher Herbizidausbringung unterschied.

Applikationstechnik

Die Umsetzung der jeweils drei Applikationskarten erfolgte mit einer DGPS-gesteuerten Dreikammerspritze mit 21 m Arbeitsbreite, Teilbreitenschaltung (3 m) und zentraler Bedienung über einen Bordrechner. Der Bordcomputer überträgt den Spritzauftrag über eine zentrale Steuereinheit an die drei Spritzcomputer und berechnet die benötigte Spritzmenge für die drei Tanks. Die Spritztanks wurden mit drei auf die Unkrautgruppen selektiv wirkenden Wirkstoffmischungen befüllt und entsprechend der Unkrautartenverteilung wurde kein, ein, zwei oder drei Wirkstoffe gleichzeitig appliziert. Über GPS wurden die Teilbreiten der drei Spritzen automatisch angesteuert. Somit wurde die Herbizidmischung der lokalen Verunkrautung angepasst. Die Ausbringungsmenge wurde über Drucksensoren und Durchflussmesser reguliert, je nach Dichte der Verunkrautung wurden zwischen 70% und 100% der regulären Aufwandmenge ausgebracht. (GERHARDS *et al.* 2004). Im zeitlichen Abstand auf die Herbizidapplikation erfolgte auf allen untersuchten Flächen eine visuelle Erfolgsbonitur im Raster 7,5 m * 15 m.

3 Ergebnisse

Technikeinsatz

Mit der benutzten Aufnahmetechnik wurden unter variierenden Aufnahmebedingungen weitgehend störungsfrei Bildvorlagen erstellt. Mit Hilfe des verwendeten Bildverarbeitungssystems und den erstellten Wissensdatenbanken wurde eine zuverlässige Klassifizierung der in den Bildern befindlichen Pflanzen vorgenommen. Der Vergleich der maschinell und visuell erstellten Unkrautverteilungskarten zeigte eine gute Übereinstimmung der verunkrauteten Bereiche. Der Einsatz der Dreikammerspritze gewährleistete eine zeitgleiche und unabhängige Umsetzung von bis zu drei Applikationskarten.

Unkrautkontrolle

Aufgrund der durchgeführten Bonituren konnten für alle untersuchten Flächen Unkrautverteilungskarten bzw. unter Einbeziehung ökonomischen Schadschwellen Applikationskarten erstellt werden. Auf allen untersuchten Flächen konnten in den zurückliegenden Versuchsjahren Herbizideinsparungen erreicht werden. Die tatsächlich realisierten Herbizid-

einsparungen im Vergleich zu einer vollflächigen Applikation in der empfohlenen Aufwandmenge ist getrennt nach Kulturarten, Anbaujahren und Unkrautklassen in **Tabelle 2** dargestellt.

Tabelle 2: Prozentuale Herbizideinsparungen bei Durchführung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle im Vergleich zur ganzflächigen Behandlung (100%), unterteilt nach Anbaujahren, Fruchtarten und Unkrautklassen

Anbaujahr Fruchtart	Herbizideinsparung [%] im Vergleich zur konventionellen Behandlung (100%)		
	Dikotyle	Monokotyle	Sonderklasse
2004			
Sommergerste	46	18	
2005			
Winterweizen	58	65	52 ¹
Wintergerste	34	38	
Winterraps	19	20	
Sommergerste	26	71	
Körnererbsen	22	30	
2006			
Winterweizen	24	46	
Wintergerste	24	22	
Winterraps	23 ²		
Sommergerste	22	41	57 ³
2007			
Winterweizen	89	35	12 ⁴
Wintergerste	33	77	
Sommergerste	k.A.	k.A.	k.A.

¹ *Galium aparine* ² Dikotyle und Monokotyle wurden mit einem Wirkstoff behandelt

³ Ausfallgetreide ⁴ Ausfallraps

Trotz der teilweise erheblichen Herbizideinsparungen von bis zu 89% konnte durch die Erfolgsbonituren bestätigt werden, dass in allen Versuchsjahren und auf allen untersuchten Flächen nach der Unkrautkontrolle kein erhöhter Unkrautdruck auftrat, die mittleren Unkrautdichten lagen zwischen 0 und 3 Pflanzen/m² und damit erheblich unterhalb der ökonomischen Schadschwelle.

Ökonomische Bewertung

Neben der Tatsache, dass durch die Einsparungen von Herbiziden der Naturhaushalt weniger stark belastet wird, ist für den Praktiker eine ökonomische Bewertung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle ein wichtiger Faktor für die Beurteilung des Gesamtsystems. Einsparungen, die durch den verminderten Herbizideinsatz erzielt werden konnten (**Tabel-**

le 3) müssen den durch den Technikeinsatz entstandenen Mehrkosten gegenübergestellt werden. In Zusammenarbeit mit dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) wurden die Verfahrenskosten kalkuliert. Bei dem derzeit praktizierten offline Verfahren (zeitliche Trennung von Bildaufnahme und Herbizidapplikation) werden Kosten für die Kamerabonitur von 10,92 €/ha veranschlagt. Die zusätzlichen Kosten für den Einsatz der Dreikammerspritze im Vergleich zu einer konventionellen Spritze betragen 4,66 €/ha. Die auf den untersuchten Flächen erzielten Einsparungen waren in allen Fällen ausreichend um die entstandenen Mehrkosten von 15,58 €/ha zu decken.

Tabelle 3: Monetäre Einsparungen durch verringerten Herbizidverbrauch in den untersuchten Kulturarten des Betriebes Hurtz in den Anbaujahren 2004 - 2006

Anbaujahr	Kultur	Einsparungen [€/ha]
2004	Sommergerste	19,97
2005	Winterweizen	41,53
	Wintergerste	24,81
	Winterraps	16,23
	Sommergerste	33,52
	Körnererbsen	18,35
2006	Winterweizen	17,98
	Wintergerste	15,83
	Winterraps	30,0
	Sommergerste	22,49
2007	Winterweizen	k.A.
	Wintergerste	k.A.
	Sommergerste	k.A.

4 Diskussion

Mit der auf den Praxisflächen verwendeten Verfahrenstechnik bestehend aus Bildaufnahme, Bildauswertung und Dreikammerspritze wurde eine sichere Detektion der Unkrautnester und eine anschließende Bekämpfung sichergestellt. Die Wirtschaftlichkeit des zurzeit praktizierten offline-Verfahrens wurde durch die Gegenüberstellung von Verfahrenskosten und Mehrerlös gezeigt. Durch eine Kombination von kameragesteuerten Unkrauterkennerung und Applikationstechnik in einem Arbeitsgang (online-Verfahren) lassen sich die Verfahrenskosten nach Kalkulationen des KTBL um 4,17 €/ha senken, wodurch eine erhöhte Akzeptanz zu erwarten ist.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Manfred Hurtz für die Bereitstellung der Flächen und sein große Kooperationsbereitschaft. Die Arbeiten wurden gefördert durch das BMVEL unter dem Förderkennzeichen 03UM013.

5 Literatur

- BILLER R.H. (1998):** Pflanzenunterscheidung und gezielter Einsatz von Herbiziden. Forschungs-Report 1, 34-36
- CARDINA J., SPARROW D.H., MCCOY E.L. (1995):** Analysis of spatial distribution of common lamb-quarters (*Chenopodium album*) in no-till soybean (*Glycine max*). *Weed Science* 43, 258-268
- CHAPRON M., REQUENA-ESTESO M., BOISSARD P., ASSEMAT L. (1999):** A method for recognizing vegetal species from multispectral images. In: *Precision Agriculture 1999, 2nd European Conference on Precision Agriculture, Part 1.* (Ed. JV Stafford). Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, 239-248
- CHRISTENSEN S., HEISEL T. (1998):** Patch spraying using historical, manual and real-time monitoring of weeds in cereals. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVI*, 257-263
- DIELEMAN J.A., MORTENSEN D.A. (1999):** Characterizing the spatial pattern of *Abutilon theophrasti* seedling patches. *Weed Research* 39, 455-467
- DOHMEN B. (1996):** Optoelektronisch gesteuerte Applikation von Herbiziden – Erfahrungen mit dem amerikanischen System WeedSeeker bei der Unkrautbekämpfung auf Bahndämmen. In: *Innovative Verfahren zur Unkrauterkenung.* KTBL Arbeitspapier 236, 86-94
- FELTON W.L., MCCLOY K.R. (1992):** Spot spraying. *Agricultural Engineering*. 73, 6: 9-12
- GERHARDS R., CHRISTENSEN S. (2003):** Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet winter wheat and winter barley. *Weed Research* 43, 1-8
- GERHARDS R., DICKE D., OEBEL H. (2004):** Precision farming in weed control. In: *Scientific Colloquium University of Hohenheim, Weed Science on the Go*, edited by P. Zwirger and T. Eggers, Stuttgart-Hohenheim, 55-65
- LEE W.S., SLAUGHTER D.C., GILES D.K. (1999):** Robotic weed control for tomatoes. *Precision Agriculture* 1, 95-113
- MARSHALL E.J.P. (1988):** Field-scale estimates of grass populations in arable land. *Weed Research* 28, 191-198
- SÖKEFELD M., GERHARDS R., KÜHBAUCH W. (1994):** Automatische Erkennung von Unkrautarten mit digitaler Bildverarbeitung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIV*, 143-152
- SÖKEFELD M., GERHARDS R., KÜHBAUCH W. (2000):** Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle – von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVII*, 227-232
- SÖKEFELD M., GERHARDS R., THERBURG R.-D., NABOUT A., JACOBI J., LOCK R., KÜHBAUCH W. (2002):** Multispektrale Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 227-233

WOEBBECKE D.M., MEYER G.E., VON BARGEN K., MORTENSEN D.A. (1995): Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE) 38, 271-281

YANG C.C., PRASHER S., LANDRY J.-A., RAMASWAMY H. (2003): Development of an image processing system and a fuzzy algorithm for site-specific herbicide applications. Precision Agriculture 4, 5-18

Spektrale Vermessung von Wachstumsheterogenitäten und Modellierung des Ertrages von Kartoffeln

Spectral measurement of growth heterogeneity and modelling of the yield in potatoes

Knut Hartmann, Holger Lilienthal, Ewald Schnug
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: pb@fal.de

Zusammenfassung: Die geo-referenzierte spektrale Vermessung von Kulturpflanzen innerhalb der Vegetationsperiode kann Aufschluss über Wachstumsunterschiede, Ertragsverteilung und mögliche Qualitätsunterschiede geben. In einem Untersuchungsgebiet in York/Großbritannien wurden Kartoffelschläge zu 5 Terminen spektral vermessen und Heterogenitäten erfasst. Die Interpretation der Daten ermöglicht Rückschlüsse auf Wachstums- und Qualitätsunterschiede im Verlauf der Vegetationsperiode. Mit Hilfe eines einfachen Wachstumsmodells konnte die Ertragsvariabilität bestimmt und auf die Teilfläche übertragen werden.

Das Potential der gewonnenen Informationen liegt in der Sicherung einer einheitlichen Qualität und Ertrages und kann zur Planung einer angepassten Bewässerung, sowie einer teilflächenspezifischen Herbizidapplikation gegen Ende der Vegetationsperiode eingesetzt werden.

Deskriptoren: Reflexionsmessung, Fernerkundung, Precision Agriculture, Modellierung

Abstract: *Geo-referenced spectral measurements of plants during the vegetation period provide information on growth differences, yield distribution and potential quality differences. On a test site in Yorkshire/UK the spectral reflectance of potatoes have been measured five times and heterogeneity has been analysed. The interpretation of these data allows drawing conclusions on growth and quality differences during the vegetation period. Based on a simple growth model the yield variability could be spatially transferred to the field.*

The potential of the retrieved information is to ensure a homogeneous quality and yield and can be used for the planning of a spatially adjusted irrigation, as well as a site-specific herbicide application toward end of the vegetation period.

Keywords: *reflectance measurement, remote sensing, precision agriculture, modelling*

1 Einleitung

Die Kenntnisse über die Entwicklung der räumlichen Variabilität des Pflanzenbestandes und der Ernte liefern wichtige Informationen für eine angepasste Bewirtschaftung eines Schlates. Kleinräumige Standortunterschiede können zu unterschiedlichen Ertrags- und Qualitätsunterschieden führen (HANEKLAUS *et al.* 1997). Insbesondere für die Veredlung von Kartoffelprodukten (Chips, Pommes frites) sind die Qualitätsansprüche an die Kartoffelknolle hoch. Frühzeitige Kenntnisse über die flächenhafte Abreife, den Ertrag und die Qualität der Knolle liefern wichtige Informationen für den Landwirt und können ein teilflächenspezifisch angepasstes Management ermöglichen.

Die Integration von Fernerkundungsdaten mit Wachstumsmodelle ist eine Möglichkeit, um eine qualitative Aussage über das Pflanzenwachstum mit einer engen zeitlichen Auflösung zu liefern. Außerdem lassen sich durch die Einbindung von Fernerkundungsdaten Modelle, die meist nur auf Basis eines Schlates arbeiten, regionalisieren.

2 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Grafschaft Yorkshire in Großbritannien (**Bild 1**). In der Vegetationsperiode 2006 wurde im laufenden Betrieb ein 10 ha großes Testfeld genauer untersucht. Die Bewirtschaftung der Fläche erfolgte einheitlich (Düngung, Pflanzenschutz, Beregnung). Witterungsdaten (Temperatur, Niederschläge und photosynthetisch aktive Strahlung, PAR) wurden von einer nah gelegenen Station bereitgestellt.



Bild 1: Untersuchungsgebiet in der Grafschaft Yorkshire, Großbritannien. (verändert nach University of York 2006)

Zum Zeitpunkt der Krautabtötung wurden 23 geo-referenzierte Proben (D-GPS) von jeweils 8 Kartoffelpflanzen erhoben, und die Frisch und Trockenmasse der Kartoffeln bestimmt. Die Beprobungen dienten sowohl zur Erfassung der räumlichen Variabilität der Parameter, als auch zur Korrelation der Daten mit den Fernerkundungsmessungen und zur Validierung des Wachstumsmodells.

Sensorik

Zur Erfassung der spektralen Reflexionssignaturen wurde ein YARA N-Sensor[®] im frei programmierbaren *Fieldscan Modus* eingesetzt. Der Sensor zeichnete die Reflexion in 20 Kanälen auf (λ_{\max} [nm]: 450, 480, 500, 520, 530, 550, 570, 600, 620, 640, 660, 670, 680, 700, 720, 740, 760, 770, 780, 790). Der Sensor wird auf dem Dach eines Traktors befestigt und vermisst vier jeweils ellipsenförmige Flächen um den Traktor (**Bild 2**). Insgesamt wird jeweils eine Fläche von 4,5 m² erfasst und als eine Punktmessung abgespeichert. Das Feld wurde fünf Terminen (49, 59, 87, 99 und 117 Tage nach der Pflanzung) vermessen.

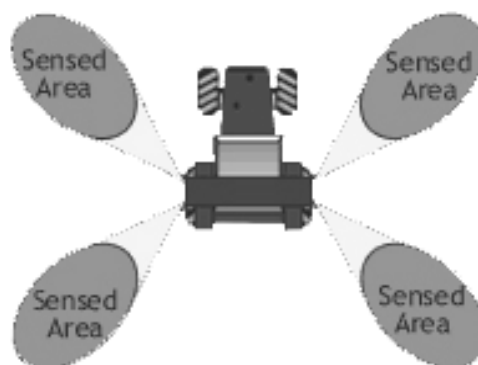


Bild 2: Messflächen des YARA N-Sensors[®] (verändert nach YARA 2007)

Aus den Punktdaten wurden fünf Vegetations-Indices (VI) berechnet (**Tabelle 1**), die mit einem Interpolationsverfahren (Inverse Distanzwichtung, IDW) regionalisiert und in 21x21m große Rasterzellen eingeteilt wurden. Die Größe der Rasterzellen entspricht der kleinsten Bearbeitungseinheit des Betriebes. Die VIs wurden auf Normalverteilung überprüft und aus den 23 geo-referenziert gemessenen Daten und den entsprechenden VI Werten wurde der Spearman Rank Korrelationskoeffizient berechnet, um relative Werte über den Ertrag zu erhalten.

Tabelle 1: Übersicht der berechneten Vegetations-Indices

Name	Formel	Korreliert mit:	Quelle
NDVI	$\frac{(\lambda_{\text{NIR}} - \lambda_{\text{red}})}{(\lambda_{\text{NIR}} + \lambda_{\text{red}})}$	Biomasse, Chlorophyll Gehalt	ROUSE <i>et al.</i> (1974)
SR	$\frac{\lambda_{\text{NIR}}}{\lambda_{\text{red}}}$	Biomasse, Chlorophyll Gehalt	JORDAN (1969)
PSRI	$\frac{(\lambda_{680} - \lambda_{500})}{\lambda_{\text{NIR}}}$	Physiologische Reife	MERZYLAK <i>et al.</i> (2003)
REIP	$710 + 50 * \left(\frac{0.5 * (\lambda_{780} + \lambda_{660}) - \lambda_{700}}{\lambda_{760} - \lambda_{700}} \right)$	Physiologische Reife	JONGSCHAAP & BOOIJ (2004)
PRI	$\frac{(\lambda_{530} - \lambda_{570})}{(\lambda_{530} + \lambda_{570})}$	Photosynthetische Lichtausbeute (Light use efficiency)	GAMON <i>et al.</i> (1990)

Wachstumsmodell

Zur Erstellung eines räumlichen Wachstumsmodells wurden die Basisgleichungen des LINTUL Modells (KOOMAN & HAVERKOORT 1995) verwendet. Diese grundlegenden Gleichungen werden im Folgenden kurz dargestellt.

Die aufgenommene Lichtenergie (I) ist abhängig von der täglich einfallenden photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), dem Blattflächenindex (LAI) und dem Extinktionskoeffizienten (k).

$$I = \text{PAR} * (1 - e^{-k * \text{LAI}})$$

Am Anfang des Wachstums, wenn die kumulierte Temperatur unterhalb eines Grenzwertes ist verläuft die Zunahme des Blattflächenindexes exponentiell und ist abhängig von einer temperaturbedingten Funktion der Blattflächenzunahme (RI) und der Temperatur (Temp) sowie dem anfänglichen LAI (LAI₀).

$$\text{LAI} = \text{LAI}_0 * e^{\text{RI}(\text{Temp}) * \sum \text{Temp}}$$

Ab dem Überschreiten des Grenzwertes wird der LAI durch das Produkt aus der Blattfläche (DM_{leaves}) und der spezifischen Blattfläche (SLA) abzüglich der abgestorbenen Blattmasse dargestellt.

$$\text{LAI} = \text{DM}_{\text{leaves}} \times \text{SLA} - \text{LAI}_{\text{Sene}}$$

Die tägliche Trockenmassezunahme ist das Produkt aus dem aufgenommenen Licht (I) und der effektiven Photosynthetischen Lichtausbeute (LUE_{eff}), dem Maß für die Umsetzungsrate von Lichtenergie in Trockenmasse.

$$\frac{dDM}{dt} = LUE_{\text{eff}}$$

Die effektive LUE_{eff} ist ihrerseits temperaturabhängig (LUE_{temp}) und kann die maximale LUE (LUE_{max}) nicht überschreiten.

$$LUE_{\text{eff}} = LUE_{\text{mac}} * LUE_{\text{Temp}}$$

Die Aufteilung der gebildeten Trockenmasse in die unterschiedlichen Pflanzenorgane und der Zustand der physiologischen Reife und des LAI wurde analog zu dem LINTUL Model übernommen (KOOMAN & HAVERKOORT 1995).

Erweiterung des Modells

Der LAI wurde zu fünf Terminen aus den Sensor Daten berechnet und interpoliert. Aus einer nichtlinearen LAI-NIR Beziehung aus den Fernerkundungsdaten konnte der LAI räumliche variable in das Model eingesetzt werden. Sowohl die Bodenreflexion (NIR_{soil}) als auch der maximale nahinfrarot Wert (NIR_{max}) wurden bei der Berechnung des LAI jedes Bildelementes (LAI_i) beachtet.

$$LAI_i = \frac{NIR_{\text{km}} * (-NIR_i + NIR_{\text{soil}})}{(NIR_i - NIR_{\text{max}})}$$

Zu jedem Termin an dem Fernerkundungsdaten zur Verfügung standen wurde der LAI berechneten und diese Werte wurden für die weitere Berechnung des LAI benutzt, indem ein Faktor (β) für den LAI mit dem vom Modell berechneten Wert multipliziert wurde (**Bild 3**). Mit diesem Verfahren ist das Wachstumsmodell um die räumliche Dimension erweitert und an den aktuellen Biomassezustand angepasst worden.

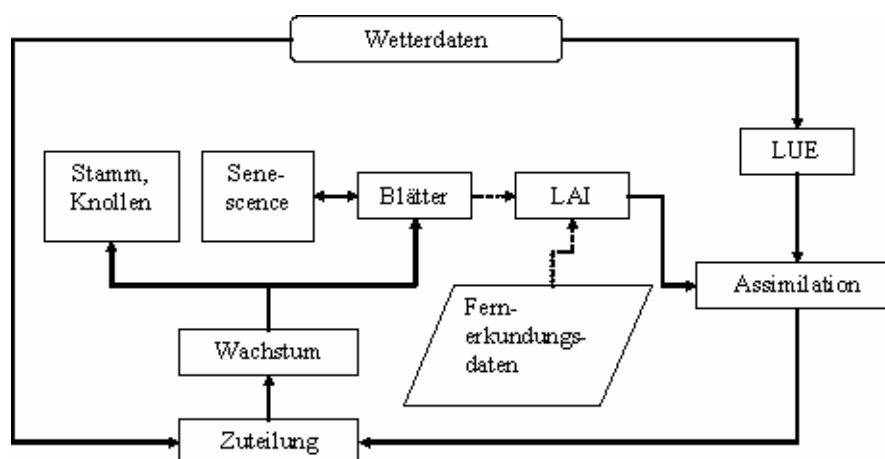


Bild 3: Schema des erweiterten Wachstumsmodells

3 Ergebnisse und Diskussion

Die zeitliche Darstellung des SR Index als Maß für die Biomasse zeigt deutliche Heterogenitäten im Bestand. In einigen Bereichen des Feldes kam es zu keiner Keimung und der Boden sichtbar blieb ist in anderen Bereichen ein starker Anstieg der oberirdischen Biomasse zu erkennen (**Bild 4**).

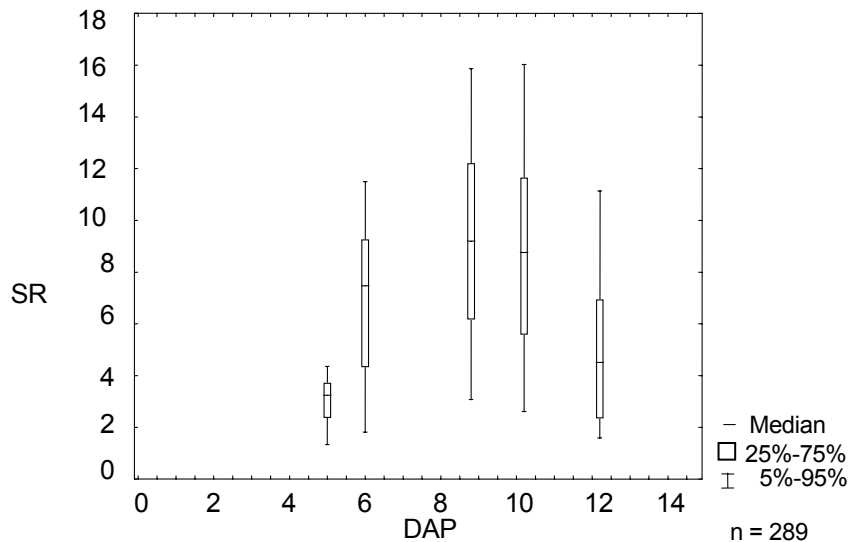


Bild 4: Darstellung des Simple Ratio (SR) zu den 5 Aufnahmeterminen

Tabelle 2: Korrelation der 5 Vegetations-Indizes mit der Ernte (*significant correlation $p < 0.01$)

DAP	Ertrag [Spearman Rank Korrelation]				
	NDVI	PRI	PSRI	REIP	SR
50	0.51	0.48	-0.50	-0.32	0.52
60	0.48	0.53*	-0.51	0.10	0.49
88	0.73*	0.67*	-0.72*	0.62*	0.70*
102	0.71*	0.51	-0.69*	0.59*	0.70*
122	0.67	0.40	-0.61*	0.08	0.64*

Das Model zur Ableitung des LAI erklärt die gemessenen LAI gut ($R^2 = 0.94$) und ist somit geeignet für die Implementierung in das räumliche Model. Der zeitliche Verlauf des LAI wurde zu jedem Zeitpunkt der Fernerkundungsdaten angepasst, Mittelwert und Standardabweichung geben die räumliche Variabilität im LAI und der Knollentrockenmasse wieder (**Bild 5 A und B**). Die Ernte kann erklärt 55% der Erntevariabilität.

Die einfache Spearman Rank Korrelation mit den Felddaten der Knollentrockenmasse zeigt eine gute Korrelation mit den VIs gegen Mitte der Vegetationsperiode (**Tabelle 2**). Die Wahl der Indices scheint dabei weniger wichtig als der Zeitpunkt der Datenerhebung zu sein.

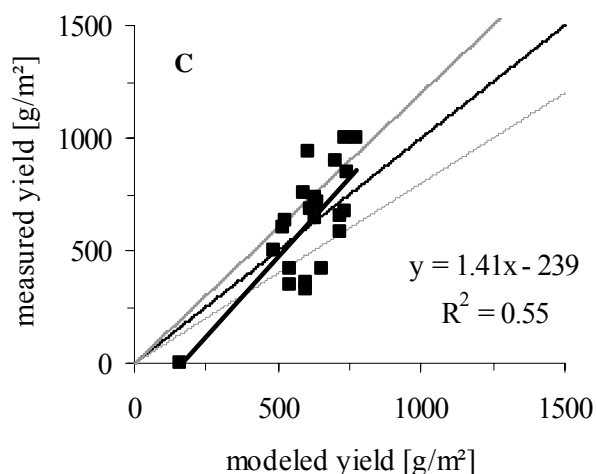
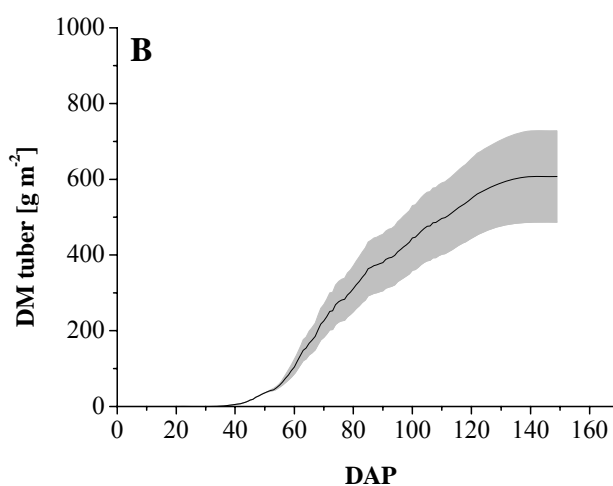
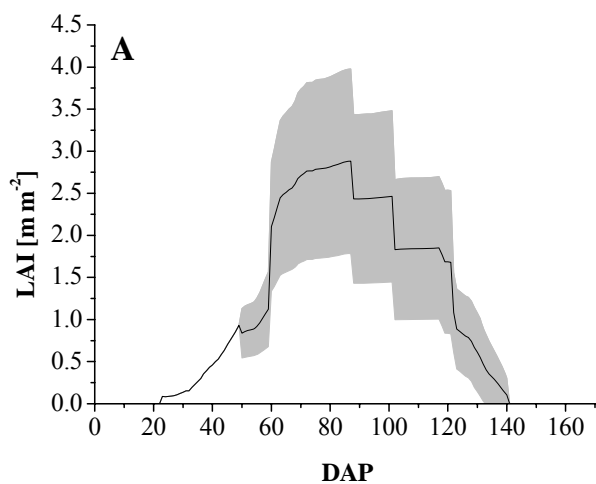


Bild 5: Ergebnisse des erweiterten räumlichen Modells. A: LAI-Verlauf, B: TM Entwicklung der Kartoffelknolle, C: Gemessene und modellierte Werte im Vergleich

4 Schlussfolgerung

Der Vorteil der Implementierung von Fernerkundungsdaten mit dem Wachstumsmodell ist die Verfügbarkeit von wichtigen Parametern (LAI, Knollenmasse) auf einer täglichen Basis. Die Implementierung bietet mehrere Möglichkeiten für den Landwirt:

1. Eine Ernteprognose mit der Ausweisung von günstigen und ungünstigen Bereichen innerhalb des Feldes.
2. Eine teilflächenspezifische Prognose für den Zeitpunkt der Abreife ermöglicht eine gezielte Krautabtötung.
3. Qualitätsunterschiede können indirekt über die vorhandene oberirdische Biomasse bestimmt werden (Zuckergehalt der Knolle).
4. Ein sehr heterogener Bestand kann frühzeitig erkannt werden und an geeigneten Stellen durch Anpassung des Managements optimiert werden (z.B. durch angepasste Bewässerung).

Ein am Traktor befestigter Sensor erscheint gut geeignet für ein spektrales Monitoring eines Kartoffelbestandes. Die regelmäßige Befahrung des Kartoffelschlages zur Pflanzenschutzmittel Applikation gegen die Kraut- und Knollenfäule ermöglicht eine enge zeitliche Datenaufnahme des Bestandes. Die Kosten eines Traktorsensors sind mittelfristig günstiger als Luftbildaufnahmen oder Satellitenbilder, zudem dieser am Boden eingesetzt wird und somit nicht von Bewölkung beeinflusst wird.

5 Literatur

- GAMON J.A., FIELD C.B., BILGER W., BJÖRKMANN O., FREEDEN A., PEÑUELAS J. (1990):** Remote Sensing of the xanthophyll cycle and chlorophyll fluorescence in sunflower leaves and canopies. *Oecologia* 85:1-7
- 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
- JONGSCHAAP R.E.E., BOOIJ R. (2004):** Spectral Reflectance at different spatial scales in potato: relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5:205-218
- JORDAN C.F. (1969):** Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50:663-666
- KOOMAN P.L., HAVERKORT A.J. (1995):** Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and day length: LINTUL-POTATO. In: HAVERKORT A J, MACKERRON D K L (eds), Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 41-60
- MERZYLAK M.N., GITELSON A.A., CHIVKUNOVA O.B., SOLOVCHENKI A.E., POGOSYAN S.L. (2003):** Application of reflectance spectroscopy for analysis of higher plant pigments. *Russian Journal of plant physiology*. Vol. 50, No. 5: 707-710, translated from *Fiziologiya Rastenii* (2003) 50 (5) 785-792

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

UNIVERSITY OF YORK (2006): [online]. zu finden in <<http://www.york.ac.uk/images/maps/>>. [zitiert am 04.12.2006]

YARA (2007): YARA – How it operates [online]. UK, zu finden in <http://fert.yara.co.uk/en/crop_fertilization/advice_tools_and_services/n_sensor/how_it_operates/index.html> [zitiert am 13.02.2007]

Anwendung von Ähnlichkeitsmaßen zum Vergleich landwirtschaftlicher Geoinformationen

Using similarity measures for the comparison of agricultural geo-information

Holger Lilienthal, Christiane Itter, Ewald Schnug
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: pb@fal.de

Zusammenfassung: Die Verfügbarkeit immer neuer Sensorsysteme in der Landwirtschaft liefert verschiedenste Informationen, die in Karten aufbereitet werden. Die Relevanz der abgeleiteten Strukturen für die pflanzenbauliche Produktion ist jedoch oftmals nicht vollständig bekannt, ebenfalls gibt es wenig Information über die räumliche Persistenz dieser Strukturen über verschiedene Jahre.

Maßzahlen für die Ähnlichkeit von Strukturen wurden auf Boden-, Relief- und Ertragskarten angewendet, um die Genauigkeit und die Eignung dieser statistischen Ähnlichkeitsmaße für den Vergleich von teilflächenspezifischen Informationen in der Landwirtschaft bewerten zu können.

Für den Vergleich von Karten gleicher Kategorie eignen sich intensitätsbasierte Analysemethoden, deren Maße beim Vergleich von normierten Daten in einem Intervall [0; 1] ausgegeben werden. Um die Ähnlichkeit von Karten unterschiedlicher Kategorie zu bestimmen, werden zuvor extrahierte Merkmalsdeskriptoren für Farbe und Textur miteinander verglichen. Mit *Lokalen Korrelationskarten* können in Karten von verschiedenen Zeitpunkten räumlich persistente Strukturen lokalisiert werden.

Deskriptoren: Ähnlichkeitsmaße, Ertragskarten, Precision Farming

Abstract: *The availability of new sensor systems in agriculture yields in most diverse information, which is presented in maps. The relevance of the derived structures for plant production is however often not completely understood, also there is no information about the spatial persistence of these structures along different years.*

Measures for the similarity of structures were applied on soil-, relief- and yield-maps, in order to evaluate the accuracy and the suitability of this statistic measures for site-specific information in the agriculture.

Comparing maps of the same category, intensity-based analysis methods are suitable, which result in data with an interval of [0; 1]. In order to determine the similarity of maps of different categories, characteristic descriptors for color and texture need to be extracted before. Using local correlation maps spatially persistent structures can be retrieved.

Keywords: *Similarity measures, yield maps, precision farming*

1 Einleitung

Für die Umsetzung von teilflächenspezifischen Produktionsmethoden in der Landwirtschaft werden zunächst Informationen über die vorhandene Variabilität des Standortes benötigt. Hierbei können die verschiedensten Techniken, wie zum Beispiel Ertragskartierungen, Bodensensoren oder Fernerkundung zum Einsatz kommen.

Immer neuer Datenquellen und Sensorsysteme liefern verschiedenste Informationen, die meist in Karten aufbereitet werden. Die Relevanz der abgeleiteten Strukturen für die pflanzenbaulichen Produktion ist jedoch oftmals unbekannt, ebenfalls gibt es keine Information über die räumliche Persistenz der Strukturen. Die Zonierung einer Bodenkarte kann sich beispielsweise in einer Ertragskarte widerspiegeln, allerdings werden diese Strukturen derzeit nur visuell bewertet. Ein Maß für die Ähnlichkeit abgeleiteter Strukturen gibt es bei der Verwendung von Karten in der PA noch nicht.

Der rein visuelle Vergleich unterschiedlich strukturierter Karten hat seine Schwachstelle in der subjektiven Betrachtungsweise. Die visuelle Aufnahme und Beurteilung von Objekten erfolgt in zwei Schritten (BALLARD & BROWN 1982, KOSSLYN & KOENIG 1992). Zuerst wird in der „Low-level-vision“ das Bild als Rohmaterial vom Auge aufgenommen. Die anschließende „High-level-vision“ baut in einem mentalen Prozess auf die visuelle Information auf und verwendet gespeicherte Informationen, um das Gesehene zu identifizieren, zu interpretieren und mit anderen Objekten zu assoziieren. Gerade die als Erfahrungen gespeicherten Informationen der „High-level-vision“ sind stark von den Meinungen, Einstellungen und Zielvorstellungen der jeweiligen Person abhängig, sprich man sieht, was man sehen möchte.

Ein produktionstechnisches Management, das auf vermeintlich „ähnlichen“ Verteilungsmustern zweier Karten beruht, kann zu falschen Bearbeitungs- und Applikationsmaßnahmen führen und im schlimmsten Fall beträchtliche ökonomische und ökologische Schäden nach sich ziehen. Es ergibt sich daher der Bedarf nach einem universellen, unabhängigen Gütekriterium, das die Ähnlichkeit zweier digitaler Karten (und Bilder) bewerten kann.

Grundsätzlich kann man drei verschiedene Ansätze unterscheiden:

- I. Intensitäts-Analyse (Größe der zugrunde liegenden Messwerte)
- II. Merkmalsanalyse (Vergleich von Merkmalen wie Farbe, Form und Textur)
- III. Statistische Analyse (Untersuchungen des statistischen Zusammenhangs zweier digitaler Datensätze).

2 Material und Methoden

Für die Anwendung der Ähnlichkeitsmaße wurden Ertragskarten vom landwirtschaftlichen Versuchsbetrieb der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Mariensee verwendet. Auf den Schlägen dieses Betriebs werden Ertragskartierungen mit automatischer Positionsaufzeichnung (DGPS) sowie Untersuchungen zur variablen Ausbringung von Düngemitteln durchgeführt (PANTEN 2002).

Die Ertragskarten des Schlages „Großer Fuchsberg“ aus den Jahren 1995 bis 2001 wurden verwendet, um einerseits die verschiedenen Ähnlichkeitsmaße zu testen, andererseits um stabile Ertragszonen abzuleiten. Die Fruchtfolgen auf diesem Schlag (7,91 ha) für den entsprechenden Zeitraum sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle 1: Fruchtfolgen „Großer Fuchsberg“, Mariensee (1995-2001)

Jahr	Feldfrucht
1995	Hafer
1996	Wintergerste
1997	Erbsen / Ackerbohnen
1998	Wintergerste
1999	Zuckerrüben
2000	Hafer
2001	Wintergerste

Die Rohdaten wurden auf Fehler überprüft (vgl. HANEKLAUS *et al.* 2001) und als Karten mit einer Pixelauflösung von 10m dargestellt. Da die absoluten Erträge abhängig von der angebauten Fruchtart sind (z.B. haben Zuckerrüben deutlich höheres Gewicht als Hafer), wurden die Erträge normiert, dass heißt der Ertrag für eine Pixelzelle wurde durch den Mittelwert für das gesamte Feld dividiert.

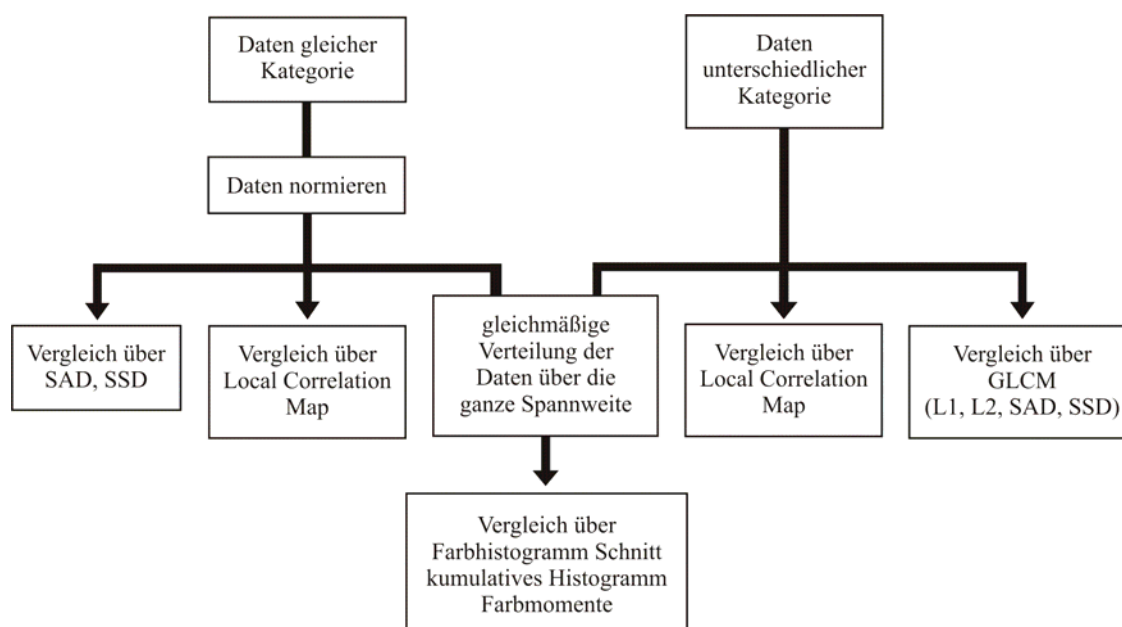
Um die Vergleichsmethoden auch auf Karten mit unterschiedlichem Inhalt anzuwenden, wurden zehn Karten des Schlages Sandkamp in die Untersuchung mit einbezogen. Der Schlag Sandkamp (80,2 ha) liegt nördlich der Gemeinde Schillsdorf im Landkreis Plön in Schleswig Holstein. Im Rahmen einer Untersuchung zur Erfassung von räumlich hoch aufgelösten Bestandesdichte Verteilungen und deren Abhängigkeit vom Relief aus dem Jahr 2001 (KRÜGER 2001) wurden auf diesem Schlag Daten unterschiedlicher Kategorien erfasst und in Karten dargestellt.

Eine Übersicht über die Karten und ihren unterschiedlichen Inhalt ist in **Tabelle 2** angegeben.

Tabelle 2: Kartensatz des Untersuchungsgebietes Sandkamp

Karte	Einheit	Inhalt
Ertrag	[t/ha]	Ertrag an Winterweizen aus dem Jahr 2001
Sandgehalt	[%]	Sandgehalt
Schluffgehalt	[%]	Schluffgehalt
Tongehalt	[%]	Tongehalt
Humusgehalt	[%]	Gehalt an organischer Substanz
Bodenwasser	dim.los	Karte des Bodenwasserhaushalts (<i>Wetness Index</i> nach MOORE)

Die Art der Daten gibt die einsetzbaren Ähnlichkeitsmaße vor. ITTER (2007) hat ein Ablaufschema entwickelt, das zur Auswahl der geeigneten Methoden herangezogen werden kann (**Bild 1**).

**Bild 1:** Ablaufschema für die Wahl der Ähnlichkeitsmaße (ITTER 2007)

Als Ähnlichkeitsmaße wurden die *Summe der absoluten Differenzen* (sum of absolute differences, SAD) und die *Summe der quadrierten Differenzen* (sum of squared differences, SSD), Lokale Korrelationskarten und Grauwert-Übergangsmatrizen (Grey Level Co-occurrence Matrix, GLCM) verwendet. Die GLCM, ist ein Verfahren zur Texturbeschreibung (HARALICK *et al.* 1973), das die relative Häufigkeit von Grauwertkombinationen beschreibt. In einer punktbasierten Statistik zweiter Ordnung sind die Informationen enthalten, wie häufig Pixel-Paare mit einem bestimmten Grauwert innerhalb des Bildes (oder einer Region) auftreten. Dabei ist das Pixel-Paar durch seinen Abstand d und häufig auch durch seine Orientierung θ zueinander definiert. Daraus lassen sich statistische Merkmale berechnen, die die Textur eines Bildes charakterisieren.

Auf eine Analyse der Farbhistogramme und Farbmomente wurde verzichtet, da die Eingangsdaten aufgrund der geringen Datendimensionalität wenig geeignet erscheinen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Alle Ähnlichkeitsmaße, außer den lokalen Korrelationskarten, liefern nur einen Zahlenwert als Maß für die Übereinstimmung. **Tabelle 3** listet die Ergebnisse der Ähnlichkeitsmaße SSD und SAD für die Ertragskarten auf:

Tabelle 3: Vergleich der Ertragskarten mit der SSD und SAD

SSD \ SAD	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1995	0	0,013	0,021	0,025	0,031	0,044	0,014
1996	0,08	0	0,023	0,023	0,028	0,048	0,015
1997	0,10	0,11	0	0,037	0,035	0,043	0,022
1998	0,12	0,11	0,14	0	0,050	0,082	0,027
1999	0,12	0,13	0,13	0,17	0	0,046	0,031
2000	0,14	0,15	0,14	0,21	0,14	0	0,038
2001	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,13	0

(0 bedeutet identisch, je größer der Zahlenwert, desto unähnlicher sind die Bilder)

Als Erkenntnisse zeigen sich zwei Trends: Die Ertragskarten von Folgejahren zeigen Ähnlichkeiten auf. Eine Ausnahme stellt das Jahr 2000 dar, das aufgrund extremer Witterung heraus fällt. Als Zweites weisen gleiche Kulturen Ähnlichkeiten in den Ertragsdaten auf.

Durch die Verwendung von Lokalen Korrelationskarten (SCHMIDT 2002) lassen sich Ähnlichkeiten lokalisieren (**Bild 2**).

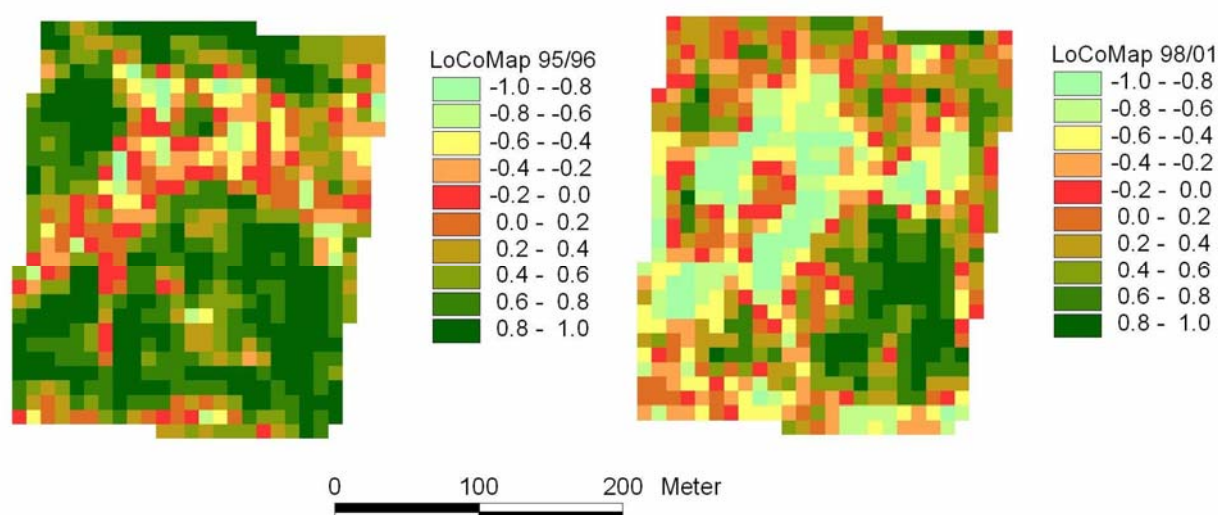


Bild 2: Lokale Korrelationskarten für die Ertragskarten 1995/1996 und 1998/2001

Die Local Correlation Maps zeigen große Flächen starker positiver Korrelation. Da die Daten der Karten zuvor über den Mittelwert normiert wurden, bedeutet eine positive perfekte Korrelation, dass an den angegebenen Position in den Ertragsjahren jeweils überdurchschnittlich hohe Erträge erzielt wurden. Die hellgrün markierten Flächen zeigen eine starke negative Korrelation an, das bedeutet in einem Jahr hohe Erträge, im Vergleichsjahr dagegen niedrige Erträge bzw. umgekehrt. Diese Flächen zeichnen sich durch eine starke Heterogenität aus.

Die Karten unterschiedlicher Kategorie wurden mit den Ähnlichkeitsmaßen SAD und SSD, sowie der GLCM untersucht (**Tabelle 4, 5**).

Tabelle 4: Vergleiche der Ertragskarte *Sandkamp* 2001 mit den Karten zur Beschreibung der Textur und der Bodenbeschaffenheit (SAD, SSD)

Karten-Kombination	*SAD	**SSD
Ertrag ↔ Sandgehalt	19,00	728
Ertrag ↔ Schluffgehalt	27,45	1417
Ertrag ↔ Tongehalt	32,07	1895
Ertrag ↔ Humusgehalt	43,61	3371
Ertrag ↔ Bodenwasser	38,91	2716

(je kleiner der Wert, desto größer die Ähnlichkeit)

Tabelle 5: Vergleiche der Ertragskarte *Sandkamp* 2001 mit den Karten zur Beschreibung der Textur und Bodenbeschaffenheit (GLCM)

Karten-Kombination	GLCM Deskriptor-Mittelwert Vergleich	
	L ₁	*L ₂
Ertrag ↔ Sandgehalt	136	78
Ertrag ↔ Schluffgehalt	152	85
Ertrag ↔ Tongehalt	160	90
Ertrag ↔ Humusgehalt	179	103
Ertrag ↔ Bodenwasser	167	96

(je kleiner der Wert, desto größer die Ähnlichkeit)
 * GLCM: Grauwert-Übergangsmatrix (*Grey Level Co-occurrence Matrix*).
 ** L1: Manhattan- bzw. City-Block Distanz.
 *** L2: Euklidischer Abstand.

Die Ergebnisse der intensitätsbasierten Vergleiche mit Hilfe von SAD und SSD zeigten für die beiden Methoden sehr unterschiedliche Wertebereiche, die errechneten Ähnlichkeitsreihenfolgen waren jedoch identisch (siehe Tabelle 4). Für die Grauwertübergangsmatrix ergab sich die größte Ähnlichkeit der Ertragskarte mit der Karte der Sandverteilung, gefolgt von der Karte der Schluff- und Tonverteilung. Der Deskriptor-Mittelwert Vergleich ermittelte die Karten der Sandverteilung und des Bodenwassers als Karten mit der größten Übereinstimmung zur Ertragskarte.

4 Schlussfolgerung

Die Ähnlichkeitsanalyse dient in einem ersten Schritt der Feststellung eines Zusammenhangs von Variabilitäten in zwei Datensätzen, auf die in einem zweiten Schritt die Lokalisierung und Suche nach den Ursachen und geeigneten Maßnahmen stattfinden kann.

Für die Analyse der Variabilität eignet sich die Local Correlation Map, mit deren Hilfe die Zonen starken und schwachen Zusammenhangs lokalisiert werden können. Im Sinne des PA wird versucht, auf die räumlichen Variabilitäten der Bodeneigenschaften einzugehen und mit den entsprechenden Bewirtschaftungsmethoden zur Erhaltung der Produktivität beizutragen (HANEKLAUS & SCHNUG 2000). Es können so die Zonen stabiler oder variabler Erträge, abnehmender oder zunehmender Bodenfruchtbarkeit durch den Vergleich von Nährstoffkarten räumlich geortet werden, um Applikationsdateien für die weitere Maßnahmen aufzustellen.

5 Literatur

- BALLARD D.H., BROWN C.M. (1982):** Computer vision, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 523 p., ISBN 0-13-165316-4
- HANEKLAUS S., SCHNUG E. (2000):** Nachhaltige Landwirtschaft mittels Precision Agriculture Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 212, p. 171-181, ISBN 3-933140-34-X
- HANEKLAUS S., LILIENTHAL H., PANTEN K., HAVERESCH E., SCHNUG E. (2001):** Routines for efficient yield mapping Proceedings of the Fifth International Conference in Precision Agriculture, Minneapolis, July 16-19, 2000
- HARALICK R.M., SHANMUGAM K., DINSTEN I. (1973):** Textural features for image classification. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, Vol. 3, Nr. 6, p. 610-621
- ITTER C. (2007):** Eignung und Anwendung verschiedener Ähnlichkeitsmaße zum Vergleich landwirtschaftlicher Karten. Diplomarbeit TU-Braunschweig, 102 p, unveröffentlicht
- KOSSLYN S.M., KOENIG O. (1992):** Wet Mind: The New Cognitive Neuroscience The Free Press, A Division of Simons & Schuster Inc., New York, 618 p., ISBN 0-02-874085-8
- KRÜGER K. (2001):** GIS-gestützte Untersuchung des Zusammenhangs von Geomorphologie und Bestandsdichte in einem Agrarökosystem unter Verwendung von Fernerkundungsdaten Diplomarbeit, Universität Hannover, FB Physische Geographie und Landschaftsökologie, unveröffentlicht
- PANTEN K. (2002):** Ein Beitrag zu Fernerkundung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandsmerkmalen Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 232, ISBN 3-93314-57-9
- SCHMIDT F. (2002):** Topocrop-Terrain Analysis: An extension to the ArcView® GIS system developed for the Precision Agriculture Project www.preagro.de Available at the following web site: <http://arcscripts.esri.com/scripts.html>. Zitiert [14.09.2006]

Sensor fusion based navigation of the autonomous field robot Maizerati

Multisensor-basierte Navigation des autonomen Feldroboters Maizerati

Ralph Klose, Jörg Klever, Andreas Linz, Wilfried Niehaus, Arno Ruckelshausen, Marius Thiel, Mario Urra Saco, Kai-Uwe Wegner
University of Applied Sciences Osnabrück, Faculty of Engineering and Computer Science/ Interdisciplinary Research Center Intelligent Sensor Systems (ISYS), Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück/Germany, E-Mail: a.ruckelshausen@fhos.de

Abstract: The autonomous field robot Maizerati has been developed for the participation of the international Field Robot Event. Major tasks for the competing vehicles are the navigation in between maize rows and a U-turn at the end of the rows. The concept of sensor fusion has been applied by integrating a smart camera, optical distance sensors, ultrasonic sensors and a gyroscope sensor chip. The system architecture is based on embedded microcontrollers. A graphical user interface (GUI), a touch display and WLAN technology have been developed for the learning period. The field robot Maizerati has shown to be successful for autonomous navigation within a broad range of field conditions.

Keywords: Field Robot Event, autonomous robots, sensor fusion, electronics, maize

Zusammenfassung: Der autonome Feldroboter Maizerati wurde für die Teilnahme am internationalen Field Robot Event entwickelt. Wesentliche Aufgaben im Wettbewerb sind die Navigation zwischen Maisreihen und eine Wende am Ende der Reihe. Es wurde ein Multisensor-Konzept realisiert, unter Integration einer intelligenten Kamera, optischen Abstandssensoren, Ultraschallsensoren und einem Gyroskop-Chip. Die Architektur des Systems basiert auf systemintegrierten Mikrocontrollern. Eine grafische Benutzeroberfläche, ein Touch-Display und WLAN-Technologie wurden für die Lernphase implementiert. Der Feldroboter Maizerati konnte bei einer Vielzahl von Feldbedingungen erfolgreich autonom navigieren.

Deskriptoren: Field Robot Event, autonome Roboter, Multisensorsysteme, Elektronik, Mais

1 Introduction

The development of robots for agricultural applications has become increasingly important, however, due to varying boundary conditions the complexity of such systems is rather high (VAN HENTEN *et al.* 2006, RATH & KAWOLLEK 2006). In order to stimulate innovations as well as the education of students the international Field Robot Event (FRE) has been introduced by Wageningen University (The Netherlands) where student groups develop autonomous robots in order to satisfy the tasks of the competition (MUELLER *et al.* 2006). Based on experiences of the authors during the development of the field robot opto-MAIZER for the FRE 2005 (KLOSE *et al.* 2006), the new robot Maizerati has been developed (see **Figure 1**) for the FRE 2006 in Hohenheim/Germany. The concept of sensor fusion is applied, which has already been introduced by the authors earlier for weed control applications (RUCKELSHAUSEN *et al.* 1999).



Figure 1: Autonomous field robot Maizerati in the maize field

2 System Architecture

The system architecture of the autonomous vehicle Maizerati (see **Figure 2**) is based on microcontroller technology combined with the sensor fusion concept. This concept uses the information of 19 sensors of eight different types for the tasks of the Field Robot Event 2006. These tasks include the row guidance of the robot, the turn at the end of the rows, the hole detection, the detection of a corner flag and the ball counting. A smart camera called AVRcam with onboard image processing has been integrated. The sensor information is processed with the two microcontrollers (C167 and MB90F340). The preprocessed sensor data of the Fujitsu controller is sent to the C167 controller via a CAN-Bus. To handle the time-critical tasks of the robot like navigation and WLAN-communication, the real-time operating system RTXtiny has been integrated.

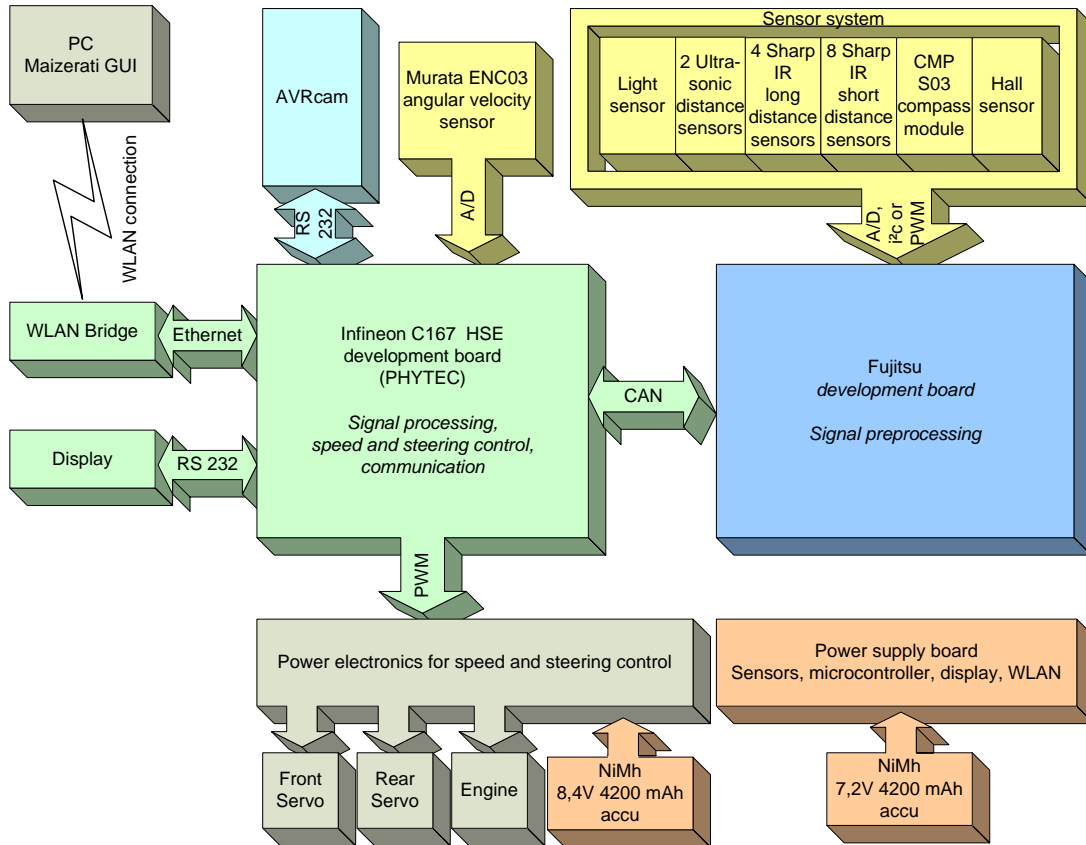


Figure 2: Architecture of the autonomous field robot Maizerati

The different sensors have been arranged in a sensor fusion concept that gives the opportunity to combine different sensors or sensor types for one specific task as shown in **Figure 3**. This results in a higher flexibility and security for the whole system. Another aspect of the sensor fusion concept is the growing complexity of the system.

To give the user an easy way to interact with this complex system and to maintain it, a touch display and WLAN have been integrated. The touch display has been implemented for direct (and fast) user access, such as starting the robot or selection of navigation strategies or parameters. In combination with the graphical user interface the WLAN connection can be used for remote controlling the robot, to perform data acquisition, to update the software, for choosing algorithms, to change parameters during runtime and to read out the camera image. Another useful feature is the build-in error notification. These two user interfaces reduce the complexity for the user of controlling the real-time algorithms of the sensor fusion and actuator system.

		Sensors							
		AVRcam	IR Sensor	Flex Sensor	Ultra Sonic Sensor	Gyroscope	Hall Sensor	Photodiodes	Light sensor
Robot tasks	Navigation	×	×	×	×		×		×
	Counting yellow balls	×							×
	Drawing white line	×							×
	Speed race	×	×	×					×
	Finding holes					×	×	×	
	Watering flowers		×	×					
	Turn on end of row		×		×	×			

Figure 3: Sensor fusion concept of the autonomous field robot Maizerati for the Field Robot Event 2006

3 Navigation

The navigation in the row is based on an optical system (AVRcam and IR distance sensors), an acoustic system (ultra sonic sensors) and a mechanical system (flex sensors). With this combination of different sensor systems, it was necessary to prioritize the sensor information. The two flex sensors have the highest priority because of their main task to avoid collisions with the plant. If the flex sensor were touched, the system has to react immediately.

The second priority is given to the long distance IR sensors (Sharp GP2Y0D02YK) and the ultra sonic sensors (SRF10), which have been integrated for security reasons. These sensors are able to measure long distances and offer the possibility to look a long way forward along the maize rows. They are very useful for an early curve and collision detection. To calculate the resulting steering direction, the row is divided into five zones. The position of the robot in the zones is calculated with the sensor information of the IR and ultra sonic distance sensors. Each of these zones stands for a predefined steering direction and strength. The third priority belongs to the most important sensor for the navigation, the AVRcam. With its ability to track different color blobs, it can be used for a smooth navigation within the row. The navigation algorithm has already been used by the authors for the autonomous robot optoMAIZER in combination with a CMUcam2 (KLOSE *et al.* 2006). For this algorithm, the camera image is divided into virtual windows (**Figure 4**).

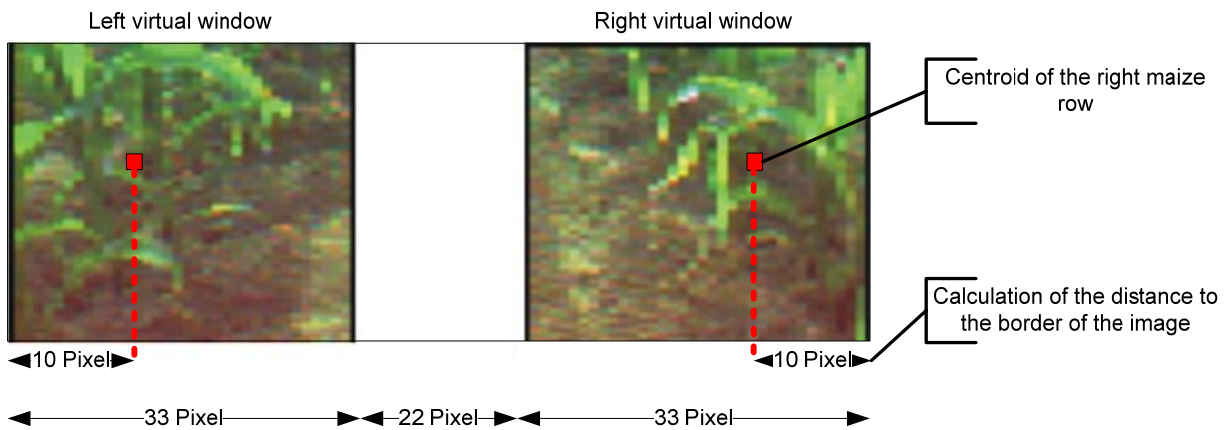


Figure 4: Navigation with the CMUcam2

As Figure 5 shows, the left maize row is located in the left virtual window and the right maize row is located in the right one. With this arrangement of the windows color tracking for both sides is possible and the calculation of the centroids of the maize rows for the predefined colors can be performed.

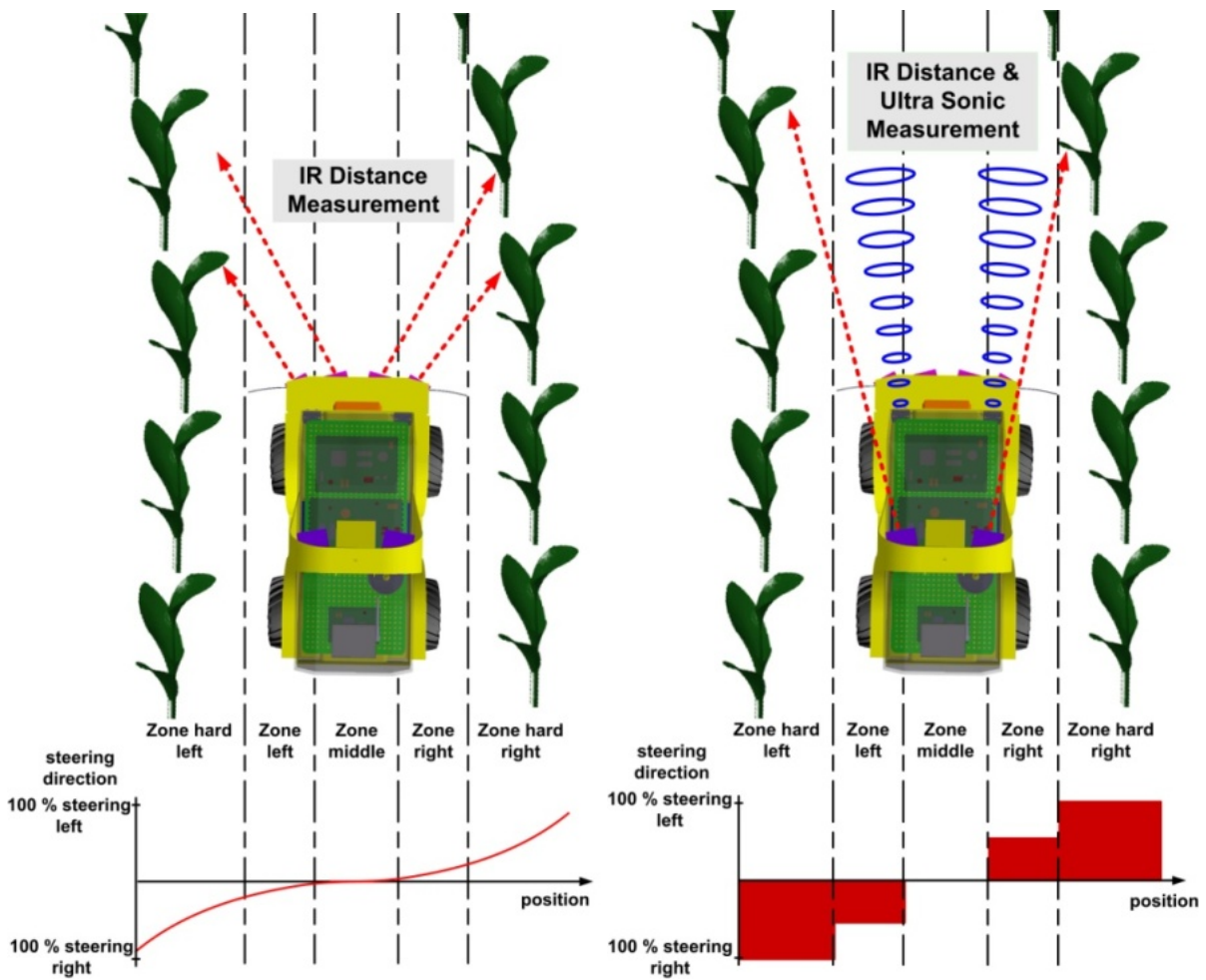


Figure 5: Navigation strategy using IR distance and ultra sonic sensors

If the distances of the two centroids with respect to the camera position are compared, a resulting steering direction for the robot can be calculated. The lowest priority belongs to the short distance IR-sensors (Sharp GP2D12). The measured distance to the plant within the row is separated into five zones in which the robot can be located. The exact position within the row is determined by the use of the four front IR distance sensors. With this data, the robot is assigned to one of these zones. Depending on the determined location, a decision is made concerning the steering direction.

As **Figure 5** shows there are two IR sensors used for each side. The difference in position and angle is recalculated concerning the known structural differences. This redundant sensor secures that the robot is able to measure the distance to a plant in most of running time. The implemented algorithms offer the possibility to determine the position of the robot if there are only plants available on one side of the row.

Because of the need to make an exact turn at the end of each maize row into the next but one row, a gyroscope sensor (Murata ENC-03) has been integrated into the system. With this sensor, it is possible to control the turn process by measuring the turn angle. To make a turn, a curve with a predefined radius is driven until an angle of 180° is measured. With the navigation algorithm for the long distance IR sensors it is possible to enter the row without touching the plants. Afterwards the row navigation is continued.

4 Conclusion

The sensor fusion concept has been successfully applied to an autonomous field robot for the Field Robot Event. Varying selectivities of the different sensors support a robust navigation under complex field conditions. The development of small robots for competition purposes serves as an impact for innovations in the field of agricultural engineering.

5 Literatur

KLOSE R., LINZ A., RUCKELSHAUSEN A. (2006): "Robotic Platform for Remote Control and Teleservice in Agricultural Environments"; Proceedings of CIGR EurAgEng/VDI-MEG, FAO World Congress 2006 (Bonn, Germany) – Agricultural Engineering for a better World

MUELLER J., WALTHER S., BOETTINGER S., RUCKELSHAUSEN A., VAN HENTEN E.J. (2006): "Field Robot design contest - a showcase in Agricultural Engineering education", in: Kataoka T, Noguchi N, Murase H, editors. 3rd IFAC International Workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems 9-10, September 2006. Sapporo (Japan); p. 276-281

RATH T., KAWOLLLEK M. (2006): „Probleme des Einsatzes von Robotern zur selektiven Ernte von Pflanzen und Pflanzenteilen“; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 56, S.67-75

RUCKELSHAUSEN A., DZINAJ T., GELZE F., KLEINE HÖRSTKAMP S., LINZ A., MARQUERING J. (1999): Microcontroller-based multisensor system for online crop/weed detection, Proceedings 1999 Brighton Conference, Vol.2, 601-606

VAN HENTEN E.J., VAN 'T SLOT D.A., HOL C.W.J., VAN WILLIGENBURG L.G. (2006): "Optimal Design of a Cucumber Harvesting Robot"; Proceedings of CIGR EurAgEng/VDI-MEG, FAO World Congress 2006 (Bonn, Germany) – Agricultural Engineering for a better World

Ertragskartierung beim Mähdrusch mittels Körperschallsensorik

Yield mapping by the combine's corn header using impact sound sensors

Oliver Hensel

Universität Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebietsleiter Agrartechnik,
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen,
E-Mail: agrartechnik@uni-kassel.de

Zusammenfassung: Vorgestellt wird ein neuartiges Sensorsystem zur Ertragskartierung am Beispiel der Körnermaisernte, das auf dem Prinzip der Körperschallmessung basiert und das Aufprallereignis der auf die Pflückplatten auftreffenden Kolben ausgewertet

Deskriptoren: Ertragskartierung, Maispflückvorsatz, Körperschall

Abstract: *A new sensor system is presented based on the measurement of the impact of cobs striking the stripping plates of a combine's corn header*

Keywords: *yield mapping, corn header, impact sound*

1 Einleitung

Ertragskartierungssysteme haben sich auf breiter Front vor allem in der Körnerfruchternte durchgesetzt. Trotz des teilweise sehr hohen baulichen Aufwandes bedürfen diese Sensorsysteme jedoch einer häufigen Nachkalibrierung und sind hinsichtlich der Genauigkeit dennoch verbesserungswürdig. Hinzu kommt, dass die Platzierung der Sensoren meist nahe des Korntanks erfolgt und somit zur ortsspezifischen Zuordnung des Messwertes eine Zeitkorrektur unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit vorgenommen werden muss. Während dies für die Ertragskartierung akzeptabel sein kann ist die zeitlich verzögerte Signalgebung für automatische Mähdrescher-Regelsysteme („*smart harvest*“) kaum tolerierbar. Vorgestellt wird ein neues Meßsystem für Mähdrescher zum Einsatz bei der Körnermaisernte, das auf der Erfassung des Aufprallereignisses der Maiskolben auf den Pflückplatten (Körperschallmessung) und damit bereits am Aufnahmeorgan der Maschine basiert.

2 Versuchsaufbau

In Voruntersuchungen auf einem Prüfstand wurde zunächst das Schwingungsverhalten verschiedener Pflückplatten untersucht und die optimale Sensorposition und der dazugehörige Messbereich festgelegt. Anschließend wurde ein entsprechender Piezokörperschallsensor (Murata PKS1) mit Auswerteelektronik ausgewählt (Messbereich 1.000 – 9.000 Hz) und das Sensorsystem an einen einreihigen schleppergeführten Pflückvorsatz (Geringhoff „RotaDisc“) montiert. Unter Feldbedingungen (Maisbestand Sorte „Agadir“, Restfeuchte 35 – 40%, Hessische Staatsdomäne Frankenhausen) wurden vorher bonitierte Bestände (Versuchsumfang zwischen 40 und 400 Kolben je Messreihe) beerntet. Die Messwerte wurden gefiltert (Eliminierung der Schwingungen des Schleppers und des Anbaugerätes), als Summenintegral berechnet und der tatsächlich geernteten Kolbenzahl sowie der gewogenen Erntemenge gegenübergestellt.

3 Ergebnisse

In allen Versuchen konnte ein enger Zusammenhang zwischen dem Messsignal und der Zahl der geernteten Kolben festgestellt werden, **Bild 1**.

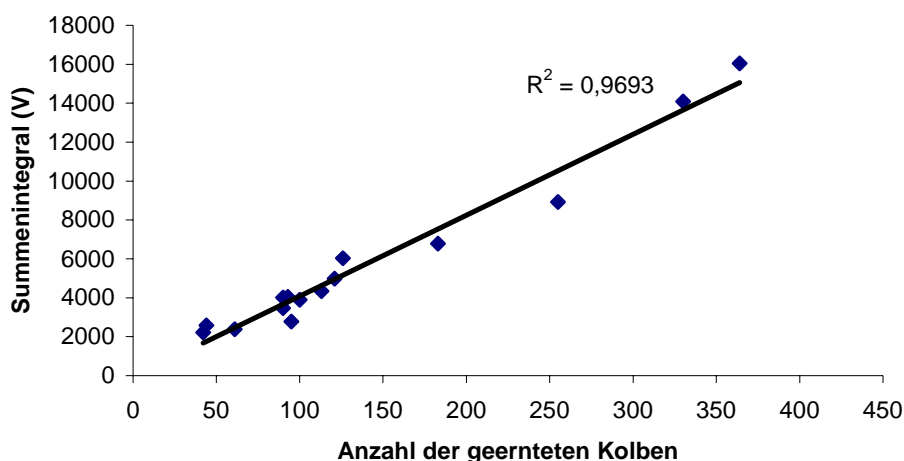


Bild 1: Summenintegral und Anzahl geernteter Kolben

Neben der Anzahl der Kolben ist die Bestimmung der Erntemenge und damit des Durchsatzes des Mähdreschers von besonderem Interesse, da das einzelne Kolbengewicht innerhalb eines Bestandes variiert. Die Höhe des Messwertes der Körperschallmessung wird sowohl von der (im Praxisbetrieb konstant gehaltenen) Einzugs geschwindigkeit des Pflückvorsatzes als auch vom Kolbengewicht beeinflusst. Stellt man daher das Messsignal der durch Wiegen bestimmten Erntemenge gegenüber, so ergibt sich wiederum ein enger Zusammenhang, **Bild 2**.

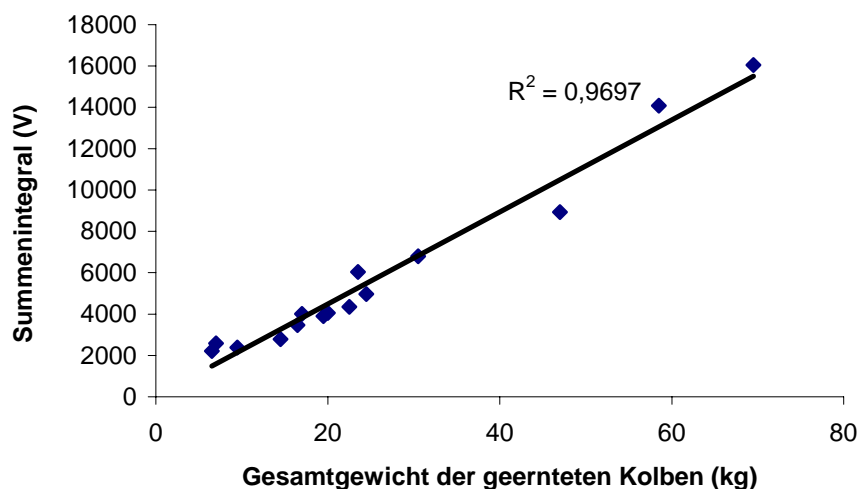


Bild 2: Summenintegral und Erntemenge

Die Messgenauigkeit des Systems übertrifft damit deutlich die Werte, die üblicherweise von den in marktgängigen Mähdreschern eingebauten Standardsensoren erreicht werden. Der bauliche Aufwand ist jedoch erheblich geringer.

4 **Schlussfolgerung**

Es konnte nachgewiesen werden, dass mit Hilfe der Körperschallmessung an den Pflückplatten eines Maispflückvorsatzes sowohl die Kolbenzahl als auch die Erntemenge mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Damit ist eine Echtzeitmessung zur Maschinenregelung („*smart harvest*“) und eine korrekturfreie ortsbezogene Ertragskartierung möglich. Die Untersuchungen sollen auf andere Ernteprodukte (Sonneblumen, Kartoffeln, Getreide) ausgedehnt werden.

Qualitative und quantitative Messung der Verunkrautung in Kulturpflanzenbeständen mittels Bildanalyse

Qualitative and quantitative measurement of weed distribution in crops using image processing

Martin Weis, Roland Gerhards

Institut für Phytomedizin, Universität Hohenheim, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart,
E-Mail: Martin.Weis@uni-hohenheim.de; Gerhards@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung: Für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung ist eine Messung der Verunkrautung Voraussetzung. Diese Messung kann mit automatischen Verfahren in hoher räumlicher Auflösung vorgenommen werden. Es ist notwendig, Kulturpflanzen und Unkräuter zu unterscheiden. Es wird ein System vorgestellt, mit dem sich Unkrautverteilungskarten anhand von Bildmessungen erstellen lassen. Die einzelnen Systemkomponenten werden erläutert und die Bildauswertung beschrieben, die für die Identifizierung von Pflanzenarten eingesetzt wird. Die Unterscheidung der Pflanzenarten wird mittels einer Formanalyse durchgeführt.

Um den Ansatz flexibel zu gestalten, wird eine Bilddatenbank aufgebaut, in der sich Prototypen der zu erkennenden Pflanzen befinden. Aus dieser Bilddatenbank wurden mit Merkmalen Klassifikatoren erzeugt, die an die spezielle Situation im Feld angepasst sind. Das Ergebnis der Klassifikation erlaubt eine qualitative und quantitative Beurteilung der Verunkrautung auf Teilflächen. Anhand von Unkrautverteilungskarten lassen sich die Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung planen und mit Applikationskarten in die Praxis umsetzen.

Deskriptoren: Unkrauterkenennung, Bildverarbeitung, Klassifikation, Unkrautverteilungskarten, teilschlagspezifische Unkrautkontrolle

Abstract: *Basis for site-specific weed management is the measurement of the weed distribution. This measurement can be carried out via automated measurements with high spatial density. It is necessary to discriminate crop plants and weed plants. A system is presented that can generate weed distribution maps based on image measurements. The system components and the image analysis for the identification of different plant species are introduced. The differentiation of plant species is based on shape analysis.*

To customize the approach an image database was built up, which contains prototypes of the plants to be recognised. Using the database and extracted features, classifiers are generated which are adapted to special situations in the field. The result of the classification allows a qualitative and quantitative assessment of the zonal weed distribution of the area under cultivation. By means of weed distribution maps specific actions for the weed management can be planned and put into practice using application maps.

Keywords: *weed identification, image processing, classification, weed distribution maps, site-specific herbicide treatment*

1 Einführung

Für eine teilschlagspezifische Unkrautererkennung ist es notwendig, die räumliche Verteilung der Unkräuter zu erfassen. Manuelle Bonituren durch einen Experten sind arbeitsaufwendig und kostenintensiv. Es ist nötig, einen Kompromiss zwischen hoher räumlicher Auflösung und Wirtschaftlichkeit zu finden. Bei zu niedriger Auflösung besteht die Gefahr, die Verunkrautung insgesamt zu über- oder unterschätzen (HÄUSLER & NORDMEYER 2003, BACKES 2005).

Mit automatischen Verfahren kann die räumliche Auflösung der Messungen erhöht werden.

1.1 Bildbasierte Unkrautererkennung

Es wurden mehrere Verfahren vorgeschlagen, um die Verunkrautung innerhalb eines Schlages mit Hilfe von optischen Sensoren zu erfassen. Die eingesetzten Sensoren reichen dabei von Fernerkundungssensoren und Luftbildkameras bis hin zu Nahbereichssensoren (CHAPRON *et al.* 1999, SHAW 2005). Das Messprinzip beruht entweder auf der spektralen Signatur verschiedener Arten oder einer Form- und Texturanalyse. Ein Beispiel für die Nutzung der spektralen Signatur sind Fernerkundungsdaten. Eine Bestimmung der Verunkrautung aus Fernerkundungsdaten gelingt nur mit zusätzlichem Wissen über die Art der Unkräuter und in Stadien, in denen eine Bekämpfung nicht mehr sinnvoll durchführbar ist. Eine Erfolgsbonitur kann aber damit durchgeführt werden.

Die Ansätze zur Unterscheidung von einzelnen Kulturpflanzen und Unkräutern nutzen Bilder aus dem Nahbereich und analysieren Formeigenschaften der Objekte (MARTIN-CHEFSON *et al.* 1999, MANH *et al.* 2001, PHILIPP *et al.* 2002, DE MEZZO *et al.* 2003, GEBHARDT & KÜHBAUCH 2007).

2 Systemkomponenten

Das System zur bildbasierten Unkrautererkennung besteht aus den Komponenten in **Bild 1**. Die Verarbeitung der Daten erfolgt in Richtung der Pfeile. Eingangsdaten in das System sind Bilder, GPS-Positionen und Entscheidungswissen, das von einem Experten bereitgestellt wird. Die Bilder werden in mehreren Schritten vorverarbeitet, so dass eine Merkmalsextraktion vorgenommen werden kann. Die Merkmale von einzelnen Objekten im Bild (Pflanzen) werden dann zur Klassifikation verwendet. Objektbilder mit bekannter Klassenzugehörigkeit können als Prototypen in einer Bilddatenbank gespeichert werden, die ebenfalls die errechneten Merkmale enthält und als Wissensbasis genutzt wird, um einen Klassifikator zu erstellen. Mit einem aus der Wissensbasis erstellten Klassifikator werden die unbekanntesten Objekte mit den Prototypen verglichen und ihnen eine Klasse zugewiesen. Aus der Anzahl der gefundenen Objekte in den Einzelbildern kann zusammen mit der

Position, die bei der Bilderstellung aufgezeichnet wurde, eine Entscheidung über die zu treffenden Maßnahmen abgeleitet werden. An dieser Stelle fließt das Expertenwissen über die Art der zu verwendenden Herbizide und Schadschwellen ein. Aus der Entscheidung werden Applikationskarten erzeugt, die für die teilflächenspezifische Herbizidapplikation verwendet werden. Diese Informationen sind auch die Basis für die Dokumentation der getroffenen Maßnahmen.

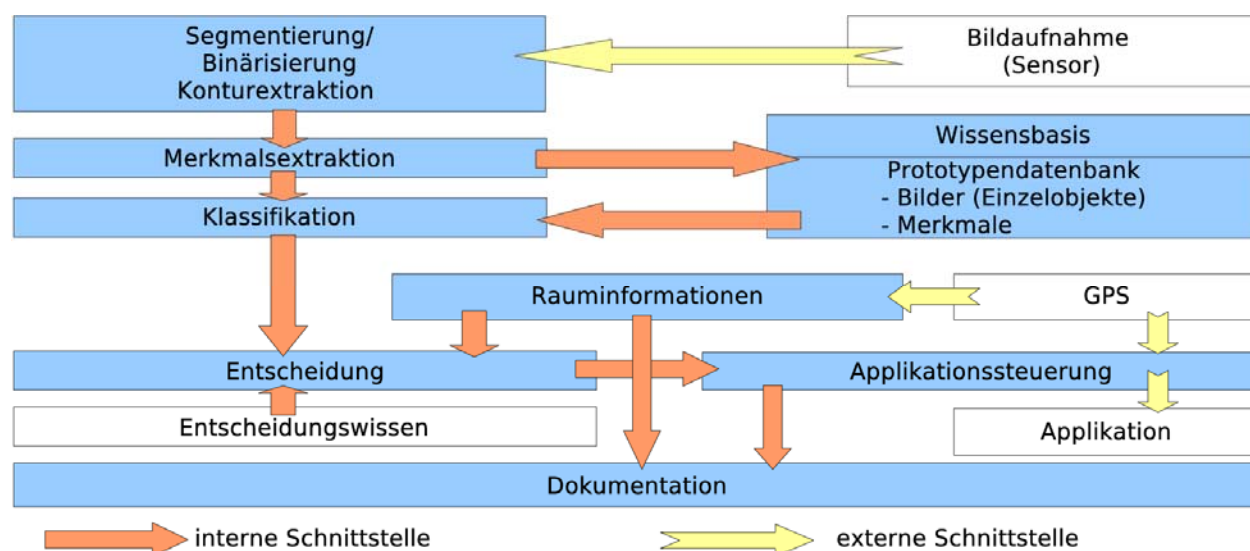


Bild 1: Systemkomponenten der bildbasierten Unkrautererkennung und -bekämpfung

3 Bildmessung und Auswertung

Die Bilder werden mit einer Bisppektralkamera aufgenommen. Zwei spektrale Bänder im Rot- und Infrarotbereich werden genutzt (620-660 nm, > 680 nm Wellenlänge). Aus den zwei Bildern lässt sich ein Differenzbild errechnen (Infrarot-Rot), in dem die chlorophyllhaltigen Pflanzenteile gut von Hintergrundobjekten (Boden, Mulch, totes Pflanzenmaterial) unterscheidbar sind (**Bild 2**). Die Bildverarbeitung setzt bei den Differenzbildern an und segmentiert zunächst Einzelobjekte. Dafür wird ein Schwellwert manuell vorgegeben oder aus dem Grauwertehistogramm bestimmt und das Bild binarisiert.

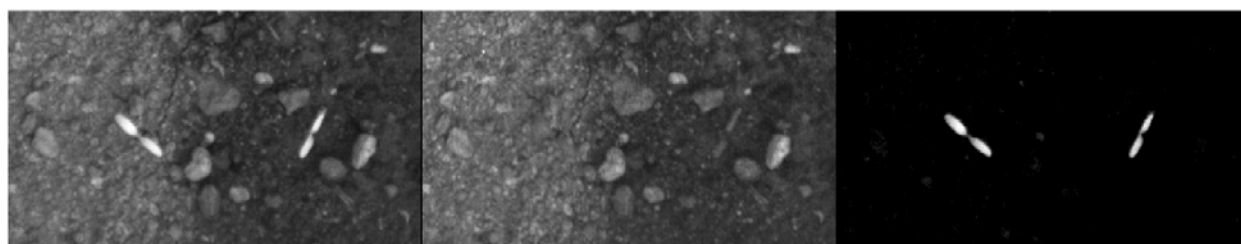


Bild 2: Infrarotbild, Rot-Bild, Differenzbild ohne Hintergrundobjekte (für den Druck sind die Grauwerte skaliert)

3.1 Formanalyse

In dem Binärbild werden die zusammenhängenden Regionen einer Formanalyse unterzogen. Zusammenhängende Regionen bilden die Objekte, die untersucht werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Objekte einzelnen Pflanzen zugeordnet werden können. In einem ersten Schritt wird hochfrequentes Rauschen unterdrückt. Diese Art von Rauschen erzeugt kleine Regionen, die anhand eines minimalen Größenschwellwertes ausgefiltert werden. Von den verbleibenden Regionen werden dann verschiedene Merkmale berechnet. Die Merkmale lassen sich ihrer Art nach in drei Klassen einteilen:

- **Regionenbasierte Merkmale:** Diese Merkmale werden aus den Pixeln und ihren Positionen berechnet, aus denen das Objekt besteht. Beispiele für diese Art Merkmale sind die Flächengröße (Anzahl Pixel) und statistische Momente sowie die von Hu (Hu 1962) vorgeschlagenen.
- **Konturbasierte Merkmale:** Diese Art Merkmale werden aus einer Konturrepräsentation (bestehend aus Randpixeln) der Objekte berechnet. Zu diesen Merkmalen zählen Fourierdeskriptoren und die Curvature Scale Space Repräsentation (JÄHNE 2001, MOKHTARIAN *et al.* 1996).
- **Skelettbasierte Merkmale:** Diese Merkmale basieren auf einer Skelettierung der Region (JI & PIPER 1992). Das Skelett einer Region bildet die Mittellinie des Objektes.

Insgesamt werden über 100 Merkmale bestimmt. Interessant sind Merkmale, die so normiert werden können, so dass sie unabhängig von Translation, Rotation und Skalierung sind.

Aus dem Skelett und einer Distanztransformation (**Bild3**) der Region lassen sich statistische Merkmale herleiten.

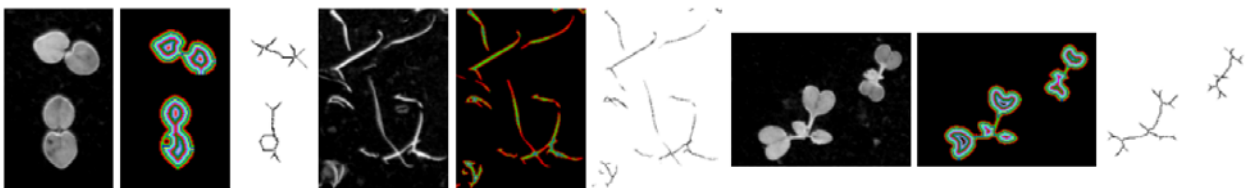


Bild 3: Distanztransformation und Skelettierung. Die Linien gleicher Farbe haben denselben Distanzwert

Die Distanztransformation weist jedem Pixel der Region einen minimalen Abstandswert zum Rand der Region zu. Wird nun das Skelett mit dieser Distanztransformation verschnitten, so erhält man einen Vektor, der für jedes Pixel des Skelettes den Abstand zum Rand der Region enthält. Aus diesem Vektor lassen sich der Maximalwert, der Mittelwert, die Varianz und die Länge des Vektors ermitteln. Die Länge des Vektors entspricht der Länge des Skelettes, die anderen Merkmale repräsentieren statistische Werte der Abstände der Mittellinie zum Rand entlang des Skelettes. Diese Werte beschreiben somit die „Dicke“ der Blätter und ihre Verteilung.

Überlappungen (**Bild 3 Mitte**) führen zu einer wesentlichen Einschränkung des formbasierten Verfahrens in Getreide und Raps. Grundsätzlich lassen sich aus dem Skelett auch Merkmale ableiten, mit denen Überlappungen unterschiedlicher Pflanzen detektiert und getrennt werden können. Überlappungen treten häufig bei langblättrigen Arten auf, diese lassen sich dann anhand der Skelettmerkmale identifizieren (große Länge des Skelettes und kleine maximale Dicke).

In **Bild 4** ist der Merkmalsraum für drei numerische Skelettmerkmale und vier Klassen dargestellt. Die Trennung der Klassen ist mit diesen Merkmalen möglich, da die Klassen Cluster im Merkmalsraum bilden.

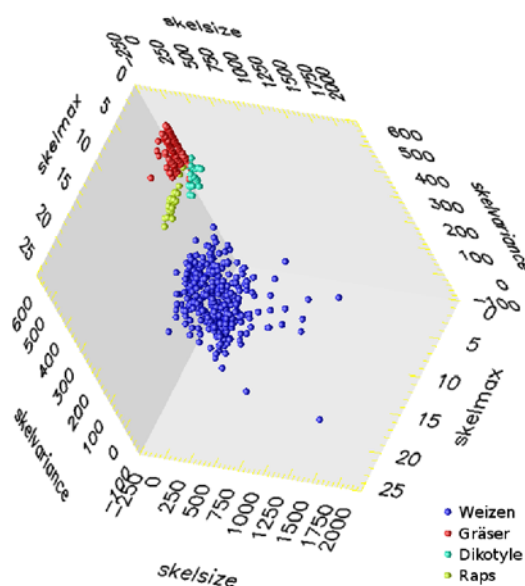


Bild 4: Merkmalsraum für drei Skelettmerkmale und vier Klassen

3.2 Bilddatenbank

Es wird sukzessive eine Datenbank aufgebaut, die Prototypen von verschiedenen Kulturpflanzen und Unkrautarten enthält. In der Datenbank werden sowohl aus den Differenzbildern ausgeschnittene Objekte und ihre zugehörigen Binärbilder als auch die berechneten Merkmale gespeichert. Für jedes Objekt in der Datenbank ist die Klassenzugehörigkeit definiert. Die Klassenbezeichnungen sind aus drei Teilen zusammengesetzt: der Artbezeichnung nach EPPO-Codes, dem phänologischen Stadium nach BBCH-Code und einem Bezeichner, der Sonderfälle der Segmentierung beschreibt. Die Sonderfälle, die bei der Segmentierung auftreten können, sind zum einen unvollständige Objekte (einzelne Blätter), überlappte Objekte (mehrere Pflanzen in einem Objekt) und „optimale“ Segmentierungen, bei denen eine Pflanze komplett korrekt segmentiert wurde. Diese Fälle werden mit den Bezeichnern *L*, *O* und *N* unterschieden. Der Klassenname für ein vollständig segmentiertes Unkraut der Art *Galium aparine* im Keimblattstadium lautet GALAP10N, wobei GALAP den EPPO-Code, 10 den BBCH-Code bezeichnen und N für eine korrekte Segmentierung steht.

Die Bilddatenbank hält Prototypen für die Klassifikation vor (**Bild 5**). Aus dieser Datenbank können geeignete Merkmale der Prototypen herausgesucht und ein Klassifikator erstellt werden.

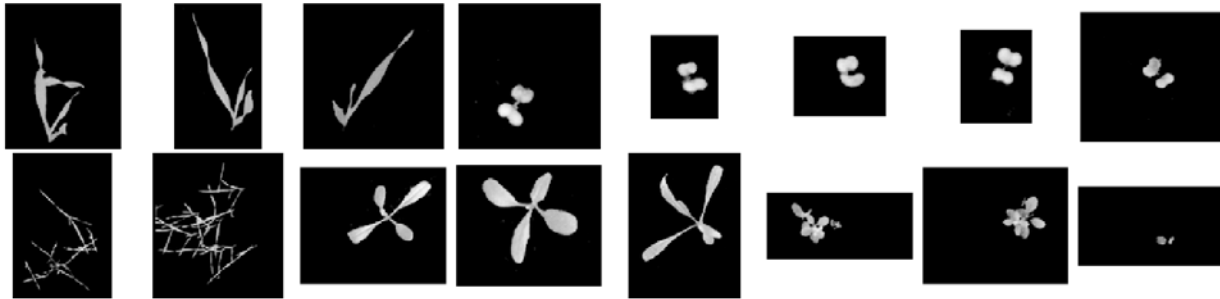


Bild 5: Beispiele für Prototypen in der Bilddatenbank

3.3 Klassifikation

Die Merkmale, die berechnet wurden, können für eine Klassifikation verwendet werden. Es handelt sich ausschließlich um numerische Merkmale, daher lassen sich alle Klassifikationsverfahren anwenden, die einen Merkmalsvektor verarbeiten können. Bevor eine Klassifikation mit den Merkmalen durchgeführt wird, sollte aber eine Merkmalsreduktion durchgeführt werden, um nur mit den bestgeeigneten Merkmalen zu arbeiten. Zur Merkmalsreduktion und Klassifikation werden die Programme WEKA und SPSS eingesetzt (WITTEN & FRANK 2005, SPSS Inc 2004). Die Klassifikation wird mit maximal 15 Merkmalen durchgeführt.

4 Applikationstechnik

Die Ergebnisse der Klassifikation werden zusammen mit den GPS-Positionen in Unkrautverteilungskarten eingetragen. Unkräuter, die mit demselben Herbizid kontrolliert werden, werden aggregiert. Durch das Setzen von Schadschwellen werden aus den Unkrautverteilungskarten Applikationskarten erzeugt (**Bild 6 rechts**).

Die teilschlagspezifische Applikation von Herbiziden wird mit einer Dreifachspritze umgesetzt (**Bild 6 links**). Die Spritze besitzt drei parallele Spritzeinrichtungen, die unabhängig voneinander gesteuert werden können. Die Aufwandmenge kann zwischen 200 und 290 l/ha variiert werden. Die Steuerung erfolgt mit einem mobilen Rechner, der anhand der Applikationskarte und der aktuellen Position, die mit GPS gemessen wird, die Steuerung übernimmt.



Bild 6: Dreifachspritze und Applikationskarte

5 Zusammenfassung

Es wurde ein System zur Unkrauterkenkung vorgestellt, das eine Klassifikation einzelner Pflanzen aus Bildern mittels Formmerkmalen ermöglicht. Als bedeutende Merkmale haben sich diejenigen herausgestellt, die auf einer Skelettierung der Objekte beruhen. Mit diesen Merkmalen lassen sich verschiedene Pflanzenarten voneinander unterscheiden. Eine Bilddatenbank mit Prototypen bildet die Basis für eingehende Untersuchungen, wie die Bildverarbeitung und Klassifikation verbessert werden können. Schwierigkeiten ergeben sich bei dem Verfahren, wenn Überlappungen auftreten. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um das Verfahren an die große Variabilität der Anforderungen in der Praxis anzupassen.

Das Gesamtsystem eignet sich für die Erstellung von Unkrautverteilungskarten, die für eine teilschlagspezifische Unkrautkontrolle genutzt werden können. Die Maßnahmen können mit den erstellten Karten geplant und dokumentiert werden.

6 Literatur

- BACKES M. (2005):** Methodische Probleme bei der Erstellung von Unkrautverteilungskarten mit Geoinformationssystemen (GIS), Landwirtschaftliche Fakultät Bonn, Dissertation, 2005. – URL http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2005/backes_matthias. – URN: urn:nbn:de:hbz:5n-04670
- CHAPRON M., BOISSARD P., ASSEMAT L. (1999):** A method for recognizing vegetal species from multispectral images. In: (Stafford, 1999), S. 239–248
- DE MEZZO B., RABATEL G., FIORO C. (2003):** Weed leaf recognition in complex natural scenes by model-guided edge pairing. In: (Stafford und Werner, 2003), S. 141–147. – ISBN 9076998213
- GEBHARDT S., KÜHBAUCH W. (2007):** A new algorithm for automatic *Rumex obtusifolius* detection in digital images using colour and texture features and the influence of image resolution. In: Precision Agriculture 8 (2007), Apr, S. 1–13. – URL <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-006-9024-7>. – 10.1007/s11119-006-9024-7

- HU M.K. (1962):** Visual pattern recognition by moment invariants. In: IRE Transactions Information Theory 8 (1962), Feb., Nr. 2, S. 179–187.
– URL http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abs_free.jsp%3FarNumber=1057692. – ISSN 0018-9448
- HÄUSLER A., NORDMEYER H. (2003):** Using aerial photography to detect weed patches for site-specific weed control – perspectives and limitations. In: (Stafford und Werner, 2003), S. 271–277. – ISBN 9076998213
- JÄHNE, B. (2001):** Digital Image Processing. 5th. Berlin: Springer-Verlag, 2001
- JI L., PIPER J. (1992):** Fast Homotopy-Preserving Skeletons Using Mathematical Morphology. In: IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 14 (1992), Nr. 6, S. 653–664. – ISSN 0162-8828
- MANH A., RABATEL G., ASSEMAT L., ALDON M. (2001):** Weed leaf image segmentation by deformable templates. In: Journal of Agricultural Engineering Research 80 (2001), S. 139–146
- MARTIN-CHEFSON L., CHAPRON M., PHILIPP S. (1999):** A two dimensional method for recognising weeds from multiband image processing. In: (Stafford, 1999), S. 473–483
- MOKHTARIAN F., ABBASI S., KITTLER J. (1996):** Robust and efficient shape indexing through curvature scale space. In: PYCOCK, D. (Hrsg.): Proceedings of the British Machine Vision Conference 1996. Edinburgh, UK: British Machine Vision Association, 1996, S. 53–62. – URL [cite-seer.ist.psu.edu/mokhtarian96robust.html](http://citeseer.ist.psu.edu/mokhtarian96robust.html)
- PHILIPP I., RATH T., NORDMEYER H. (2002):** Computerbildanalytische Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen. In: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVIII (2002), S. 429–436. – ISSN 0938-9938
- SHAW D.R. (2005):** Translation of remote sensing data into weed management decisions. In: *Weed Science* 53 (2005), Mar, S. 264–273. – URL <http://dx.doi.org/10.1614%2FWFS-04-072R1>
- SPSS Inc 2004:** SPSS for Windows. 2004. – Rel. 12.0.2 (Standard Version)
- STAFFORD J.V. (1999):** Precision Agriculture 1999. Bd. 1. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press, 1999. (2nd European Conference on Precision Agriculture)
- STAFFORD J.V., WERNER A. (2003):** Precision Agriculture 2003. Niederlande: Wageningen Academic Publishers, 2003. (Precision Agriculture). – ISBN 9076998213
- WITTEN I.H., FRANK E. (2005):** Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. 2. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005

UAV (unmanned aerial vehicles) für Präzisionslandwirtschaft

UAV (unmanned aerial vehicles) for precision farming

Patrick Reidelstürz, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein
Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart,
E-Mail: reidelstuerz@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung: Ausgehend von bestehenden Korrelationen zwischen Multispektralsensordaten und Pflanzenzuständen sollten aerielle Sensorplattformen entwickelt werden, um entsprechende Fernerkundungsdaten zeitnah, flexibel und kostengünstig auf Betriebsebene nutzbar zu machen.

Durch die Wahl entsprechender Sensoren konnten die Rahmenbedingungen für die zu erstellenden Plattformen festgelegt, sowie Richtlinien für den Betrieb als UAV zusammengestellt werden. Durch die Ausrüstung mit LiPo Akkutechnik und moderner brushless Antriebstechnik wird es bei einem Motorsegler der Spannweite von etwa 3 m möglich sein, unter 5 kg Abflugmasse einen entsprechenden Sensor zu tragen. Hierdurch entfällt eine Aufstiegserlaubnis und ein flexibler und spontaner Einsatz wird ermöglicht. Die vorgestellten Plattformen befinden sich zurzeit noch im Aufbau und zeigen schon heute ein großes Potenzial zur Erfassung der teilflächenspezifischen Variabilität für Zwecke der Präzisionslandwirtschaft.

Bis zum routinierten Einsatz sind neben der Fertigstellung noch verschiedene Flugtests, Konfigurationen und Programmierungen zu bewältigen. Die Möglichkeiten zur Integration in einen Arbeitsablauf der Präzisionslandwirtschaft sind in einem Folgeprojekt auszuloten und zu optimieren.

Deskriptoren: UAV, RPV, Drohne, Präzisionslandwirtschaft, Fernerkundung, LiPo Akkutechnik, Brushless-Antrieb, Multispektralsensor, Infrarot, autonomes Fliegen

Abstract: *Based on existing correlations between data of multispectral sensors and current status of agricultural plants, aerial sensorplatforms shall be developed to get remote sensing data that are useable in real-time, flexible and cost-saving for precision farming purposes.*

Choosing suitable sensors, the basic conditions could be configured for the platform, that have to be developed and guidelines for the operation of UAV could be compiled.

Using Lipo rechargeable batteries and brushless drives a motor glider with a wingspan from about 3 m should be able to carry one of the sensors by keeping MTOW (maximum take off weight) of 5 kg. Under this condition no permission for a take off is necessary and an flexible and spontaneous application is possible in Germany. Currently the described platforms are built up and already show a huge capability to detect the variability of smallest subareas in agricultural parcels for precision farming purposes. Up to date the UAV have to be completed, different test of flights have to be conducted and different configurations and programmings have to be tested. The possibilities to integrate the received data into a workflow of precision farming systems have to be aquired and optimized.

Keywords: *UAV, unmanned aerial vehicles; RPV, remotely piloted vehicles, precision farming, remote sensing, LiPo rechargeable batteries, brushless drive, multispectralsensor, Infrared, autonomous flight*

1 Einleitung

„UAV“ (unmanned aerial vehicle) steht als Begriff für unbemannte Flugobjekte. Im Wesentlichen gehören hierzu Starrflügler. Aber auch Drehflügler (Helikopter, Quadrocopter) und Flugkörper leichter als Luft (Prallluftschiffe = Blimps und Zeppeline) können unbemannt eingesetzt werden. Dabei wird unterschieden zwischen „Drohnen“ und „remotely piloted vehicles“ (RPV). Während erstere autonom unterwegs sind, besteht bei RPV ein Videolink, durch den eine manuelle Steuerung vom Boden aus ermöglicht wird.

In beiden Fällen spielt eine Positionsbestimmung mittels GPS eine große Rolle. Im Falle der Drohnenlösung wird meist eine vorgegebene Flugroute mit Hilfe eines Datenlinkes übertragen, die mit der Positionsbestimmung des Flugkörpers abgeglichen wird.

UAV sind aus ferngelenkten Zielflugkörpern weiterentwickelt worden, wobei zunächst Aufklärungssensoren und dann autonome Flugregelungsmechanismen in der Flugplattform verbaut wurden. Die neueste Tendenz auf diesem Gebiet besteht in der Ausrüstung der Flugobjekte mit intelligenten Entscheidungsalgorithmen (Robotik) und im Zusammenhang mit militärischen Einsätzen mit zusätzlicher Bewaffnung (UCAV, unmanned combat aerial vehicles).

Die Vorteile von UAV gegenüber der bemannten Luftfahrt ergeben sich aus dem reduzierten Fluggewicht und der Miniaturisierung, sowie aus der Tatsache, dass ein Flug ohne Pilot eine starke Reduktion von Sicherheitsrisiken mit sich bringen kann.

So findet man UAV heute neben militärischen Anwendungen vielfältig eingesetzt bei unterschiedlichsten Monitoring- und Erkundungsaufgaben, wie beispielsweise bei der Erforschung natürlicher Ressourcen, beim Umweltmonitoring, bei Überwachungs- und Sicherheitsaufgaben, bei der Verkehrsüberwachung und der Wetterbeobachtung (z.B.: BUSCHMANN *et al.*, BUSCHMANN *et al.* 2005, BUSCHMANN *et al.* 2002, HAGNER 2005, HAUSAMANN *et al.* 2005, SCHULZ *et al.* 2004).

Im Bereich der Präzisionslandwirtschaft ist man auf hochaufgelöste, flächenhafte Daten über die teilflächenspezifische Variabilität der Schläge und des Pflanzenwachstums angewiesen, aus denen dann die Modulation der Betriebsmittel abgeleitet werden kann.

Für eine flächige Erfassung der teilflächenspezifischen Variabilität kann die Fernerkundung einen interessanten Beitrag leisten, indem spezifische Rückstrahlungswerte (Reflexion) flächenhaft erfasst werden. Die gemessenen Spektren lassen möglicherweise Rückschlüsse auf teilflächenspezifisch differenzierende Pflanzenzustände und das damit verbundene teilflächenspezifische Management zu.

Für die Anwendung auf Betriebsebene sind satelliten- und flugzeuggestützte Plattformen von Fernerkundungssensoren nicht nur relativ teuer, sondern auch unflexibel zu handhaben. Hinzu kommen weitere Einschränkungen durch Wetterlagen, Bewölkung etc.

Hier könnte in Zukunft der Einsatz von UAV eine besondere Rolle spielen, da sich diese einerseits als Plattform für relevante Fernerkundungssensoren (bspw. Spektrometer) eignen, sie sich andererseits aber auch durch einen spontanen und flexiblen, aber auch

kostengünstigen Einsatz auszeichnen. Als UAV kann eine solche Plattform bei Bedarf eine vorgegebene Strecke für Monitoringzwecke im Bereich der Präzisionslandwirtschaft autonom abfliegen.

2 Material und Methoden

Zur Erstellung eines UAV für den Einsatz im Bereich der Präzisionslandwirtschaft sind zwei Aspekte bedeutsam:

Einerseits sind *geeignete Fernerkundungssensoren* für die vorgesehene Anwendung zu ermitteln. Andererseits leiten sich daraus die Rahmenbedingungen zur Konfiguration der *aerialen Sensorplattform* ab.

Zur Ermittlung geeigneter Sensoren wurden bereits vielfältige Untersuchungen über die spektrale Rückstrahlung von ackerbaulichen Pflanzenbeständen gemacht (GUYOT 1990, CHRISTY *et al.* 2006). An der Universität Hohenheim wurde die spektrale Rückstrahlung der Blätter mit einer digitalen Kamera bzw. einem Spektrometer unter Laborbedingungen ermittelt, wobei unterschiedliche Ernährungszustände und Versorgungszustände mit Spurenelementen berücksichtigt wurden (GRAEFF *et al.* 2001, GRAEFF *et al.* 2006).

Was die Konfiguration einer aerialen Sensorplattform betrifft, muss zunächst die rechtliche Situation zum Betrieb von UAV geklärt werden. Zur Beschaffung einer geeigneten Fernerkundungssensorik wurde zunächst der notwendige Spektralbereich mit der entsprechenden geometrischen und spektralen Auflösung definiert. Hierauf aufbauend war dann nach Sensoren zu recherchieren, die bei entsprechender Eignung ein möglichst geringes Gewicht haben. Eine weitere Recherche befasste sich damit, ein geeignetes Autopilotensystem für die vorgesehene Anwendung zu finden.

Aufgrund der hierbei ermittelten Rahmenbedingungen ergab sich schließlich eine Größenordnung für die benötigte Trägerplattform. Dementsprechend wurden Flugmodelle herausgesucht, die sich für den vorgegebenen Zweck eignen. Mit diesen wurden Testflüge vorgenommen. Zum jetzigen Zeitpunkt werden sie als Trägerplattform für die entsprechende Sensorik umgebaut. Ein Ausbau als UAV mit dem Autopilotensystem erfolgt in Kürze.

3 Ergebnisse

Die Untersuchungen zum Einsatzpotential von Reflexionsmessungen für Präzisionslandwirtschaft erscheinen sehr vielversprechend. Es zeigt sich, dass mit Hilfe des Spektralverhaltens bestimmter Spektralbereiche Nährstoffmangelzustände bei Pflanzen erkannt werden können (**Bild 1**).

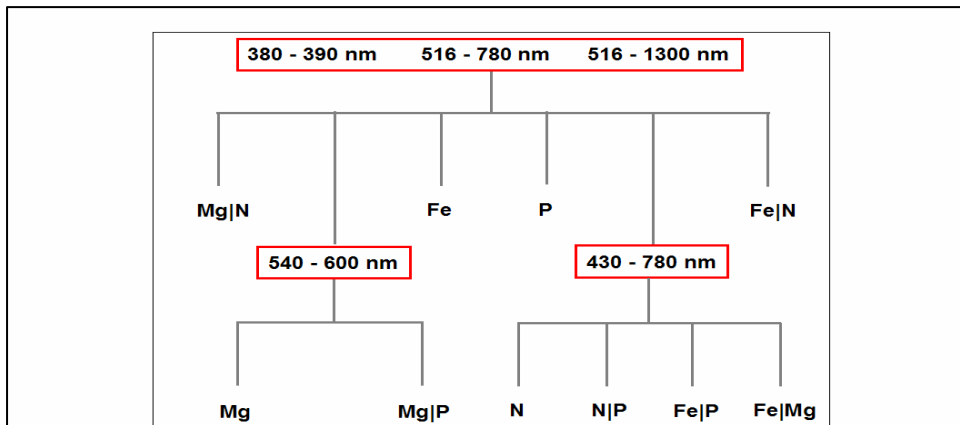


Bild 1: Erfassung von Nährstoffmangel mit Hilfe spektraler Rückstrahlung (Reflexion)

Als Ergebnis der entsprechenden Recherche erwiesen sich als Sensoren zum Bild dieser Zusammenhänge der „MMS 1 enhanced“ und der „PGS 1.7-256“ von TEC 5 (Oberursel) als geeignet.

MMS 1 enhanced (TEC5) Technische Daten	
Optischer Eingang	ausgangsseitig linear 70µm x 2500 µm (Eintrittsspalt)
Gitter	Flat-field, 366 l/mm (im Zentrum), geblazed für ca. 330 nm
Spektralbereich	310...1100 Spezifikationen für den Bereich 360...900 nm 400...1100 nm (NIR enhanced)
Optionen	erhältlich als MMS 1 UV/VIS enhanced MMS 1 NIR enhanced
Diodenzeile	
• Hersteller	Hamamatsu
• Typ	S 3904-256Q im Spezialgehäuse (S 4874-256Q für MMS 1 NIR enhanced)
• Pixelanzahl	256
• Pixelgröße	25 x 2500µm²



Bild 2: Technische Daten zum „MMS 1 enhanced“ (TEC 5)

	PGS 1.7-512 Pixel	PGS 1.7-256 Pixel	PGS 2.0-256 Pixel	PGS 2.2-256 Pixel
■ Optical Entrance:	Fiber consisting of Infrasil-quartz glass			
Input :	diameter 0.6 mm length 300 mm NA = 0.22 mounted in SMA-coupling (male)			
Output:	Slitwidth: 80 µm			
■ Filter:	950 nm edge filter			
■ 2nd order filter on detector	–	–	Yes	Yes
■ Grating:	Plane grating			
	484 l/mm, blazed for approx. 1.2 µm	484 l/mm, blazed for approx. 1.2 µm	484 l/mm, blazed for approx. 1.4 µm	300 l/mm, blazed for approx. 1.4 µm
■ Spectral range:	960 ... 1690 nm	960 ... 1690 nm	1340 ... 2000 nm	1000 ... 2150 nm
■ Wavelength accuracy absolute:	± 0.6 nm (with polynomial fit)			
■ Temperature-induced drift: (10-40°C)	≤ 0.012 nm/K			
■ Spectral distance of pixels:	$\Delta\lambda_{\text{Pixel}} \approx 1,5 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{Pixel}} \approx 3 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{Pixel}} \approx 2,7 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{Pixel}} \approx 5 \text{ nm}$
■ Resolution:	$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} \approx 5 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} \approx 8 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} \approx 6 \text{ nm}$	$\Delta\lambda_{\text{FWHM}} \approx 16 \text{ nm}$
■ Straylight:	< 0.1 % as transmission of 10 mm water at 1405 nm (exposure from halogen lamp)			
■ Weight:	approx. 590 g			
■ Operating temperature:	0 - 40°C (standard, depending on cooling electronic)			
■ Storage temperature:	-40 - +70°C			



Bild 3: Technische Daten zum „PGS 1.7-256“ (TEC 5)

Während der „MMS 1 enhanced“ (400-1100nm) im Schwerpunkt den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums mit einer spektralen Auflösung von 256 Pixeln auflöst (**Bild 2**), bildet der „PGS 1.7 256“ bei gleicher Auflösung die Rückstrahlung des nahen bis mittleren Infrarot (960-1690 nm) ab (**Bild 3**).

Die Sensoren eignen sich aufgrund Ihrer Größe und ihres Gewichtes (etwa 500 bzw. 1000 Gramm) für relativ kleine aerielle Trägerplattformen.

Um eine flexible Lösung zu erhalten wurde angestrebt, eine Plattform zu entwickeln, welche die erforderlichen Sensoren bei einem Gesamtgewicht kleiner als 5 kg tragen kann. Damit wäre ein zeitlich und räumlich flexibles und spontanes Monitoring gewährleistet.

Eine intensive Recherche ergab schließlich, dass ein Motorsegler mit etwa 3 m Spannweite die erforderliche Tragfähigkeit und Zuladung bewältigen könnte. Modelle kleinerer Spannweite bekommen Schwierigkeiten mit der Zuladung, Modelle größerer Spannweite hingegen Schwierigkeiten, wenn sie mitsamt der Zuladung weniger als 5 kg wiegen sollen.

Unter diesen Erwägungen fiel die Wahl auf einen Motorsegler „MaxiSport“ der Firma „Graupner“ (**Bild 4**). Ergänzend wurde ein Elektrotrainer „E-Trainer 182“ der Firma Graupner (**Bild 5**) angeschafft, um einerseits Flugschulungen durchführen zu können, aber auch, um den RPV Betrieb im Lehrer/Schüler Modus testen zu können.

Schließlich wurde als Lastenträger ein Nurflügel „Queenbee“ von Windrider angeschafft (**Bild 6**). Letzterer hat eine Spannweite von 2,4 m und soll mit einem Rumpf ausgerüstet werden, der Antrieb und Sensorik beherbergt.

Alle 3 Plattformen sind mit hochwertigen Elektroantrieben in der Konfiguration als „brushless“ Außenläufer ausgerüstet, die sich durch höchste Leistung bei geringstem Gewicht und Verschleißfreiheit auszeichnen. Für die Modelle wurden außerdem Lithium-Polymer Akkus mit hoher Strombelastbarkeit und hoher Kapazität bei geringstem Gewicht angeschafft. Beim Ladevorgang wird die Spannung jeder einzelnen Zelle der 4- und 5-zelligen „LiPo“-Packs mit Hilfe von Balancertechnik überwacht. Ebenso wurde eine Einzelzellenüberwachung im Flugbetrieb (also während des Entladevorganges) integriert.



Bild 4: Motorsegler „Maxi Sport“ (Graupner)



Bild 5: Motortrainer „E- Trainer 182“ (Graupner)



Bild 5: „Queenbee“ (windrider)

Der E-Trainer 182 wurde mit einem Datenlogger („Eagle Tree“, Vertrieb „emcotec“) ausgerüstet (**Bild 6**). Ein online Datenlink überträgt alle wichtigen Parameter zum Notebook am Boden. Für einen kontrollierten Flug sind online folgende Daten verfügbar:

- Motordrehzahl (IR Sensor an Luftschraube)
- Spannung und Strom am Antriebsakku
- Strom kumulativ (Verbrauchte Akkukapazität)
- Spannung am Empfänger (Bordspannung)
- Temperatur am Antriebsakku
- Neigungssensoren in Längs- und Querachse
- Geschwindigkeit mit Pitot Staurohr
- Höhe barometrisch
- GPS Position
- Höhe (GPS)
- Geschwindigkeit (GPS)
- Entfernung zum Operateur (mittels GPS)
- Videolink

Der E-Trainer ist zudem mit einer Digitalkamera und mit einem „live“ videolink ausgestattet. Er ist in der Lage, den Sensor „MMS 1 enhanced“ zu tragen.

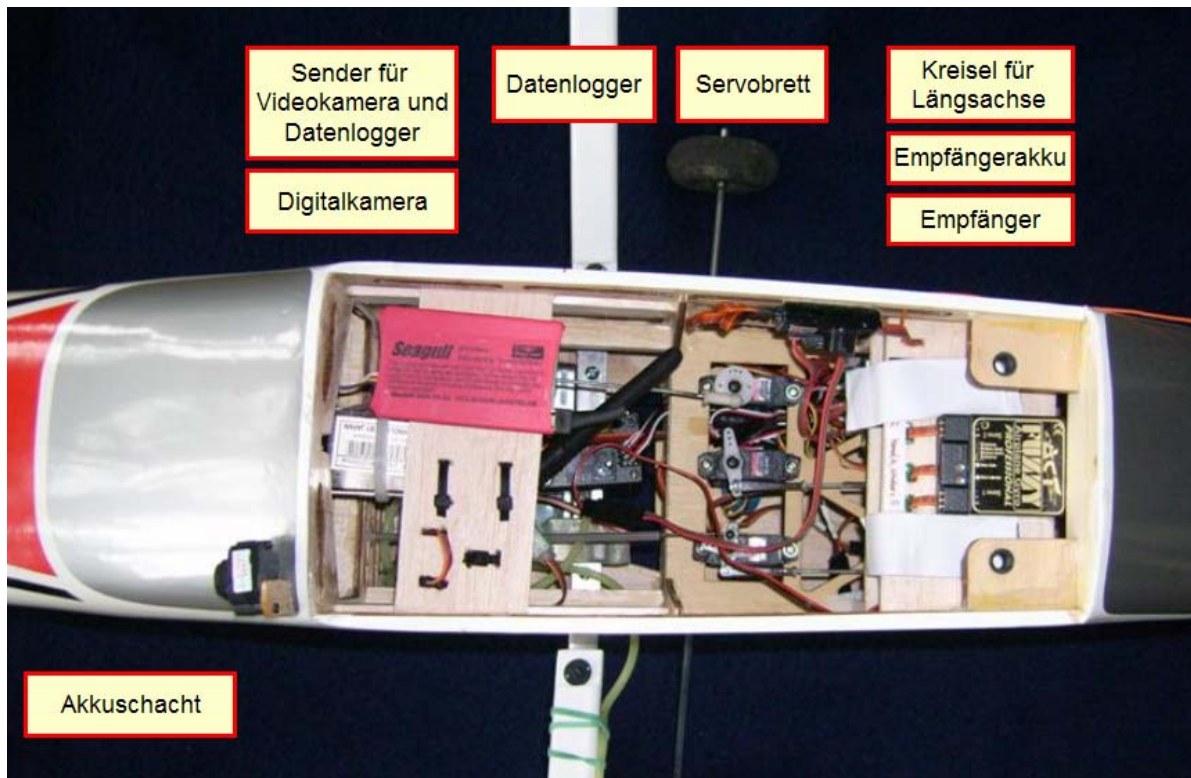


Bild 6: Ausbau des „E-Trainer 182“ als RPV, sensorüberwacht und mit Videolink

Für den Motorsegler „MaxiSport“ wird ein Zweitumpf gebaut werden, um alternativ beide Multispektralsensoren zu tragen. Eine Ausrüstung mit dem Autopilotensystem „microstation“ zum Betrieb als UAV ist vorgesehen.

Darüber hinaus wurde ein Funkvario als manuelle Lösung angeschafft, mit dessen Hilfe folgende Parameter übertragen werden können:

- Sinken
- Steigen
- Flughöhe über Grund
- Bordspannung

Schließlich ist ein Workflow zu erarbeiten, um die Fernerkundungsdaten der UAV in Applikationskarten zur Modulation der Betriebsmittel für Präzisionslandwirtschaft zu integrieren.

4 Zusammenfassung

Die angeschafften RPV und UAV Plattformen befinden sich zurzeit im Aufbau. Sie werden die Abflugmasse von 5 kg nicht überschreiten und sind in der Lage, entsprechende Fernerkundungssensorik für Zwecke der Präzisionslandwirtschaft zu tragen. Durch die geringe Abflugmasse entfällt eine Aufstiegserlaubnis, was die Plattformen sehr flexibel und spontan einsatzfähig macht. Um Risiken zu vermeiden wurden Sicherheitsrichtlinien zum Betrieb als UAV erarbeitet.

Die Fernerkundungsplattformen für Zwecke der Präzisionslandwirtschaft sollen die unproblematische zeitnahe und kostengünstige Integration relevanter Fernerkundungsdaten zur Erfassung relevanter teilflächenspezifischer Variabilität ermöglichen. Der Ausbau als UAV soll das sichere und spontane Befliegen einer regelmäßigen und vorprogrammierten Route zu Zwecken des Monitorings ermöglichen. Das Handling wird dabei bis hin zu einer autonomen und sicheren Landung sehr vereinfacht.

Die Plattformen müssen zu diesen Zwecken noch weiter ausgebaut werden. Dabei stehen verschiedene Flugtests und Konfigurationsoptimierungen an.

Ebenso stehen die Optimierung der Georeferenzierung und Integration der Daten in einen Workflow zur Erstellung von Applikationskarten zur Modulation der Betriebsmittel an.

Durch die praxistaugliche Möglichkeit der Erfassung der Multispektraldaten ist die Suche weiterer Korrelationen zu teilflächenspezifisch differenzierenden Pflanzenzuständen möglich.

Die in der vorgesehenen Form fertig gestellten aeralen Sensorplattformen werden die zeitnahe praxistaugliche und kostengünstige Integration von Multispektraldaten zur Erfassung der teilflächenspezifischen Variabilität für Zwecke der Präzisionslandwirtschaft ermöglichen.

5 Literatur

BUSCHMANN¹ M., KRÜGER¹ L., VÖRSMANN¹ P., BÖKER² F., RAMON³ P.: Volcano Observation with the Autonomous Mini-Aeroplane "Carolo"; 1) Institute of Aerospace Systems, Technische Universität Braunschweig, Germany; 2) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Geozentrum Hannover, Germany; 3) Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

BUSCHMANN M., HEINDORF A., KRÜGER L., WINKLER S., VÖREMANN P. (2005): "Das miniaturisierte Autopiloten-System des Projekts AutoMAV" In: *Jahrbuch 2005 der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt*. Bonn : Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt

BUSCHMANN M., KORDES T., VÖRSMANN P. (2002): Das Projekt CAROLO - Entwicklung eines autonomen Mikroflugzeugs an der TU Braunschweig, Vortrag auf der Fachausschuss-Sitzung "Unbemannte Flugzeuge" der Fachausschüsse T5.1, T5.2 und T5.3 der DGLR, 16. und 17. April 2002, DLR Braunschweig

- CHRIDTY C.D., DRUMMOND P., LUND E. (2006):** Precision Agriculture Applications of an On-the-Go Soil Reflectance Sensor. 8th International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis, MN, USA. CD-Rom
- GRAEFF S., STEFFENS S., SCHUBERT S. (2001):** Use of reflectance measurements for the early detection of N, P, Mg and Fe deficiencies in Zea mays L. J. Plant Nutr. Soil. Sci. 164: 445-450
- GRAEFF S., LINK J., CLAUPEIN W. (2006):** Identification of powdery mildew and take- all disease in wheat by means of leaf reflectance measurements. Central European Journal of Biology:275-288
- GUYOT G. (1990):** Optical Properties of Vegetation Canopies, p. 2-43, *In* M. Steven and J. Clark, eds. Applications of remote sensing Agriculture, London
- HAGNER O. (2005):** A rugged low cost UAV System for forestry, The International Forestry Review v.7(5) p. 167
- HAUSMANN D., ZIRNIG W., SCHREIER G., STROBL P. (2005):** Monitoring of gas pipelines - a civil UAV application (2005); <http://en.scientificcommons.org/17792878>
- SCHULZ H.-W., WINKLER S., BUSCHMANN M., KORDES T., VÖRSMANN P. (2004):** Kartografie mit den autonomen Mikro- und Miniflugzeugen der Carolo-Familie. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Luft- & Raumfahrt. (Dresden, Germany, 20-23 September, 2004). Bonn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Luft- & Raumfahrt, 2004, DGLR-JT2004-025
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Herausgeber) (2003):** Jahresbericht 2003: Experimente zum Einsatz von Miniflugzeugen zur Erfassung von räumlichen Heterogenitäten; DLR Braunschweig
- <http://www.aeroconcepts.com/Platforms.htm> 18.04.2007
- <http://www.aeroconcepts.com/lturraldeExpedition/Mission.htm> 18.04.2007
- <http://www.aerosonde.com> 18.04.2007

NIRS as a tool for precision horticulture in the citrus production

Teilflächen-spezifische Citrusproduktion auf der Basis von Fruchtanalysen mittels NIR-Spektroskopie

Manuela Zude¹, Michael Pflanz¹, Craig Kaprielian², Brian L Aivazian³

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim

E-Mail: zude@atb-potsdam.de

² Fruit World Nursery Inc., 9234 S. Alta Ave, Reedley, CA 93654, U.S.A.

³ Vision Agrobotics Inc., 1425 S. Ash Street, Casper, Wyoming 82601, U.S.A.

Abstract: Information on the development of citrus fruit quality is required for determining the site-specific optimum harvest date. In the present study, near infrared spectroscopy was applied for non-destructive fruit monitoring on tree. A severe impact of precipitation on the fruit quality development was found. The average development of the cultivar-specific harvest date was used as a reference to calculate the relative harvest date of individual fruit.

Keywords: non-destructive Sensing, NIR, spectroscopy, Citrus

Zusammenfassung: Informationen über die Fruchtqualität bei Citrus werden benötigt, um den teilflächenspezifischen optimalen Erntetermin festzulegen. Im vorliegenden Ansatz wurde die NIR-Spektroskopie für eine zerstörungsfreie Bestimmung der Fruchtentwicklung eingesetzt. Ein deutlicher Einfluss starker Niederschläge auf die Qualität wurde festgestellt. Die mittlere Veränderung der sortenabhängigen und saisonalen Fruchtentwicklung wurde als Referenz verwendet, um den Erntezeitpunkt der Einzelfrüchte zu bestimmen.

Deskriptoren: zerstörungsfreie Analyse, NIR, Spektroskopie, Citrus

1 Introduction

The current method to detect citrus fruit quality in the orchard is based on destructive readings regarding the parameters: acidity, juiciness and soluble solids content (SSC). In practise, the fruit maturity on tree is most often evaluated with respect to the refractometrically measured SSC aiming the determination of the optimum harvest date. During citrus fruit development the SSC increases until a steady-state is reached. At this point fruits should be harvested to avoid possible damages due to unfavourable weather conditions like high precipitation rate, frost, extremely high radiation. The efficiency of destructive methods applied randomly does not adequately address the demands by the harvest management, since fruit does not ripen homogeneously within the production site due to different environmental influences. Resulting, non-destructive and site-specific sensing of fruit properties would be beneficial regarding the spatial distribution of fruits ready for harvesting and/or showing premium quality within the production site.

Spectroscopy in the NIR wavelength range up to 1100 nm might serve as a feasible tool for non-destructive fruit monitoring on tree, since it has become a widely used technology for fruit sensing in practise due to recently available accurate, robust, and inexpensive spectrophotometer modules (CHEN & NATTUVETTY 1980, BELLON *et al.* 1993, GREENSILL & WALSH 2000, ZUDE 2003, ZUDE *et al.* 2006). A detailed review of NIRS physics for agricultural and food products was presented by BIRTH & HECHT (1987). MIYAMOTO & KITANO (1995) as well as KAWANO (1994) published approaches to citrus fruit SSC prediction using NIR-technology and partial least-square (PLS) regression analysis for calibration. While sorting lines equipped with NIR sensor are commercially available nowadays, devices for measuring directly on the tree are still under development. Experiments with grapefruit were undertaken to evaluate the accuracy of the method using on-line and hand-held NIR units with the fruit subsequently juiced to obtain a reference based on refractive index measurement of the fruit SSC. Testing prototypes of the devices a linear regression showed highest coefficient of determination, $r^2 = 0.67$ in grapefruit at adjusted temperatures (MILLER & ZUDE 2004).

The objective of the present study was to point out if sensitive information can be derived with this method for application in precision horticulture. Therefore, monitoring the fruit SSC was carried out on citrus fruit grown on the farm by means of spectroscopic readings on tree. The feasibility test of non-destructive SSC readings under practical conditions was carried out for obtaining information on the site-specific harvest date.

2 Material and methods

Fruit trees of 5 cultivars were labelled in the orchard for providing the fruits chosen for non-destructive and destructive measurements. A hand-held photodiode array spectrophotometer device (Pigment Analyzer, CP, Germany) was applied for non-destructive read-

ings of the fruit remittance spectra in the wavelength range from 450 to 1100 nm with a resolution of 3.3 nm. LEDs served as light source, while Alumina (Ferro-Ceramic Grinding Inc., USA) was used as a white standard providing an appropriate reference for the remittance mode.

In weekly (n=11) interval samples (n=3849) were measured non-destructively as well as by means of destructive refractometric (PR-1, Atago Co., Ltd., Japan) analysis (n=108) to provide the calibration reference (y) for the non-destructive readings of spectral intensities, $I(\lambda)$. In the PLS calibration, data pre-processing to correct for scattering was carried out by means of standard normal variates (SNV) correction calculated for all vectors by subtracting its mean and dividing by the standard deviation. The dimensionality of calibration model was determined on the basis of minimizing the error in cross validation, while avoiding over-fitting. Coefficient of determination and root mean square error (rmse) was applied for assessing the calibration performance.

$$\text{rmse} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n}}$$

In cross-validation (rmsecv) 4 continuous block design was applied.

3 Results and discussion

Wavelengths with highest correlation coefficients were 780, 804, 880, 890, 940, 950, 1050, and 1080 nm pointing to similar sensitive wavelengths as found earlier.

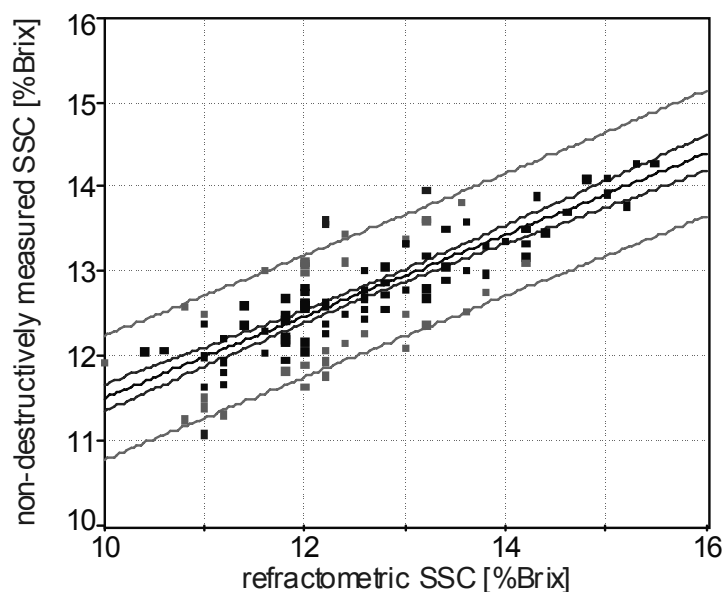


Figure 1: Scatter plot of non-destructive Brix sensing using calibration model adapted on fruit material grown in season 2005/2006 (n=108)

The PLS calibration method allowed to extract the pertinent information from the spectra for correlation with the analyte by means of linear regression between spectra and references by means of five b-coefficients (b_{1-5}), while describing 98% of the intensity variations at the selected wavelengths and 56% of the variation in the refractometrically measured SSC [%Brix].

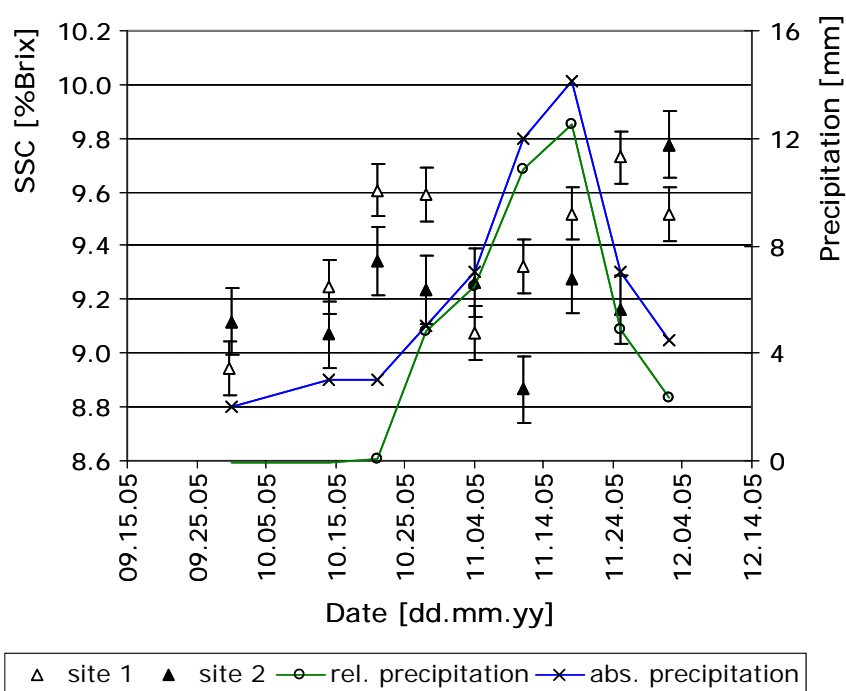


Figure 2: Example fruit SSC (n=25) of two cultivars and absolute precipitation. For comparison the difference to average precipitation (period 1949-2006) is plotted

Applying the calibration, $SSC = \sum \sum [I(\lambda) * b_{1-5}(\lambda)] / 5$, developed in former season resulted in high errors of 45.1% (4.56 Brix). This finding points to the need for a re-calibration on the apparent fruit material. After re-calibration a decreased percentage $rmse_{cv} = 8.6\%$ (0.86 Brix) similar to the error found in the former season was calculated (**Figure 1**).

All fruits showed overall increased Brix values during fruit maturation on tree. Within the growing season reported in December heavy rain fall occurred, which temporarily exceeds the average precipitation by 12.2 mm. A strong impact of high precipitation on the fruit SSC was found in 2 cultivars leading to decreased SSC values shortly after the rain fall (**Figure 2**). The 2 cultivars were already in an advanced maturity stage close to the harvest date, while the 3 additional cultivars measured were in an unripe stage. In the later cultivars a less dramatic effect on the fruit quality was found.

Non-destructive NIRS readings were tested for monitoring the spatial distribution of citrus fruit SSC. For this purpose the measured SSC mean of a cultivar was subsequently monitored during fruit development (**Figure 3**). Differences of individual fruit readings from the

mean was calculated by minimizing the sum of rmse when shifting the curve of individual fruit development on the time axis taking into account 5 measuring dates (**Figure 4**).

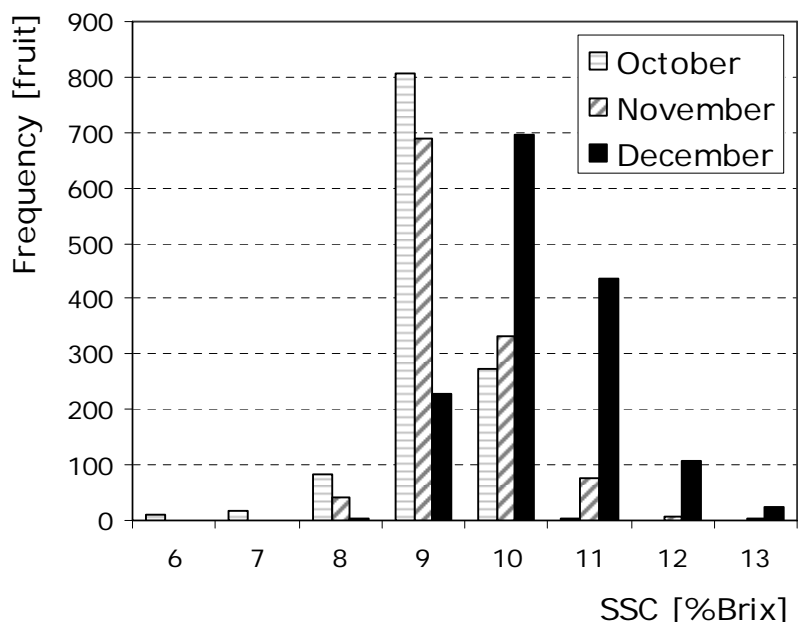


Figure 3: Distribution of SSC values analyzed in the growing season 2005

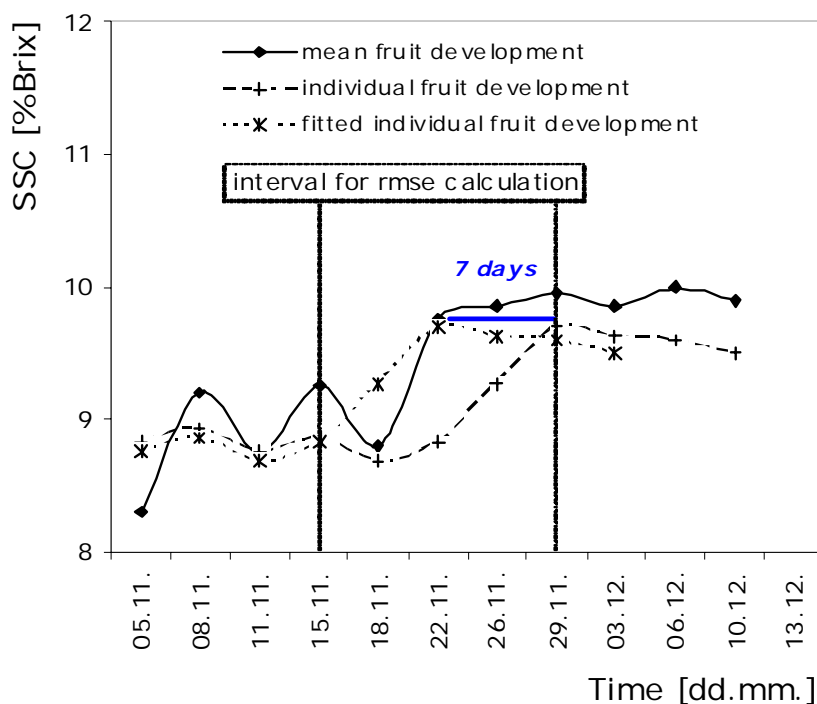


Figure 4: Mean fruit development in 2005 and evolution of an example fruit indicates 7 days delay of individual fruit in comparison to the mean

From 250 positions of fruit monitoring in the orchard the individual SSC was visualized in a false-colour map (right side of **Figure 5**) providing the site-specific data on the fruit SSC development. On the left side of the map the ready-to-harvest fruits are marked with yellow squares.

Results point out that information on the fruit quality can be obtained with the spectral-optical monitoring. The method has potential as a tool in site-specific harvest management.

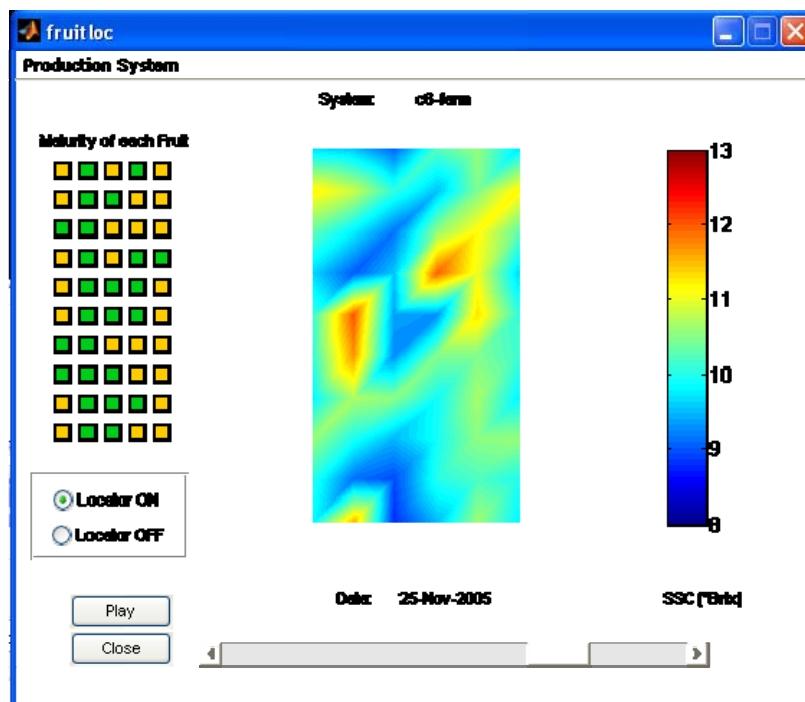


Figure 5: Graphical user interface for harvest decision support: Citrus SSC analyzed by means of NIR-spectroscopy is plotted in false colour on the right side of figure for each growing location. The "play" button provides the SSC evolution as a function of time. The slider controls the animation manually. On the left side, the corresponding yellow squares indicate the site-specific harvest suggestion to the user

4 References

- BELLON V., VIGNEAU J.L., LECLERCQ M. (1993):** Feasibility and performances of a new, multiplexed, fast and low-cost fiber-optic NIR spectrometer for on-line measurement of sugar in fruits. *Appl. Spectrosc.* 47: 1079-1083
- BIRTH G.S., HECHT H.G. (1987):** The physics of near-infrared reflectance. In *Near infrared technology in the agricultural and food industries*, 1-15. P. Williams and K. Norris, eds. St. Paul, Minn.: Am. Assoc. Cereal Chemists
- CHEN P., NATTUVETTY V.R. (1980):** Light transmittance through a region of an intact fruit. *Transactions of the ASAE* 23: 519-522

- GREENSILL C.V., WALSH K.B. (2000):** A remote acceptance probe and illumination configuration for spectral assessment of internal attributes of intact fruit. *Measure. Sci. Technol.* 11: 1674-1684
- KAWANO S. (1994):** Non destructive NIR quality evaluation of fruits and vegetables in Japan. *NIR news.* 5: 10-12
- MILLER W.M., ZUDE M. (2004):** NIR-based sensing to identify soluble solids content of Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture* 20: 321-327
- MIYAMOTO J., KITANO Y. (1995):** Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 3: 227-237
- ZUDE M. (2003):** Non-destructive prediction of banana fruit quality using VIS/NIR spectroscopy. *Fruits* 58: 1-8
- ZUDE M., HEROLD B., ROGER J.M., LANDAHL S., BELLON-MAUREL V. (2006):** Non-destructive tests on the prediction of apple fruit properties at the tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering* 77: 254-260

Estimating the volume and surface of corn by means of multiple views

Ermittlung von Volumen und Oberfläche bei Getreide auf der Basis der digitalen Stereoskopie

László Baranyai

Corvinus University of Budapest, Department of Physics and Control
H1118 Budapest, Somlói u. 14-16., E-Mail: laszlo.baranyai@uni-corvinus.hu

Abstract: Volume and surface area are important parameters of corn and other grains. They determine physical, biochemical processes and affect postharvest technology. Volume is used to predict the yield of the final product such as starch, flour, and oil. Surface area could be used to estimate the quantity of pesticide covering the seeds and to improve existing calculations about transfers through the hull. There is accepted reference method for volume measurement but not for the surface area. The objective of the presented work is to estimate the real surface of corn with higher accuracy compared to simple geometry models like prolate spheroid or double cone. Digital image processing is used and image pairs are analyzed to recover the 3D shape of corn. Two different setups are used. The first uses rotated cameras of $\pm 5^\circ$ and the shape is calculated on the basis of stereo disparity. The second uses a mirror of 60° and the shape is calculated on the basis of the size of the bounding box of an elliptic cross section. Volume is computed as integral of the shape. Surface area is calculated on the basis of triangles of the surface using Heron's formula. Due to the two possible positions of the triangles within a rectangular area, the average for each rectangle is taken into account.

Keywords: corn, stereo vision, surface

Zusammenfassung: Das Volumen und die Oberfläche von Korn und anderem Getreide sind bedeutende Größen, da sie die physikalischen Eigenschaften, biochemische Prozesse sowie die Verarbeitungseigenschaften in den Nachernteprozessen bestimmen/beeinflussen. Das Volumen kann darüber hinaus als Maß für den Stärkegehalt, Kleber- und Ölanteil verwendet werden. Die Oberfläche kann als ein bedeutender Einflussfaktor für die Rückstandsmenge an Pestiziden angenommen werden, da hiermit existierende Modelle zur Pestizidaufnahme verbessert werden können. Normierte Volumenbestimmungsmethoden werden bereits in der Praxis erfolgreich eingesetzt, während für die Oberflächenbestimmung noch keine Methode zur Verfügung steht. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die reale Kornoberfläche mit erhöhter Genauigkeit im Vergleich zur Anwendung einfacher geometrischer Modelle wie elliptischem Rotationskörper oder Doppelkegel. Mittels digitaler Bildverarbeitungsmethoden wurden Bildpaare analysiert, um ein 3D-Modell des Korns zu berechnen. Hierzu wurden zwei Messverfahren erprobt. Es wurde eine um 5° rotierende Kamera eingesetzt und der Umriss mittels stereoskopischer Abweichung berechnet. Alternativ wurde ein in 60° angeordneter Spiegel eingesetzt und der kleinste Bildrahmen des elliptischen Querschnitts berechnet. Das Volumen wurde als Integral des Umrisses berechnet, während die Oberfläche mittels der Heron-Formel durch Dreiecke bestimmt wurde. Bei den zwei möglichen Positionen der Dreiecke in einer viereckigen Fläche, wurde der Durchschnitt jedes Dreieckes verwendet.

Deskriptoren: Korn, Oberfläche, Stereoskopie

1 Introduction

The volume and the surface area of corn kernel are basic geometrical parameters. Both parameters are important in postharvest technology and food production. The germ (embryo) represents about 11.5%, which contain a high proportion of oil, 4.5% w/w. The endosperm, the largest portion of the kernel represents about 82.3% of the weight of the grain and consists largely of the starch along with the gluten the bound protein 9.4% (MEJÍA 1999). The geometry of the seed grain itself have minimal impact on the final yield (NAFZIGER 1992) but surface can be interesting from another point of view. If thickness of the covering pesticide material is known, it is possible to estimate the required quantity.

Several simple geometrical models exist for grains like double cone and prolate spheroid (MARSHALL *et al.* 1984). These models are unable to fit shapes without axial symmetry. A corn kernel profile of three regions (crown, body and tip cap) was also built to detect broken pieces (LIAO *et al.* 1993) but the parameters are not suitable for 3D description of the grains with details. Stereo image analysis is able to recover 3D shape of surfaces even in problematic regions such as occluded or homogeneous areas (GUTIÉRREZ & MARROQUÍN 2004). Due to the relatively small size of corn, high resolution images of less than 60 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ are recommended to capture as many details as possible. These images are usually acquired with macro zoom, therefore there is less than 10 cm distance between the corn and the objective lens. This small distance and the limitation of the scene size means that traditional camera setup of parallel directions may fail because they cannot produce significantly different views (BARANYAI 2006).

The main goal of the presented work is to apply digital image processing methods to build a 3D model of corn by means of stereo images and multiple viewpoints produced using a mirror. It is also an objective of this study to estimate real volume and surface area with higher accuracy compared to simple geometrical models. A realistic model may result in a matrix of the 3D surface, which could be included into finite element models as well.

2 Materials and methods

Grains of *Zea mays L. conv. dentiformis* are used in the presented experiments. Samples were received directly from the grower.

The vision system consists of a Hitachi HV-C20 3CCD color camera, a Canon TV zoom lens and four filament lamps for illumination. Digital images of 768x576 pixel size and 24 bpp color depth are captured. Two different techniques are used to acquire pictures (**Figure 1**).

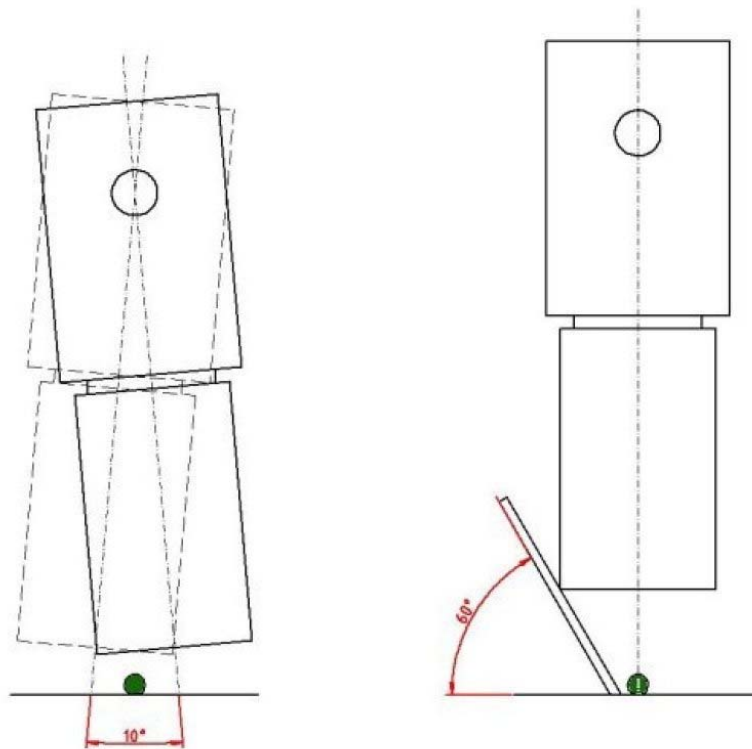


Figure 1: Layouts for image acquisition

The camera is rotated with $\pm 5^\circ$ in the first layout to make significantly different views of the corn. Image pairs of 0.038 mm/pixel resolution are analyzed to find matching sequences on the basis of the least square error calculated from the comparison of color signals. The height of each point is calculated on the basis of stereo disparity. Preliminary tests already confirmed, that the run length selected for comparison have optimal value between 0.2-0.4 mm. Higher values of this run length may decrease noise but on the other side also eliminate valuable information about the 3D shape (**Figure 2**).



Figure 2: Effect of increasing run lengths (0.2 mm, 0.4 mm, 1 mm and 2 mm)

A mirror of 60° slope is used in the second layout. The illumination is changed from symmetrically placed filament lamps due to the mirror. The resolution of the views of the same grain differ in 20%. White background is used in this case to increase contrast and help segmentation and edge detection. The 3D shape is calculated as an elliptic cross section with the size of a bounding box measured from the image (**Figure 3**).

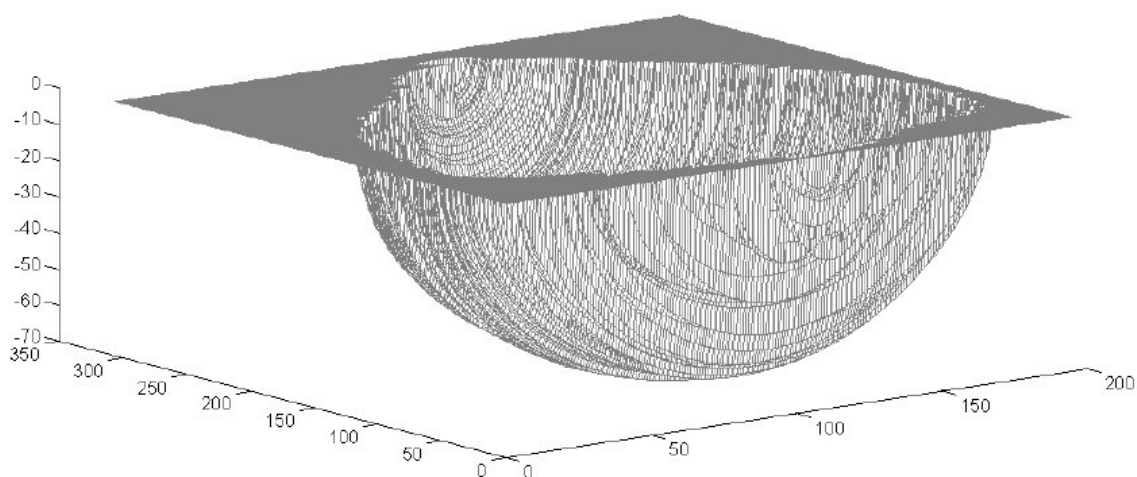


Figure 3: Corn shape estimated with elliptic cross section

Volume is calculated as integral of the data of the resulted matrix. The surface area is calculated by means of the Heron's formula (eq.1.).

$$T = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (1)$$

where T means the area of the triangle, s means the half perimeter, a , b and c present the sides of the triangle.

The surface is divided into rectangles and these rectangles are divided into triangles. Due to the different possible directions of the triangles, North-East to South-West (NE-SW) or North-West to South-East (NW-SE), two methods are used and the average for each rectangle is taken into account.

3 Results and discussion

The matrix produced by the image pairs of the rotated camera layout have lower resolution in height than the other built from the top and reflected views. Both volume and surface

area are calculated from the results of the second layout. The first layout might be used to create a new profile for cross sections other than elliptic.

The matrix presented in figure 3 has the size of 306x195 pixel. The estimated volume of that half corn is 367.6 mm³. The estimated surface area is 163.7 mm². This is the corrected value when the average of the areas of different directions are summarized. The directional estimations are 164.3 mm² (NE-SW) and 163.1 mm² (NW-SE).

4 Conclusions

The volume and surface area are important parameters of grains. There is accepted reference method for volume measurement but not for the surface area. The area of the surface is important in models of heat and mass transfer passing through the hull, and also can be used to calculate the quantity of covering pesticide of seed grains. Digital image processing applications are able to measure such geometrical attributes with high resolution stereo images and analysis of multiple views. A data matrix of height information is produced during analysis and this matrix might be an initial point of more realistic finite element models in the future.

5 References

- BARANYAI L. (2006):** Analysis of 3D structure of the surface of seed grains using stereo images. AgEng 2006, Bonn (Paper No. 686)
- LIAO K., PAULSEN M.R., REID J.F., NI B.C., BONIFACIO-MAGHIRANG E.P. (1993):** Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier. Transactions of the ASAE. 36:1949–1953
- MARSHALL D.R., ELLISON F.W., MARES D.J. (1984):** Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. I. Theoretical analysis. based on simple geometric models. Australian Journal of Agricultural Research. 35:619–630
- MEJÍA D. (1999):** FAO Post-harvest-Compendium, Maize: Post-harvest operation
http://www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch23_01.htm
- NAFZIGER E.D. (1992):** Seed size effects on yields of two corn hybrids. Journal of Production Agriculture. 5:538-540
- GUTIÉRREZ S., MARROQUÍN J.L. (2004):** Robust approach for disparity estimation in stereo vision. Image and Vision Computing. 22:183-195

Teilflächenspezifischen Beregnung: Eine neue Beregnungsstrategie

Precision irrigation, a new irrigation strategy

Heinz Sourell

Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig,
E-Mail: heinz.sourell@fal.de

Zusammenfassung: Mit dieser Arbeit werden erste Schritte zu Precision Irrigation vorgestellt. Mit der Berücksichtigung der ortsspezifischen Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes soll der Aufwand an Wasser und Energie reduziert und Umweltziele berücksichtigt werden. Unterschiedliche Beregnungshöhen sollen über die beregnende Fläche verteilt werden, um die ungleiche Wasserspeicherfähigkeit des Bodens auszugleichen. Für Beregnungsmaschinen sind zwei unterschiedliche Lösungswege im Versuchsstadium: für mobile Beregnungsmaschinen wird eine differenzierte Einzugsgeschwindigkeit und für Kreisberegnungsmaschinen eine differenzierte Ansteuerung jeder Düse durchgeführt.

Deskriptoren: Teilflächenspezifische Beregnung, Beregnungstechnik, Bodenwassergehalt, Bodenvariabilität

Abstract: *Agricultural cropping systems depend on the use of water resources for survival, and water needs vary spatially in fields because of spatial soil variability (texture, topography, water holding capacity and infiltration and drainage rate). Therefore, the need for irrigation may differ between different zones of a particular field. While moving irrigation systems apply water at constant rates, some areas of the field may receive too much water and others not enough. Precision irrigation, an existing aspect of precision agriculture just beginning to be explored, means applying water in the right place with the right amount. The use of precision agriculture for irrigation water management is still in the development stage and requires a lot of investigation and experimental work to determine its feasibility and applicability.*

Keywords: *Precision irrigation, Irrigation techniques, soil water holding capacity, Soil variability*

1 Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten war es das Ziel der Forschung und der Industrie, Wasser mit der Beregnungstechnik so gleichmäßig wie möglich auf dem Feld zu verteilen. Mit heutigen Kenntnissen bezüglich der Bodenheterogenität und zunehmenden Schlaggrößen, in Ostdeutschland um die 50 ha, die von einer Beregnungsmaschine beregnet werden, wird der Bedarf nach teilflächenspezifischer Wasserverteilung offenkundig. Ziel der teilflächenspezifischen Beregnung ist es, durch Berücksichtigung der ortspezifischen Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes den produktbezogenen Aufwand, hier Wasser und Energie, zu reduzieren und Umweltziele besser zu berücksichtigen.

Teilflächenspezifisches Management bzw. Beregnung erfordert detaillierte Informationen über die Heterogenität von Feldern, um die Beregnungshöhe den lokalen Bodenverhältnissen anpassen zu können. Konventionelle Methoden (Bodenproben, u. anschließender Laboranalyse) sind jedoch zu teuer und zu zeitaufwendig. Es sollten schnelle, zerstörungsfreie Methoden zur Ermittlung der benötigten Informationen verfügbar sein. Durch elektromagnetische Induktion oder Fernerkundungsaufnahmen könnte dieses Ziel zu erreichen sein. Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EC_a) des Bodens stellen eine schnelle Methode zur Ermittlung von Bodenunterschieden dar, und die ermittelten Werte der EC können mit verschiedenen anderen Informationsquellen verglichen werden. EC-Messungen werden schon längere Zeit durchgeführt, und die bisherigen Ergebnisse lassen erkennen, dass die EC-Karte direkt in teilflächenspezifische Beregnung umgesetzt werden kann. Dieses Verfahren ist weitgehend unabhängig von den Jahreszeiten, d.h. die Kartierung kann zu jeder Zeit während des Jahres durchgeführt werden. Die Interpretation der Information ist unkompliziert im Vergleich zu anderen räumlichen Informationen, wie beispielsweise Ertragskarten oder Fernerkundungsaufnahmen, und es ist keine Messung über mehrere Jahre erforderlich.

2 Material und Methoden

Der Weg zur Applikationskarte geht über die Hofbodenkarte, die elektrische Leitfähigkeit (EM38, Veris) und Entnahme von Bodenproben zur punktuellen Bestimmung der Bodenwasserspeicherfähigkeit (**Bild 1**). Die technische Umsetzung erfolgt mit mobilen Beregnungs- und Kreisberegnungsmaschinen. Entsprechend sind zwei unterschiedliche Lösungswege im Versuchsstadium. Für mobile Beregnungsmaschinen wird eine Variation der Einzugeschwindigkeit über die zu beregnende Feldlänge vorgeschlagen. Bei konstantem Durchfluss ergibt sich daraus eine unterschiedliche Beregnungshöhe. Die differenzierte Einstellung der Geschwindigkeit pro Schlag kann an der Maschine gespeichert oder vom Betriebsleiter eingestellt werden. Für Kreisberegnungsmaschinen wurde eine spezielle Düsensteuerung mit Magnetventilen entwickelt.

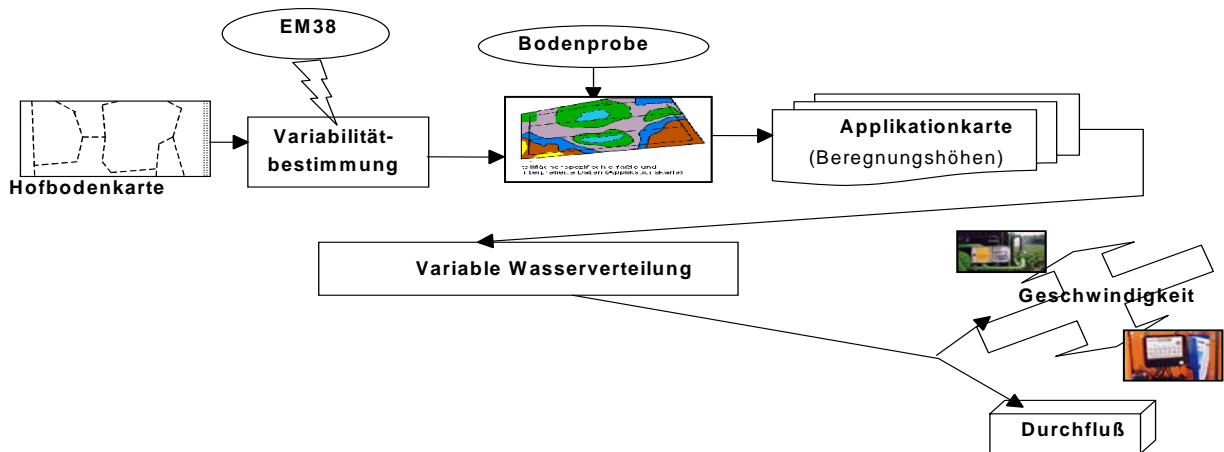


Bild 1: Strategie zur teilflächenspezifischen Beregnung (precision irrigation)

2.1 Variabilitätsbestimmung

Die Besonderheit von precision irrigation gegenüber bisherigen Produktionstechniken besteht in einer sehr intensiven Nutzung von spezifischen und umfangreichen Daten über den Standort und den Pflanzenbestand. Erste Informationen sind in der Hofbodenkarte enthalten. Diese Angaben sind aber zu grob, um sie zur teilflächenspezifischen Applikationskarte zu benutzen. Für die EM38 oder Veris Messungen wurden die Felder im 5 m Spurabstand befahren und jedem EC-Wert wurde ein GPS Wert zugeordnet. Aus diesen Werten wurden Leitfähigkeitskarten erstellt, die Grundlage für die Auswahl von Monitoringpunkten waren. An diesem Punkten wurden die Feldkapazität (FK) und der Welkepunkt (WP) bestimmt.



Bild 2: Messgerät EM38 und Transportfahrzeug zur Messung der Bodenheterogenität

2.2 Durchfluss

Bei Kreisberegnungsmaschinen wurde eine Ansteuerung jeder Düse im Abstand von 3 m durchgeführt. Vor jeder Düse wurde ein Magnetventil installiert. Grundlage für das Öffnen bzw. Schließen der einzelnen Düse ist die Applikationskarte. Ein Programmable Logic

Control (PLC) System wurde am Institut entwickelt, um die Applikationskarte als Datei zu speichern. Die Positionsbestimmung der Maschine wurde am Zentralurm mit einem Drehsensor bestimmt. Pro Grad wird die Position festgestellt, und in Abhängigkeit von der Entfernung vom Mittelpunkt der Maschine werden die Magnetventile geschaltet. Die Fahrgeschwindigkeit der Maschine war konstant, variiert wurde der Durchfluss und somit die Beregnungshöhe.

3 Ergebnisse

3.1 Bodenwasserunterschiede

Die Ergebnisse der elektrischen Leitfähigkeit liegen in (mS) Millisiemens-Werten vor, die in drei Klassen dargestellt werden. In **Bild 3** sind die Unterschiede in der Leitfähigkeit dargestellt, die Ergebnisse der FK, WP und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) für die Monitoringpunkte in **Tabelle 1**. Es zeigt sich, dass die gemessenen Differenzen der Leitfähigkeit sich auch in den Messergebnissen der nFK widerspiegeln. Ein kausaler Zusammenhang kann noch nicht aufgezeigt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der FK, WP, nFK und Rohdichte für drei Felder

EC- Zonen (mS/m)	WP	FK	NFK	ρ_b
	Mm			g/cm ³
<u>Feld 1</u>				
10-14	31,5	135,1	103,6	1,60
14-18	30,3	136,4	106,1	
18-23	29,6	137,3	107,6	
<u>Feld 2</u>				
10-16	32,9	149,3	116,4	1,53
16-22	35,8	156,3	120,5	
<u>Feld 3</u>				
10-13	23,4	97,6	74,2	1,50
13-16	25,2	104,3	79,1	

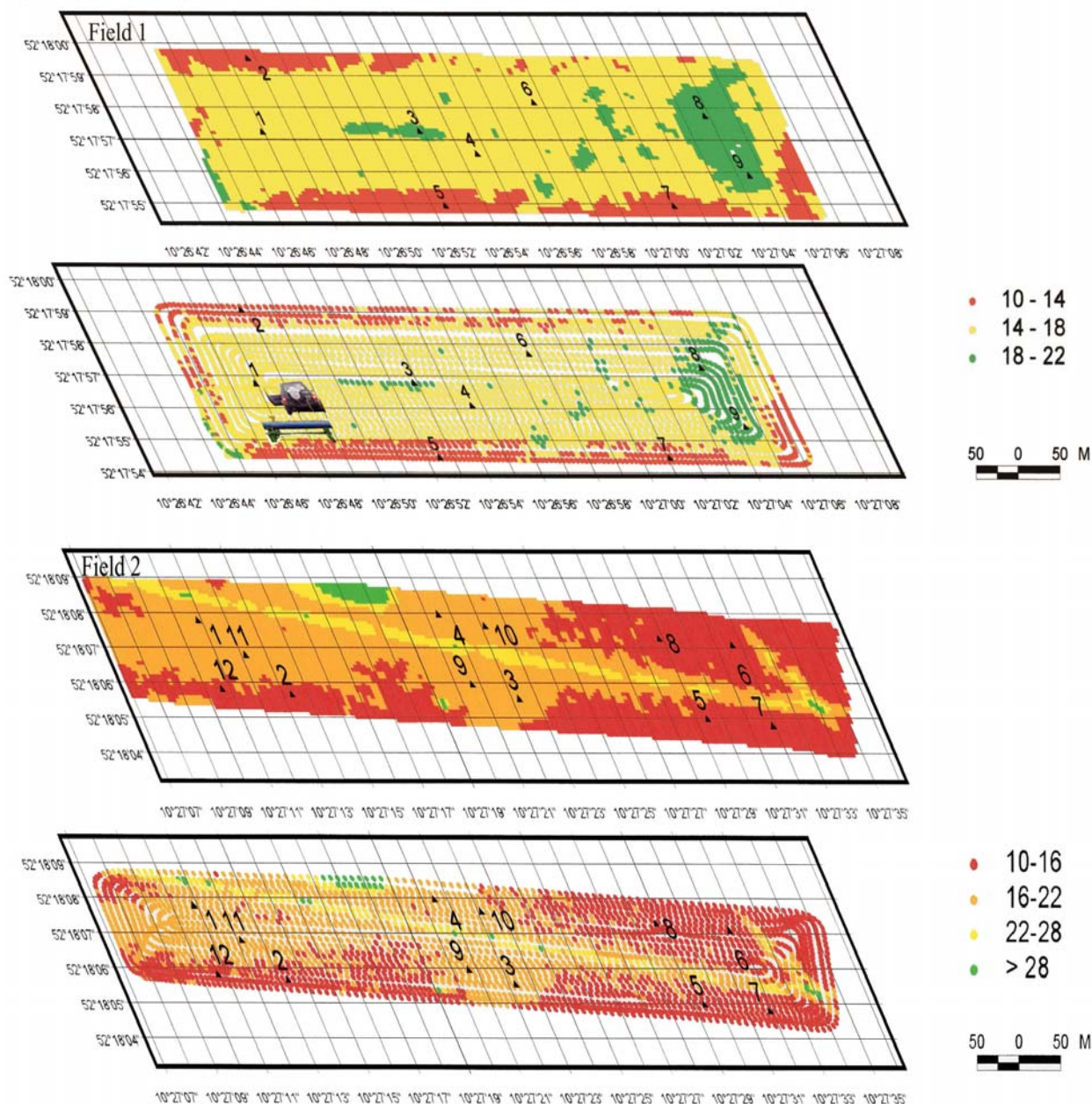


Bild 3: Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit

3.2 Beregnungshöhenanpassung durch Durchflussveränderung bei Kreisberegnungsmaschinen

Grundlage für die differenzierte Beregnung mit einer Kreisberegnungsmaschine ist wieder die Applikationskarte. Auf der Fläche eines ausgewählten Kreissektors wurde die theoretisch berechnete und im PLC programmierte Beregnungshöhe überprüft. In **Bild 4** ist die berechnete und gemessene Beregnungshöhe entlang der Rohrleitung einer Kreisberegnungsmaschine gemessen. Diese ersten Versuche zeigen eine gute Übereinstimmung der Soll-Ist-Werte. Der flache Anstieg bzw. Abfall der Wasserverteilung ist auf die Wurfweite der Düsen mit ca. 8 m zurückzuführen. Dieser Verlauf ist positiv zu bewerten, da

die Bodenunterschiede auch keine Treppenfunktion aufweisen. Die Arbeiten werden fortgesetzt.

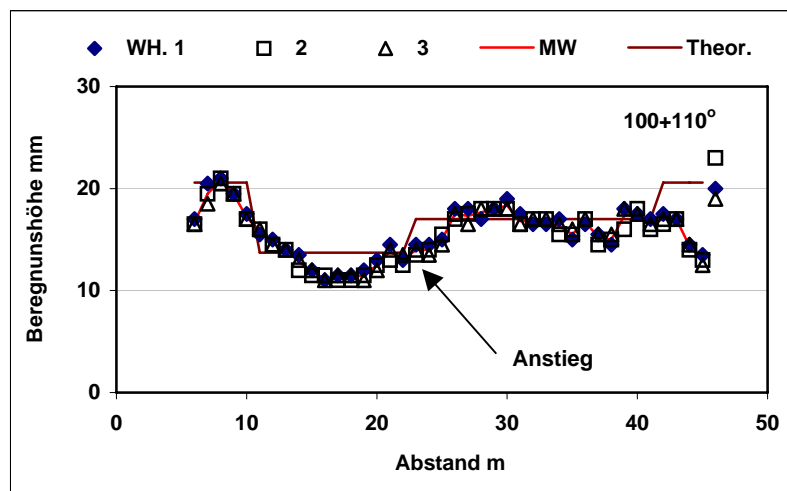


Bild 4: Differenzierte Beregnungshöhe an einer Kreisberegnungsmaschine (Messung am Ausschnitt einer Maschine)

4 Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen den Start zu einer teilflächenspezifischen Beregnung. Für eine umfassende Beurteilung sind noch weitere Arbeitsschritte erforderlich, wie z.B.

- Weiterentwicklung der Ermittlung von Bodendaten im Online-Verfahren,
- Sichere Abgrenzung der Applikationskarte,
- Entwicklung eines Boden-Pflanzen-Sensor-Modells,
- Herstellung einer Verbindung zu anderen teilflächenspezifischen Disziplinen,
- technische elektronische Anwendung des Bus-Systems,
- Entwicklung von Konzepten zur teilflächenspezifischen Flüssigdüngung sowie
- Untersuchung der Auswirkung differenzierter Bewässerung auf Ertrag und Qualität der Pflanzen

5 **Literaturliste** kann bei dem Autor angefragt werden.

Sensorgestützte Applikation von Fungiziden in der Praxis

Sensor-based application of fungicides in practice

Judith Wollny¹, Karl-Heinz Dammer¹, Roland Rosenau², Jürgen Nieter³

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: jwollny@atb-potsdam.de

² Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Silberbergweg 5, 39128 Magdeburg

³ Dawa Agrar GmbH & Co. KG, Am Plan 3, 39326 Dahlenwarleben

Zusammenfassung: Auf landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen entwickeln sich oft Pflanzenbestände mit variierender Pflanzenmasse, in denen sich auch der pilzliche Befall in unterschiedlicher Intensität äußern kann. Da eine Detektion von Krankheitserregern bzw. derer Symptome während der Überfahrt bisher nicht möglich ist, kann die Applikationsmenge alternativ mit Hilfe des mechanischen online-Sensors CROP-Meter an die aktuell gewachsene Pflanzenmasse angepasst werden.

Im Jahr 2006 wurde in einem Feldversuch das CROP-Meter in Kombination mit einer mit Zweistoffdüsenteknik ausgestatteten Feldspritze getestet. Ziel war es, die Applikationsgenauigkeit und Fungizidwirkung zu prüfen. In den unterschiedlichen Fungizidvarianten und Bestandesdichten wurde mittels wassersensitivem Papier sowie Pflanzenanalyse die Anlagerung der Spritzbrühe bestimmt. Außerdem wurden während der Vegetationsperiode die Parameter Blattflächenindex (LAI), Entwicklungsstadium sowie Krankheitsverlauf ermittelt. Dabei wurden enge Korrelationen zwischen Pendelwinkel und Applikationsmenge ($R^2 = 0,98$) sowie zwischen LAI und Pendelwinkel bzw. Applikationsmenge ($R^2 = 0,69$ bzw. $0,64$) festgestellt. Zwischen Krankheitsbefall, Fungizidbehandlung und Ertrag war kein eindeutiger Zusammenhang nachweisbar.

Deskriptoren: CROP-Meter, Fungizide, Blattflächenindex, Wirkstoffanlagerung

Abstract: *In arable fields crops with varying plant biomass fungal disease infestation can be also different. Because the detection of plant pathogens or their symptoms is not possible while traversing so far, the application rate can be adapted to the current plant biomass by the mechanical online-sensor CROP-Meter alternatively. In a field trial in the year 2006 the CROP-Meter in combination with a field sprayer equipped with twin fluid nozzles was tested. The aim was to test the accuracy of application and the effect of fungicide spraying. In the differing fungicide treatments and plant densities the attachment of spraying amount to the crop was assessed by using water sensitive paper and plant analysis. In addition, the parameters leaf area index (LAI), growth stage and disease severity were obtained in the vegetation period. Close correlations between pendulum angle and spraying amount ($R^2 = 0.98$) and between LAI and pendulum angle or spraying amount ($R^2 = 0.69$ or 0.64) were determined. A relationship between disease severity, fungicide treatment and yield could not be obtained.*

Keywords: CROP-Meter, fungicides, leaf area index, active substance attachment

1 Einleitung

Pflanzenbestände können eine räumlich und zeitlich differenzierte Entwicklung zeigen. Innerhalb eines Ackerschlares kann demzufolge die Pflanzenmasse bzw. -oberfläche stark variieren und das Auftreten von Pflanzenkrankheiten beeinflussen. Für Mehltau (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici*) beispielsweise ergeben sich in dichten Pflanzenbeständen bessere mikroklimatische Infektionsbedingungen als in dünnen Pflanzenbeständen (ROZALSKI *et al.* 1998, SENTELHAS *et al.* 1993). LOVELL *et al.* (1997) wies für Bereiche höherer Pflanzendichte, verursacht durch eine bessere Stickstoffversorgung, höhere Befallsstärken durch Septoria-Blattdürre (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) nach. Derzeitig wird bei beginnendem Krankheitsauftreten meist der gesamte Ackerschlag mit einer einheitlichen Applikationsmenge gespritzt. Dabei werden zum Schutz der oberen drei Blätter und der Ähre vorrangig Breitbandpräparate eingesetzt, die eine Wirksamkeit auf mehrere pilzliche Pathogenarten zeigen. Ein an das Krankheitsgeschehen und die Pflanzenentwicklung angepasster Fungizideinsatz trägt dazu bei, den Einsatz der Produktionsfaktoren auf der Ackerfläche durch Umverteilung zu optimieren (PAVELEY *et al.* 1996) und bei gleichzeitiger Reduktion des Pestizideintrages die Umwelt zu entlasten.

Bislang sind keine für den Praxiseinsatz brauchbaren Sensoren zur automatischen Krankheitserkennung verfügbar. Für genaue Aussagen zur Krankheitsverteilung innerhalb eines Feldes sind noch immer zeit- und kostenintensive Bonituren notwendig. In der Praxis sind flächen- deckende Feldbegehungen aus arbeitstechnischen Gründen jedoch nicht durchführbar. Eine bedarfsgerechtere Fungizidapplikation kann durch die Nutzung von Biomassesensoren wie dem CROP-Meter erfolgen. Ziel ist eine annähernd gleichmäßige Benetzung der Pflanzen mit der Spritzflüssigkeit. In Praxisversuchen konnten in Getreide durchschnittlich Mitteleinsparungen von 22% erzielt werden (DAMMER & EHLERT 2006). In einem fünfjährigen Feldversuch mit mehrjährigem Weizenanbau führte die sensorgestützte Fungizidapplikation weder zu Ertragsverlusten noch zu höheren Befallsstärken durch pilzliche Pathogene (DAMMER 2005).

Um die Applikationsmenge den sensortechnisch erfassten Bestandesunterschieden anpassen zu können, ist die Wahl der entsprechenden Pflanzenschutztechnik zu beachten. Für Precision-Farming-Anwendungen muss die Feldspritze in einem relativ breiten Mengenbereich reagieren können, ohne dabei eine Qualitätsbeeinträchtigung zu verursachen. In einem mehrjährigen Versuch im Betrieb Dawa Agrar GmbH & Co. KG wurden dazu Pflanzenschutzgeräte mit Zweistoffdüsenteknik (Twin Fluid, John Deere) und aktiver Luftunterstützung (Dual-Air-System, Dammann) der herkömmlichen ID-Düsen-Bestückung gegenübergestellt. Beide Systeme (Twin Fluid und Dual-Air-System) sind in der Lage auch bei reduzierten Wassermengen einen Pilzbefall ausreichend zu regulieren (ROSENAU & NIETER 2004). Nach Beendigung der Versuche entschied sich der Landwirtschaftsbetrieb für die Anschaffung einer mit Zweistoffdüsenteknik (Twin Fluid 35) ausgestatteten Feldspritze. Ziel der nachfolgend dargestellten Arbeiten war es, die Zweistoffdüsenteknik in Kombination mit dem CROP-Meter hinsichtlich der Benetzung, Krankheitsbekämpfung und Ertragswirksamkeit zu untersuchen.

2 Material und Methoden

Lage der Versuchsfläche und Versuchsaufbau

Auf einer Praxisfläche („Eulenhoch“) der Dawa Agrar GmbH & Co. KG wurde in der Winterweizensorte „Altos“ ein Feldversuch zur sensorgestützten Fungizidapplikation angelegt. Der Standort mit einer Ackerzahl von durchschnittlich 89 befindet sich nordwestlich der Stadt Magdeburg im Randgebiet der Magdeburger Börde. Im Regenschatten des Harzes gelegen, treten Jahresniederschlagsmengen von unter 500 mm und Neigung zur Frühsommertrockenheit auf. Basis für die Platzierung des Streifenversuches im Schlag war eine Biomassekarte (AgroMap Basic®, Agrocom GmbH & Co. Agrarsystem KG), welche anhand von CROP-Meter-Aufzeichnungen während der 2. Stickstoffgabe erstellt wurde. Mittels GPS-Handgerät konnten die ausgewählten Fahrspuren auf dem Feld angelaufen werden. Die Anordnung der 2 Prüffaktoren (Applikationsart mit 4 Stufen, Bestandesdichte mit 3 Stufen) mit den Wiederholungen ist in **Bild 1** dargestellt. Jedes Prüfglied wurde entlang der Fahrspur mit einer Länge von 50 m eingemessen und mit einem Boniturbereich nahe der Fahrspuren markiert.

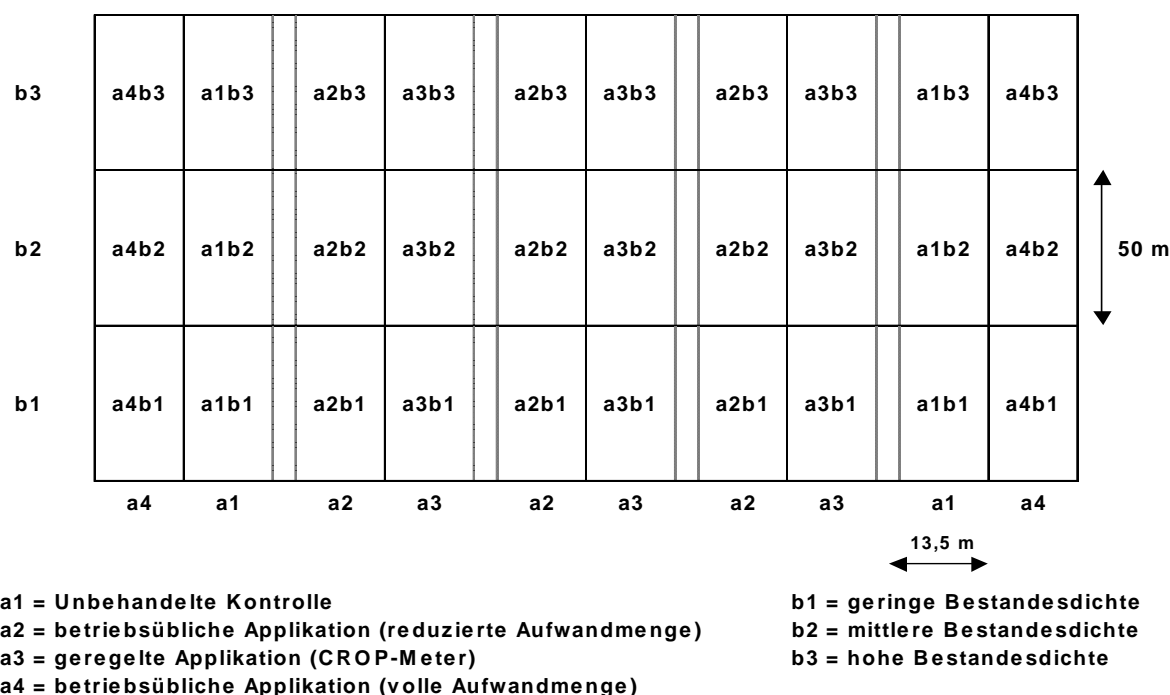


Bild 1: Versuchsanlage „Eulenhoch“, 2006

Versuchsdurchführung

In etwa wöchentlichem Abstand erfolgten ab dem 10.05.06 Krankheitsbonituren der oberen 3 Blätter ($n = 30$ Pflanzen) sowie eine Erfassung des Entwicklungsstadiums. Aus 10 Einzelmessungen mit dem optischen Handmessgerät Sun Scan® (Delta-T Devices Ltd, Cambridge) wurde ein mittlerer Blattflächenindex (LAI) an jedem Boniturbereich

bestimmt. Die dimensionslose Größe LAI gibt die m² Pflanzenoberfläche je m² Bodenoberfläche an.

Aufgrund der Befallssituation wurde nur eine Fungizidapplikation am 02.06.06 durchgeführt (Opus Top, 0,55 l/ha und Juwel Top, 0,4 l/ha in 115 l Wasser/ha). In der **Tabelle 1** sind die entsprechenden durchschnittlichen Wasser- und Fungizidmengen je Prüffaktor zusammengefasst. Für den Prüffaktor a3 sind diese Mengen getrennt nach den Bestandesdichtestufen (b1-b2-b3) angegeben. Die Ausbringung wurde mit einer Anhängespritze des Typs 840 TF (John Deere, ausgestattet mit Düsen Twin Fluid 35) realisiert. Seit dem Jahr 2003 sind diese Feldspritzen im „Verzeichnis der verlustmindernden Geräte“ der Biologischen Bundesanstalt eingetragen. Das Tropfenspektrum und der Benetzungsgrad wurden durch Aufstellen von Ständern mit wassersensitivem Papier in Höhe des Pflanzenbestandes überprüft. Um den Gehalt der Fungizidwirkstoffe Kresoxim-methyl, Epoxiconazol und Fenpropimorph in der Pflanze zu bestimmen (Laboranalyse LUFA Nord-West, Hameln), erfolgte 4 Tage nach der Applikation in den Prüfgliedern a3b1 und a3b3 (Bestandesdichten „gering“ und „hoch“, CROP-Meter Applikation) die Entnahme von 3 kg oberirdischer Pflanzenmasse.

Tabelle 1: Durchschnittliche Aufwandmengen innerhalb des Prüffaktors a

Versuchsglied	Wassermenge (l/ha)	Opus Top (l/ha)	Juwel Top (l/ha)
a1 (Unbehandelte Kontrolle)	0	0	0
a2 (Betriebsüblich reduziert)	115	0.55	0.4
a3 (CROP-Meter)	80 ¹ - 115 ² - 150 ³	0.4 ¹ - 0.55 ² - 0.7 ³	0.3 ¹ - 0.4 ² - 0.5 ³
a4 (Betriebsüblich)	100	0.7	0.5

¹ = b1 Bestandesdichte "gering", ² = b2 Bestandesdichte "mittel", ³ = b3 Bestandesdichte "hoch"

Die Ernte der Prüfglieder erfolgte im Kerndrusch entlang der Fahrspuren. Für jedes Prüfglied wurde ein Ertragswert als Summe der während des Mähdrusches registrierten Kornmasse über die Parzellenlänge von 50 m gebildet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Applikationsmenge steigt linear entsprechend des Pendelwinkels an (**Bild 2, links**), was die Applikationsgenauigkeit belegt. Für einen unter Praxisbedingungen durchgeführten Versuch konnten enge Korrelationen zwischen dem gemessenen LAI und den Pendelwinkeln des CROP-Meters ($R^2 = 0,69$; **Bild 2, Mitte**) bzw. der Applikationsmenge ($R^2 = 0,64$; **Bild 2, rechts**) nachgewiesen werden. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass durch das CROP-Meter einerseits die Verteilung des LAI mit ausreichender Genau-

igkeit abgebildet und andererseits die Applikationsmenge entsprechend angepasst wird. Ebenfalls erkennbar ist die hohe Variabilität des LAI zwischen 3 und 8.

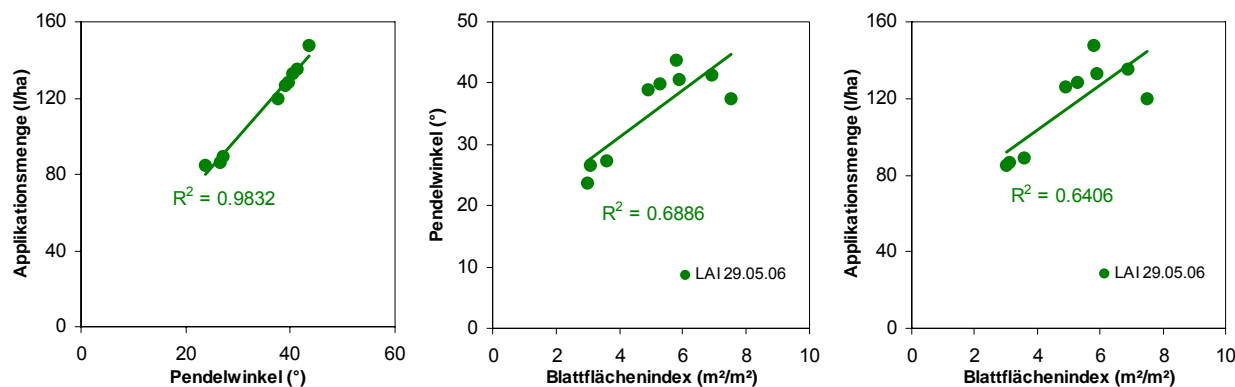


Bild 2: Korrelation zwischen den Parametern Blattflächenindex (29.05.06), Pendelwinkel (02.06.06) und Applikationsmenge (02.06.06) im Prüfglied a3

Wie in **Tabelle 2** dargestellt, wurde bei etwa doppeltem LAI eine annähernde Verdoppelung der Applikationsmenge sowie der benetzten Fläche des Probepapiers unter Einsatz des CROP-Meter-Twin-Fluid-Systems erreicht. Bei dem hohen LAI-Wert sind 6,7 m² zu benetzen im Vergleich zu 3,2 m² (auf der gleichen Grundfläche Boden von 1 m²), also das 2fache. In geringeren Bestandesdichten dringt die Spritzflüssigkeit weiter zu unteren Blattetagen durch als in dichten Pflanzenbeständen, wo obere Blattetagen die unteren „abschirmen“. Aufgrund der Positionierung des Papiers auf einheitlicher Höhe in beiden Bestandesdichten können Aussagen zu dieser vertikalen Benetzung nicht getroffen werden. Ein signifikanter Ertragszuwachs in der höheren Bestandesdichte wurde nicht nachgewiesen. Ursache ist die extreme Trockenheit des Jahres 2007. Bereiche mit hoher Pflanzendichte kamen aufgrund der höheren Evapotranspiration schneller unter Trockenstress als Bereiche geringerer Bestandesdichte. Die Ergebnisse der Wirkstoffanalyse zeigen in Prüfgliedern hoher Bestandesdichte höhere Wirkstoffgehalte, allerdings mit größeren Schwankungen der einzelnen Wirkstoffe. Das Wirkstoffverhältnis geringer zu hoher Bestandesdichte ist etwas enger im Vergleich zu dem LAI-Verhältnis 1:2 (Epox. 1:1,6, Fenpro. 1:1,1, Kresox. 1:1,5). Dies weist darauf hin, dass zwar die Benetzung auf gleicher Höhenebene in geringeren Bestandesdichten durch die Zweistoffdüsenteknik schlechter war, aber wahrscheinlich untere Blattetagen besser benetzt waren und so die Wirkstoffaufnahme noch ausreichend gewährleistet werden konnte. Da eine Pflanzenmassebestimmung in den Prüfgliedern nicht erfolgte sind Aussagen über zu erwartende Wirkstoffmengenverhältnisse in den Pflanzen niedriger und hoher Bestandesdichte nicht möglich. In diesem Zusammenhang sind auch unterschiedliche Einflussfaktoren auf Analyseergebnisse wie Probenahme und -menge, sowie Stoffwechselforgänge der Pflanzen zu beachten.

Tabelle 2: Ergebnisse der Fungizidapplikation sowie der Wirkstoffanalyse in den Parzellen der Bestandesdichten „gering“ und „hoch“ des Versuchsgliedes a3 (Applikation mit CROP-Meter, Mittelwert aller Wiederholungen)

Bestandesdichte	LAI-Wert (m ² /m ²)	Applikations- menge (l/ha)	Benetzung (%)	Wirkstoffmenge (mg/kg Pfl.masse)			Ertrag (dt/ha)
				Epox. ¹	Fenpro. ²	Kresox. ³	
gering	3.2 ^a	ca. 80	29	1.44	0.39	0.57	65.6 ^a
hoch	6.7 ^b	ca. 150	65	2.26	0.43	0.89	69.3 ^a

¹ Epoxiconazol, ² Fenpropimorph, ³ Kresoxim-methyl
a b = signifikanter Unterschied; a a = n.s. (t-Test, $\alpha = 0.05\%$)

Aufgrund der Witterungsbedingungen war der Krankheitsdruck durch pilzliche Erreger als gering einzuschätzen. Insbesondere die Monate Juni und Juli waren durch eine längere Trockenperiode verbunden mit hohen Tagestemperaturen charakterisiert. Allein die Septoria-Blattdürre trat in nennenswerten Befallsstärken auf. Während die „Unbehandelte Kontrolle“ Befallsstärken von maximal 13% (F-2) aufwies, blieben die Befallsstärken in allen mit Fungizid behandelten Varianten unter 7%. Obwohl die Fungizidbehandlung zu einer Verringerung des Krankheitsbefalls führte, konnte im Vergleich zur „Unbehandelten Kontrolle“ keine Ertragswirksamkeit nachgewiesen werden (**Bild 3**). Alle Versuchsglieder zeigten ein etwa gleiches Ertragsniveau.

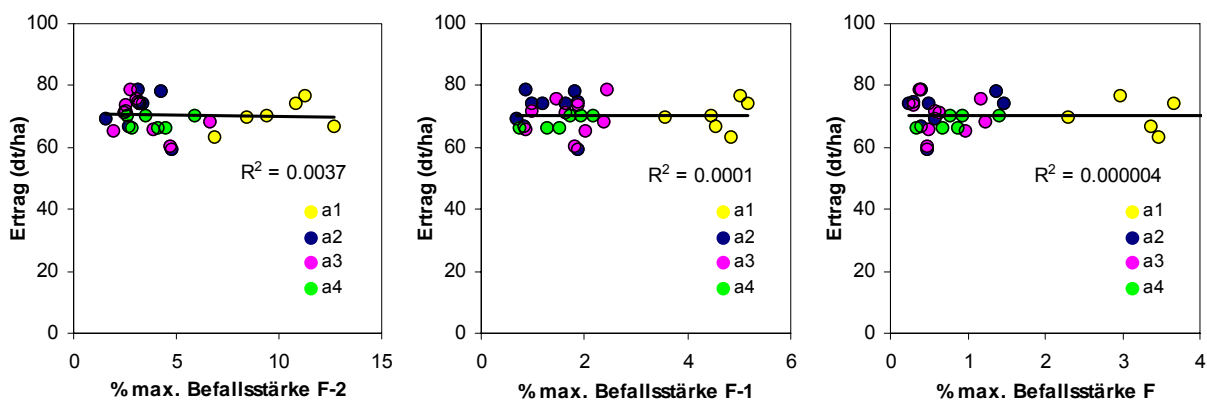


Bild 3: Zusammenhang zwischen maximaler Befallsstärke (*Septoria*-Blattdürre) der oberen 3 Blattetagen und dem Ertrag, geordnet nach Prüffaktor a

Zwischen den Prüfgliedern der betriebsüblichen und CROP-Meter Applikation wurden weder Befalls- noch Ertragsunterschiede eindeutig sichtbar. Der CROP-Meter Einsatz führte im Versuch zu Mitteleinsparungen, ohne Ertragsverluste und einen höheren Krankheitsbefall zu verursachen. Verallgemeinerungen der einjährigen Ergebnisse zu den Benetzungs- und Wirkstoffanalysen erfordern weitere Versuchsanstellungen.

4 Ausblick

Zur wiederholten Prüfung der hier beschriebenen Sensor-Spritzen-Kombination im Praxiseinsatz wird der im Jahr 2006 begonnene Versuch im Jahr 2007 fortgeführt. Parallel ist bereits im Herbst 2006 ein Parzellenversuch mit unterschiedlichen Aussaatstärken auf dem Gelände der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau in Bernburg angelegt worden. Dort sollen mittels Parzellenspritze unterschiedliche Applikationsmengen geprüft werden. In Zusammenarbeit mit der BBA soll ein weiterer Ansatz (Blattdurchdringung) zur genaueren Prüfung der Wirkstoffanlagerung zum Einsatz kommen.

5 Literatur

- ANONYM (1999):** Sun Scan Canopy Analysis System. User Manual, Cambridge
- DAMMER K.-H. (2005):** Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter. Bornimer Agrartechnische Berichte 41, 36 S
- DAMMER K.-H., EHLERT D. (2006):** Variable rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. Precision Agriculture 7, 137-148
- LOVELL D.J., PARKER S.R., HUNTER T., ROYLE D.J., COKER R.R. (1997):** Influence of crop growth and structure on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) in winter wheat. Plant Pathology 46, 126-138
- PAVELEY N.D., CLARK W.S., SYLVESTER-BRADLEY R., BRYSON R.J., DAMPNEY P. (1996):** Responding to inter- and intra-field variation to optimise foliar disease management in wheat. Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, 1227-1234
- ROSENAU R., NIETER J. (2004):** Weniger Wasser mehr Schlagkraft. DLG-Mitteilungen 3, 56-57
- ROZALSKI K., PUDELKO J., SKRZYPCZAK G. (1998):** Disease incidence in winter wheat and spring triticale as influenced by crop protection and nitrogen. Progress in Plant Protection 38, 551-554
- SENTELHAS P.C., PEDRO M.J., FELICIO J.C. (1993):** Effects of different conditions of irrigation and crop density on microclimate and occurrence of spot blotch and powdery mildew. Bragantia 52, 45-52

Anwendung bildanalytischer Methoden zur Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaugemengen

Image analysis as a tool to evaluate the legume content in legume/grass swards

Maike Himstedt, Thomas Fricke, Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstr.19, 37213 Witzenhausen,
E-Mail: himstedt@mail.wiz.uni-kassel.de

Zusammenfassung: Ziel des Vorhabens ist es, den Leguminosenanteil in Futterbaugemengen mit bildanalytischen Methoden zu bestimmen, verwendet wird die kommerzielle Software Optimas[®] der Firma Media Cybernetics[®]. Als Versuchsbestände dienten Reinsaaten und binäre Gemenge von Rotklee, Weißklee, Luzerne und Deutschem Weidelgras in einem 9-wöchigen Gefäßversuch. Anhand von acht Kalibrationsbeständen wurde eine Erode/Dilate-Prozedur zur bildanalytischen Bestimmung des Leguminosen-Deckungsgrades ermittelt und eingesetzt. Es besteht eine 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 deutlichen Zusammenhang ($R^2=0,7$) zu den bildanalytisch klassifizierten Deckungsgraden. Der Einsatz der Bildanalyse zur Ermittlung der Bestandeszusammensetzung zeigt erste viel versprechende Ergebnisse. Weitere Möglichkeiten der Mustererkennung werden geprüft.

Deskriptoren: Digitale Bildanalyse, Grünland, Futterbaugemenge, Leguminosenanteil, Leguminosen/Gras Gemenge

Abstract: *To estimate the dominance structure of legumes in legume/grass-mixtures by image analysis a pot experiment was conducted. Pure swards and binary legume-grass mixtures of red clover, white clover, lucerne and perennial ryegrass were sown in two week intervals and harvested at the same date to compare swards in different growing stages. Digital photos of all variants were taken one day before harvesting. Sward composition was detected by fractionating biomass in grass, legumes and unsown species as reference. A subset of eight images with varying legume content taken of the longest grown swards were selected to develop an optimized image analysis procedure with Optimas[®]. The resulting image analysis procedure was used for all treatments of all sward ages. The estimated dominances of legumes were compared to the references. First good results were detected using image analysis for estimating the dominance of legumes. A significant coherence between the detected legume proportion and the dry matter yield exists ($R^2=0.7$). Undesired legume identifications in pure grass swards can be caused by weeds with rounded leaves (*Stellaria media*) and visible ground. The next steps will be to verify a relationship in swards of different ages and to check further procedures of image analysis, in particular pattern recognition methods.*

Keywords: *Digital image analysis, grassland, arable food crops, legume content, legume/grass swards*

1 Einleitung

Die im Feldfutterbau angebauten Leguminosen/Gras-Gemenge bieten nicht nur ein bekömmliches Grundfutter, sie dienen auch der Bodenverbesserung. Neben der intensiven Bodendurchwurzelung der Gräser liegt eine wichtige Funktion in der N-Fixierungsleistung der Leguminosen, da der im Boden bereitgestellte Stickstoff auch den Folgefrüchten zugute kommt.

Futterbaubestände weisen in ihrer Zusammensetzung aber oft eine große Heterogenität auf. Der Ertragsanteil der Leguminosen hat hier einen entscheidenden Einfluss auf wichtige Leistungsparameter, wie z.B. N-Fixierungsleistung und Ertrag. 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. Die Methoden sollen längerfristig in Konzepte für teilflächenspezifische Bearbeitung einfließen, da unter Berücksichtigung der Bestandesunterschiede einzelne Bearbeitungsverfahren und auch die N-Versorgung der Nachfrucht genauer abgestimmt werden können.

Bildanalyse und Mustererkennung wurde bisher schon erfolgreich für die Erkennung von Beikräutern in Getreide eingesetzt, um eine flächengenaue Anwendung von Herbiziden zu ermöglichen (DICKE *et al.* 2004, GERHARDS *et al.* 2000). Auch eine Unterscheidung der einzelnen Beikrautarten gelang durch Berechnung von Form-Parameter (PETRY & KÜHBAUCH 1989). Im Grünland wurde diese Art der Informationsgewinnung bisher noch nicht umfassend angewendet. Offener Boden in Rasenflächen wurden von LOCK *et al.* (2004) mit Hilfe von HSL-colour-classifier unterschieden. Das Problemunkraut Ampfer (*Rumex obtusifolius*) wurden im Grünland von GEBHARD *et al.* (2006) bildanalytisch durch ein dafür entwickeltes Programm erkannt, zur flächengenaue Bekämpfung mit Herbiziden. BONESMO *et al.* (2004) entwickelten ein auf Bildanalyse basierendes Programm, um den Weißklee-Deckungsgrad in Klee gras-Beständen zu ermitteln. Auf andere Leguminosen wurde in dieser Untersuchung nicht eingegangen. Als Ziel der Untersuchung wurde eine Vereinfachung der effektiven und genauen Untersuchung von Klee gras-Beständen für Forschungszwecke beschrieben, eine Einbindung dieser Technik in Precision Farming Modelle wurde nicht diskutiert.

Die oben beschriebenen Zusammenhänge sind nun Ansporn Bildanalyse auch für die Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaubestände einzusetzen.

2 Material und Methoden

In einem 9-wöchigen Gefäßversuch wurden unterschiedliche Leguminosen/Gras-Gemenge unter kontrollierten Licht-, Temperatur- und Feuchtebedingungen untersucht. Angesät wurden Reinsaat und binäre Gemenge von Rotklee, Weißklee, Luzerne und Deutschem Weidegras in jeweils vier Wiederholungen. Um Bestände verschiedener Al-

tersstufen vergleichen zu können wurden die Leguminosen/Gras-Mischungen jeweils in Kalenderwoche 46, 48 und 50 ausgesät. Zum gemeinsamen Erntezeitpunkt (63, 49 oder 35 Tage nach Aussaat) standen so Bestände verschiedener Altersklassen zur Verfügung. Für die Bestimmung der Bestandeszusammensetzung wurde die geerntete 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 (Canon Powershot G6) 80 cm über dem Bestand 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, 2005) anhand von vier konkreten Eckpunkten.

Die Bildanalyse erfasst den Deckungsgrad der Leguminosen in Prozent der Gesamtfläche des digitalen Bildes (Bildanalyse P_a). Um eine Referenz zu erhalten, wurden mit dem GIS-Programm TopoL[®] (Version 6.5) bei acht ausgewählten Variantenbildern die Leguminosen visuell klassifiziert und durch Umranden der Leguminosen-Flächen vektorisiert. Als Kalibrationsbestände ausgewählt wurden eine Gras(G)-, Rotklee(R)-, Weißklee(W)- und Luzerne(L)-Reinsaat, zwei Rotklee/Gras-Gemenge mit 8kg/ha (R8G) bzw. 2kg/ha (R2G) Aussaatstärke von Rotklee, ein Weißklee/Gras(WG)-Gemenge und ein Luzerne/Gras(LG)-Gemenge der ältesten Bestände (Alter der Bestände 63 Tage). 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 bildanalytisch ermittelten Flächen-Anteil der Leguminosen (Bildanalyse P_a). Die Ermittlung des Leguminosen-Deckungsgrades P_a wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Einlesen der digitalen Bilder in Optimas[®] im tiff-Format, 766x744 Pixel.
2. Konvertierung der digitalen Farbbilder in 8 bit Graustufenbilder.
3. Segmentieren des Bildinhaltes in Vorder- und Hintergrund durch einen 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 schon die Kombination der Prozeduren Erode und Dilate zu Ergebnissen führen. Durch die Erodierung 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.

- 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.

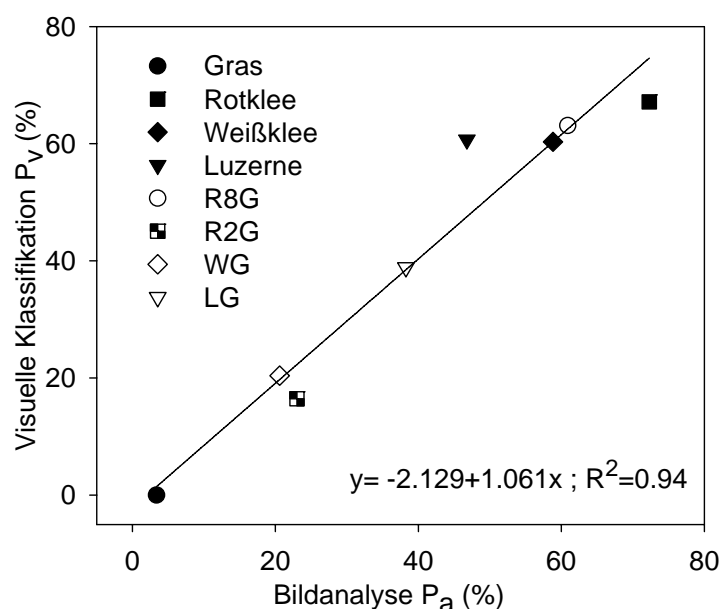


Bild 1: Beziehung zwischen den durch Bildanalyse errechneten Deckungsgraden P_a und den visuell klassifizierten Deckungsgraden P_v der acht Kalibrationsbestände

3 Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der verschiedenen Erode/Dilate-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 ($s=6,3$). Diese Prozedur der Bildanalyse liefert anhand der acht ausgewählten Varianten Leguminosen-Deckungsgrade, die in einem sehr engen linearen Zusammenhang zu den durch visuelle Klassifizierung ermittelten Deckungsgraden stehen ($R^2=0,94$, **Bild 1**).

Es stellt sich die Frage, ob diese Güte der Beziehung auch zwischen den Deckungsgradwerten P_a und den gemessenen Leguminosen-Ertragsanteilen (%) besteht. Das Ergebnis

ist in Form einer Regressionsanalyse in **Bild 2** dargestellt, es wurden alle Varianten der ersten Aussaat (Alter der Bestände 63 Tage) in jeweils vier Wiederholungen untersucht ($n=32$). Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen P_a und den Ertragsanteilen ($R^2=0.7$).

Auffällig ist, dass Rotklee und Weißklee in Reinsaat und Mischung nah an der Regressionsgeraden liegen, Luzerne und Gras dagegen größere Abweichungen zeigen. Bei der Gras-Reinsaat wurden mit der Bildanalyse Leguminosen identifiziert, obwohl keine vorhanden waren. Ursache hierfür könnten rundblättrige Beikräuter und der teilweise sichtbare Boden sein. Der Deckungsgrad der Luzerne wurde dagegen mit der Bildanalyse im Vergleich zu den gemessenen Ertragsanteilen unterschätzt. Hier könnte die längliche Blattform der Luzerne-Blätter eine Rolle spielen, sodass sie durch zu starke Erodierung nicht vollständig erfasst wurden. Bei einem Vergleich von P_a (Deckungsgrad) 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.

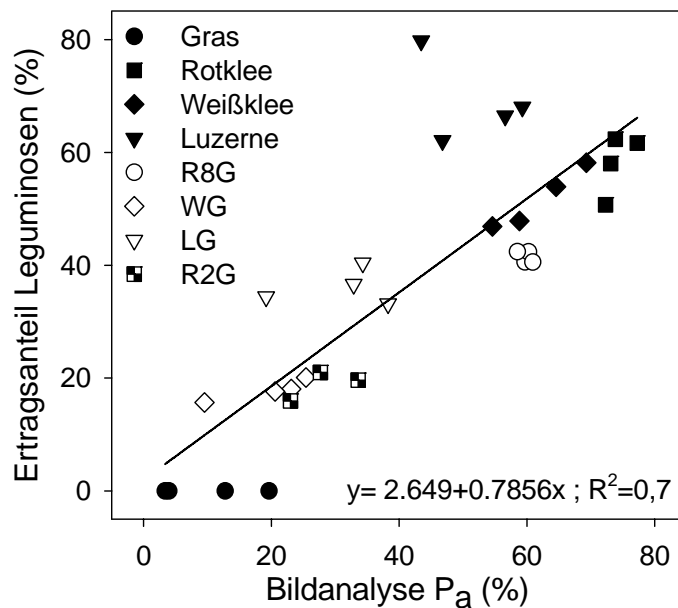


Bild 2: Beziehung zwischen Deckungsgrad Bildanalyse (P_a) und dem gemessenen Leguminosen-Ertragsanteil (63 Tage alte Bestände)

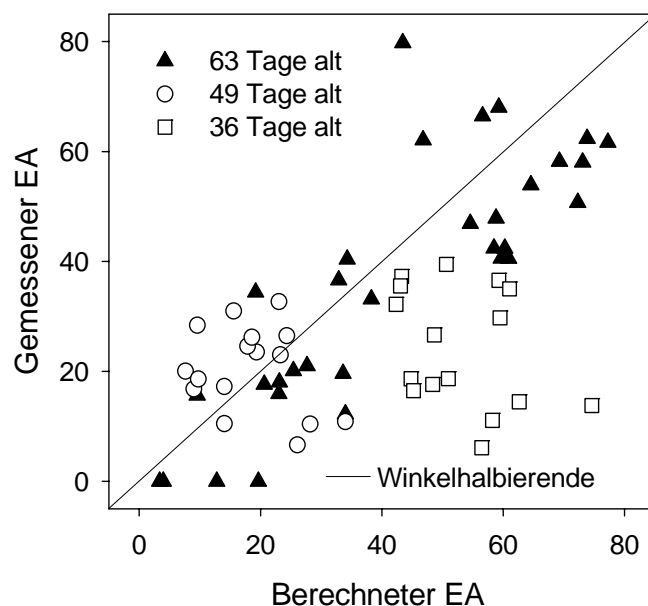


Bild 3: Vergleich des berechneten Ertragsanteils (EA) ($y=2.649+0.7856x$; s. Bild 2) mit den gemessenen Ertragsanteilen der Leg.-Fraktion von unterschiedlichen Leguminosen/Gras-Gemengen verschiedener Altersstufen ($n=64$)

Die in Bild 2 dargestellte Gleichung wurde auf die bildanalytisch ermittelten P_a aller Bestände über die drei Altersstufen angewendet und mit den gemessenen Ertragsanteilen der Leguminosen verglichen (**Bild 3**). Je jünger die Bestände, desto weniger präzise werden die Berechnungen. Der Grund hierfür könnte der größere Anteil sichtbaren Bodens sein. Bei der Ermittlung der geeigneten Prozedur mit den älteren Beständen war kein Boden sichtbar.

4 Schlussfolgerungen

Anhand von acht Kalibrationsbeständen wurde eine geeignete Erode/Dilate-Prozedur zur bildanalytischen Bestimmung des Leguminosen-Deckungsgrades ermittelt und eingesetzt. Die ermittelten Deckungsgrade zeigen einen deutlichen Zusammenhang mit den jeweils gemessenen Ertragsanteilen der Leguminosen (Regressionsanalyse $R^2=0.7$). Dieses Ergebnis ist nicht auf jüngere Bestände mit höheren Anteilen sichtbaren Bodens übertragbar. Zur Berücksichtigung der relevanten Parameter Boden und Beikräuter in der Bildanalyse ist es notwendig, weitere Verfahren der Mustererkennung und Farb-Klassifizierung in die Prozedur zu integrieren.

5 Literatur

- BONESMO H., KASPERSON K., BAKKEN A.K. (2004):** Evaluating an image analysis system for mapping white clover pastures. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 54, 76-82
- DICKE D., FRIES A., GERHARDS R. (2004):** Determination of weed thresholds for site-specific weed control in malting barley. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz - Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XIX*, 413-421
- GEBHARD S., SCHELLBERG J., LOCK R., KÜHBAUCH W. (2006):** Identification of broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) on grassland by means of digital image processing. *Precision Agriculture* 7 (3), 65-178
- GEBHARD S., SCHELLBERG J., LOCK R., KÜHBAUCH W. (2006):** Identification of broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) on grassland by means of digital image processing. *Precision Agriculture* 7 (3), 65-178
- GERHARDS R., SÖKEFELD M., TIMMERMANN C., KROHMANN P., KÜHBAUCH W. (2000):** Precision weed control-more than just saving herbicides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz – Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XVII*, 179-186
- HIMSTEDT M., FRICKE T., WACHENDORF M. (2006):** Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaugemengen mit Hilfe bildanalytischer Methoden –erste Ergebnisse eines Gefäßversuchs, *Mitt.AG Grünland und Futterbau, Ges Pflanzenbauwiss., Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 17:46-49
- HØGH-JENSEN H., LOGES R., JØRGENSEN F.V., VINTHER F.P., JENSEN E. (2004):** An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen-fixation in grass-clover mixtures. *Agricultural Systems* 82, 181-194
- LOCK R., RADEMACHER I., NONN H., KÜHBAUCH W. (2004):** Methods of digital image processing to quantify ground cover of turf grass. *Grassland Science in Europe*, 9, 790-792
- MEDIA CYBERNETICS® THE IMAGING EXPERTS (1999):** *Optimas 6.5 From Images to Answers™ User Guide and Technical Reference*, 9. Ausgabe, Silver Spring
- PETRY W., KÜHBAUCH W. (1989):** Automatic distinction of weed species using form parameters by means of digital image processing. *Journal of Agronomy and Crop Science - Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau* 163, 345-351

Online-Messung des Bodenbedeckungsgrades

Online-measurement of percent residue cover

Florian Pforte, Oliver Hensel

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Agrartechnik
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen,
E-Mail: florianpforte@uni-kassel.de

Zusammenfassung: Im Rahmen der Realisierung einer teilflächenspezifischen Regelung der Arbeitstiefe von Stoppelbearbeitungsgeräten anhand des Eingangsparameters Bodenbedeckungsgrad wird die Entwicklung eines Algorithmus für eine industrielle Bildverarbeitungssoftware vorgestellt, der sich durch eine besonders kurze Prozesslaufzeit auszeichnet und somit einen online-Einsatz während der Feldüberfahrt ermöglicht.

Deskriptoren: ortsspezifische Stoppelbearbeitung, Bildverarbeitung, online, Bodenbedeckungsgrad

Abstract: *The development of an algorithm for the site-specific control of working-depth in stubble-breaking based on the percent residue cover is presented. Due to its short process runtime it allows online-use during field-operations.*

Keywords: *site-specific stubble-breaking, image processing, online, percent residue cover*

1 Einleitung

Eine exakte Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades der auf der Feldoberfläche verbliebenen Ernterückstände (i.a. Stroh) ist für eine sachgerechte Bewirtschaftung aus mehreren Gründen wichtig: Einerseits ermöglicht sie die Dokumentation des Arbeitsergebnisses bei Bearbeitungsverfahren, welche bewusst einen bestimmten Bedeckungsgrad belassen sollen, andererseits könnte der Bedeckungsgrad als ein möglicher Eingangsparameter für verschiedene teilflächenspezifische Maßnahmen herangezogen werden. Während bisherige Messverfahren nur auf die zeitversetzte nachträgliche Bestimmung zielen (Auszählen eines Gitterrasters (z.B. VOßHENRICH *et al.* 2003), Auswahl geeigneter RGB-Farbwerte in einem Bildanalyseprogramm (THOMÉ 2004)) und zudem einen subjektiven Beobachter voraussetzen, soll im aktuellen Forschungsprojekt zur automatisierten Regelung eines Arbeitsgerätes eine schnelle Online-Messung entwickelt werden. Ein möglicher Anwendungsfall wäre die Regelung der Arbeitstiefe zur Saatbettbereitung bei Mulchsaatverfahren in Abhängigkeit vom ortsspezifischen Strohbedeckungsgrad, oder eine Variation der Aussaatmenge einer Drillmaschine. Bei Frontanbau der Kamera darf für übliche Fahrgeschwindigkeiten und Geräteabmessungen die Bestimmung des Bedeckungsgrades aus den Bilddaten höchstens in der Größenordnung von 1000 ms liegen, um noch genügend Zeit zur Ansteuerung der Arbeitswerkzeuge zu haben. Somit steht die Entwicklung eines besonders schnellen Sensorsystems im Vordergrund. Da die Anzahl der zu erkennenden Bildobjekte (Strohpartikel) bei höheren Bedeckungsgraden enorm zunimmt, kann eine aufwendige Förmigkeitsanalyse im Hinblick auf die Prozesslaufzeit nicht durchgeführt werden. Hier muss auf die zeitlich besonders schnell zu realisierende Auswertung von Farbunterschieden zurückgegriffen werden. Vor allem wenn das Stroh eine gewisse Zeit der Witterung ausgesetzt war, oder wenn ein Teil der Strohpartikel von anderen abgeschattet wird, ist jedoch eine einfache Farb-Schwellenwertsetzung nicht mehr geeignet, um Stroh und Boden mit befriedigender Genauigkeit zu unterscheiden, so dass ggf. Filter zur Erhöhung des Bildkontrastes eingesetzt werden müssen. Es gilt somit zunächst die Aufnahmebedingungen zu optimieren, um bereits aus den Original-Bilddaten ein Maximum an Information zu gewinnen.

2 Material und Methoden

Die Aufnahme der Reflexionsspektren verschiedener Stroh- und Bodenproben ergibt eine maximale Differenz der von Stroh und Boden reflektierten Intensität im Nahinfraroten (NIR) ca. zwischen 800 und 1400 nm (**Bild 1**). Um die Kosten möglichst gering zu halten und damit einen breiten Einsatz in der praktischen Landwirtschaft zu ermöglichen, wurde auf eine typische Schwarz-Weiss-CCD-Kamera aus der Überwachungstechnik zurückgegriffen, welche sich durch eine gute Sensitivität im NIR bis etwa 1100 nm sowie einen extrem günstigen Preis auszeichnet. Die geringe Auflösung von 365.000 Pixeln erwies

sich als ausreichend und war zudem von entscheidender Bedeutung für eine Begrenzung der Prozesslaufzeit.

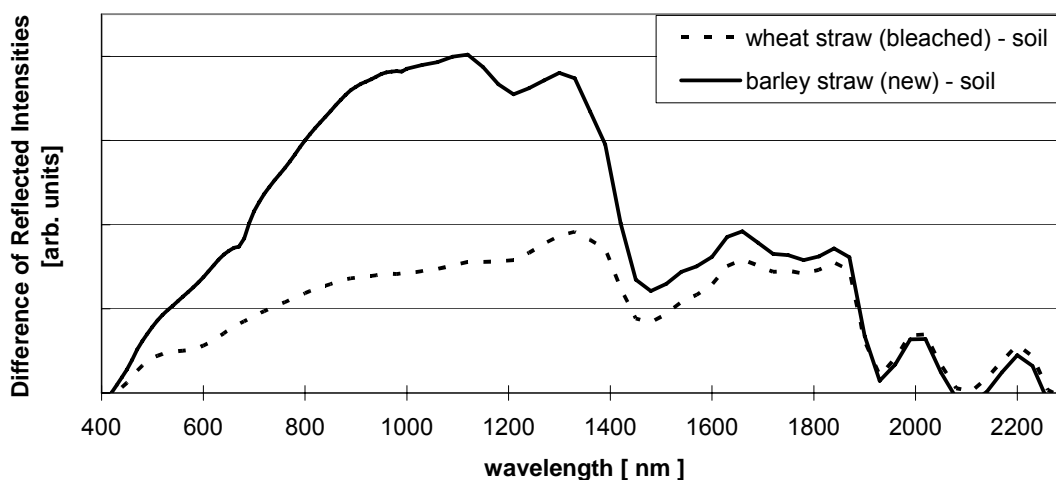
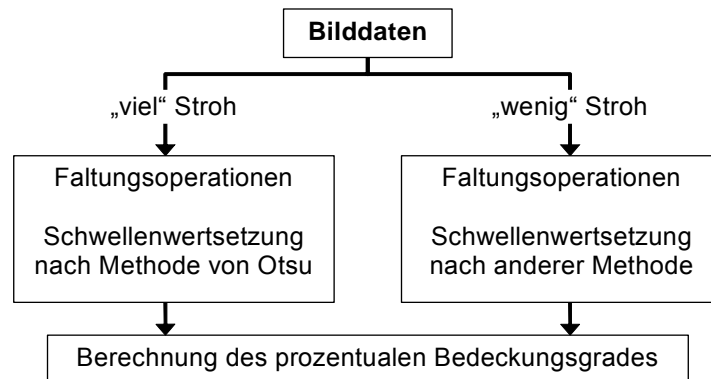


Bild 1: Reflexionsspektroskopische Messungen zeigen eine maximale Differenz zwischen Stroh- und Bodenproben im Nahinfraroten

Vor das Kameraobjektiv wurde ein Infrarot-Fotofilter mit einer Cut-On-Wellenlänge von $830 (\pm 10)$ nm geschaltet, bei welcher die Transmission bei 50% liegt. Der leichte Verlust an Bildschärfe durch die Aufnahme im NIR wirkte sich zusätzlich positiv auf nachfolgende Bildverarbeitungsschritte aus, da störende Feinstrukturen des Bodens teilweise unterdrückt wurden. Als unabdingbar stellte sich ferner eine möglichst gleichmäßige Beleuchtung des auszuwertenden Bildausschnitts heraus. Zur Berechnung des Bedeckungsgrades wurde die kommerzielle Bildanalysesoftware OPTIMAS 6.5 der Firma Media Cybernetics verwendet, in welche die 8-bit-Graustufenbilder mittels eines Framegrabber-Boards eingelesen werden. Je nach Qualität der Bilddaten sind zunächst Faltungsoperationen mit verschiedenen Tiefpassfiltern nötig, um die verbliebenen hochfrequentesten Bildanteile wie kleine Erdbröckchen soweit zu reduzieren, dass die anschließende Anwendung eines Hochpassfilters nach Möglichkeit nur noch die Kanten der diskreten Strohpartikel verstärkt. Der eigentlich entscheidende Schritt ist dann die Wahl eines geeigneten Verfahrens zur automatischen Schwellenwertsetzung auf der 256-teiligen Graustufenskala – also die Entscheidung darüber, welche Bildpixel als Vordergrund (Stroh) bzw. Hintergrund (Boden) klassifiziert werden. Für höhere Bedeckungen, insbesondere wenn das Stroh stellenweise „Nester“ bildet, liefert hier die Methode der Maximierung des Quotienten aus Inter- und Intraklassen-Varianz (Methode von OTSU) die besten Ergebnisse. Mit geringer werdender Bedeckung neigt die OTSU-Methode allerdings zunehmend zu einer Fehlsegmentierung der Bilder, indem auch hellere Bodenpartien als Vordergrund klassifiziert werden. Für Bedeckungsgrade kleiner ca. 20% (gemäß Bildanalyse) sind andere Standardverfahren deutlich besser geeignet, beispielsweise die genäherte Darstellung des Graustufenhistogramms eines Bildes als Überlagerung zweier Normalverteilungen mit der Wahl desjenigen Grauwertes als Schwellenwert, welcher den Klassifikationsfehler minimiert. Die

eigentliche Stroherkennung sollte also über einen einfachen Entscheidungsbaum der Form erfolgen. Als Entscheidungskriterium ob „viel“ oder „wenig“ Stroh im Bildausschnitt



vorhanden ist bietet sich eine Analyse der Textur des Gesamtbildes an: Ist die Bodenoberfläche nicht oder nur wenig mit Stroh bedeckt, wird das Histogramm des Bildes relativ gut einer Normalverteilung um den mittleren Graustufenwert des Bodens entsprechen. Mit steigender Bedeckung tritt zunehmend eine Überlagerung durch einen zweiten, von den Strohanteilen des Bildes herrührenden Peak auf, während der „Bodenpeak“ abnimmt. Bei sehr hohen Bedeckungen wird das Histogramm schließlich ungefähr einer Normalverteilung um den mittleren Grauwert des Strohs entsprechen. **Bild 2** zeigt vier unterschiedlich stark bedeckte Ausschnitte einer Ackeroberfläche nach flacher Bearbeitung und darunter jeweils das extrahierte Binärbild mit dem ermittelten Bedeckungsgrad.

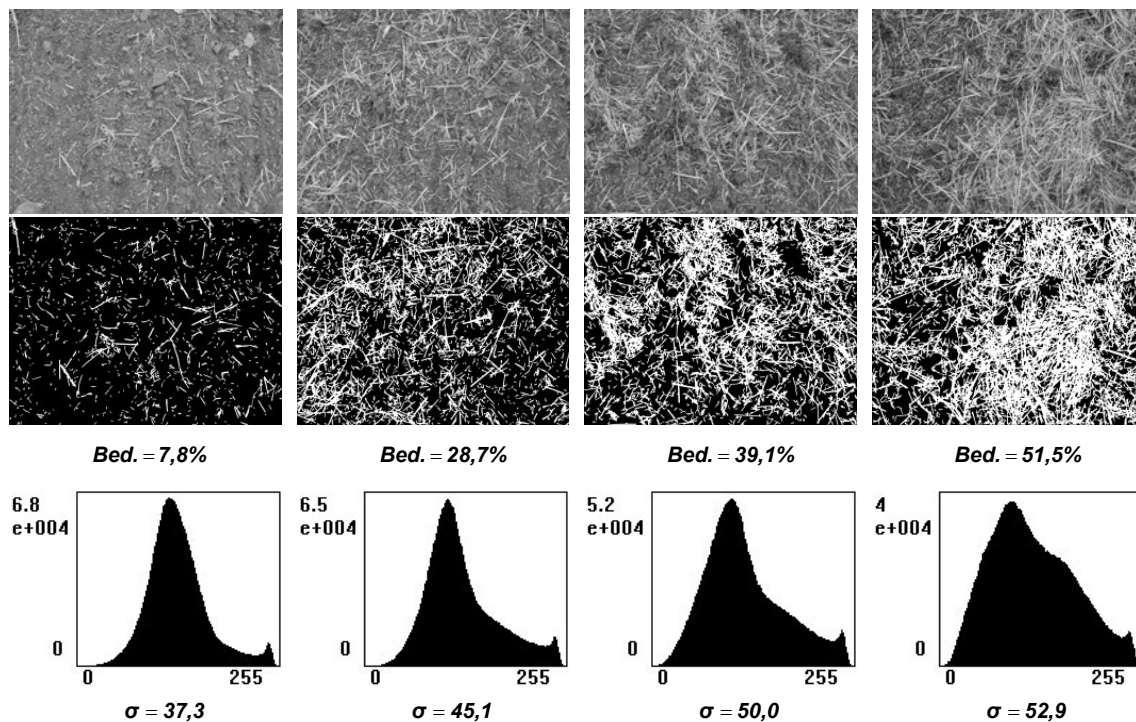


Bild 2: Originalbilder, extrahierte Binärbilder und Graustufenhistogramme von vier unterschiedlich stark mit Getreidestroh bedeckten Ausschnitten einer Ackeroberfläche

Zunächst sind die Graustufenhistogramme der Originalbilder abgebildet, die Standardabweichung σ des Kurvenverlaufs ist jeweils angegeben:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{g=0}^{255} (g - \bar{g})^2 p(g)} \quad (1)$$

mit dem mittleren Grauwert \bar{g} des Bildes und der Auftrittswahrscheinlichkeit $p(g)$ des Grauwertes g .

3 Ergebnisse und Diskussion

Man sieht deutlich, wie die Standardabweichung zunimmt, je mehr das Histogramm von einer Normalverteilungsform abweicht. In **Bild 3** sind die per Bildverarbeitung ermittelten Bodenbedeckungsgrade und die zugehörigen σ -Werte der Histogramme für Bilderserien aus verschiedenen Mulchsaatversuchen gegeneinander aufgetragen. Die Serien entstanden unter verschiedenen Aufnahmebedingungen und wurden noch nicht mit dem oben beschriebenen Infrarot-Equipment aufgenommen. Erste NIR-Labormessungen an einer Bodenwanne ergaben ähnliche Verläufe, allerdings waren diese zu höheren Bedeckungsgraden hin verschoben.

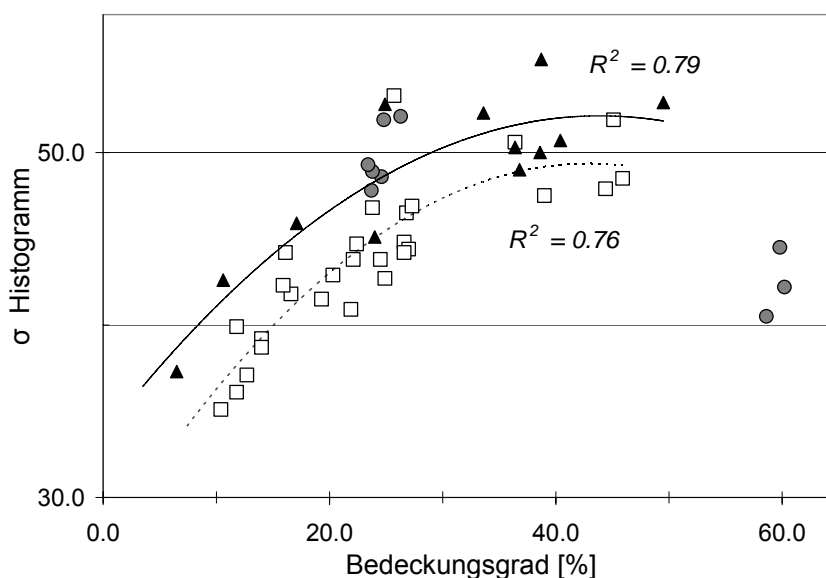


Bild 3: Standardverteilungswerte der Graustufenhistogramme in Abhängigkeit vom per Bildverarbeitung ermittelten Bodenbedeckungsgrad für Bilderserien aus drei verschiedenen Mulchsaatversuchen

Für vergleichbare Aufnahmebedingungen genügt der σ / Bedeckungsgrad-Verlauf mit hinreichender Genauigkeit einer polynomischen Funktion zweiten Grades, um für kleine Be-

deckungsgrade unterhalb ca. 20% den σ – Wert des Graubildes als Kriterium für die Auswahl eines von der OTSU-Methode abweichenden automatischen Schwellenwert-Verfahrens zu benutzen. Ein Problem könnte darin bestehen, dass die Standardabweichung für sehr hohe Bedeckungsgrade wieder abnimmt, so dass es dann eventuell zu drastischen Fehlsegmentierungen der Bilder kommen würde. Um dies zu vermeiden, könnte z.B. die Lage des mittleren Grauwertes des Bildes als weiteres Kriterium herangezogen werden. Insbesondere unter Verwendung von NIR-Aufnahmen dürfte dieses Problem für praxisrelevante Bodenbedeckungsgrade allerdings keine Rolle spielen. Ein weiteres Problem besteht in der Frage nach der Vertrauenswürdigkeit der so ermittelten Bedeckungsgrade. Vergleichende Untersuchungen mit der Gitterraster-Zählmethode ergaben fast durchweg geringere Werte für die Bildverarbeitung – eine Tendenz, die auch in der Literatur zu finden ist (HARTWIG & LAFLEN 1978, WINNIGE *et al.* 1998). Hier bietet sich beispielsweise ein Vergleich mit einer präziseren manuellen Zählmethode an, wie sie von HARTWIG und LAFLEN vorgeschlagen wird.

4 Literatur

- HARTWIG R.O., LAFLEN J.M. (1978):** A meterstick method for measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, March-April, 90-91
- VOBHENRICH H.-H., BRUNOTTE J., ORTMEIER B. (2003):** Methoden zur Bewertung der Strohverteilung und Einarbeitung, *Landtechnik* 2/92-93
- OPTIMAS 6.5 User Guide and Technical Reference Vol. 2 (1999):** Media Cybernetics, Silver Spring (USA)
- OTSU N. (1979):** A Thresholding Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-9, 62-66
- PFORTE F., HENSEL O. (2006):** Online-measurement of percent residue cover for implement control in conservation tillage, XVI CIGR World Congress, Bonn
- THOMÉ U. (2004):** „Der Deckungs-Detektor“, Fachhochschule Neubrandenburg
- WINNIGE B., CORZELIUS U., FRIELINGHAUS M. (1998):** Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Vol. 88, 569-572

Duo-Körnerlichtschranke als bildgebendes Sensorsystem zur Charakterisierung landwirtschaftlicher Gutpartikel

Double light barrier as an imaging sensor system for the characterization of agricultural particles

Frank Fender¹, Bernhard Lang¹, Johannes Marquering², Arno Ruckelshausen¹, Bernd Scheufler²

¹ Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme, Fachhochschule Osnabrück, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück,
E-Mail: a.ruckelshausen@fhos.de

² Amazonen-Werke GmbH & Co. KG, Am Amazonenwerk 9-13, 49205 Hasbergen-Gaste

Zusammenfassung: Die Entwicklung des bildgebenden Sensorsystems zur Charakterisierung landwirtschaftlicher Gutpartikel basiert auf dem vorhandenen Körnerzähler „Seed-Control“, der aus zwei senkrecht zueinander aufgebauten Lichtschranken besteht; das System wurde mit parallelem Laserlicht und CCD-Zeilensensoren realisiert. Zwei dieser Systeme wurden gekoppelt, um die Geschwindigkeit der Partikel (Saat- oder Düngerkörner) zu bestimmen und Daten für eine vollständige dreidimensionale Bilderverarbeitung zu gewinnen. Das System wurde realisiert, erste Messungen zur Charakterisierung wurden vorgenommen. Die Parameter unterstützen die optimale Einstellung der Maschinen.

Deskriptoren: Lichtschranke, CCD-Zeilensensoren, Bildverarbeitung, Sämaschine, Körnerzähler

Abstract: *The development of the imaging sensor system for grain characterization is based on the existing grain counter “Seed-Control” which consists of two light barriers arranged at 90°; the system is realized with parallel laser light and CCD lines sensors. Two of the grain counters have been used to measure the speed of the particles (such as seed or fertilizer) in order to generate data for a complete three-dimensional image processing of the resulting data. The system has been realized and first characterizations have been performed. The resulting parameters support the setup of agricultural machines.*

Keywords: *Light barrier, CCD line sensors, image processing, seed drill, grain counter*

1 Einleitung

Die Anforderungen in der Drilltechnik haben in den letzten Jahren zu Entwicklungen geführt, die den Übergang vom Wiegen zum Zählen der Körner ermöglichen. Die Praxisbedingungen beim Einsatz stellen hohe Anforderungen an das System, dies betrifft sowohl die mechanische Anordnung als auch die Elektronik und Sensorik. Von den Autoren wurde kürzlich der Körnerzähler „Seed-Control“ auf Basis optoelektronischer Messtechnik vorgestellt (MARQUERING & SCHEUFLER 2006). Die Daten optischer Lichtgitter stellen darüber hinaus Bildinformationen dar („1bit-imaging“), die sich für eine schnelle Bildverarbeitung eignen und insbesondere absolute geometrische Informationen liefern (FENDER *et al.* 2005). Somit bietet das System die technischen Voraussetzungen für eine Bildverarbeitung zur Analyse einzelner Körner. Aufgrund der Variabilität der Messobjekte bzgl. der Position, der Beleuchtung, des Datenumfangs und der Kosten ist ein solches System dem Einsatz von Kameras deutlich überlegen.

2 Körnerlichtschranke Seed-Control

Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau des Körnerzählers Seed-Control. Jede der beiden Lichtschranken besteht aus einem Laser, einer optischen Anordnung zur Erzeugung von parallelem Licht und einem CCD-Zeilensensors. Die Daten werden einer entsprechenden Analogelektronik und Mikrokontrollertechnik weiterverarbeitet und via CAN-Bus dem Bordcomputer zur Verfügung gestellt. **Bild 2** zeigt die Messanordnung. Durch die beiden Lichtschranken und die hohe geometrische Auflösung der Sensoren (768 Pixel, 63,5 µm Pixelbreite) können Körner mit Durchmessern unterhalb eines Millimeters gezählt werden.

Die Übertragung der geometrischen Struktur eines Korns in die Lichtschrankeninformation ist in **Bild 3** dargestellt, die Binärdaten der Lichtschranken liefern Informationen zur äußeren geometrischen Gestalt des Korns.

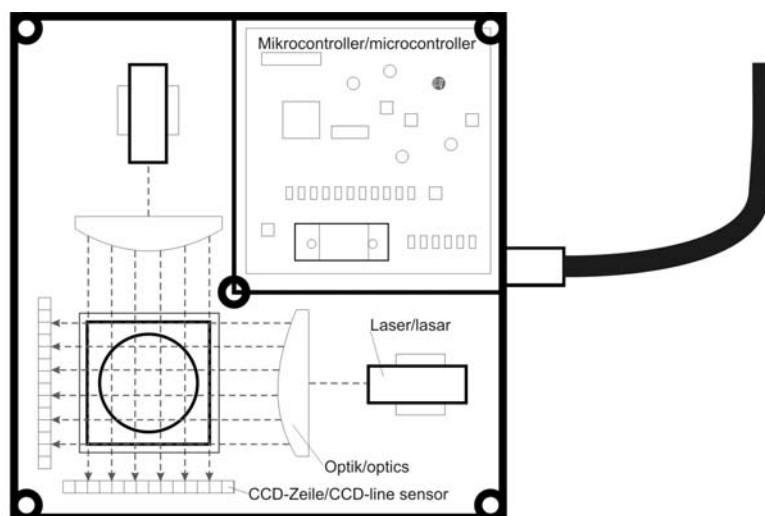


Bild 1: Schematischer Aufbau des Körnerzählers Seed-Control (MARQUERING & SCHEUFLER 2006)

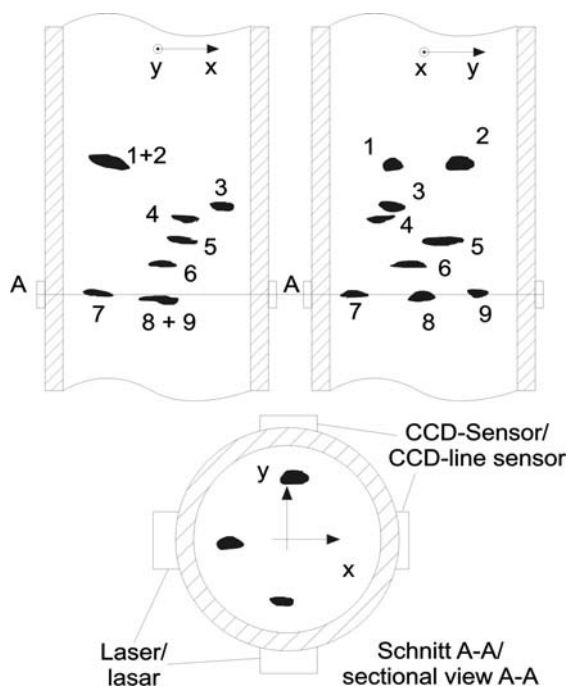


Bild 2: Messanordnung des Körnerzählers Seed-Control (MARQUERING & SCHEUFLER 2006)

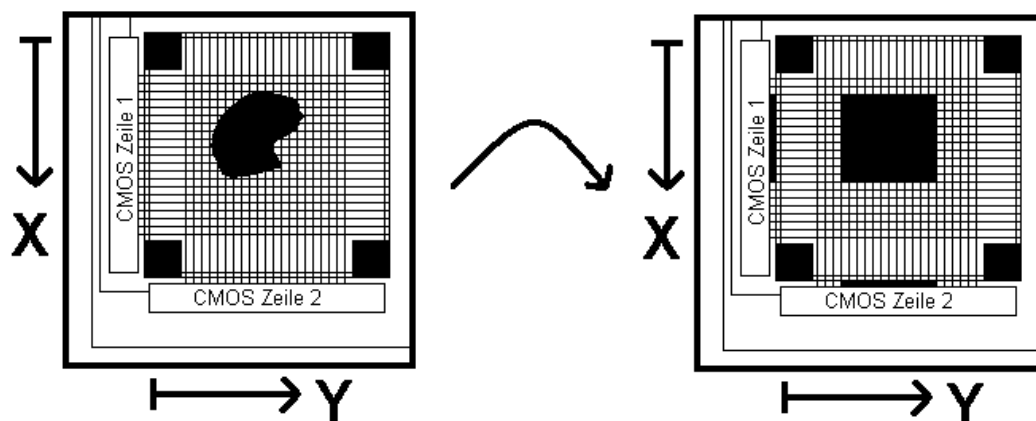


Bild 3: Resultierende Lichtschrankeninformationen (rechts) eines Objektes (links)

3 Duo-Körnerlichtschranke

Die Verwendung der beiden CCD-Zeilensensoren ermöglicht nicht nur eine weitgehende Verhinderung von Doppelzählungen, sondern bietet durch die binären Bilddaten die Option einer Bildverarbeitung. Dabei wird beim Durchfallen eines Kornes „scheibchenweise“ die geometrische Umhüllende des Objektes in x- und y-Richtung gemessen und kann zu einem dreidimensionalen Objekt zusammengesetzt werden. Die Umrechnung der vertikalen (Zeit-) Achse hängt jedoch von der Geschwindigkeit des Objektes ab.

Durch die Verwendung von zwei gekoppelten Körnerzählern kann die Geschwindigkeit eines Kornes bestimmt werden. Durch den geringen Abstand der beiden Systeme (25 mm) ist eine hohe Sicherheit sowohl bei der Zuordnung des einzelnen Kornes als auch der Bestimmung der Geschwindigkeit gegeben. **Bild 4** zeigt das Prinzip der „Duo-Körnerlichtschranke“ mit insgesamt 4 CCD-Zeilensensoren, die alle nach jeweils 116 μ s ausgelesen werden.

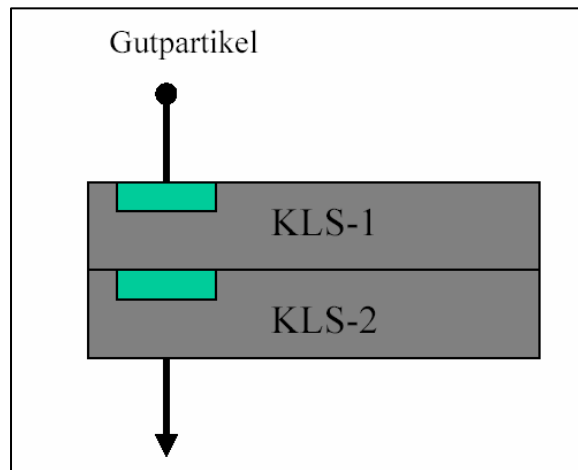


Bild 4: Prinzip der Duo-Körnerlichtschranke

Bild 5 zeigt die Körnerlichtschranke Seed-Control und die realisierte Duo-Körnerlichtschranke. Die quadratische Öffnung im vorderen Teil des Bildes stellt den Fallbereich der Körner dar, der Bereich der Mikrokontrollertechnik ist geöffnet, die beiden bzw. vier Laser sind unter den abgedeckten Bereichen angebracht.

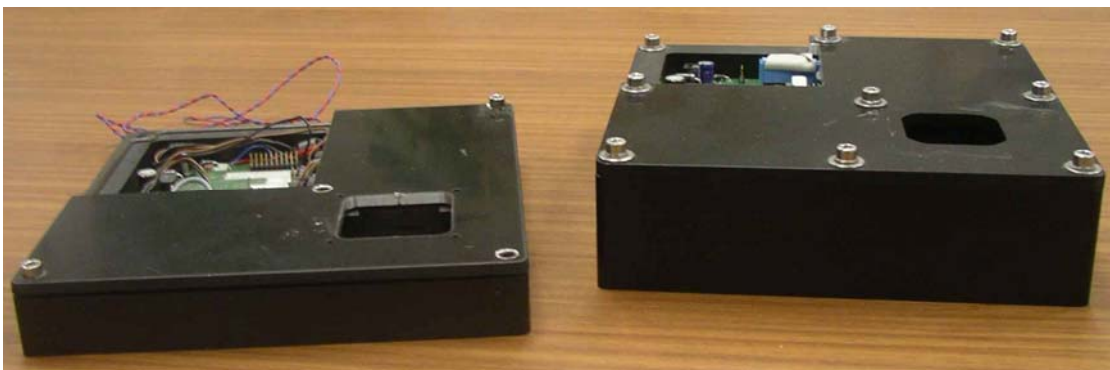


Bild 5: (Geöffnete) Körnerlichtschranke Seed-Control (links) und Duo-Körnerlichtschranke (rechts)

4 Ergebnisse und Ausblick

Die Daten der zwei Körnerlichtschranken bzw. 4 CCD-Zeilensensoren werden zeilenweise ausgelesen und mit einem PC ausgewertet. Die Zeileninformationen werden zu zusam-

menhängenden Bildinformationen zusammengesetzt, aus denen die Zuordnung der Objekte bestimmt wird. Die Messdaten beider Körnerlichtschranken werden korreliert und aus den zeitlichen und geometrischen Informationen die Geschwindigkeit der Objekte bestimmt. Der geringe Abstand der beiden Lichtschrankensysteme führt zu einer weitgehenden Modellunabhängigkeit (Reibung) der Geschwindigkeitsbestimmung.

Bild 6 zeigt Bildsequenzen für drei Objekte (Maiskörner), wobei die vertikale Zeitachse aufgrund der Geschwindigkeitsmessung in einen Abstand umgerechnet wurde.

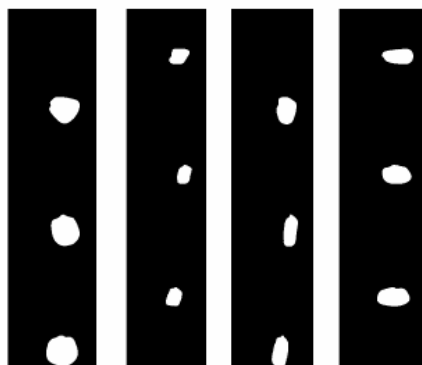


Bild 6: Bildsequenzen der vier CCD-Zeilensensoren beim Durchgang von Gutpartikeln

Die zweidimensionalen Informationen können zu einem dreidimensionalen Objekt zusammengesetzt werden. **Bild 7** zeigt die entsprechende Struktur eines Maiskorns.

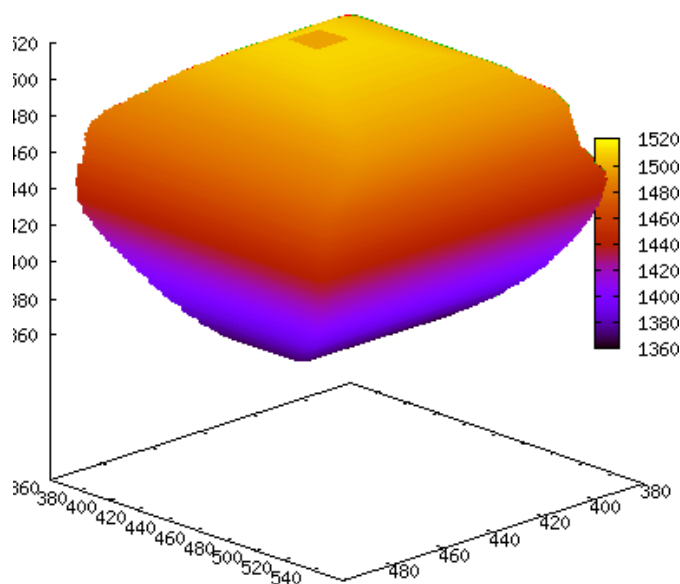


Bild 7: Dreidimensionale Form eines Gutpartikels

Auf Basis der Daten kann für ein einzelnes Korn eine automatische Bildverarbeitung durchgeführt werden. Es können sowohl zweidimensionale (wie z.B. die Kompaktheit) als auch dreidimensionale Parameter bestimmt werden. **Tabelle 1** zeigt Messergebnisse für Testproben.

Tabelle 1: Geschwindigkeitsmessung und Bildverarbeitungsparameter für 3 Probestückchen (Maiskörner)

Probe	Geschwindigkeit (m/s)	Volumen (mm ³)	Kompaktheit (xz-Ebene)	Kompaktheit (yz-Ebene)
1	0,638	361,0	1,58	1,81
2	0,634	299,4	1,61	1,86
3	0,643	365,7	1,69	1,67

Die realisierte Duo-Körnerlichtschranke bietet – zusammenfassend - die Möglichkeit zur Bestimmung geometrischer dreidimensionaler Eigenschaften von landwirtschaftlichen Partikeln. Die resultierenden Parameter werden zur Charakterisierung von Saat- oder Düngerkörnern verwendet und dienen der weiteren Verbesserung der optimalen Einstellung landwirtschaftlicher Maschinen.

5 Literatur

- FENDER F., HANNEKEN M., LINZ A., RUCKELSHAUSEN A., SPICER M. (2005):** „Messende Lichtgitter und Multispektralkameras als bildgebende Systeme zur Pflanzenerkennung / Imaging for crop detection based on light curtains and multispectral cameras“; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 40, S.7-16
- Marquering J., Scheufler B. (2006):** „Präzise Saat durch Körnerzähler Sensor“, Landtechnik 61, H.5, S.248-249

Ableitung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen für Körnermais in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften, Aussaatstärke und N-Düngung

Derivation of site-specific production functions for corn in dependency of soil characteristics, seeding rate and nitrogen fertilization

Christoph Gutjahr, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein
Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart,
E-Mail: cgutjahr@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung: In dieser Studie wurden teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen zur Optimierung von Stickstoffdüngung und Aussaatstärke in Körnermais erarbeitet. Zur Datenerfassung wurde ein Versuch mit variabler Aussaatstärke und teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung auf einem heterogenen Schlag der Versuchsstation Ihinger Hof durchgeführt. Aus den erhobenen Daten wurden für drei Tongehaltsklassen innerhalb des Schlages unterschiedliche Produktionsfunktionen abgeleitet mit dem Ziel den Faktoreinsatz Aussaatstärke und Stickstoffdüngung zu optimieren. Die Ergebnisse in diesem Jahr haben gezeigt, dass mit zunehmendem Tongehalt die Erträge der Teilflächen abnahmen. Zwischen den unterschiedlichen Düngungsstufen bzw. Aussaatstärken konnten keine bzw. nur zum Teil signifikanten Unterschiede ermittelt werden, da aufgrund der Witterungsverhältnisse nicht Stickstoff sondern Wasser zum limitierenden Faktor wurde. Über die abgeleiteten Produktionsfunktionen konnte der optimale Produktionseinsatz beider Faktoren ermittelt werden, wobei die Aussage durch weitere Versuche abgesichert werden muss.

Deskriptoren: Körnermais, Stickstoff, Aussaatstärke, Produktionsfunktionen, teilflächenspezifisch

Abstract: *In this study site-specific production functions were derived to optimize nitrogen fertilization and seeding rate in corn. At the Ihinger Hof experimental station a field trial was established on a heterogeneous site to study site-specific nitrogen application and variable seeding rates. Based on this data different production functions were derived to optimize nitrogen and seeding rate for three different soil classes within the field. The results from showed, that yields decreased with an increasing amount of clay content in the soil. For different nitrogen fertilization and seeding rates significant differences were not obvious or seldom obvious. Due to weather conditions, it is assumed that water was the most limiting factor within the field, leading to the determined minor impact of nitrogen on yield. Based on the derived productions functions the input of both factors could be optimized, but further investigations are still necessary to strengthen those results.*

Keywords: *Corn, nitrogen, seeding rate, production functions, site-specific*

1 Einleitung

Auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen können die Standortbedingungen für die dort angebauten Kulturpflanzen variieren (KOCH *et al.* 2004). Mit den herkömmlichen Bewirtschaftungsformen ist es dem Landwirt nicht möglich, ackerbauliche Maßnahmen an variierende Standortbedingungen anzupassen. Durch eine kleinräumige Anpassung der Bestandesführung an die vorliegenden Ertragspotenziale bietet Precision Farming die Möglichkeit, die Pflanzenproduktion sowohl aus ökonomischer, als auch aus ökologischer Sicht zu optimieren (WOLLRING *et al.* 1999). Unter Berücksichtigung der vorherrschenden Bedingungen muss dann eine sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht sinnvolle pflanzenbauliche Entscheidung über die Intensität des Einsatzes von Produktionsfaktoren abgeleitet werden (WOLLRING *et al.* 1999).

Ziel dieser Arbeit war, ein solches Entscheidungskonzept in Form von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen für die Optimierung von Stickstoffdüngung und Aussaatstärke in Körnermais zu erarbeiten.

2 Material und Methoden

Auf der Versuchsstation der Universität Hohenheim, Ihinger Hof (48° 44' N 8° 56' E, 693 mm, 8.1°C), wurde im Jahr 2006 auf dem Schlag „Mohren“ ein Versuch mit teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung und variabler Aussaatstärke in Körnermais angelegt, um daraus Produktionsfunktionen für unterschiedliche Bereiche des Schlages abzuleiten. Der Schlag „Mohren“ umfasst ca. 10,5 ha und ist gekennzeichnet durch heterogene Bodeneigenschaften (**Bild 1**).

Der Schlag wurde in 80 quadratische Teilflächen von jeweils ca. 1300 m² unterteilt, was eine Anpassung der Versuchsanordnung an die Arbeitsbreite des Düngersteuers, der Sämaschine und des Mähdreschers ermöglichte. Innerhalb jeder Teilfläche wurde von homogenen Bodeneigenschaften (Faktor 1) ausgegangen. Die einzelnen Teilflächen wurden entsprechend des ermittelten Tongehaltes in drei Tongehaltsklassen eingeteilt. Tongehaltsklasse 1 umfasste 15 Teilflächen mit Tongehalten zwischen 21 und 30% (Ø 27%). Mit einem Tongehalt zwischen 30 und 40% fielen 36 Teilflächen in die Tongehaltsklasse 2 (Ø 36%). Tongehaltsklasse 3 umfasste 27 Teilflächen, wobei sich der Tongehalt von 40 – 53% erstreckte (Ø 44%).

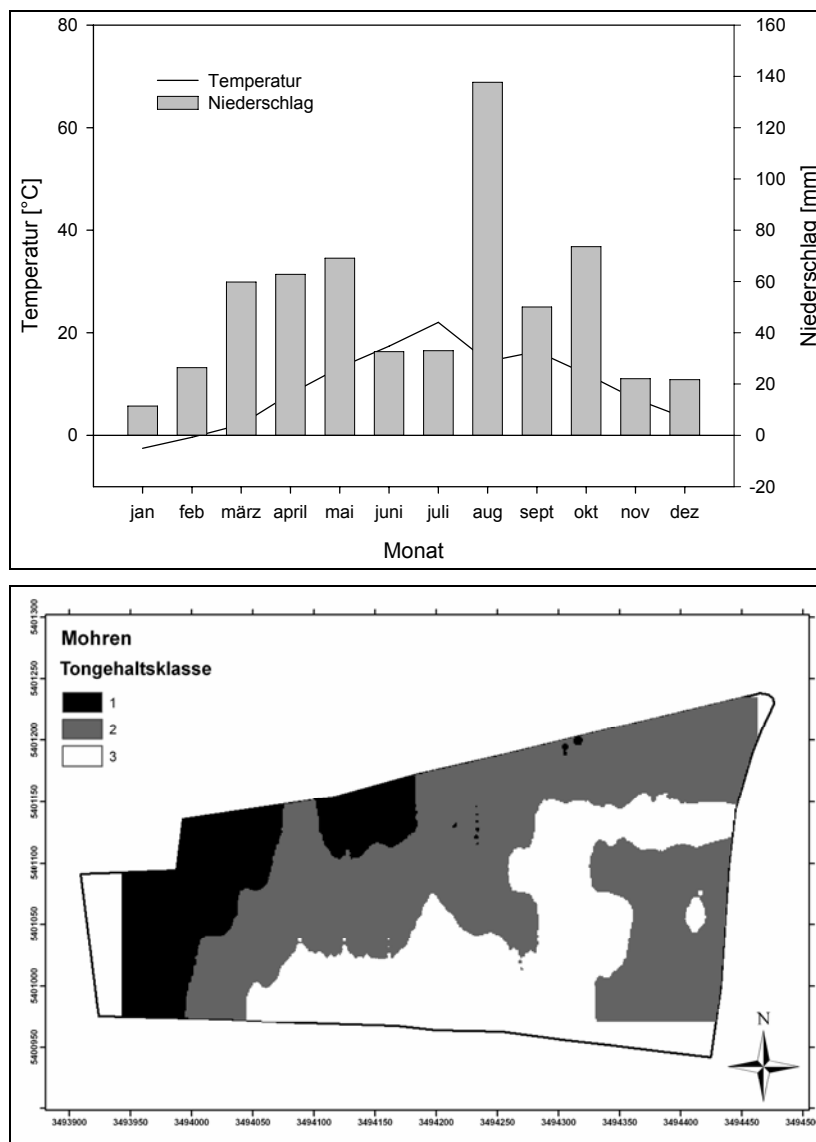


Bild 1: Witterungsverlauf auf dem Ihnger Hof im Jahr 2006 (oben). Einteilung des Schlags „Mohren“ in drei Tongehaltsklassen (unten) mit einem durchschnittlichen Tongehalt von 27% (1), 36% (2) bzw. 44% (3)

Um die Zusammenhänge zwischen variabler Düngung und Aussaatstärke untersuchen zu können, wurden beide Faktoren innerhalb der Teilflächen räumlich variiert und kombiniert. In jeder Teilfläche wurden am 02.05.2006 unabhängig vom Ertragspotenzial vier unterschiedlich dichte Körnermaisbestände (Faktor 2), mit 70.000 (Variante 1), 85.000 (Variante 2), 90.000 (Variante 3) bzw. 100.000 Pfl. ha⁻¹ (Variante 4), zufällig verteilt etabliert. Die Aussaat jeder Aussaatstärke erfolgte in Anpassung an die Arbeitsbreite der vierreihigen Sämaschine in acht Reihen (Reihenabstand 75 cm), was einer Fläche von 6 m x 36 m entsprach.

Vor der Aussaat wurde auf dem gesamten Schlag einheitlich eine Düngermenge von ca. 30 kg N ha⁻¹ ausgebracht. Als dritter Faktor wurde zum Vierblattstadium eine teilflächen-spezifisch angepasste Stickstoffdüngung auf dem Schlag ausgebracht. Die Anpassung der Stickstoffdüngung für jede Teilfläche erfolgte auf Basis von Simulationen mit Hilfe des

Pflanzenwachstumsmodells APOLLO (BATCHELOR *et al.* 2004, LINK 2005), und variierte zwischen 100 und 160 kg N ha⁻¹ (Ø 128 kg N ha⁻¹). Die Umsetzung der Stickstoffdüngung erfolgte über eine in ArcGIS (ESRI) erstellte Applikationskarte, die zur Ansteuerung des Präzisionsdüngerstreuers von Rauch verwendet wurde. Um eine Bewertung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen durchführen zu können, wurde in jeder Teilfläche zusätzlich auf 12 m x 36 m eine Kontrollvariante angelegt, die der praxisüblichen Bewirtschaftung (90.000 Pfl. ha⁻¹, 130 kg N ha⁻¹) des Schlages entsprach.

Die Maisernte zur Ertrags Erfassung erfolgte am 31.10.2006. Bei der Ernte wurde sowohl eine GPS-basierte Ertragskartierung durchgeführt, die eine räumliche Zuordnung des Ertrags zu den 80 Teilflächen ermöglichte, als auch manuelle Quadratmeterschnitte, die der gezielten Erfassung der Ertragsparameter und der Nährstoffversorgung der Maispflanzen dienten.

Zur Ermittlung der ökonomisch optimalen Faktorkombination von Aussaatstärke und Düngung in Abhängigkeit vom Tongehalt des Bodens wurden anhand der im Versuch ermittelten Daten Produktionsfunktionen für jede Tongehaltsklasse aufgestellt. Dabei gingen die Produktionsfaktoren Düngung und die Aussaatstärke als variable Faktoren in die Produktionsfunktion ein. Als Funktionstyp wurde ein Polynom zweiten Grades zu Grunde gelegt, das biologische Prozesse im Allgemeinen ganz gut widerspiegelt (CLAUPEIN 1994). Die allgemeine Produktionsfunktionsgleichung (1) lautet:

$$y = (\mu_1 * N) + (\mu_2 * N^2) + (\mu_3 * A) + (\mu_4 * A^2) + (\mu_5 * A * N) \quad (1)$$

wobei y für den Kornertrag (kg ha⁻¹), N für die eingesetzte Menge an Stickstoff (kg N ha⁻¹) und A für die realisierte Aussaatstärke (Körner ha⁻¹) steht. Die Werte für den Parameter μ wurden mittels einer multiplen Regressionsanalyse aus den gemessenen Daten ermittelt. Die optimale Produktionsintensität ist dann erreicht, wenn für die Produktionsfaktoren folgende Gesetzmäßigkeit gilt: **Grenzerlös = Grenzkosten des Faktoreinsatzes** (DABBERT & BRAUN 2006). Um diesen Zustand zu ermitteln, wird die Funktion jeweils nach N und A abgeleitet, wodurch man die zwei Grenzertragsfunktionen (2) und (3) erhält. Setzt man diese gleich den Faktorkosten für Düngung (q_N ; € kg⁻¹ N) bzw. Aussaatstärke (q_A ; € Mais-korn⁻¹), ergibt sich daraus der Faktoreinsatz, der zum maximalen Gewinn führt. Die allgemeinen Formeln lauten:

$$dY/dN * p_y = q_N \quad (2)$$

$$dY/dA * p_y = q_A \quad (3)$$

Der maximale Gewinn (G , € ha⁻¹) kann unter Berücksichtigung der Fixkosten (FK , € ha⁻¹) und des Produktpreises für Mais (p_y , € kg⁻¹ Ertrag) anhand folgender Formel (4) berechnet werden:

$$G = p_y * y - (q_N * N + q_A * A) - FK \quad (4)$$

Da sich die Fixkosten unabhängig von der Tongehaltsklasse und der Höhe des Faktoreinsatzes nur unwesentlich verändern, werden sie für diese Berechnungen ignoriert und auf der Kostenseite nur der Aufwand für N-Dünger und Saatgut beachtet. Für diese Studie wurde für Stickstoff ein Preis von $0,54 \text{ € kg N}^{-1}$ und für Maissaatgut etwa 130 € pro Einheit (80.000 Körner), was $0,00175 \text{ €}$ pro Korn entspricht, veranschlagt. Der Verkaufspreis von Mais unterliegt einer starken jahreszeitlichen Schwankung. Im Mittel ist mit einem Maispreis von 140 € pro Tonne ($0,14 \text{ €}$ pro kg Mais) zu rechnen.

Zur Überprüfung der Daten auf signifikante Unterschiede zwischen den Varianten wurde das Statistikprogramm Sigma Stat 3.5 (Jandel Scientific, USA) verwendet. Als Lageparameter wurde der Mittelwert berechnet und für die Streuung wurde die Standardabweichung angegeben. Ebenso wurden Varianzanalysen durchgeführt und über den Tuckey-Test die Grenzdifferenz für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $5,0\%$ ($\alpha = 0,05$) berechnet. Zur Ermittlung der Ertragswirkung der einzelnen Produktionsfaktoren oder Faktorkombinationen wurde ebenfalls mit Hilfe von Sigma Stat 3.5 einfache bzw. multiple Regressionsanalysen durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Über die Ertragskartierung wurden Kornerträge zwischen 1169 und 9244 kg ha^{-1} in den unterschiedlichen Varianten der Teilflächen gemessen. Der über den gesamten Schlag gemittelte Durchschnittsertrag lag bei 6531 kg ha^{-1} (**Bild 2**). Die Kornerträge der einheitlich bzw. variabel gedüngten Varianten beliefen sich auf 6403 kg ha^{-1} bzw. 6533 kg ha^{-1} .

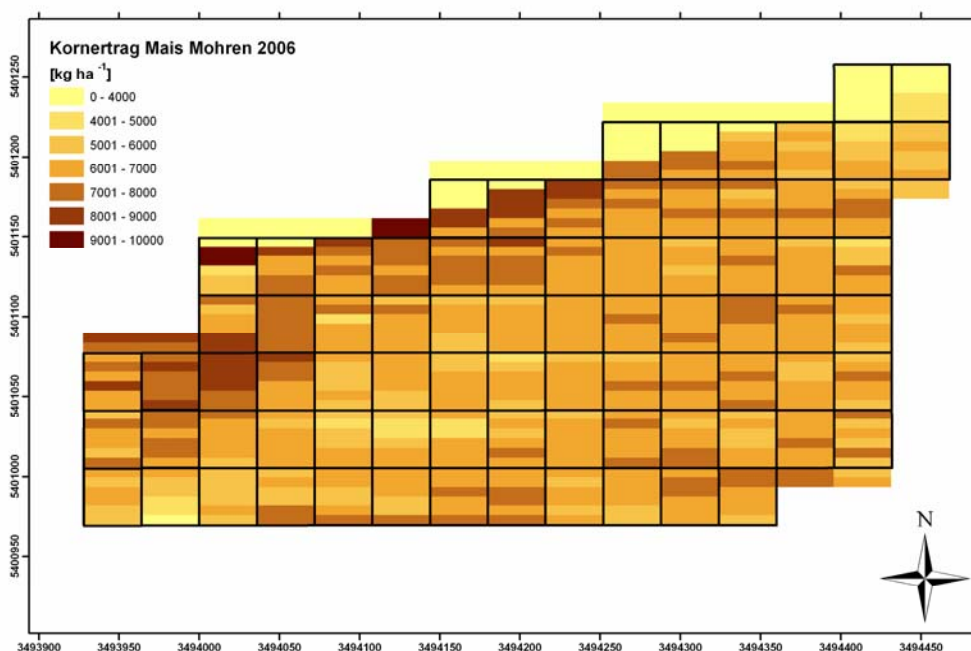


Bild 2: Kornertrag (kg ha^{-1}) von unterschiedlichen Varianten innerhalb der 80 Teilflächen auf dem Schlag „Mohren“ im Jahr 2006

Die höchsten Kornerträge wurden in der Tongehaltsklasse 1 gemessen. Der hier gemessene Kornertrag von 6932 kg ha^{-1} unterschied sich signifikant von den Kornerträgen der Tongehaltsklassen 2 und 3. Zwischen den Kornerträgen der Tongehaltsklasse 2 (6237 kg ha^{-1}) und Tongehaltsklasse 3 (6331 kg ha^{-1}) waren keine signifikanten Unterschiede zu beobachten. Trotzdem wurde deutlich, dass der Tongehalt des Bodens und der gemessene Kornertrag leicht negativ korreliert waren ($R = -0,40$), wobei die Bodentextur zu etwa 16% ($R^2 = 0.16$) für die gemessene Ertragsvariabilität verantwortlich war. Ausschlaggebend war hierbei insbesondere die unterschiedlich gute Wasserversorgung in Abhängigkeit der Bodentextur (WIESEHOFF 2005, KASPAR *et al.* 2004).

In dieser Studie konnten zwischen den variablen und einheitlich gedüngten Varianten keine signifikanten Ertragsunterschiede ausgemacht werden. Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,04$ ergaben sich für die variabel gedüngten Teilflächen nur sehr geringfügige Zusammenhänge zwischen der Höhe der N-Düngung und dem Kornertrag. Aber auch innerhalb der variabel gedüngten Varianten konnte zwischen den 3 festgelegten Düngungsstufen bezüglich der Trockenmassebildung an keinem der drei Beprobungstermine signifikante Unterschiede ermittelt werden. Festzuhalten bleibt jedoch, dass die variabel gedüngte Variante gegenüber der einheitlich gedüngten Variante einen Mehrertrag von 130 kg ha^{-1} aufwies. So ist davon auszugehen, dass sowohl in den Grids mit einer hohen, aber auch in den Grids mit einer niedrigen variablen N-Düngung immer ausreichend Stickstoff vorhanden war. Dieser konnte jedoch von der Pflanze nicht verwertet, oder auf Grund des Wassermangels erst gar nicht aufgenommen und somit auch nicht ertragswirksam werden. Ziel der variablen N-Düngung soll sein, die N-Effizienz zu verbessern (WENKEL *et al.* 2002). Nach BACH (1999) kann eine Effizienzsteigerung durch einen reduzierten Faktoreinsatz bei gleich bleibendem Ertrag oder durch einen gleich bleibenden Faktoreinsatz bei einem erhöhten Ertrag erzielt werden.

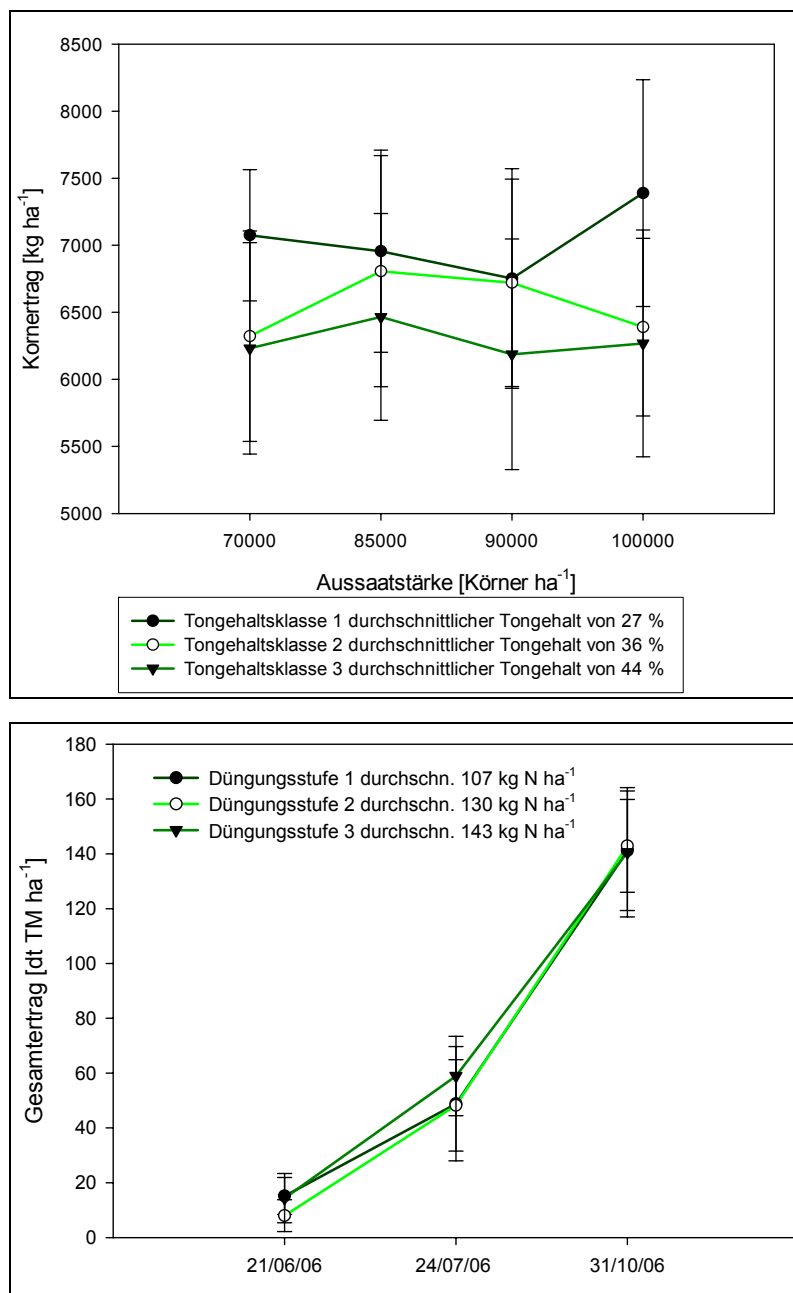


Bild 3: Durchschnittlicher Kornertrag (kg ha^{-1}) in Abhängigkeit von der Aussaatstärke und dem Tongehalt (%) (oben), und durchschnittlicher Trockenmasseertrag (kg ha^{-1}) in Abhängigkeit von 3 N-Düngungsklassen (unten, $P = 0.05$)

Bei der Aussaatvariante 1 lag der durchschnittliche Kornertrag in der Tongehaltsklasse 1 signifikant über den Durchschnittserträgen der Tongehaltsklassen 2 und 3 (**Bild 3**). Diese unterschieden sich bezüglich des Kornertrages mit 6322 bzw. 6231 kg ha^{-1} nur geringfügig. In der Aussaatvariante 2 sanken die Erträge zwar tendenziell mit zunehmendem Tongehalt des Bodens, wiesen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. Bei der Aussaatvariante 3 waren die Kornerträge der Tongehaltsklassen 1 und 2 nahezu identisch und unterschieden sich beide signifikant von dem Kornertrag der Tongehaltsklasse 3. Mit einer Ertragsdifferenz von jeweils über 1000 kg ha^{-1} unterschied sich

bei der Aussaatvariante 4 der Kornertrag der Tongehaltsklasse 1 signifikant von den Kornerträgen der Tongehaltsklassen 2 und 3.

Die Ergebnisse im vorliegenden Versuch zur Ermittlung der Auswirkung einer variablen Aussaatstärke auf den Kornertrag zeigten zwischen den vier verschiedenen Aussaatvarianten keine signifikanten Ertragsunterschiede. Das ist typisch für Regionen, in denen das Wasser zum ertragslimitierenden Wachstumsfaktor wird. PASZKIEWICZ & BUTZEN (2001) sprechen in diesem Zusammenhang von einem positiven Einfluss einer reduzierten Aussaatstärke auf den Ertrag.

Ausgehend von den oben dargestellten Ergebnissen wurden für die drei Tongehaltsklassen folgende multiple Regressionsgleichungen ermittelt, die den Zusammenhang zwischen den eingesetzten Produktionsfaktoren N-Düngung und Aussaatstärke und dem erzielten Ertrag abbilden:

$$y = 14887 - (39,823 \cdot N) + (0,102 \cdot N^2) - (1290,751 \cdot A) + (73,263 \cdot A^2) + (0,98 \cdot A \cdot N) \quad (4)$$

$$y = -12928 + (114,871 \cdot N) - (0,431 \cdot N^2) + (2819,486 \cdot A) - (164,802 \cdot A^2) + (0,055 \cdot A \cdot N) \quad (5)$$

$$y = 20616 - (214,161 \cdot N) + (0,635 \cdot N^2) + (269,169 \cdot A) - (41,210 \cdot A^2) + (3,225 \cdot A \cdot N) \quad (6)$$

Die anhand dieser Formeln in den unterschiedlichen Tongehaltsklassen geschätzten Kornerträge wiesen aufgrund der zugrunde liegenden Versuchsergebnisse eine geringe Korrelation mit den gemessenen Kornerträgen auf ($R^2 < 0,10$).

Tabelle 1: Überblick über die N-Düngemengen und Aussaatstärken, die innerhalb der entsprechenden Tongehaltsklasse zum ökonomischen Ertragsoptimum führen

Tongehalts- klasse	Düngung (kg N ha ⁻¹)	Aussaatstärke (Körner ha ⁻¹)	Kornertrag (kg ha ⁻¹)		Gewinn (€ha ⁻¹)	
			Variabel	Einheitlich	Variabel	Einheitlich
1	179	76.000	6784	5856	720	591,14
2	129	85.000	6837	6709	739	711,56
3	148	90.800	6210	6288	631	652,62
Mittelwerte	152	83.933	6610	6284	697	652

Die Werte für die ökonomisch optimale Kombination von N-Düngung und Aussaatstärke wurden mit der entsprechenden Produktionsfunktion errechnet. **Tabelle 1** zeigt für die drei Tongehaltsklassen die Faktorkombinationen aus N-Düngung und Aussaatstärke, die unter den gegebenen Bedingungen jeweils zum ökonomischen Optimum führten. Aufgrund der geringen Bestimmtheitsmaße sind diese Berechnungen jedoch nur beispielhaft zu sehen und nicht über zu bewerten.

4 Schlussfolgerung

Es ist prinzipiell möglich, anhand von Produktionsfunktionen die Einflüsse der verschiedenen Produktionsfaktoren auf den Ertrag darzustellen. Auch wenn die Ergebnisse des eigenen Versuches dies nicht eindeutig widerspiegeln, kann die Aussage getroffen werden, dass eine Variation der N-Düngung und Aussaatstärke sinnvoll ist. Ergebnisse aus der Literatur belegen, dass gerade wenn Wasser zum ertragslimitierenden Wachstumsfaktor wird, eine an das teilflächenspezifische Ertragspotenzial angepasste N-Düngung als auch Aussaatstärke, verglichen mit einer einheitlichen Feldbewirtschaftung, zu einer deutlichen Effizienzsteigerung des Faktoreinsatzes führt. Um jedoch ein Entscheidungskonzept in Form von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen für den Einsatz von Stickstoffdüngung und Aussaatstärke in Körnermais zu erarbeiten sind weitere Untersuchungen unabdingbar.

5 Literatur

- BACH P. (1999):** Wirtschaftlichkeit des Produktionsmitteleinsatzes. In: BACH, P., HÜFMEIER, H., (Hrsg.), Wirtschaftslehre – Die Landwirtschaft Band 4, 11. Auflage. S. 319-379
- BATCHELOR W., PAZ J., THORP K. (2004):** Development and evaluation of a decision support system for precision farming. In: Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture. July 25-28, 2004. Minneapolis, MN
- CLAUPEIN W. (1994):** Möglichkeiten und Grenzen der Extensivierung im Ackerbau – Wirkungen der Bewirtschaftungsintensität auf die langfristige Produktivität und Stabilität von Agrarökosystemen und deren Umweltwirkungen. Triade-Verlag Erika Claupein, Göttingen 1994. 224 S
- DABBERT S., BRAUN J. (2006):** Landwirtschaftliche Betriebslehre Grundwissen Bachelor. S. 15-85
- KASPAR T., PULIDO D., FENTON T., COLVIN T., KARLEN D., JAYNES D., MEEK D. (2004):** Relationship of Corn and Soybean Yield to Soil and Terrain Properties. In: *Agon. J.* 96:700-709
- KOCH B., KHOSLA R., FRASIER W., WESTFALL D., INMAN D. (2004):** Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones. In: *Agronomical Journal* 96. S. 1572-1580
- LINK E.J. (2005):** Investigation and Modeling of the Optimization Potential of Adapted Nitrogen Fertilization Strategies in Corn Cropping Systems with Regard to Minimize Nitrogen Losses. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften
- PASZKIEWICZ S., BUTZEN S. (2001):** Corn hybrid response to plant population. In: *Crop Insights* 11 (6): 1-5
- WENKEL K., BROZIO S., GEBBERES R., MIRSCHEL W. (2002):** Approaches to site-specific nitrogen fertilization. In: *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2003, Vol 49. S. 149-162
- WIESEHOFF M. (2005):** Teilflächenspezifische Aussaat von Winterweizen. In: Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI 430. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften
- WOLLRING J., REUSCH S., LINK A. (1999):** Teilflächenspezifische Düngung: Planung, Bedarfsermittlung, Ausbringung und Nutzen. Agrocom-Seminar: Precision Farming auf dem Weg in die Praxis. S. 50-54

Vergleich von Düngestrategien zur teilflächenspezifischen Optimierung eines Weizenbestandes

Comparison of nitrogen strategies for site-specific optimization of wheat crops

Jochen Schäfer, Johanna Link, Simone Graeff, Wilhelm Claupein
Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart,
E-Mail: evajlink@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung: In dieser Studie wurden unterschiedliche Stickstoffdüngestrategien zur Optimierung des Weizenbestandes verglichen. Ziel der Studie war insbesondere die Optimierung einer teilflächenspezifischen Spätdüngungsgabe unter Berücksichtigung des aktuellen Versorgungszustandes der Weizenpflanzen, um auf diese Art den Proteingehalt des Bestandes zu optimieren. Der Versuch wurde auf der Versuchsstation Ihinger Hof durchgeführt, wobei der Schlag in knapp 50 Teilflächen unterteilt wurde. Die Berechnung der Spätdüngung für jede Teilfläche erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen Versorgungszustandes des Bestandes, einer prozess-orientierten Simulation des Ertragspotentials und einer modellbasierten Berechnung des Proteingehaltes. Zum Vergleich wurde eine praxisübliche Variante in allen Teilflächen integriert. Die Ergebnisse zeigten, dass hinsichtlich des Ertrags und des Proteingehaltes kaum Unterschiede zwischen den Varianten vorlagen. Generell erwies sich die Berechnung der Stickstoffmenge für die Spätdüngung jedoch als aussichtsreiche Methode den Stickstoffeinsatz auch für die Qualitätsgabe zu optimieren. Dieser Ansatz soll in weiteren Versuchen vertiefend untersucht werden.

Deskriptoren: Weizen, Stickstoff, Protein, Qualität, teilflächenspezifisch

Abstract: *In this study different nitrogen fertilization strategies to optimize wheat crops were compared. The aim of this study was to optimize the late nitrogen application around flowering based on current nitrogen status of the plant and to increase protein content within the field. The field trial was established on the Ihinger Hof experimental station. The field was subdivided into 50 grids. The calculation of the late nitrogen application was based on current nitrogen status of the plant in each grid, a process-oriented simulation of yield potential and a model-based calculation of protein content. To compare the results a treatment "farmers practice" was implemented in each grid. The results showed that concerning yield and protein content almost no differences between the treatments were obvious. However, the method for calculation of the late nitrogen application rate seemed to be promising. Especially in the context of nitrogen use efficiency and economics This approach will be investigated in further field experiments.*

Keywords: *Wheat, nitrogen, protein, quality, site-specific*

1 Einleitung

Die Entwicklung eines Weizenbestandes ist geprägt von unterschiedlichen Wachstumsfaktoren, welche in einem Schlag heterogen verteilt sein können. Da diese Faktoren in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort wirken, kommt es bei entsprechender Schlaggröße zu heterogenem Pflanzenwachstum. Dies führt zu einem variablen Pflanzenbestand mit völlig unterschiedlichen Ansprüchen an die Wachstumsbedingungen und damit an das pflanzenbauliche Management. Um die gegebene Variabilität in den Entscheidungen der Bestandesführung berücksichtigen zu können, eignen sich Technologien aus der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (Precision Farming). Über den Faktor Düngung kann großen Einfluss auf die Steuerung der Bestandsentwicklung und die Qualität des Endprodukts genommen werden.

Neben der Steuerung der Düngerrhöhe über Sensortechnologien, bieten prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodelle eine weitere Möglichkeit die Düngerrhöhe unter Berücksichtigung bekannter ertragslimitierender Faktoren anzupassen. Pflanzenwachstumsmodelle berücksichtigen die an einem Standort herrschenden Bedingungen hinsichtlich Klima, Boden und Bestandesführung (UEHARA & TSUJI 1998). Modelle aus denen das prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodell DSSAT 4.0 hervorging, sind bereits seit 15 Jahren in der Wissenschaft im Einsatz (JONES *et al.* 2003). Prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodelle simulieren das Pflanzenwachstum in homogenen Einheiten (BATCHELOR *et al.* 2002). Zur teilflächenspezifischen Anwendung dieser Modelle wird ein Schlag in Bewirtschaftungseinheiten (Grids) unterteilt, welche in sich als homogen angesehen werden. Danach erfolgt die Kalibrierung des Modells für jede einzelne Bewirtschaftungseinheit. Vom Prinzip her besteht der Schlag nun aus mehreren kleinen Schlägen, welche unterschiedlich bewirtschaftet werden können. Durch die Berücksichtigung der relevanten ertragslimitierenden Faktoren einschließlich ihrer Interaktionen wird eine im Vergleich zu eindimensionalen Sensorsystemen verbesserte Anpassung der zu applizierenden Düngerrhöhen erwartet.

Ziel der Studie war zu überprüfen, wie eine teilflächenspezifische Spätdüngung im Weizen gestaltet werden muss, bei der sowohl das zu Grunde liegende Wachstumspotenzial als auch die aktuelle Versorgung des Weizens mit Stickstoff berücksichtigt werden kann. Dabei sollte ein vorgegebener Proteingehalt im Korn mit einer an die Wachstumsbedingungen angepassten Düngestrategie erreicht werden.

2 Material und Methoden

Im Anbaujahr 2005/06 wurde auf dem Schlag Lehmgrube der Versuchsstation für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, „Ihinger Hof“ (48° 44' N 8° 56' E, 693 mm, 8.1°C) der Universität Hohenheim ein Feldversuch zur Optimierung des Ertrages und der Qualität in Winterweizen durchgeführt. Der Weizen wurde von Seiten des Betriebs zur Verwendung als

Energiegetreide angebaut. Die Ertragserwartung wurde mit 75 dt ha^{-1} angegeben. Der Boden des Schlags Lehmgrube wird als schluffiger Lehm klassifiziert und ist mit einer Ackerzahl von 55 bewertet. Die Aussaat erfolgte am 13.10.2005 mit Kreiselegge und Sämaschine. Ausgesät wurde die Sorte „Campari“ mit $330 \text{ Körnern m}^{-2}$, was einer Aussaatstärke von 169 kg ha^{-1} entspricht. Der Reihenabstand betrug $13,3 \text{ cm}$ und die Saattiefe ca. $2,5 \text{ cm}$. Um den Feldaufgang optimal zu gewährleisten, wurde der Weizen am 21.10.2005 mit der Cambrigewalze angewalzt.

Zur Versuchsdurchführung wurde der Schlag in 49 Grids eingeteilt. Jedes dieser Grids maß $36 \text{ m} \times 36 \text{ m}$ und wurde von drei Fahrgassen durchzogen. Die Grids gelten als Bewirtschaftungseinheit und wurden in sich als homogen angesehen. Vor Versuchsbeginn wurden in diesen Grids die N_{\min} -Werte und die Bodentextur untersucht. In Abhängigkeit von diesen Daten sowie der langjährigen mittleren Witterung, welche für den Wachstumsverlauf prognostiziert wurde, und historischer Ertragsdaten, wurden mittels des Modells APOLLO (Application of Precision Agriculture for Field Management Optimization) für jedes Grid unterschiedliche Düngestufen für die zweite N-Gabe abgeleitet. Das APOLLO Modell (BATCHELOR *et al.* 2004) basiert auf dem CERES Modell für Weizen (JONES *et al.* 1986). Für die Kalibrierung des Modells wurden Daten aus den Anbaujahren 1999 (Triticale), 2001 (Weizen) und 2004 (Weizen) verwendet. Neben den durchgeführten Anbaumaßnahmen, wie beispielsweise Sorte, Aussaatstärke, Düngung, wurden die Klima- und Bodenbedingungen für die Kalibrierung in das APOLLO Modell integriert. Für den Kalibrierungsprozess wurden innerhalb der Grids vordefinierte Bodenparameter wie z.B. „Pflugsohle“, „schwer durchwurzelbare Horizonte“ im sinnvollen und plausiblen Rahmen angepasst. Mit Hilfe dieser Funktionen simuliert das Modell schwer durchwurzelbare Schichten oder anstehendes Grundgestein. Als weitere Bodenparameter werden in dem Modell die Tiefe der Schichten sowie der permanente Welkepunkt und die Feldkapazität berücksichtigt. Auch von Bedeutung innerhalb des Modells ist der Faktor, der eine eingeschränkte Wurzelverteilung im Bodenhorizont berücksichtigt. Die Daten der Bodenparameter wurden jeweils für die Schichten von $0\text{-}30 \text{ cm}$, $30\text{-}60 \text{ cm}$ und $60\text{-}90 \text{ cm}$ erhoben. Das kalibrierte APOLLO Modell wurde herangezogen, um das Ertragspotential der einzelnen Grids des Schlages abzuschätzen. Dazu wurde die Ertragserwartung für unterschiedliche N-Düngermengen unter Berücksichtigung von Klimadaten der letzten 30 Jahre für jedes Grid simuliert. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde für jedes Grid die optimale N-Versorgung festgelegt.

Die erste N-Düngung erfolgte am 01.04.2006 im Wachstumsstadium BBCH 21 als einheitliche Flächendüngung mit 60 kg N ha^{-1} (Piammon 33 S) Die zweite N-Düngung erfolgte zu BBCH 31 am 05.05.2006. In der homogen gedüngten Variante wurden 60 kg N ha^{-1} als Kalkammonsalpeter (27% + Mg) ausgebracht. In der teilflächenspezifisch gedüngten Variante 2 wurden im Schnitt 51 kg ha^{-1} ausgebracht, wobei die Mengen in Abhängigkeit vom jeweiligen Grid zwischen 40 und 70 kg ha^{-1} variierten. **Bild 1** gibt die Höhen der ausgebrachten N-Mengen wider.

Für die Spätdüngung wurde in den Versuch noch eine dritte Variante eingeführt. Die Spätdüngung wurde anhand einer erweiterten Formel von Makowski (MAKOWSKI *et al.* 1999), in Kombination mit Berechnungen aus dem APOLLO Modell berechnet. Die Höhe der Spätdüngung schwankte zwischen 10 und 55 kg N ha⁻¹ was in einem durchschnittlichen Wert von 29 kg N ha⁻¹ resultierte. Bild 1 gibt die Höhe und räumliche Verteilung der applizierten N-Mengen wider. Die Spätdüngung wurde am 07.06.2006 durchgeführt. Der Bestand hatte zu diesem Zeitpunkt das BBCH- Stadium 49 erreicht.

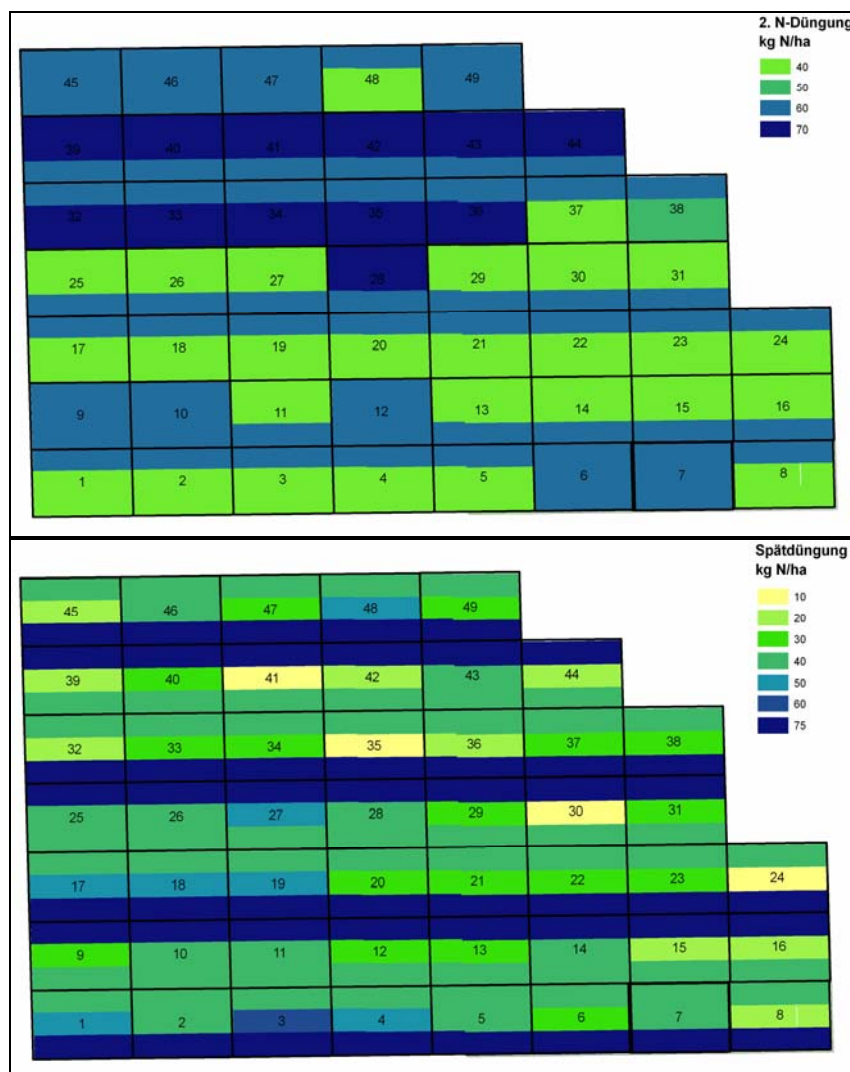


Bild 1: Räumliche Verteilung der ausgebrachten N-Mengen (2. Gabe oben, 3. Gabe unten) in der homogenen und teilflächenspezifischen Variante des Versuchs

Da das APOLLO Modell kein Modul zur Optimierung der Kornqualität besitzt, ist somit eine Anpassung der dritten N-Düngergabe alleine über das APOLLO Modell nicht möglich. Dies führte letztendlich zur Verknüpfung des APOLLO Modells mit dem von Makowski *et al.* (1999) entwickelten Modell. Aus dieser „Verknüpfung“ heraus resultierten folgende veränderte Formeln:

$$N_{Diff} = (p_1 + (p_2 \times \frac{Y_{p\%}}{Y})) - (p_1 + (p_2 \times \frac{Y_{p\%31}}{Biom_{31}})) \quad [1]$$

$$N_{Spät} = \frac{(N_{Diff} - 2,1544) \times Y}{0,2958} \quad [2]$$

N_{Diff} entspricht in Formel [1] dem geschätzten, über die Spätdüngung abzudeckenden, Proteinanteil (%) im Korn. Die Modellparameter $p_1=1,36$ und $p_2=0,34$ entstammen den Berechnungen von MAKOWSKI *et al.* (1999). $Y_{p\%}$ beschreibt den Gesamt N-Gehalt (%) von Korn und Stroh zum Zeitpunkt der Ernte und $Y_{p\%31}$ steht für die Gesamt N-Gehalt (%) zum Zeitpunkt der Erfassung des Versorgungszustandes am 31.05.2006 während der Vegetationsperiode, welcher über den N-Tester Wert ermittelt wurde. Y ist die Variable des mit dem Modell simulierten Ertrages (kg ha^{-1}) und $Biom_{31}$ die Variable für die Biomasse (kg ha^{-1}) zum Zeitpunkt der Probenahme am 31.05.2006 innerhalb der Vegetationsperiode.

In Formel [2] entspricht $N_{Spät}$ dem resultierenden N-Bedarf zur Spätdüngung. Die Kalkulation der Spätdüngung enthält keinerlei Risikozuschläge, weshalb davon ausgegangen wurde, dass die gesamte applizierte Düngermenge auch aufgenommen wurde.

Die statistische Auswertung des Feldversuches erfolgte über das Statistikprogramm Sigma.Stat 3.5 (Jandel Scientific, San Jose, USA). Berechnet wurde das arithmetische Mittel bzw. den Mittelwert für die Varianten. Die Streuung der Versuchsergebnisse wurde über die Standardabweichung berechnet. Mit dem einseitigen T-Test wurden Varianzanalysen durchgeführt. Ein multipler Mittelwertvergleich wurde anhand des Tukey-Tests mit $\alpha=0,05$ durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ertragskarte (**Bild 2**) zeigt die unterschiedliche Höhe der Erträge in den einzelnen Grids und den jeweiligen Varianten. Bei den in der Karte dargestellten Werten handelt es sich um gemittelte und interpolierte Werte, welche der Ertragskartierung des Mäh-dreschers entstammen. Die Daten stellen den mittleren Ertrag des gesamten Grids dar. Auffällig hierbei ist, dass die Erträge im Vorgewende durchweg geringer waren als die Erträge in der Schlagmitte. Der durchschnittliche Gesamtertrag lag bei 78 dt ha^{-1} . Der höchste Kornertrag wurde, in der homogenen Variante mit $75,5 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einer Standardabweichung von $11,5 \text{ dt ha}^{-1}$ erzielt. In der teilflächenspezifisch angepassten Variante 2 wurden bei einer Standardabweichung von $7,9 \text{ dt ha}^{-1}$ $74,5 \text{ dt ha}^{-1}$ geerntet. In Variante 3 zeigte sich bei einem Kornertrag von $75,0 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einer Standardabweichung von $8,3 \text{ dt ha}^{-1}$ ein ähnliches Bild wie in den beiden vorangegangenen Varianten.

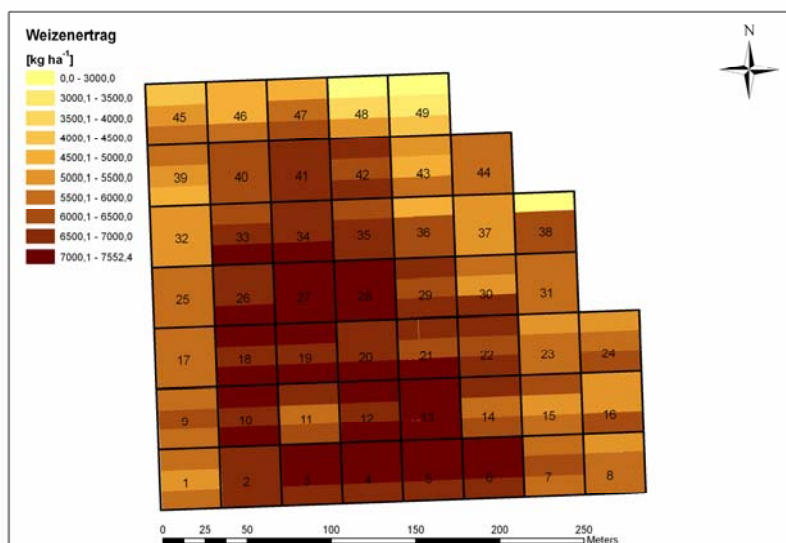


Bild 2: Weizenertrag [kg ha⁻¹] auf dem Schlag Lehmgrube im Jahr 2006

Wie aus der Proteinkarte (**Bild 3**) hervorgeht, bestanden zwischen den einzelnen Varianten nur geringe Unterschiede. Lediglich Variante 3 wies etwas erhöhte Proteingehalte, wie insbesondere im oberen Teil des Schlags zu erkennen, auf. Die größten Unterschiede im Proteingehalt traten im Vorgewende am östlichen und am westlichen Ende des Schlages auf. Grundsätzlich schwankte der Proteingehalt zwischen 11,4 und 17,0%. Der durchschnittliche Proteingehalt betrug in der homogen gedüngten Variante 13,37% und in Variante 2 13,41%. Die Standardabweichung lag in beiden Varianten mit 1,06% in Variante 1 und mit 1,15% in Variante 2 auf einem ähnlichen Niveau. Variante 3 hingegen wies mit einem p-Wert von < 0,05 signifikante Unterschiede auf und erzielte einen Proteingehalt von 14,53% bei einer Standardabweichung von 0,83%.

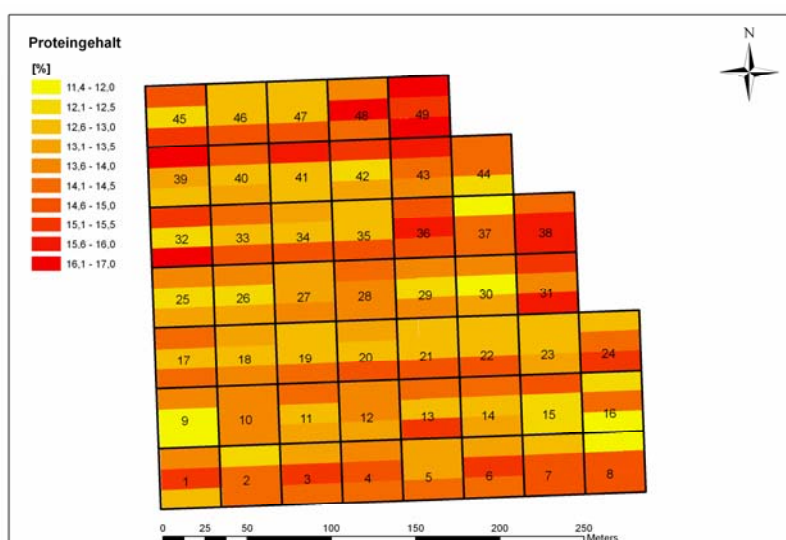


Bild 3: Räumliche Variabilität im Proteingehalt [%] des Weizenbestandes auf dem Schlag Lehmgrube

4 Zusammenfassung

Gegenstand der Studie war die teilflächenspezifische Erfassung räumlich variabler Wachstumsfaktoren und deren Berücksichtigung bei der Berechnung der benötigten N-Düngermengen im Hinblick auf die Optimierung von Ertrag und Proteingehalt. Wie der Ergebnisse des Versuchs zeigten, hat der gewählte Ansatz das Potenzial durch eine bessere Verteilung des Düngers das Pflanzenwachstum am jeweiligen Standort bzw. im jeweiligen Grid teilflächenspezifisch zu optimieren. Zur Integration dieser Technologien und Ansätze in der landwirtschaftlichen Praxis sind jedoch noch weitere umfassende Untersuchungen notwendig.

5 Literatur

- BATCHELOR W.D., BASSO B., PAZ J.O. (2002):** Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models, *European Journal of Agronomy* 18, S. 141-158
- BATCHELOR W.D., PAZ J.O., THORP K.R. (2004):** APOLLO- a crop model based precision agriculture decision support system, *Biological Systems Simulation Conference* March 8-10, 2004, Gainesville Florida
- JONES J.W., HOOGENBOOM G.J., PORTER C., BOOTE K.J., BATCHELOR W.D., HUNT L.A., WILKENS P.W., SINGH U., GIJSMAN A., RITCHIE J.T. (2003):** DSSAT Cropping System Model. Special Edition of *European Journal of Agronomy* 18, 235-265
- MAKOWSKI D., WALLACH D., MEYNARD J.-M. (1999):** Models of Yields, Grain Protein, and Residual Mineral Nitrogen Responses to Applied Nitrogen for Winter Wheat." *Agronomy Journal* 91: 377-385
- UEHARA G., TSUJI G.Y. (1998):** Overview of IBSNAT. In Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K., *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, S.1-7

Eignung des Yara N-Sensors zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten

Adaption of the Yara N-Sensor to detect plant diseases

Kerstin Gröll, Simone Graeff, Wilhelm Claupein
Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstr.23, 70599 Stuttgart,
E-Mail: groell@uni-hohenheim.de

Zusammenfassung: Nach Betrachtung der bisherigen Ergebnissen scheint eine Identifizierung der Krankheiten Mehltau, Halmbruch und Septoria mittels der digitalen LEICA S1 PRO Kamera und dem Field Spec® Hand Held in gezielt selektierten Wellenlängenbereichen möglich zu sein. Weitere Untersuchungen sind notwendig um Aussagen darüber zu treffen, ob die identifizierten Wellenlängenbereiche auf den Yara N-Sensor übertragen werden können.

Deskriptoren: Pflanzenkrankheiten, Sensoren, Precision farming

Abstract: *After the consideration of the previous results, an identification of the plant diseases powdery mildew, wheat eyespot and septoria leaf blotch using a digital LEICA S1 PRO camera and a Field Spec® Hand Held seems to be possible in selected wavelength ranges. Further investigations are necessary to give evidence if the identified wavelength ranges could be for an identification of diseases successfully transferred to the Yara N-Sensor.*

Keywords: *plant diseases, sensors, Precision farming*

1 Einleitung

Seit den Anfängen der Landwirtschaft stellen Pflanzenkrankheiten eine Hauptursache für Ertrags- und Qualitätsverluste bei der Kultivierung von Nutzpflanzen dar. Zu den herkömmlichen Methoden des Pflanzenschutzes gehört bei der Bekämpfung von Schadpilzen neben der Züchtung resistenter Sorten die Anwendung von Fungiziden. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beugt einerseits Pflanzenkrankheiten vor, andererseits belasten sie jedoch die Umwelt. Pflanzenschutzmittel werden heutzutage immer noch einheitlich auf einem Schlag ausgebracht trotz vieler Unterschiede im Boden, im Pflanzenbestand und dem Schaderregerdruck. Moderne Entwicklungen im Bereich der landwirtschaftlichen Maschinenteknik haben es möglich gemacht, Pflanzenschutzmittel räumlich variabel auszubringen und ermöglichen es im Hinblick auf das Precision Pest Management (PPM) genau dort zu behandeln, wo Pflanzenkrankheiten in einem nicht mehr tolerierbaren Umfang auftreten. Precision Farming Technologien haben daher das Potential den Einsatz von Fungiziden auf einzelne Teilflächen zu reduzieren und somit variable Kosten im Betrieb einzusparen sowie Umweltbelastungen zu minimieren. Grundlage für eine teilflächenspezifische Applikation von Fungiziden ist jedoch die räumliche Erfassung der Pathogene. Zur Zeit sind keine Sensorsysteme verfügbar, die fahrzeuggestützt den Krankheitsbefall identifizieren und quantifizieren. Im Sinne einer nachhaltigen Landbewirtschaftung ist es daher notwendig Sensorsysteme zu entwickeln, die eine räumlich differenzierte Identifizierung und Quantifizierung von Pathogenen und darauf aufbauend eine teilflächenspezifische Steuerung der Fungizidapplikation ermöglichen. Ziel dieser Studie ist es daher, die für eine sensorgestützte Identifizierung von Pflanzenkrankheiten notwendigen Grundlagen zu entwickeln, Wellenlängenbereiche zu identifizieren in denen eine eindeutige Detektion unterschiedlicher Erreger möglich ist und darauf aufbauend entsprechende Kalibrierungen zu erstellen. Ziel dieser Studie war zu testen, in wie weit eine mögliche Integration der identifizierten Wellenlängenbereiche in bestehende Sensorsysteme möglich ist. Dazu wurde in einem ersten Ansatz der Yara-N-Sensor im Fieldscan-Modus mit den entsprechenden Wellenlängenbereichen geprüft.

2 Material und Methoden

Kernziel der Arbeit ist die eindeutige Identifizierung von Pflanzenkrankheiten mittels Reflexionsmessungen. Die Grundhypothese, die hierbei verfolgt wird, ist die Annahme, dass sich die Reflexion einer Pflanze in selektierten Wellenlängenbereichen stressspezifisch aufgrund von Pigment- sowie strukturellen Modifikationen ändert. Die verwendete Sensortechnik beruht auf der Messung der Reflexion der Pflanze unter kontrollierten Lichtverhältnissen sowohl in Feld- als auch in Gewächshausversuchen. Zum einen wird die Reflexion mittels einer digitalen Kamera (LEICA S1 Pro, LEICA Kamera AG, Solms, Deutschland) und zum anderen mittels dem Field Spec® Hand Held (ASD, Inc. Boulder, CO, USA) gemessen. Zusätzlich wurden die Versuche mit dem Yara N-Sensor im Field Scann Modus

gemessen. Bei der digitalen Kamera ermöglicht der Einsatz verschiedener Longpass-Filter (Maier Photonics, Manchester, VT, USA) die Aufspaltung des gesamten Tageslichtspektrums in einzelne kleinere Wellenlängenbereiche. Es werden Blattscans in den Wellenlängenbereichen 380, 490, 510, 516, 540 und 600 nm sowie in den Infrarotbereichen 490, 510, 516, 540 und 600 IR durchgeführt. Die mit der digitalen Kamera identifizierten Wellenlängenbereiche wurden auf den Yara N-Sensor übertragen und in Feldversuchen getestet.

Zur Durchführung der Messungen wurde auf dem Praxisbetrieb WIMEX in Wulfen ein Versuch auf dem Betriebsschlag 431 als vollständig randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Die Aussaat erfolgt auf diesem Schlag am 15.10.04 und am 12.10.05 mit der Winterweizensorte Ritmo. Vor der Aussaat wurde der Boden flachgründig bearbeitet. Die Vorfrucht war ebenfalls Weizen. Die Flächen wurden betriebsüblich gedüngt und mit Herbiziden und Insektiziden behandelt. Es wurden je drei Parzellen mit den Erregern *Erysiphe graminis* (Weizenmehltauisolat 150, Kleinmachnow, Deutschland), *Septoria tritici* (CBS 292.69, Deutschland) und *Pseudocercospora herpotrichoides* (CBS 118.47, UK) in der Inokulationsstufe 100% am 03.05.05 und 10.05.06 inokuliert. Drei Parzellen wurden mittels Fungiziden gegen Krankheiten behandelt und dienten als Kontrolle. Zwischen den einzelnen Parzellen wurden Trennstreifen von 15 m Breite angelegt, um die Windverdriftung der Krankheiten und die gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Messungen mit der digitalen Kamera und mit dem Field Spec® Hand Held erfolgten ab dem BBCH Stadium 39 (Fahnenblatt) in regelmäßigen Abständen entsprechend der Entwicklung des Bestandes und der Ausbreitung der Pathogene. Messungen mit dem Yara N-Sensor fanden jeweils im Mai, im Juni und im Juli statt.

Von den Blattscans wurde als Lageparameter das arithmetische Mittel (MW=Mittelwert) und als Streuung der Standardfehler (=SF) berechnet. Mit Hilfe des Statistikprogramms Sigma.Stat. 3.1 (Jansel Scientific, USA) wurden die Versuche mittels einer ein- bzw. zweifaktoriellen ANOVA mit anschließendem multiplen Mittelwertsvergleich nach Tukey ($\alpha = 0,05$) ausgewertet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse aus den Versuchen zur Kalibrierung einer Nahsensorik unter definierten Bedingungen, deuten darauf hin, dass Wellenlängenbereiche identifiziert werden können, in sich die Reflexion von Weizenpflanzen unter dem Befall von Pflanzenkrankheiten verändert.

Bild 1 zeigt die Änderung der Reflektion gemessen mit dem Spektroradiometer im Wellenlängenbereich 325-1075 nm am 18.05.05 für die Krankheiten Mehltau, Halmbruch und Septoria. Es ist zu erkennen, dass sich die Reflektion der infizierten Pflanzen von der Reflektion der gesunden Pflanzen vor allem im infraroten Bereich unterscheidet. Dabei nimmt

die Reflektion unter Krankheitsbefall im Vergleich zur Kontrolle ab. **Bild 2** zeigt die Änderung des b-Wertes gemessen mit einer digitalen Kamera am 18.05.05 im Wellenlängenbereich 510-1300 nm ebenfalls für die Krankheiten Mehltau, Septoria und Halmbruch. Auch hier liegt die Reflektion der infizierten Blätter unterhalb der Reflektion der gesunden Blätter.

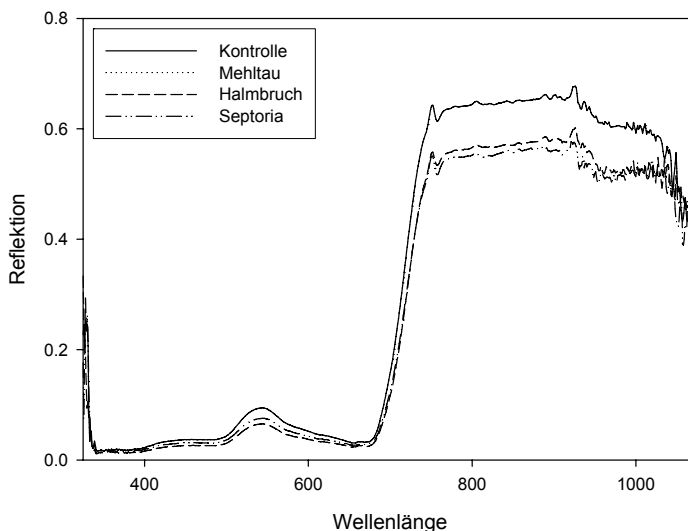


Bild 1: Mit dem Field Spec® gemessene Reflexion für den Wellenbereich 325-1075 nm am 18.05.05

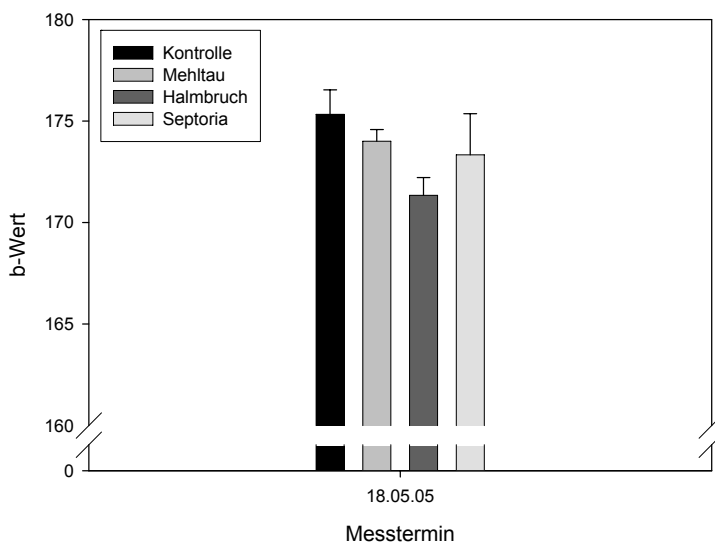


Bild 2: Änderung des b-Wertes im Wellenlängenbereich 510-1300 nm gemessen mit der digitalen Kamera am 18.05.05

Überträgt man nun die identifizierten Wellenlängenbereiche auf die Ergebnisse des Yara N-Sensors, so ist erkennbar, dass ebenfalls vor allem im infraroten Wellenlängenbereich Unterschiede sichtbar sind. **Bild 3** zeigt die Reflektion des Yara N-Sensors für die Wellenlänge 720 nm gemessen am 05.06.05. Ob es sich bei den Unterschieden in der Reflektion um Krankheiten handelt, kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig beantwortet werden. Hierzu sind dieses Jahr weitere Feldversuche angelegt

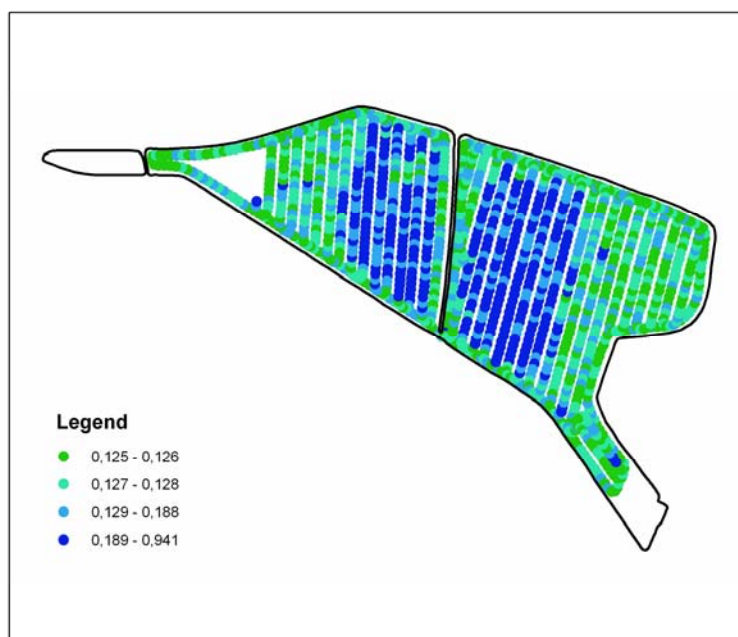


Bild 3: Mit dem Yara N-Sensor gemessene Reflektion für den Wellenlängenbereich 720 nm am 05.06.05

4 Literatur

WEST J.S., BRAVO C., OBERTI R., LEMAIRE D., MOSHOU D., MCCARTNEY H.A. (2003): The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. Annual Review of Phytopathology, Vol. 41:593-614

CIE (1986): Colorimetry 2nd ed., Publication CIE No. 15.2.Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage

Identifizierung von Unkräutern durch Bildanalyseverfahren

Weed identification using digital image analysis

Alexander Kluge, Henning Nordmeyer
Institut für Unkrautforschung, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,
Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig,
E-Mail: A.Kluge@bba.de

Zusammenfassung: Unkräuter kommen auf Ackerflächen aggregiert vor, so dass eine Teilflächenunkrautbekämpfung möglich ist und zu einer Reduzierung des Herbizideinsatzes führt. Dieses Verfahren der Unkrautbekämpfung ist möglich, wenn Unkrautart und – dichte sowie ihre räumliche Verteilung auf Ackerflächen bekannt sind. Zur Unkrauterken- nung eignen sich Bildverarbeitungssysteme. Unter Verwendung einer digitalen Kamera, eines Computersystems und Erkennungssoftware wird ein System zur Identifizierung von Unkrautarten entwickelt. Die Untersuchungen beinhalten das Auffinden von Objekten, die Klassifizierung von Objekten, Bildtransformation und Speicherung. Das System kann zwi- schen Pflanzen (Unkraut/Unkraut; Unkraut/Kulturpflanze) und dem Hintergrund (Boden) unterscheiden.

Deskriptoren: Bildverarbeitung, Unkrauterkenung, Precision Farming

Abstract: *Weeds occur in patches within agricultural fields and patch spraying is an important weed control procedure to reduce herbicide use. Such a weed control is only feasible if weed species, their density and spatial distribution are known. Digital image analysis is suitable to identify weeds. By use of a digital camera, computer system and recognition software it is possible to discriminate among several weed species in prac- tice. The research includes the finding of objects, the classification of objects, image collection and image transformation. The system can differentiate between plants (weed/weed; weed/crop) and the background (soil).*

Keywords: *Image processing, weed recognition, precision farming*

1 Einleitung

Precision Farming in der Unkrautbekämpfung ist die Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen unter Berücksichtigung des kleinräumigen Unkrautvorkommens der Ackerflächen. Unkräuter kommen mit veränderlichen Artenzusammensetzungen und Pflanzendichten aggregiert vor (NORDMEYER *et al.* 2003, OEBEL 2006). Voraussetzung für eine Teilflächenunkrautbekämpfung in der landwirtschaftlichen Praxis ist, dass geeignete Verfahren zur Unkrauterfassung zur Verfügung stehen. Die erforderlichen Daten können z. B. bei einer manuellen Unkrautkartierung durch Feldbegehung erfasst und mittels GPS lokalisiert werden. Dieses Verfahren ist für Praxisbetriebe nicht geeignet. Es werden automatische Verfahren mit hoher Flächenleistung zur Unkrauterkenntnis benötigt. Systeme mit optoelektronischen Sensoren (z.B. BILLER 1997) oder Systeme mit digitaler Bildanalyse (z.B. GERHARDS & CHRISTENSEN 2003, OEBEL & GERHARDS 2006) sind in der Entwicklung.

2 Entwicklung eines Bildanalyseverfahrens

Es wurde ein System entwickelt, das aus einem Computer und einer Farb-CMOS-Kamera besteht, die per Firewire-Anschluss angebunden ist. Auf Ackerflächen wurden Farbbilder im Frühjahr 2006 im Kulturpflanzenbestand (Winterweizen) erstellt. Die Aufnahmefläche betrug 350 x 263 mm. Die Bilder wurden zunächst in RGB-Farbbilder umgewandelt, da sie entweder als BAYER- oder als YUV-kodierte Bilder von der Kamera übertragen werden. Das Farbbild wird dann in einen Farbraum umgerechnet, der als eine unabhängige Komponente den Farbton verwendet (z. B. HSV- oder HSB-Farbraum). Anhand des Farbtons lässt sich dann zunächst die grüne Pflanze vom andersfarbigen Hintergrund abgrenzen. Ziel ist es, möglichst viele Bildpunkte der richtigen Klasse (Hintergrund oder Pflanze) zuzuordnen. Nach diesem Schritt werden die Objekte auf die für einzelne Pflanzenarten charakteristischen Merkmale untersucht. Für Objekte, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit aus mehreren Objekten/Pflanzen bestehen, wird versucht, eine Trennung mit Hilfe von Extrapolationsalgorithmen durchzuführen. Werden Objekte mit dem aktuell getesteten Differenzierungsalgorithmus hinreichend genau erkannt, wird geprüft, ob der Algorithmus parallelisierbar und in Hardware implementierbar ist. Um auch in der Entwicklung möglichst unabhängig von einer spezifischen Plattform zu arbeiten, werden die Testalgorithmen in JAVA implementiert. Java ist durch seine Interpretations-Technologie plattformunabhängig und kann auch auf eingebetteten Systemen eingesetzt werden.

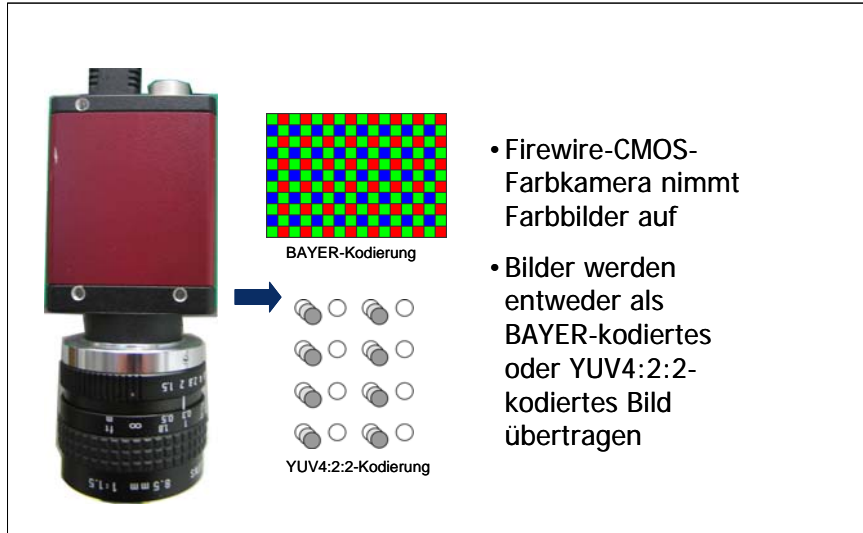


Bild 1: Bilderfassung und Darstellung

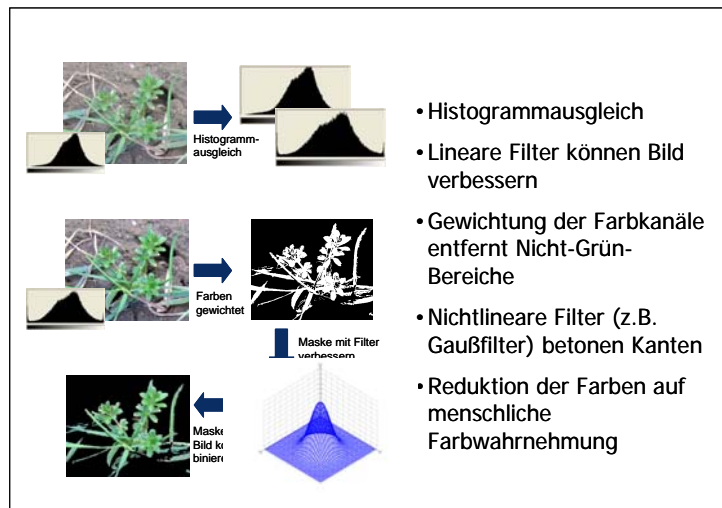


Bild 2: Bildverbesserung

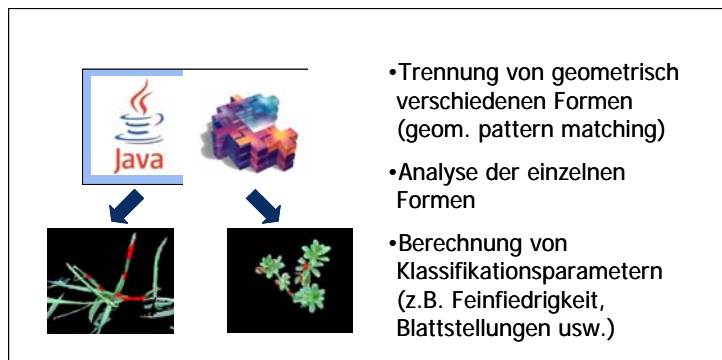


Bild 3: Finden von Objekten

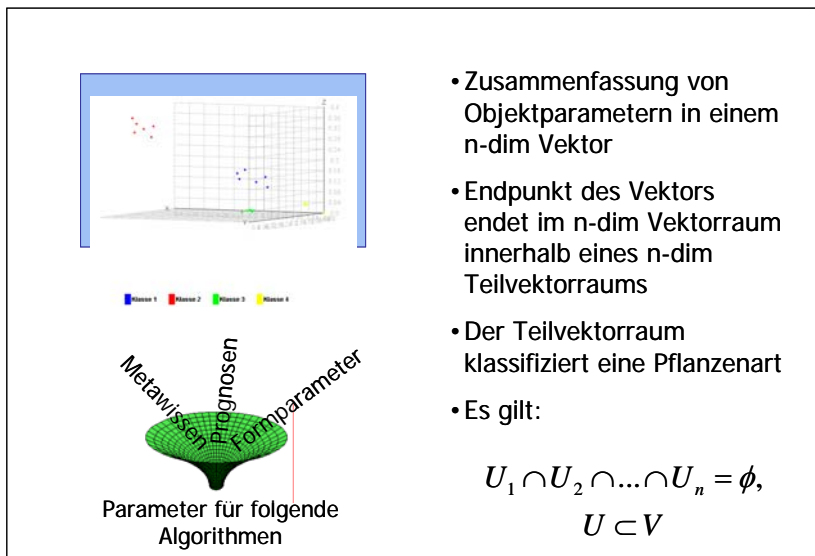


Bild 4: Klassifikation von Objekten

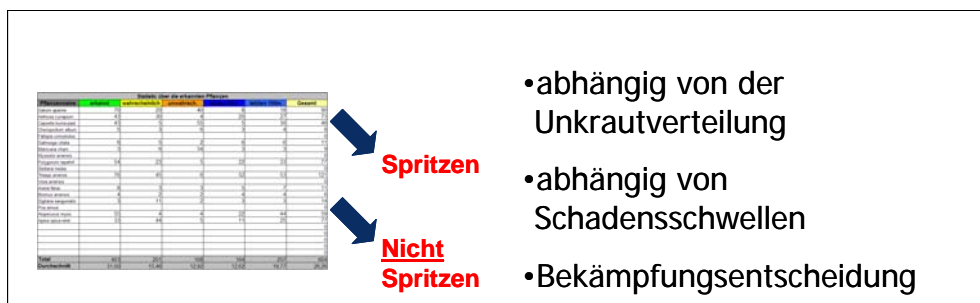


Bild 5: Entscheidungsfindung

3 Ausblick

Mit Hilfe einer Farbkamera und einem Rechensystem ist es möglich, Pflanzenarten und lokale Pflanzendichten auf Ackerflächen zu bestimmen. Bei einzeln stehenden Pflanzen und dadurch gut vom Hintergrund abgrenzbaren Objekten gelingt dies relativ gut. Überlappungen zwischen Pflanzen bedürfen eines sehr viel größeren Aufwands, da die überschneidenden Pflanzenteile von einander getrennt und fehlende Bereiche ergänzt werden müssen. Durch eine automatische Unkrauterkenung wird zukünftig die Unkrautbekämpfung gezielt auf Teilflächen erfolgen können.

4 Literatur

- BILLER R.H., HOLLSTEIN A., SOMMER C. (1997):** Precision application of herbicides by use of optoelectronic sensors. Precision Agriculture, BIOS Scientific Publishers Ltd., 451-458
- GERHARDS R., CHRISTENSEN S. (2003):** Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43, 385-392
- NORDMEYER H. 2006:** Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. Precision Agriculture 7, 219-231
- NORDMEYER H., ZUK A., HÄUSLER A. (2003):** Experiences of site specific weed control in winter cereals. Precision Agriculture (Eds. STAFFORD, J., A.WERNER), Wageningen Academic Publishers, 457-462
- OEBEL H. (2006):** Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Dissertation Universität Hohenheim. Verlag Landpresse, Weilerswist
- OEBEL H., GERHARDS R. (2006):** Kameragesteuerte Unkrautbekämpfung – eine Verfahrenstechnik für die Praxis. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XX, 181-187

**In der Reihe
Bornimer Agrartechnische Berichte**

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998
Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999

Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas TM , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005
Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005
Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> - Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005

Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern	
	Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005
Heft 52	Optimierte Steuerung von Getreide-Schachttrocknern	2005
Heft 53	Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl	2005
Heft 54	Non-Destructive Methods for Detecting Health-Promoting Compounds COST Action 924 Working Group Meeting	2005
Heft 55	4 th IFAC / CIGR Workshop Control Applications in Post - Harvest and Processing Technology (CAPPT 2006) 26th - 29th March 2006, Potsdam, GERMANY	2006
Heft 56	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2006	2006
Heft 57	Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse	2006
Heft 58	Entwicklung eines innovativen Dekontaminationsverfahrens als Technologieantwort auf zukünftiges Qualitätsmanagement im Nacherntebereich	2006
Heft 59	Experimental Studies and Mathematical Modelling of Solar Drying System for Production of High Quality Dried Tomato	2007
Heft 60	13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming	2007

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820
Fax.: (0331) 5699-849
E-Mail: atb@atb-potsdam.de

Schutzgebühr: 13,- €