

---

INSTITUT FÜR  
AGRARTECHNIK  
BORNIM e.V.



---

UNIVERSITÄT BONN



RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT

LEHRSTUHL FÜR  
ALLGEMEINEN  
PFLANZENBAU



---

**COMPUTER-BILDANALYSE  
IN DER LANDWIRTSCHAFT  
- WORKSHOP 2003 -**

Computerised Image Analysis  
in Agriculture  
- Workshop 2003 -

BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE  
Heft 34

Potsdam-Bornim / Bonn 2003

**Herausgeber:**

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

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

in Zusammenarbeit mit

Universität Bonn  
Institut für Pflanzenbau, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau  
Katzenburgweg 5  
53115 Bonn

☎ (0228)-73-2871  
Fax.: (0228)-73-2870  
E-mail: [lap@uni-bonn.de](mailto:lap@uni-bonn.de)  
Internet: <http://www.lap.uni-bonn.de>

September 2003

**Redaktion:**

Bernd Herold, ATB Potsdam-Bornim  
Hiltrud Bartels und Walter Kühbach, Universität Bonn

**Typografische Gestaltung:**

Andrea Gabbert, ATB

Herausgegeben vom Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft und des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung des Landes Brandenburg und gleichzeitig als CD ROM von der Universität Bonn.

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

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

ISSN 0947-7314

© Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam-Bornim 2003  
Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Bonn 2003

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<i>Table of contents</i>	<i>page</i>
<b>Vorwort</b> <i>Preface</i>	<b>4</b>
<b>Mikroskopische 3D Oberflächenanalyse an landwirtschaftlichen Produkten</b> <i>Microscopic 3D surface analysis of agricultural products</i> Herold Bernd; Truppel Ingo	<b>5</b>
<b>Automatische und manuelle Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen im Vergleich</b> <i>Comparison of automatic and manual weed mapping in sugar beet</i> Philipp Isabelle; Nordmeyer Henning; Rath Thomas	<b>14</b>
<b>Photodioden- und Kamerasysteme: Alternative Lösungsansätze zur Messung des Unkrautvorkommens</b> <i>Photo Diode and Camera Systems: Alternative Solutions for Weed Detection</i> Ruckelshausen Arno; Linz Andreas; In der Stroth Sascha; Ramler Bernd; Kielhorn Arnd; Schwermann Dirk	<b>20</b>
<b>Bildanalytische Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades in Winterweizen</b> <i>Estimating soil cover in winter wheat using image analysis</i> Kraft Martin	<b>29</b>
<b>Erfahrungsbericht zur bildgestützten Unkrauterkenennung mit einer 3Chip-CCD-Kamera (gekürzt)</b> <i>Experience report about weed detection with pictures from a 3chip-CCD-camera</i> Langner Hans-Reiner; Böttger Hartmut	<b>38</b>
<b>Realisierung eines traktorgetragenen optischen Messsystems – am Beispiel des Hydro-N Sensors zur optimierten Stickstoffausbringung</b> <i>The Hydro-N Sensor, development of a mobile platform based system for on-line determination of Nitrogen fertilizer input</i> Müller Maik; Piecha Steffen	<b>49</b>
<b>Tragbares funkangekoppeltes Minispektrometer</b> <i>Portable wireless coupled mini-spectrometer</i> Truppel Ingo	<b>56</b>
<b>Bildanalytische Bestimmung von Lückigkeit und Farbe auf Rasenparzellen</b> <i>Evaluation of turfgrass cover and colour based on image analysis</i> Rademacher Ingo F; Lock Reiner; Nonn H; Kühbauch Walter	<b>70</b>

## Vorwort

Die digitale Bildverarbeitung ist ein wichtiger Bestandteil der landwirtschaftlichen Forschung und Entwicklung geworden. Mit dieser Technik können Zustände und Qualitätsmerkmale an Kulturpflanzenbeständen und an Ernteprodukten im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Pflanzenbau exakt erfasst und quantifiziert werden. Auch Unkräuter und Krankheiten in Kulturpflanzenbeständen können mit der digitalen Bildanalysetechnik genau und frühzeitig erkannt werden.

Wissenschaftler und Anwender der digitalen Bildanalyse in der Landwirtschaft trafen sich am 06. Mai 2003 zu ihrem 9. Workshop an der Universität Bonn, um über aktuelle Entwicklungen zu berichten und zu diskutieren. Dieser Erfahrungsaustausch vermittelt den Teilnehmern neue Anregungen für die eigenen Entwicklungen und bietet die Grundlage für Kooperationen in diesem interdisziplinären Arbeitsfeld.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. B. Herold am ATB Potsdam-Bornim für die Organisation und Leitung dieses regelmäßig stattfindenden Workshops. Darüber hinaus danken wir den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau der Universität Bonn für die gelungene Vorbereitung und Durchführung des Workshops mit vielen interessanten Fachvorträgen und Gerätevorführungen.

Bonn und Potsdam-Bornim im Mai 2003

Prof. Dr. W. Kühbauch

Priv.-Doz. Dr. R. Gerhards

Dr. M. Geyer

## Mikroskopische 3D Oberflächenanalyse an landwirtschaftlichen Produkten

### *Microscopic 3D surface analysis of agricultural products*

Bernd Herold und Ingo Truppel  
Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
e-mail: [bherold@atb-potsdam.de](mailto:bherold@atb-potsdam.de)

**Zusammenfassung:** Rauheit und Glanz widerspiegeln den Grad der Frische und Unversehrtheit landwirtschaftlicher Produkte. Mikrotopografische Verfahren werden verwendet, um solche Oberflächeneigenschaften an Industrieprodukten objektiv zu bestimmen, wurden aber bisher nicht an gartenbaulichen Produkten eingesetzt.

Ein berührungsloses optisches Abstandsmessverfahren wurde für topographische Untersuchungen an der Oberfläche von frischen gärtnerischen Produkten getestet. Erste Ergebnisse werden visualisiert und Oberflächenprofile quantitativ ausgewertet. Das Verfahren hat Potential, um den Einfluss von gartenbaulichen Produktionsverfahren auf die Produktqualität zu bewerten.

**Deskriptoren:** Obst und Gemüse, Oberflächenbeschaffenheit, Mikrotopografie, Qualitätsbewertung

**Summary:** *Roughness and gloss reflect the degree of freshness and intactness of agricultural products. Micro-topographical techniques are used to objectively determine these surface properties of industrial products, but currently they are not used for agricultural products.*

*A touchless optical distance measuring technique was tested for topographical studies on the surface of fresh horticultural products. First results are visualized, and surface profiles are quantitatively evaluated. This technique has the potential to assess the influence of horticultural processes on produce quality.*

**Keywords:** *Fruit and vegetables, surface quality, micro-topography, quality assessment*

## 1. Problemstellung

Die Oberflächenbeschaffenheit widerspiegelt in hohem Maße die Qualität landwirtschaftlicher Produkte. Bei frischen Produkten gibt die Oberflächenbeschaffenheit Auskunft darüber, ob sie frisch und unversehrt sind. Durch objektive Kennzeichnung von Oberflächeneigenschaften wie zum Beispiel Rauheit oder Glanz ließe sich der Frischegrad und die Freiheit von äußerlichen Schädigungen quantitativ bewerten. In diesem Zusammenhang könnte auch die Wirkung von Bearbeitungsverfahren auf die Beschaffenheit der Produktoberfläche exakter bestimmt werden.

Bislang sind objektive Methoden zur Beurteilung von Rauheit und Glanz bei landwirtschaftlichen Produkten wenig bekannt. Ein Grund dafür liegt zum Beispiel in der technischen Definition von Glanz, die für industriell hergestelltes Material entwickelt wurde und sich auf völlig ebene Flächen bezieht. Deshalb sind die weitverbreiteten optischen Glanzmessverfahren nur beschränkt auf landwirtschaftliche Produkte anwendbar.

Ein anderer Ansatz zur Oberflächenuntersuchung ist die geometrische Analyse, die Auskunft über die topografische Beschaffenheit im mikroskopischen Bereich liefert. In der Literatur wird dafür häufig der Begriff der mikroskopischen dreidimensionalen Oberflächenanalyse verwendet. Diese Analyse lässt sich mit einer Reihe technischer Verfahren durchführen, von denen eine Variante getestet wurde.

## 2. Zielsetzung

Ziel dieses Tests war, ein zerstörungsfreies optisches Verfahren zur Messung des Oberflächenprofils von ausgewählten gartenbaulichen Produkten einzusetzen und auf Grund der gewonnenen Erfahrungen die Möglichkeiten für eine objektive Kennzeichnung ihrer Oberflächenbeschaffenheit einzuschätzen. Dabei ging es um die grundsätzliche Anwendbarkeit zur Messung der Oberflächeneigenschaften und die Messbarkeit ihrer Veränderungen durch äußere Einflüsse an Hand der Rauheitsparameter von Profillinien.

Für diesen Test wurde das Topografiemesssystem NEMESIS der Fa. Jurca, Rodgau eingesetzt. Bei diesem Messsystem wird ein berührungslos arbeitender Abstandssensor verwendet, um die Oberfläche des zu analysierenden Produkts punktuell abzutasten. Es sind drei Messköpfe für Abstandsmessbereiche (Z-Richtung) von 300 µm, 600 µm und 3 mm mit einer Auflösung von 0,003 % des Messbereiches kommerziell verfügbar. Bei den vorliegenden Tests wurden Messköpfe für 300 µm und 600 µm Messbereich eingesetzt.

### 3. Messprinzip und Funktionsweise

Das Messprinzip des verwendeten Abstandssensors CHR 150 N beruht auf der wellenlängenabhängigen Kodierung des zu vermessenden Abstandes, wobei eine Objektoberfläche im Messbereich eine entfernungsabhängige Lichtwellenlänge in den Detektor zurücksendet (Bild 1)[1]. Der CHR 150 N besteht aus einem kleinen Messkopf mit 15 mm Durchmesser und einer Verarbeitungseinheit mit einer Halogenlampe als Weißlichtquelle. Das Licht der Halogenlampe wird über eine Glasfaser zum Messkopf geführt, dort aus der Faser gekoppelt und mit einer geeigneten Linse koaxial auf die Oberfläche fokussiert, zu welcher der Abstand gemessen werden soll. Wegen der chromatischen Aberration dieser Linse variiert die Fokusslänge mit der Wellenlänge. Das von einer Oberfläche im Fokusbereich des Sensors reflektierte Licht wird im Messkopf wieder in die Glasfaser eingekoppelt, läuft zur Verarbeitungseinheit zurück und wird dort zu einem Spektrographen ausgekoppelt. Das Spektrum dieses Lichts zeigt einen ausgeprägten Peak, aus dessen spektraler Position der Abstand zur Oberfläche bestimmt wird. Die Auswertung erfolgt mit einem Signalprozessor in der Verarbeitungseinheit [2, 3].

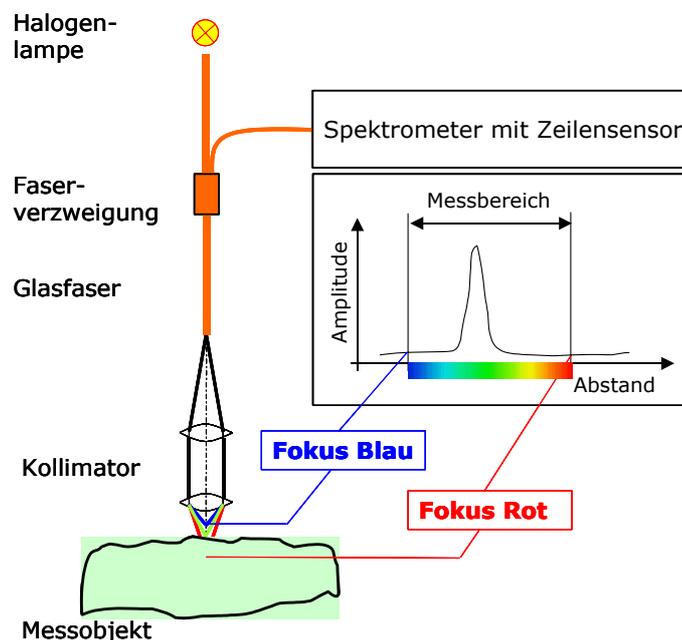


Bild 1: Prinzipdarstellung des Sensors CHR 150 N

Das Topografiemesssystem NEMESIS besteht aus einem schwingungsgedämpften Portalaufbau aus Granit, auf dem ein Kreuztisch für die Platzierung und das Verschieben des Messobjekts in X- und Y-Richtung über einen Bereich von jeweils 50 mm montiert ist. Die

Antriebe des Kreuztisches werden über eine Treiberbox angesteuert. Der Abstandssensor ist am Portal oberhalb des Kreuztisches angeordnet und wird entsprechend der Höhe des Messobjekts justiert. Der Messabstand beträgt etwa 5 mm bei Verwendung der Messköpfe für 300 und 600  $\mu\text{m}$ .

Die Steuerung des Gesamtsystems und die Auswertung der Messdaten erfolgt mittels PC. Das Topografiemesssystem (Bild 2) erlaubt die Abtastung von Oberflächen mit einer lateralen Auflösung von minimal 1  $\mu\text{m}$ , wenn die zuvor erwähnten Messköpfe eingesetzt werden. Die Abtastrate kann stufenweise zwischen 30 und 1000 Hz variiert werden. Bei hoher Lichtreflexion von der Objektoberfläche sind höhere Abtastraten nutzbar, so dass mit 1000 Hz eine Fläche von 0,25 mm x 0,25 mm mit einer lateralen Auflösung von 1  $\mu\text{m}$  innerhalb einer Zeitspanne von etwa 1 min abgetastet wird.

An die Oberflächeneigenschaften der Messobjekte werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Sie können das Licht spiegelnd oder streuend reflektieren. Die Oberflächenfarbe ist ohne Bedeutung. Die hohe numerische Apertur des Sensorkopfes ermöglicht die Messung auch auf spiegelnd reflektierenden Oberflächen, selbst wenn das Lot auf diese Oberflächen um bis zu 30° zur Sensorachse verkippt ist [4].

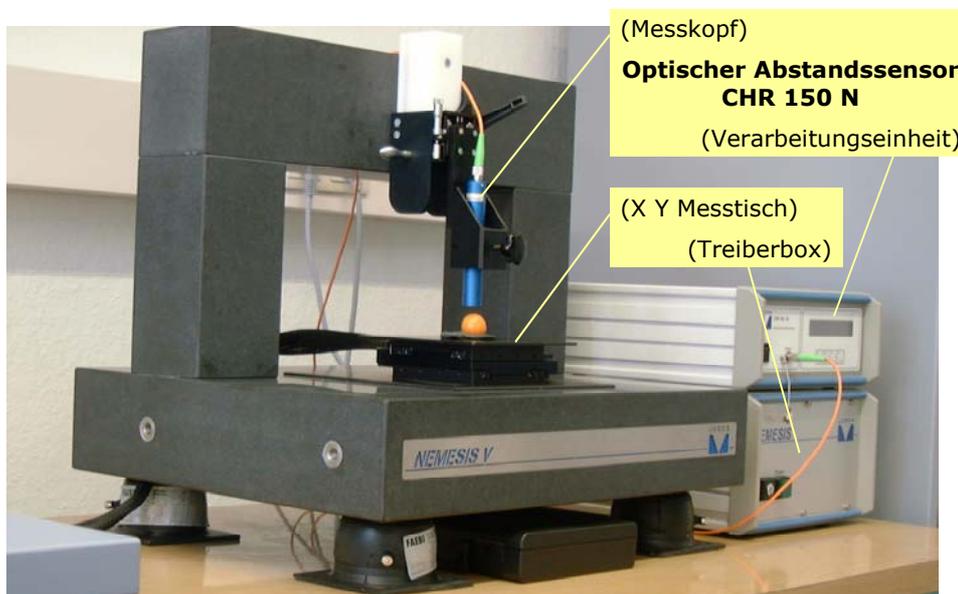


Bild 2: Gesamtansicht des Topografiemesssystems NEMESIS

#### 4. Material und Methoden

Erste Untersuchungen erfolgten an Früchten von Physalis, Apfel („Royal Gala“) und Wein und sowie am Blatt eines jungen Kopfsalats (Bild 3). Die Messobjekte wurden auf dem

Kreuztisch mittels Terostatmasse fixiert. Diese Fixierung muss sehr sorgfältig erfolgen um sicherzustellen, dass die Objekte während des schrittweise Verschiebens des Kreuztisches keine zusätzlichen Relativbewegungen oder Schwingungen ausführen. Bei der geringsten Bewegung ist mit erheblichen Messfehlern zu rechnen.

Darüber hinaus ist die Intensität des von der Objektoberfläche reflektierten Lichts sorgfältig zu kontrollieren und entsprechend die Abtastrate einzustellen. Insbesondere zu niedrige aber auch zu hohe Lichtintensität kann zu Problemen führen. Durch den eingestellten Schwellwert werden zu niedrige unterhalb des Schwellwerts liegende Intensitätswerte als ungültig erkannt.



Bild 3: Ansicht der untersuchten Objekte

Nach unseren Erfahrungen traten bei landwirtschaftlichen Produkten eher zu niedrige als zu hohe Lichtintensitäten auf. Als Lichtquelle wurde deshalb nicht die übliche Standardlampe sondern die auch lieferbare hellere Xenophotlampe eingesetzt. Bei der Mehrzahl der untersuchten Objekte wurden mit dieser Lampe und dem Messkopf für 600  $\mu\text{m}$  Messbereich und Abtastraten von 100 oder 300 Hz hinreichend gültige Messdaten erzielt. Als problematisch erwies sich Kopfsalat, bei dem erst durch den Einsatz eines Messkopfes für 300  $\mu\text{m}$  Messbereich und 100 Hz Abtastrate hinreichend gültige Messdatensätze gewonnen werden konnten. Tests an verschiedenen Pflanzenblättern zeigten, dass durch Blattbehaarung die Gewinnung zuverlässiger Abstandsmesswerte gestört wird.

Die XY-Abtastung wurde mit Schrittweiten von 1 und 2  $\mu\text{m}$  und Abtastflächen zwischen 100  $\mu\text{m}$  x 100  $\mu\text{m}$  und 200  $\mu\text{m}$  x 200  $\mu\text{m}$  durchgeführt.

Die aufgenommenen Messdaten wurden mit Hilfe des unter Windows laufenden Programms JURCA MARK III dargestellt und analysiert.

## 5. Erste Ergebnisse

Zunächst wurden die gemessenen Oberflächen in einer 3D-Darstellung visualisiert. Dadurch war es möglich, besondere Eigenschaften zu erkennen und die Größenordnung von Unebenheiten abzuschätzen.

Seitlich und an der Spitze einer Physalis-Frucht vermessene Teilflächen ließen relativ unauffällige Höckerstrukturen um 5 bis 10  $\mu\text{m}$  lateraler und um 2  $\mu\text{m}$  vertikaler Ausdehnung erkennen. Inwieweit diese Abmessungen als typisch für den ausgeprägten Glanz anzusehen sind, müsste durch geeignete Vergleiche geprüft werden.

An einem jungen Kopfsalatblatt wurden demgegenüber wesentlich deutlicher ausgeprägte topografische Strukturen gefunden, an der Unterseite mit mehreren 10  $\mu\text{m}$  vertikaler Ausdehnung (Bild 4).

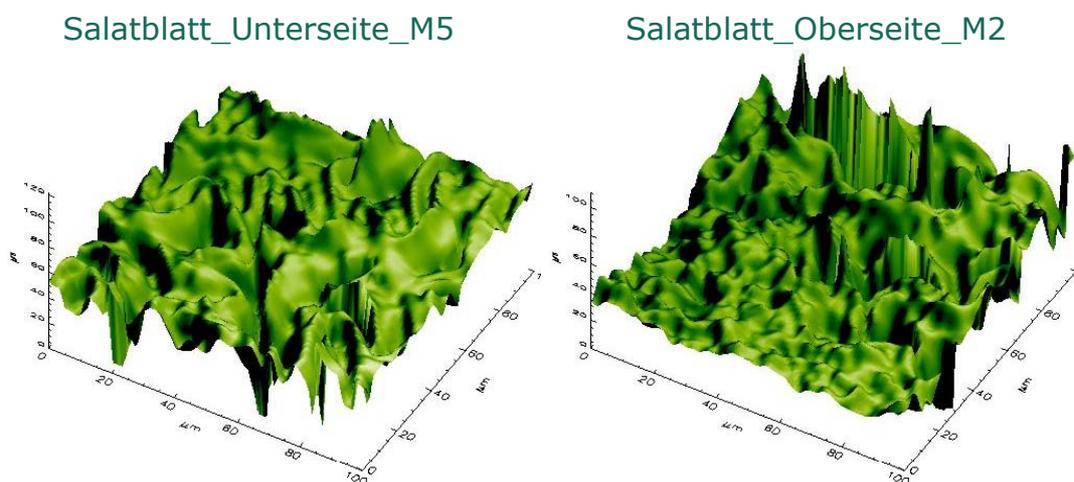


Bild 4: 3D-Ansicht von Teilflächen der Unter- und Oberseite eines jungen Salatblattes (Z-Achse nicht kalibriert, die realen Werte sind ungefähr um den Faktor 2 kleiner)

Die 3D-Ansicht der Blattoberseite zeigt einen schroff ansteigenden Bereich, welcher möglicherweise auf ein messtechnisches Problem zurückzuführen ist. Um solche Erscheinungen interpretieren zu können, müssen erst weitere Erfahrungen mit der Topografiemessung gesammelt werden.

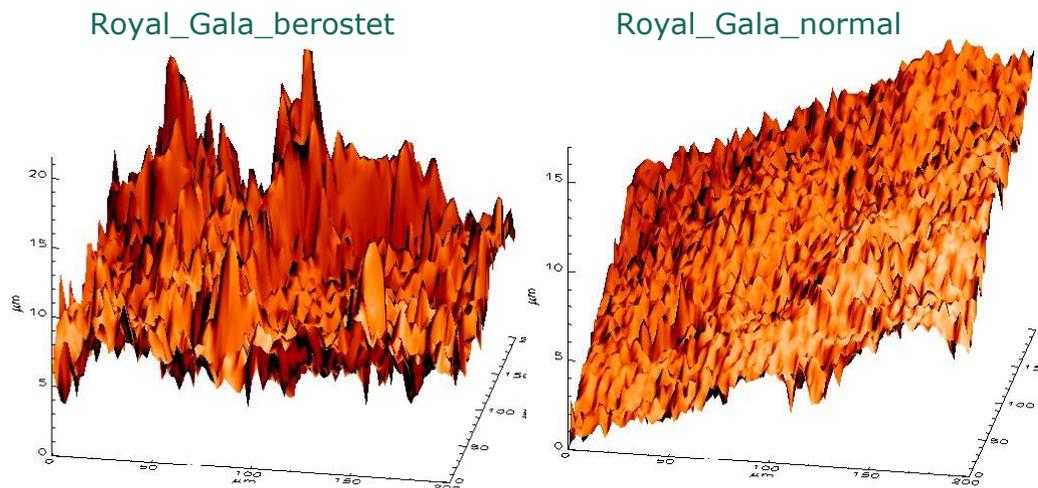


Bild 5: 3D-Ansicht von Teilflächen unterschiedlicher Beschaffenheit eines Apfels

An der Oberfläche von Äpfeln hebt sich Berostung sehr deutlich durch unregelmäßige hohe Peaks von einer normalen Fruchtoberfläche ab, welche ähnlich wie oben bei Physalis beschrieben eine feine Höckerstruktur aufweist (Bild 5).

Um zu quantitativen Ergebnissen zu gelangen, kann eine gerade Linie über die abgetastete Teilfläche gelegt und deren Höhenprofil ausgewertet werden. Die Höhenprofile längs solcher Linien an der Oberfläche einer Weinbeere unpoliert (mit Wachsreif) und mit einem Tuch poliert zeigt Bild 6. Die maximalen lokalen Höhenunterschiede betragen vor dem Polieren etwa 2  $\mu\text{m}$ , danach noch etwa 0,8  $\mu\text{m}$ .

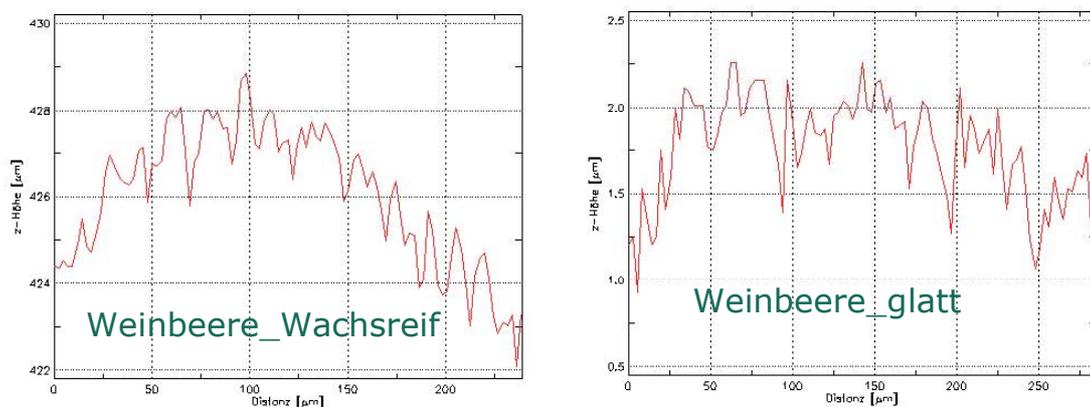


Bild 6: Höhenprofile an der Oberfläche einer Weinbeere vor und nach Polieren des Wachsreifs

Die Auswertung von je drei unterschiedlich auf jeder Teilfläche platzierten Profillinien vor und nach dem Polieren nach standardisierten Rauheitsparametern ist in Tafel 1 dargestellt. Die Parameter der Profile mit der Nummer 3 entsprechen den in Bild 6 gezeigten Höhenprofilen. Die zufällig in die Teilflächen unterschiedlicher Beschaffenheit gelegten Profillinien weisen charakteristisch unterschiedliche Parameterwerte auf. Dies weist darauf hin, dass Rauheitsparameter zur Charakterisierung der Fruchtoberfläche geeignet sein könnten. Zur Bestätigung dieses Hinweises sind aber noch umfangreichere Untersuchungen erforderlich.

Tafel 1: Auswertung der Höhenprofile von Teilflächen der Oberfläche einer Weinbeere

Parameter in $\mu\text{m}$	Weinbeere Wachsreif			Weinbeere glatt		
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Ra	0,284	0,357	0,433	0,127	0,104	0,121
Rq	0,352	0,462	0,531	0,153	0,133	0,158
Rz (DIN)	1,237	1,656	1,845	0,500	0,471	0,596
Rmax	1,410	2,075	2,357	0,705	0,725	0,826

Erläuterung der Parameter (nach DIN EN ISO 11562 und 4287):

Ra – arithmetischer Mittenrauhwert, Rq – quadratischer Mittenrauhwert, Rz (DIN) – Rauhtiefe (gemittelte Rauhtiefe), Rmax – maximale Rauhtiefe.

## 6. Ausblick

Mikroskopische 3D Oberflächenanalysen mit Hilfe der Mikrotopografie sind geeignet, unterschiedliche Zustände der Oberflächenbeschaffenheit landwirtschaftlicher Produkte quantitativ zu differenzieren. Die Auswertung des Oberflächenprofils z.B. mit Hilfe von standardisierten Rauheitsparametern kann zur Beurteilung des Einflusses von Bearbeitungsverfahren und physiologischen Vorgängen auf die Produktoberfläche genutzt werden.

Grundlegende Untersuchungen sind notwendig, um spezifisch angepasste Parameter zur Beurteilung der Oberflächenqualität landwirtschaftlicher Produkte zu entwickeln.

## 7. Literatur

- [1] **Dietz C, Jurca M (1997)** Eine Alternative zum Laser – Ein Weißlicht-Messverfahren dringt in den Sub- $\mu\text{m}$ -Bereich ein. Sensormagazin, Nr. 4 (1997)
- [2] **Jakob G, Schullerus W (1999)** Topographische Messungen am Beispiel des elektrofotografischen Prozesses. Sensormagazin, Nr. 1 (1999)
- [3] **Bedienungsanleitung NEMESIS** Topografie und Schichtdickenmessung, Vers. 0.9 vom 01.02.2002, Jurca Optoelektronik GmbH & Co.KG, Rodgau
- [4] **Bedienungsanleitung CHR 150 N** (Stand 11/07/01). Jurca Optoelektronik GmbH & Co.KG, Rodgau

## Automatische und manuelle Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen im Vergleich

### *Comparison of automatic and manual weed mapping in sugar beet*

Isabelle Philipp<sup>1</sup>, Henning Nordmeyer<sup>2</sup> und Thomas Rath<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover.

Email: [philipp@itg.uni-hannover.de](mailto:philipp@itg.uni-hannover.de), Email: [H.Nordmeyer@bba.de](mailto:H.Nordmeyer@bba.de)

<sup>2</sup> Institut für Unkrautforschung, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig. Email: [rath@itg.uni-hannover.de](mailto:rath@itg.uni-hannover.de)

**Kurzfassung:** Für die Entwicklung eines Verfahrens zur Erkennung und Differenzierung von ein- und zweikeimblättrigen Unkräutern mit Hilfe der digitalen Bildanalyse wurden auf verschiedenen Versuchsflächen in der Kultur Zuckerrüben Unkrautkartierungen durchgeführt. Ziel der Untersuchung war der Vergleich zwischen manueller und automatischer Kartierung des Unkrautvorkommens.

Es konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe einer bildanalytisch gestützten automatischen Kartierung monokotyle und dikotyle Unkräuter erfasst werden können. Dabei war die Erkennungssicherheit bei dikotylen Arten höher. An der Optimierung der Verfahren zur automatischen Erkennung, insbesondere der monokotylen Unkrautarten, wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt gearbeitet.

**Deskriptoren:** automatische Unkrautkartierung, Bildverarbeitung, Pflanzenerkennung

**Summary:** *Experiments were carried out to develop algorithms for automatic detection and discrimination of monocotyledonous and dicotyledonous weeds in sugar beet by use of digital image processing. The comparison of weed distribution based on manual weed mapping and automatic weed mapping by digital camera showed, that the automatic method was able to detect the patches of monocotyledonous and dicotyledonous weeds. The accuracy of detection of dicotyledonous weeds was higher. The development of the algorithm for detection of monocotyledonous weeds by digital image processing is still in process.*

**Keywords:** *automatic weed mapping, image processing, plant discrimination*

## 1. Einleitung

Strategien zur Reduktion von Pflanzenschutzmittelanwendungen gewinnen in der Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Es ist ökologisch und ökonomisch sinnvoll, Herbizide nur teilflächenspezifisch auszubringen, anstatt bei heterogenem Unkrautvorkommen die Schläge ganzflächig zu behandeln (Nordmeyer *et al.* 1997). Um eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation durchführen zu können, müssen genaue Informationen über die aktuelle Unkrautverteilung vorliegen. Dieses kann zum Beispiel durch eine manuelle Unkrautkartierung realisiert werden, jedoch ist dieses Verfahren sehr arbeits- und zeitaufwendig. Daher ist es das Ziel, ein Verfahren zur automatischen bildgestützten Unkrauterkenntnis und -differenzierung zu entwickeln, um die Voraussetzungen für eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation zu schaffen. Im Rahmen der hier beschriebenen Arbeiten wurden bildanalytische Kartierungen mit manuellen Kartierungen verglichen.

## 2. Material und Methoden

Die Untersuchungen zur manuellen und computerbildanalytischen Unkrautkartierung in Zuckerrüben wurden 2001 und 2002 auf zwei Versuchsflächen („Ochsenberg“ 9 ha, „Sportplatz West“ 14 ha) der Domäne St. Ludgeri im Landkreis Helmstedt durchgeführt. Exemplarisch für die erzielten Ergebnisse wird im folgenden nur die Versuchsfläche „Sportplatz West“ näher betrachtet.

### 2.1. Manuelle Unkrautkartierung

Bei der manuellen Unkrautkartierung wurden jeweils 2 Zählrahmen an 110 Kartierungspunkten („Sportplatz West“) ausgezählt. Die Kartierung erfolgte durch fahrgassenorientierte Feldbegehungen mit satellitengestützter Positionserfassung (DGPS) und Datalogger zur geocodierten Dateneingabe (siehe Nordmeyer *et al.* (1997)). Der Fahrgassenabstand betrug auf allen Flächen 18 m. Für die Unkrauterfassung wurde eine Rasterweite von 25 m x 36 m gewählt. An jedem Rasterpunkt wurden Art und Dichte der Unkräuter pro Zählfläche ( $2 \times 0,1 \text{ m}^2$ ) mit Hilfe von Göttinger Zählrahmen ermittelt. Somit repräsentierten 220 Messstellen die Unkrautverteilung auf der Versuchsfläche (Bild 1(a)).

## 2.2. Computerbildanalytische Unkrautkartierung

Die durchgeführten automatischen Kartierungen wurden in eine halb-automatische und eine automatische Kartierung unterteilt. Bei beiden Methoden wurden mit Hilfe einer digitalen Photokamera (Olympus Camedia 3030 Zoom) Farbaufnahmen der Kartierungspunkte erstellt. Die Aufnahmen fanden unter Tageslichtbedingungen ohne Blitz (Vermeidung von Reflexionen) bei Sonne bzw. leichter Bewölkung statt. Für die halb-manuelle Kartierung wurden die Aufnahmen von Hand mit Hilfe eines Abstandsmaßstabes durchgeführt, um die Aufnahmehöhe von ca. 25 cm konstant zu halten. Auf jedem Bild war ein Ausschnitt (Zuckerrübe mit Verunkrautung) von 50 cm x 38 cm zu sehen. Die Auflösung der Bilder betrug 2048 Pixel x 1536 Pixel.

Bei der automatischen Kartierung wurde die Kamera am Schlepper montiert und alle 10 m ausgelöst. Die Aufnahmehöhe betrug ebenfalls ca. 25 cm. Es wurden 434 Messstellen aufgenommen (siehe Bild 1(b)).

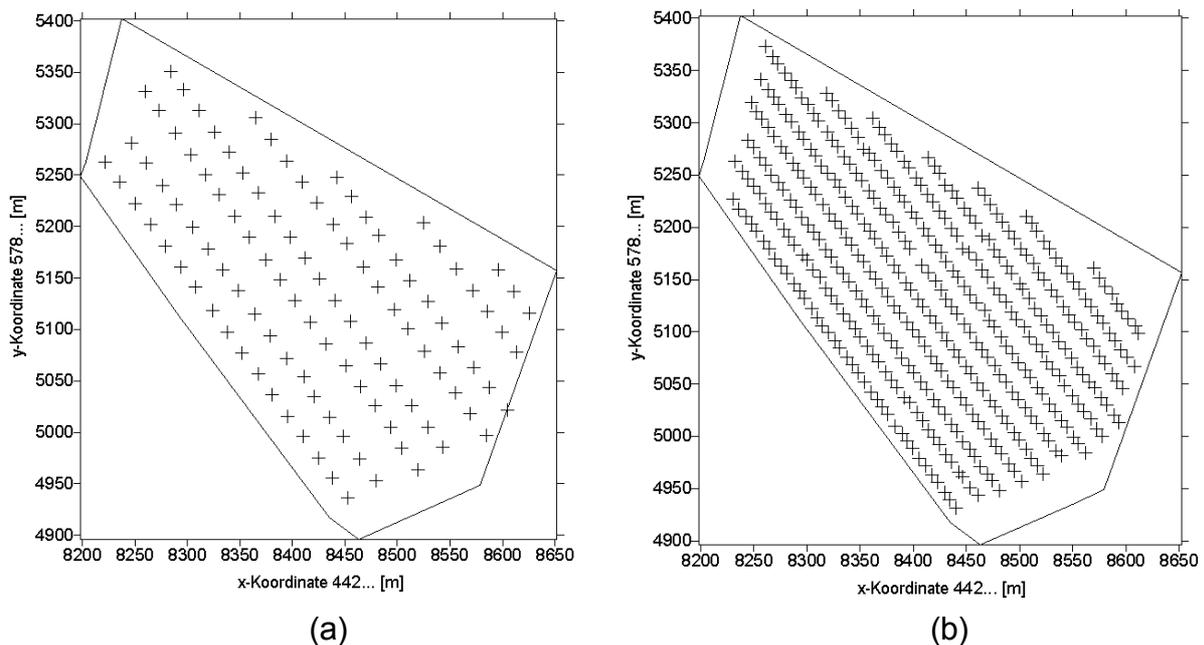


Bild 1: Rasterpunkte der Versuchsfläche „Sportplatz West“. (a): manuelle und halb-automatische Kartierung (220 Kartierungspunkte); (b): automatische Kartierung (434 Kartierungspunkte).

Die Aufnahmen wurden am PC ausgewertet. Dazu wurden sie zunächst in den  $i3_{\text{new}}$ -Farbkanal transformiert (siehe Philipp und Rath 2002), anschließend erfolgte eine automatische Binarisierung, basierend auf dem jeweiligen Grauwert histogramm des Bildes. Die

so erzeugten Pflanzenregionen wurden mit Hilfe verschiedener Formparameter differenziert und klassifiziert. Den Formparametern lagen die Objektskelette, die Konturen, die Pixelflächen der Pflanzenregion sowie grundlegende geometrische Vergleichsobjekte (Rechteck und Kreis) zugrunde.

Die bildanalytische Auswertung erfolgte mit den Softwareprogrammen Halcon (MVTec 1998), C++ (Microsoft 1998) und SAS (Sas Institute 1999).

### 3. Ergebnisse

Basierend auf den DGPS-Daten und den Kartierungsergebnissen wurden Unkrautverteilungskarten erzeugt.

Bild 2 stellt die Ergebnisse der manuellen Kartierung sowie die Ergebnisse der halb-automatischen und der automatischen Kartierung der Versuchsfläche dar.

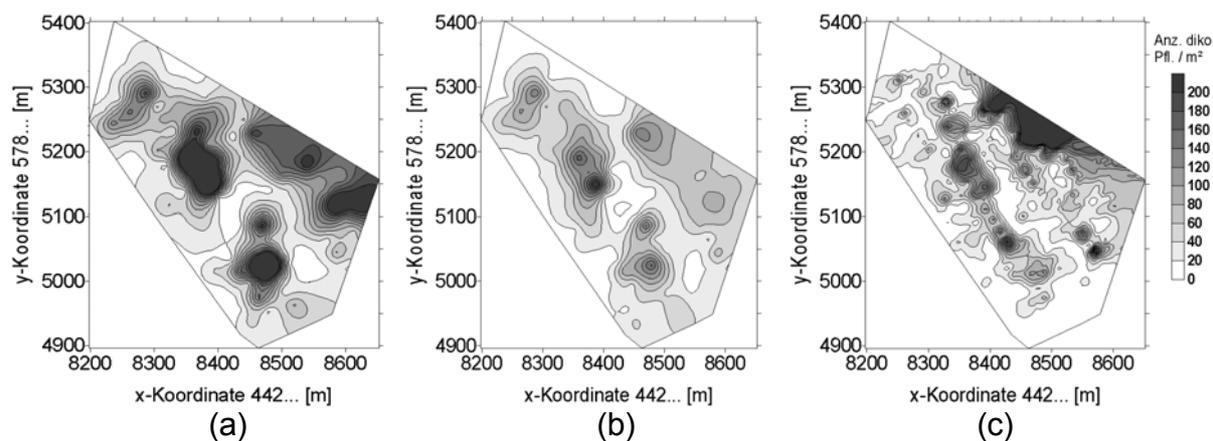


Bild 2: Verteilungskarten dikotyle Pflanzen. (a): basierend auf manueller Kartierung; (b): basierend auf halb-automatischer Kartierung; (c): basierend auf automatischer Kartierung.

Werden die Karten (a) und (b) in Bild 2 verglichen, so wird deutlich, dass bei beiden Verfahren die selben Unkrautmuster erkannt werden. Es ist jedoch auch zu erkennen, dass das halb-automatische Verfahren eine geringere Unkrautintensität ermittelt, speziell wenn Unkrautdichten von über 200 Pflanzen/m<sup>2</sup> vorkommen. Hierbei führt die hohe Anzahl an Unkräutern zu überlappenden Pflanzenteilen. Der Algorithmus zur bildanalytischen Pflanzenerkennung kann in diesen Fällen die Einzelpflanzen nicht optimal differenzieren. Bild 2 (c) zeigt, dass es bei Erhöhung der Anzahl der Kartierungspunkte trotz gleicher Auswerteverfahren wie in Bild 2 (b) zu einer deutlichen Änderung der Verteilungsmuster

kommt. Bild 3 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für die Verteilung der monokotylen Unkräuter. Die schlechtere Differenzierungsgüte wird deutlich, allerdings muss die insgesamt geringere Dichte monokotyler Unkräuter auf der Fläche berücksichtigt werden. Untersuchungen zur Interpretation des geringen Unkrautbesatzes bei automatischer Kartierung (Bild 3 (c)) stehen noch aus.

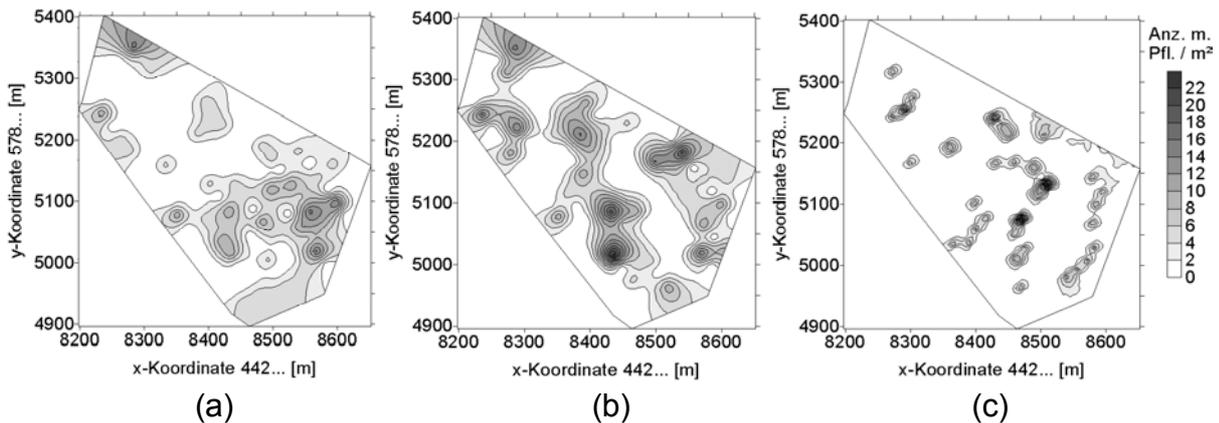


Bild 3: Verteilungskarten monokotyler Pflanzen. (a): basierend auf manueller Kartierung; (b): basierend auf halb-automatischer Kartierung; (c): basierend auf automatischer Kartierung.

#### 4. Schlussfolgerung und Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass eine bildgestützte Automatisierung der Unkrautkartierung realisierbar ist und zu nutzbaren Ergebnissen führt. Probleme treten zur Zeit noch speziell bei der Pflanzendifferenzierung mit höheren Unkrautdichten und im Bereich der Erkennung monokotyler Unkräuter auf. Inwieweit diese Probleme zur Einschränkung bildanalytischer Verfahren beim teilflächenspezifischen Herbizideinsatz führen, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Dabei ist zu beachten, dass durch die erhöhte Anzahl an Kartierungspunkten bei der bildanalytisch gestützten automatischen Kartierung prinzipiell eine höhere Informationsdichte über die Unkrautverteilung zur Verfügung steht. Dieses könnte durchaus die Fehleranfälligkeit der Differenzierungsalgorithmen ausgleichen.

Weitere Untersuchungen von möglichen Stör- und Einflussfaktoren werden zur Zeit durchgeführt.

## 5. Literatur

**Microsoft (1998)** Visual C++, Version 6.0

**MVTec (1998)** HALCON Reference Manual C++ Version 5.02. MVTec Software GmbH München

**Nordmeyer H, Häusler A, Niemann P (1997)** Patchy weed control as an approach in precision farming. Proceedings 1. European Conference on Precision Agriculture, 307-314

**Philipp I, Rath T (2002)** Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformations. Computers and Electronics in Agriculture, 35, 1-15

**SAS Institute (1999)** SAS Online Doc. Version 8, SAS Institute Inc., Cary NC, USA

## Photodioden- und Kamerasysteme: Alternative Lösungsansätze zur Messung des Unkrautvorkommens

### *Photo Diode and Camera Systems: Alternative Solutions for Weed Detection*

Arno Ruckelshausen, Andreas Linz, Sascha In der Stroth, Bernd Ramler, Arnd Kielhorn, Dirk Schwermann  
Fachhochschule Osnabrück  
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme (ISYS)  
Email: [Ruckelshausen.Os@T-Online.de](mailto:Ruckelshausen.Os@T-Online.de)

**Kurzfassung:** Die automatische Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern stellt die maßgebliche Voraussetzung zum Einsatz einer online-Aktorik zur Unkrautbekämpfung dar. Zur Beschleunigung des Transferprozesses umfangreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in verfügbare Produkte ist die Messung der Flächenbelegung von Unkräutern von aktuellem Interesse. Für neue Photodioden-Systeme sowie für eine Spektalkamera wurden hierzu technische Lösungen realisiert.

Die Entwicklung der Photodioden-Systeme basiert auf der Verwendung von Wellenlängensensoren oder Farbsensoren, die keine optischen Filter benötigen und daher einen Lösungsansatz für low-cost-Varianten darstellen. Es wird die Reflexion gepulster LED-Lichtquellen ausgesuchter Spektralbereiche gemessen und dadurch eine Fremdlichtunabhängigkeit erzielt. Die Spektalkamera ("ImSpector") erfasst eine geometrische Zeile, wobei jeder Punkt spektral zerlegt wird. Die Position/Wellenlängen-Matrix wird von einer CMOS-Kamera ausgelesen und ermöglicht eine zuverlässige Boden-Pflanzen-Unterscheidung mit einem Messfleck im  $\text{mm}^2$ -Bereich bis zu 10 km/h.

**Deskriptoren:** Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung, spektrale Bildanalyse, Sensorsysteme

**Summary:** *The application of online actor systems for weed control is strongly based on automatic crop-weed detection. In order to speed up the process of transferring research results into available products the measurement of the total weed population has come into focus. Technical solutions for a photo diode system and a spectral imaging system have been realized.*

*The development of the photo diode system is based on wavelength or color sensors, which don't need additional color filters and thus offer a low-cost solution. The reflection of pulsed LEDs with light from selected wavelengths is measured, independent of light influence from other sources. The "ImSpector" is a spectral imaging system, which scans one geometric line thereby splitting each point into its spectral parts. The position-wavelength-matrix is analyzed by a CMOS-camera and allows a high selective soil-plant discrimination with a resolution in the  $\text{mm}^2$ -range for speeds up to 10 km/h.*

**Keywords:** *Site specific weed control, spectral imaging, sensor systems*

## 1. Einführung

Umfangreiche Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Erkennung und Unterscheidung von Pflanzen haben in den letzten Jahren Fortschritte bei der Entwicklung eines online Sensor-Aktor-Systems zur lokalen Unkrautregulierung gebracht. Die wesentlichen Ansätze (siehe Bild 1) beruhen auf Unterschieden in der Pflanzenmorphologie, dem spektralen Reflexionsverhalten oder der Einbeziehung der Position bzw. Frequenz der Nutzpflanzen (Bontsema 2002). Bei der sensorischen Erfassung der Merkmale wurden Photodiodensysteme (Biller 1997, Wartenberg 2000), Kameras (Gerhards 1998, Sökefeld 2002) sowie Multisensor-Systeme (Ruckelshausen 1999, Kielhorn 2000) eingesetzt. Eine Umsetzung in kommerziell verfügbare Produkte für online-Anwendungen ist bisher jedoch aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgt.

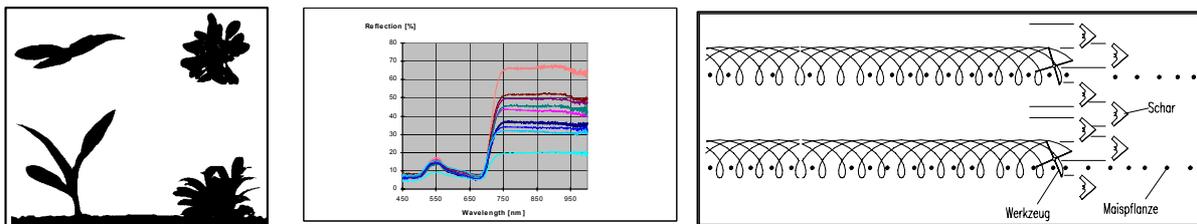


Bild 1: Eigenschaften von Pflanzen (links: geometrisch; mitten: spektral; rechts: positionsbefug)

Da es einerseits keine praxisnahe Lösung zur online Pflanzenunterscheidung gibt, andererseits der prozentuale Anteil der Grünfläche gegenüber dem Boden leichter messbar ist, ist die Messung der Unkraut-Flächenbelegung in Pflanzenkulturen stärker in die Diskussion zur Unkrautregulierung einbezogen worden. Insbesondere könnten low-cost-Lösungen den Einsatz mehrerer Systeme ermöglichen und damit sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bringen. Auch gibt es Einschätzungen, dass der Einstieg in die lokale automatisierte Unkrautregulierung weitere Impulse bei der praxisnahen Entwicklung von Sensorsystemen liefern wird.

Im Rahmen der unten dargestellten Entwicklungen wurde daher der Fokus einerseits auf – gegenüber Kameralösungen - kostengünstige Photodiodensysteme gelegt, die zwischen mehreren Reihen eingesetzt werden können. Andererseits werden für selektivere Verfahren sowohl morphologische als auch spektrale Signaturen zu erfassen sein, so dass

"Spectral Imaging" als alternative Lösung gesehen wird. Ein qualitatives Kosten-Qualitäts-Diagramm ist im Bild 2 dargestellt (Ruckelshausen 2002).

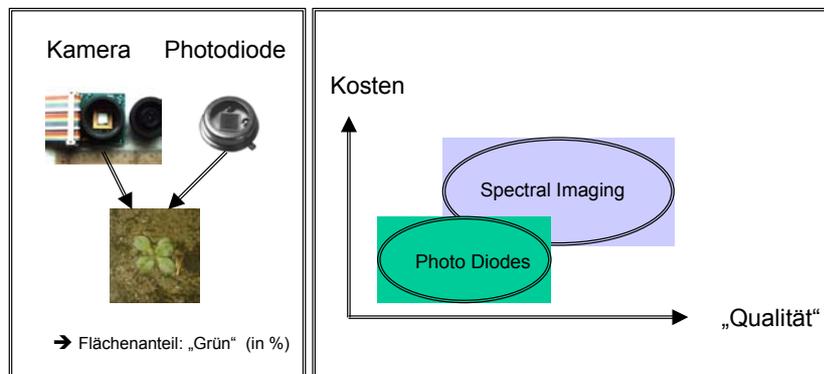


Bild 2: Qualitatives Kosten-Qualitäts-Schema zur Messung der Flächenbelegung in Pflanzkulturen (Ruckelshausen 2002)

## 2. Photodioden-Systeme

Das spektrale Reflexionsvermögen von Pflanzen unterscheidet sich deutlich vom Boden, so dass über die Quotientenbildung signifikanter Wellenlängen eine Boden-Pflanzen-Unterscheidung getroffen werden kann. Im Feld ergibt sich zwar durch die Überlagerung aller Reflexionen eines Flächenbereichs eine "Mischinformation" und damit eine prinzipiell geringere Selektivität gegenüber quasipunktförmigen Abtastungen, jedoch stellen die geringen Kosten der Systeme in der Praxis eine Alternative gegenüber bildgebenden Lösungen dar. Bild 3 zeigt einen entsprechenden Sensor, wobei Photodioden (SFH-213, Osram) mit Spektralfiltern bei 670 und 750 nm sowie eine Halogenbeleuchtung verwendet werden. Nimmt man als Maß für die Selektivität das Verhältnis der Quotienten von Pflanze zu Boden (jeweils 750 nm/670 nm) so erreicht man Werte oberhalb von 5, die ohne Berücksichtigung von Kostenaspekten eine optimale Lösung darstellen.



Bild 3: Testaufbau eines Boden/Pflanze-Sensors mit Photodioden

Da die Kosten maßgeblich von den Spektralfiltern bestimmt werden, bieten neue Entwicklungen bei Photodioden alternative kostengünstigere Lösungen (Ruckelshausen 2002). Bei dem "Wellenlängensensor" (Silicon Sensors, SSO-WS-7.56) handelt es sich um einen Siliziumsensor mit zwei übereinanderliegenden pn-Übergängen. Durch die unterschiedliche spektrale Absorption ergeben sich die im Bild 4 dargestellten Empfindlichkeitskurven. (Anmerkung: Für monochromatisches Licht kann aus dem Intensitätsverhältnis der beiden Diodensignale die Wellenlänge bestimmt werden.) Der Farbsensor (MAZeT GmbH, MCS3AT/BT) besteht aus drei integrierten Si-PIN Photodioden, wobei die optischen Eigenschaften durch onchip dielektrische Filter definiert werden (siehe Bild 5).

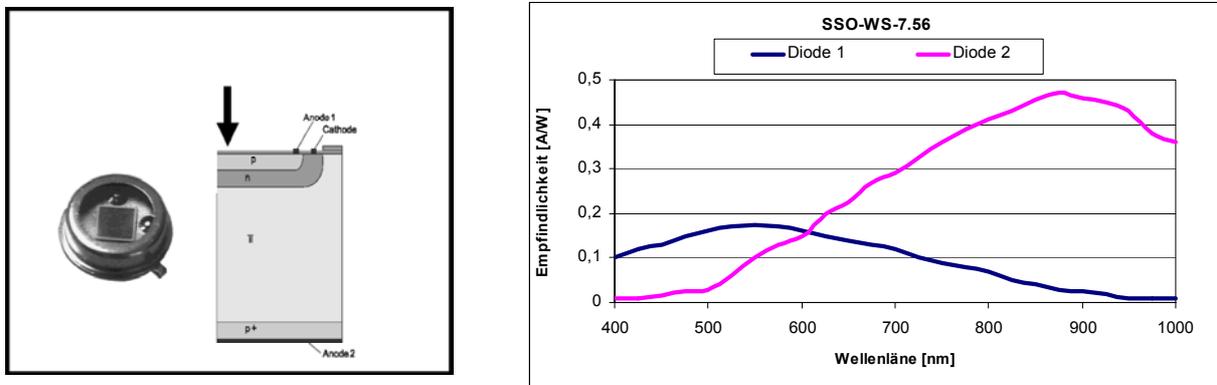


Bild 4: Wellenlängensensor SSO-WS-7.56 TO5i von Silicon Sensor (links: Sensor, Aufbau; rechts: Spektralempfindlichkeit)

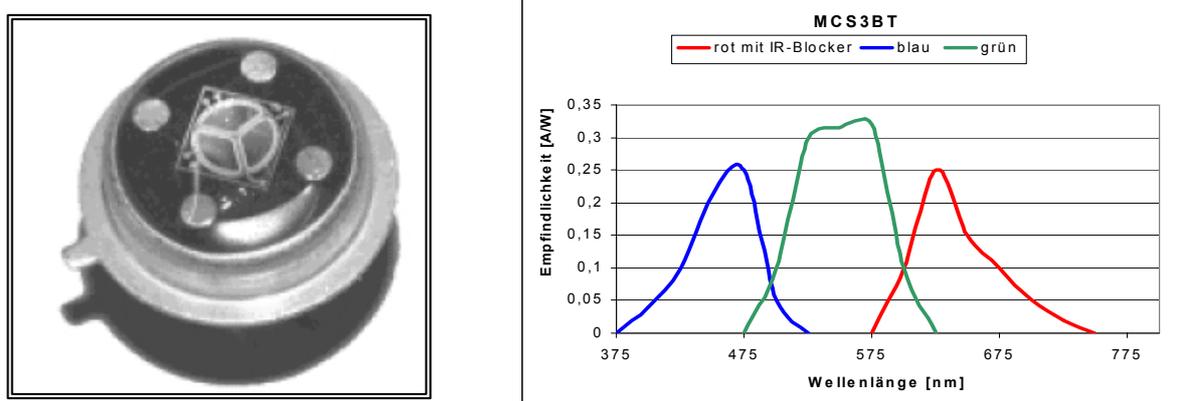


Bild 5: Farbsensor MCS3SAT von MAZeT (links: Sensor; rechts: Spektralempfindlichkeit)

Durch den Einsatz einer gepulsten Beleuchtung kann der Einfluss von Fremdlicht – in der Praxis meist die Einwirkung von Sonnenlicht – eliminiert werden. Wird jeweils eine Mes-

sung während des Lichtpulses und in der Pulspause durchgeführt, so kann der Anteil der Störstrahlung subtrahiert werden. Als Beleuchtungsquellen bieten sich LEDs an, die aufgrund der Entwicklung im Automobilbereich mit zunehmend höheren Lichtintensitäten verfügbar sind. Bild 6 zeigt die Spektralbereiche der verwendeten LEDs in Verbindung mit typischen Reflexionskurven für Pflanzen (am Beispiel Mais) und Boden. Durch die Verwendung des Wellenlängensensors und Farbsensors sowie der verschiedenen LEDs ergeben sich eine Reihe von Kombinationsmöglichkeiten zur Messung der Flächenbelegung. Hierbei ergaben sich für den Wellenlängensensor insbesondere gute Selektivitäten für die Kombinationen von Blau/IR (470 nm/750 nm) sowie Rot/IR (670 nm/750 nm). Bildet man die Quotienten auf die Flächenbelegung ab, so erhält man (für eine bestimmte geometrische Anordnung) beispielsweise folgende Ergebnisse: Messbereich 0 – 40 cm<sup>2</sup>, Genauigkeit ca. 0,5 cm<sup>2</sup>, Detektionsschwelle ca. 0,9 cm<sup>2</sup>. Diese Systeme sind weiter optimierbar, wobei Fahrgeschwindigkeiten bis 10 km/h mit dem vorhandenen mikrocontrollerbasierten System erreichbar sind.

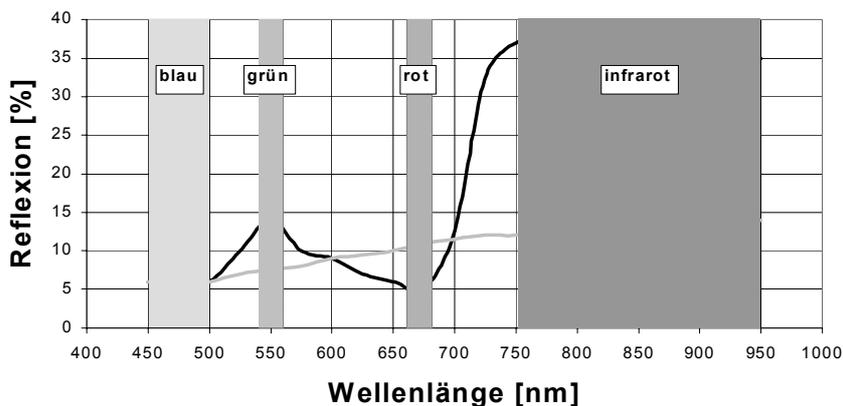


Bild 6: Spektralbereiche der verwendeten LEDs im Vergleich zum Reflexionsverhalten von Boden und Pflanzen (Ruckelshausen 2002)

### 3. Spectral Imaging

Die oben beschriebene Problematik der Überlagerung von Boden- und Pflanzensignalen wird durch kleine Messflächen vermieden. Durch Verbindung spezieller Kameras mit Spektralfiltern bei selektiven Wellenlängen kommen hier Lösungsansätze der Bildverarbeitung zur Anwendung (z.B. Sökefeld 2002). Ein alternativer Lösungsansatz stellt hierbei die spektrale Zerlegung einer Zeile dar ("ImSpector", Borregaard 1997). Die Aufnahme der

Position-Wellenlängen-Matrix mit einer Kamera ermöglicht die volle Flexibilität bzgl. der spektralen Analyse (siehe Bild 7). Durch Verwendung einer CMOS-Kamera können einzelne Zeilen oder Pixel adressiert werden und ermöglichen damit im Vergleich zu herkömmlichen CCD-Kameras kurze Bildaufnahmezeiten (Linz 1998). Es wurden Kameras von PixelINK (PL-A633) und Fillfactory (Fuga 1000) eingesetzt, die in Verbindung mit dem ImSpector Messflächen im Bereich von 1 bis 2 mm<sup>2</sup> auflösen.

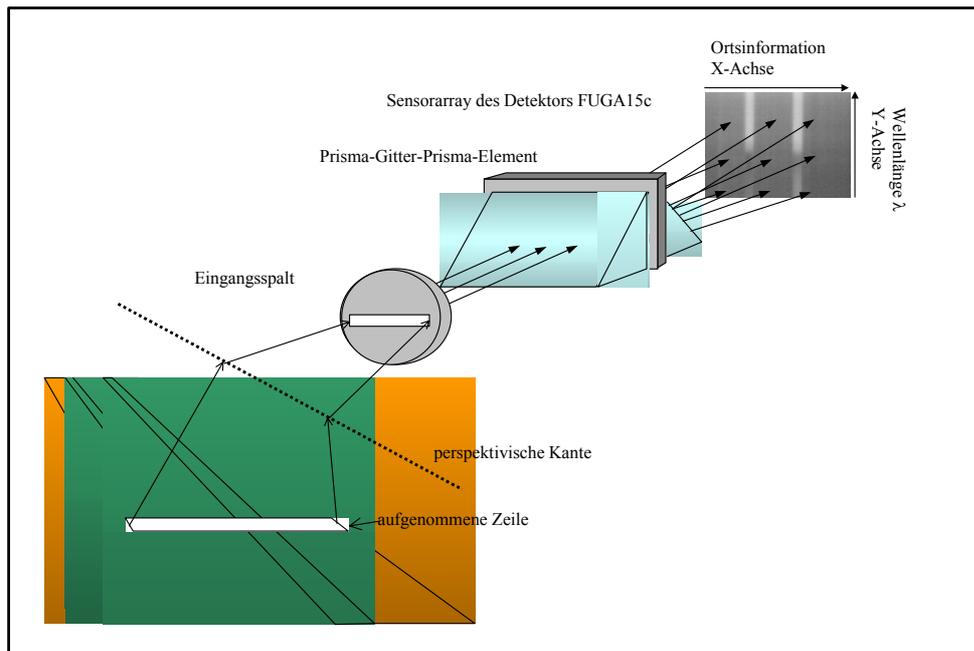


Bild 7: Arbeitsprinzip der Spektalkamera "ImSpector" zur Pflanzendetektion (Ruckelshausen, 2000)

In Verbindung mit einem Drehgeber erfolgt die Zuordnung zur jeweiligen Feldposition. Die entwickelte Software "WeedControl" steuert die Datenkommunikation zwischen Kamera und PC, die Kameraeinstellung, Bildverarbeitungsparameter sowie Aktoransteuerungen (siehe Bild 8). Bild 9 zeigt einen mit Pflanzen bedeckten Bereich, die Filterung durch das ImSpector/Kamera-System sowie die daraus resultierende Flächenbelegung, die als Signal zur Ansteuerung eines Aktors dient (Schwellwert). Das System zeichnet sich durch eine hohe Selektivität bis zu Geschwindigkeiten oberhalb von 10 km/h aus.

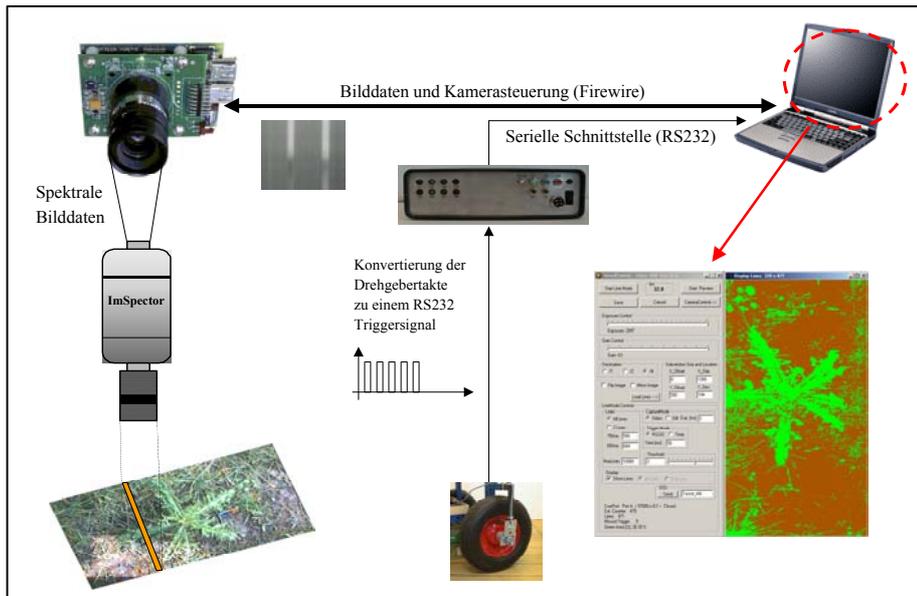


Bild 8: Architektur des Spectral-Imaging-Systems mit Optik (ImSpector) CMOS-Kamera, Wegaufnehmer, Signalverarbeitung und Software

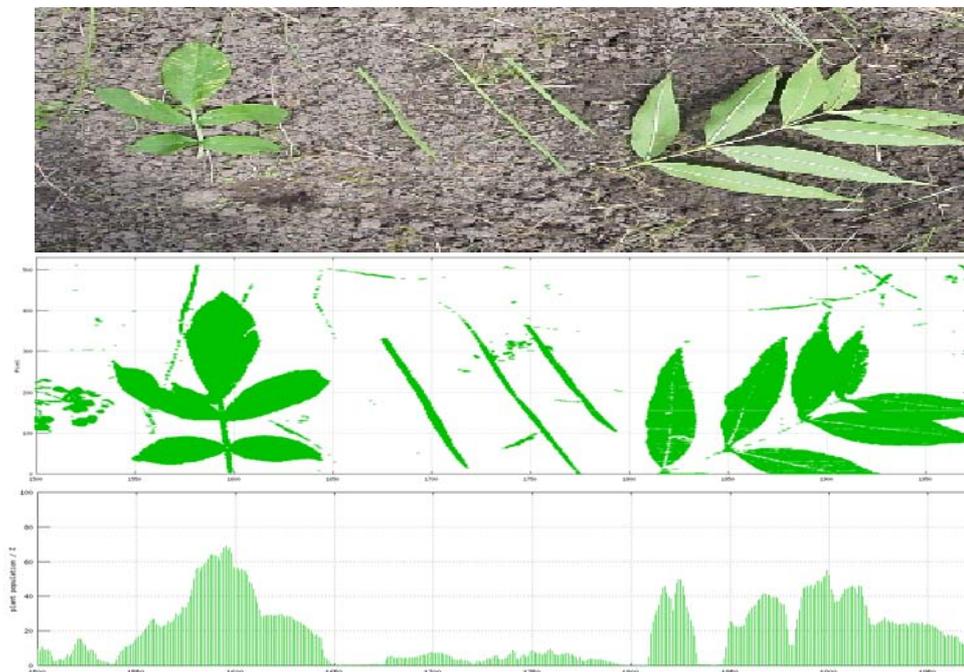


Bild 9: Messergebnisse (ImSpector) zur Boden-Pflanzen-Unterscheidung (oben: Photo; mitten: gescannte Oberfläche mit Boden-Pflanze-Trigger; unten: Flächenbelegung in Prozent)

#### 4. Diskussion und Ausblick

Es konnten technische Lösungsansätze gezeigt werden, die eine online-Boden-Pflanzen-Unterscheidung bis in den 10km/h-Bereich ermöglichen. Sollte die Flächenbelegung aus landwirtschaftlicher Sicht von Interesse sein, so können in Abhängigkeit von der geforderten Zahl der Messsysteme kostengünstige Photodiodenlösungen mit geringerer Empfindlichkeit (Detektionsschwelle im  $\text{cm}^2$ -Bereich; Preisbereich 10-100 €) oder empfindliche Spektralsysteme (ImSpector, Detektionsschwelle im  $\text{mm}^2$ -Bereich; Preisbereich ca. 6000 €) Anwendung finden. Neben der minimalen erfassbaren Fläche spielt bei großen Arbeitsbreiten insbesondere der statistische Charakter der Messungen eine wesentliche Rolle, so dass sich hieraus die Zahl der notwendigen Messsysteme ergibt. Für eine komplexere Störgrößenreduktion (z.B. Stroh, Steine) bietet das ImSpector-System gegenüber den diskret aufgebauten Photodiodensystemen weiterführende Analysemöglichkeiten.

#### Danksagung

Das Projekt wird in Kooperation mit dem ATB Potsdam-Bornim, der SYMACON Bildverarbeitung GmbH (Magdeburg) und Müller Elektronik (Salzkotten) durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt (ProSenso.net).

#### Literatur

- Biller RM, Hollstein A (1997)** "Erkennung und gezielte Kontrolle von Unkraut", Landtechnik 52 (6), 293,1997
- Bontsema J, van Asselt K, Groot T (2002)** "Intra-row weed control", Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 31, ISSN 0947-7314, S. 64-72
- Borregaard T (1997)** Application of imaging spectroscopy and multivariate methods in crop-weed discriminations; PhD thesis, Department of Agricultural Sciences, The Royal Veterinary and Agricultural University of Denmark; product information ImSpector: [www.specim.fi](http://www.specim.fi)
- Gerhards R, Sökefeld M, Kühbauch W (1998)** Einsatz der digitalen Bildverarbeitung bei der teil-schlagspezifischen Unkrautkontrolle. In: Z.PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVI, 273-278
- Kielhorn A, Dzinaj T, Gelze F, Grimm J, Kleine-Hartlage H, Kleine Hörstkamp S, Kuntze, W, Linz A, Naescher J, Nardmann M, Ruckelshausen A, Trautz D, Wisserodt E (2000)** Beikrautregulierung in Reihenkulturen - Sensorgesteuerte Querhacke im Mais; Z. PflKrankh. PflSchutz., Sonderheft XVII, 207-215

- Linz A, Klamt S, Berg T, Dzinaj T, Kleine Hörstkamp S, Ruckelshausen A, Sperschneider V, Wübben M (1998)** Einsatz des FUGA15C xc-Photodiodenarrays zur Erfassung von Pflanzenmerkmalen; Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XVI, 297-305
- Ruckelshausen A, Dzinaj T, Gelze F, Kleine Hörstkamp S, Linz A, Marquering J (1999)** "Microcontroller-based multi-sensor system for online crop/weed detection"; Proceedings of the International Brighton Conference "Weeds", pages 601-606
- Ruckelshausen A, Linz A (2000)** "CMOS-Kameras zur online Erfassung spektraler und geometrischer Signaturen von Pflanzen und Pflanzeigenschaften", Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 25, ISSN 0947-7314, pages 101-110
- Ruckelshausen A, Linz A, Huntemann L, Maßbaum F, Baier G (2002)** "Fremdlichtunabhängig Messung der Flächenbelegung in Pflanzenkulturen: Entwicklung von Low-Cost-Systemen mit neuen Spektralsensoren und gepulster Beleuchtung", Tagung Landtechnik 2002, VDI-Verlag, ISBN 3-18-091716-4, 145-150
- Sökefeld M, Gerhards R, Therburg R-D, Nabout A, Jacobi R, Lock R, Kühlbauch W (2002)** "Multispektrale-Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten"; Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft XVIII, 437-442, ISSN 0938-9938
- Wartenberg G, Dammer KH (2000)** "Teilflächenspezifische Unkrautregulierung im Echtzeitbetrieb", Tagung, Landtechnik 2000, VDI-Verlag, ISBN 3-18-091544-7, pages 281-287

## Bildanalytische Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades in Winterweizen

### *Estimating soil cover in winter wheat using image analysis*

Martin Kraft

Institut für Technologie und Biosystemtechnik

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

**Kurzfassung:** Im Beitrag werden Potenziale der Bildanalyse zur Beschreibung des Wachstumszustandes von Pflanzenbeständen dargestellt. In vertikalen Fotoaufnahmen eines Winterweizenbestandes wird mit Hilfe der Computerbildanalyse der Bodenbedeckungsgrad bestimmt. Bei reduzierter N-Düngung weist der Bestand einen signifikant geringeren Bodenbedeckungsgrad auf. Der störende Einfluss unterschiedlicher Bestandeslücken auf den Bodenbedeckungsgrad wird aufgezeigt. Abschließend wird in einer ersten Farbauswertung, die sich auf Bildpunkte mit grünen Pflanzen beschränkt, gezeigt, dass die Farbsättigung in den frühen Wachstumsphasen ein geeigneterer Indikator für die N-Versorgung zu sein scheint als der Farbton.

**Deskriptoren:** Bodenbedeckungsgrad, Bildanalyse, Winterweizen, Lücken, Farbton, Farbsättigung

**Summary:** *In this paper image analysis capabilities for describing the crop growth are presented. In vertically taken photographs of a winter wheat canopy the soil cover is calculated using computer image analysis. With reduced N fertilization the crop canopy's soil cover is significantly lower than with common (higher) N fertilization. Different percentages of missing individual plants are a problem while interpreting soil cover as growth indicator. Finally a first colour evaluation restricted to green plant pixels is presented showing that the colour saturation seems to be a more suitable indicator of different N supply than colour hue.*

**Keywords:** *Soil cover, image analysis, winter wheat, gaps, colour saturation, colour hue*

## 1. Einleitung

Die spektraloptische Messung von Pflanzenbeständen hat sich in der Fernerkundung seit Jahren bewährt und wird z.B. für die Agrarstatistik und die Agrarmeteorologie eingesetzt. Seit 1999 ist mit dem Hydro-N-Sensor von Hydro Agri (s. Beitrag von Müller *et al.* in diesem Band) ein schleppergetragenes spektraloptisches Messsystem zur teilflächenspezifischen Bestimmung des Nährstoffbedarfes erhältlich. Allen diesen Geräten liegt ein flächenintegrierendes Messprinzip zu Grunde. Im spektralen Reflexionssignal des Pflanzenbestandes vereinen sich Farbinformationen der unbedeckten Bodenfläche mit den Farbanteilen grüner, chlorotischer und abgestorbener Pflanzenteile. Ein aus den spektralen Messwerten berechneter Vegetationsindex, der grob vereinfacht die Chlorophyllmenge je  $m^2$  anzeigt, kann somit nicht unterscheiden, ob eine bestimmte Chlorophyllmenge von einem dichten Pflanzenbestand mit mäßigem Chlorophyllgehalt oder von einem offeneren Pflanzenbestand mit hohem Chlorophyllgehalt der Blätter herrührt. Hierfür wird zusätzlich zum spektralen Signal eine Aussage zum LAI (Blattflächenindex, leaf area index) benötigt. Dieser kann durch spektrale Messungen oder durch zweidimensionale Bildauswertung nicht direkt bestimmt werden; dagegen bietet sich die Bildauswertung zur quantitativen Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades an, der sich bei niedrigen LAI-Werten als Ersatzgröße für den LAI eignet.

Die Zustandsbeschreibung mittels automatischer Bildanalyse ist nicht neu. Cassady *et al.* (1996) haben mit Hilfe der Bildanalyse Größenparameter an seitlich aufgenommenen Reispflanzen bestimmt. Petry und Kühbauch (1988) haben in vertikalen Aufnahmen grüne Pflanzen segmentiert, um den Unkrautbedeckungsgrad zu ermitteln. Richardson *et al.* (2001) haben Kalibrierversuche zur automatisierten Quantifizierung von Lücken in Rasen veröffentlicht; siehe zu diesem Thema auch den Beitrag von Rademacher *et al.* in diesem Band.

In diesem Beitrag wird zunächst dargestellt, wie sich in Bildaufnahmen die Bildpunkte in die Hauptklassen "Boden" und "Pflanze" unterscheiden lassen. Auf diese Weise lässt sich automatisch der Bodenbedeckungsgrad als Anteil der Pflanzenpixel an der gesamten Bildoberfläche berechnen. Es wird gezeigt, dass sich der Bodenbedeckungsgrad bereits an sich als Vegetationsindex zur Beschreibung des Pflanzenwachstums eignet, wobei Bestandeslücken als Störgröße auftreten können. Die weitere Auswertung z. B. der Farbinformation beschränkt sich dann auf die Pflanzenpixel, so dass die Farbe und der Anteil der Bodenfläche nicht mehr (oder in deutlich geringerem Maße als bei flächenintegrierenden Verfahren) die Farbinformation der Pflanzen verfälschen.

## 2. Material und Methode

Auf der Versuchsstation der FAL in Braunschweig wurde im Kulturjahr 2001/2002 Winterweizen (Batis) angebaut. Es erfolgte eine praxisübliche N-Düngung (N+) mit Ausnahme von zwei Streifen, bei der die N-Versorgung auf 50 % der praxisüblichen Menge reduziert wurde (N-). Die Versuchsanstellung erfolgte im FACE-Projekt des Instituts für Agrarökologie (Free Air Carbon Dioxide Enrichment, <http://aoe.fal.de/co2projekt.htm>). Auf den Faktor CO<sub>2</sub> wird hier nicht eingegangen.

Für die Bildaufnahmen wurden 44 Flächenausschnitte von jeweils 90 cm x 63 cm markiert (20 N-, 24 N+). Zu 11 Terminen wurden diese Flächenausschnitte mit einer handelsüblichen Digitalkamera (EPSON Photo PC 3000Z) vertikal aufgenommen. Die Aufnahmen fanden um die Mittagszeit statt; durch ein vertikales Schild an der Südseite der aufgenommenen Flächen wurde die direkte Sonnenbestrahlung abgeschirmt; die natürliche Beleuchtung wurde ansonsten nicht beeinflusst. Die Kamera wurde auf die feste Farbabstimmung der Standardkonfiguration gestellt, so dass sie keinen automatischen Farbabgleich durchführte.

Die Aufnahmen wurden im Computer Pixelweise klassifiziert. Als Klassifikationsverfahren wurden das k-nearest-neighbour-Verfahren eingesetzt. Die drei Kanäle des rgb-Bildes bildeten die drei Dimensionen des Merkmalsraumes, wobei zur Verringerung des Rechenaufwandes die rgb-Grauwerte jeweils linear von dem Ganzzahlenbereich 0 – 255 auf 0 – 85 herunterskaliert wurden.

Für die Klassifikation wurden a priori vier Klassen definiert:

SOI	Boden, Steine
GRE	grüne Blätter
YEL	gelbe (chlorotische) und abgestorbene Blätter
WHL	infolge einer unzureichenden Abschattung weiß aufgenommene sonnenbestrahlte Blätter

Für das Training des Klassifikators wurden zu jedem Zeitpunkt vier Aufnahmen (je 2 N- und 2 N+) zufällig ausgewählt und je Aufnahme ca. 5 Trainingsflächen je Klasse manuell markiert. Bei der Klassifikation aller Bilder wurden Klassifikationsprobleme infolge Ähnlichkeiten und Überschneidungen einzelner Klassen deutlich.

Durch manuell ausgewählte weitere Trainingsausschnitte problematischer Bereiche wurde der Trainingsdatensatz erweitert und die Klassifikationsleistung verbessert.

Zur Auswertung wurde der Bodenbedeckungsgrad  $covrg$  bestimmt aus der Anzahl  $n_{class}$ , ( $class = \{SOI, GRE, YEL, WHL\}$ ) der Pixel in den drei Klassen (GRE, YEL, WHL) und der Gesamtzahl der Pixel  $n$ :

$$covrg = \frac{n_{GRE} + n_{YEL} + n_{WHL}}{n} \quad (1)$$

Der Pflanzenbestand enthielt Lücken. Um den Einfluss der Lücken auf den gemessenen Bodenbedeckungsgrad zu untersuchen, wurden die Lücken manuell in den Bildern des Aufnahmeterrains 20. April gemessen. Hierzu wurden entlang der Säreihen alle Stellen identifiziert, an denen mindestens 3 Pflanzen hintereinander fehlten (Länge der Lücke geteilt durch den Säabstand). Die Länge der Lücken in den Reihen wurde gemessen und je Bild wurden die Lückensummen durch die Gesamtlängen der Reihen dividiert.

Für die Farbauswertung wurden nur Pixel der Klasse GRE berücksichtigt und für jedes dieser Pixel aus den rgb-Werten R, G, B der Farbton hue und die Farbsättigung sat nach dem Farbmodell CIELUV (CIE 1976 L\*u\*v\*, CIE-Publ. No. 15.2, 1986) berechnet:

$$hue = \arctan \frac{v' - v'_n}{u' - u'_n} \quad (2)$$

$$sat = 13 \sqrt{(u' - u'_n)^2 + (v' - v'_n)^2} \quad (3)$$

mit

$$u' = \frac{4R}{R + 15G + 3B} \quad \text{und}$$

$$v' = \frac{9G}{R + 15G + 3B}$$

### 3. Ergebnisse

Der Bodenbedeckungsgrad zeichnet den Wachstumsverlauf über die Aufnahmeterraine bis Mitte Mai nach. Die reduzierte N-Versorgung (N-) führte im Experiment zu einem signifikant niedrigeren Bodenbedeckungsgrad bis zum Aufnahmeterrain 10. Juni (Bild 1).

Der automatisch bildanalytisch bestimmte Bodenbedeckungsgrad eignet sich somit grundsätzlich als Zustandsparameter zur Beschreibung des Wachstums des Winterweizenbestandes.

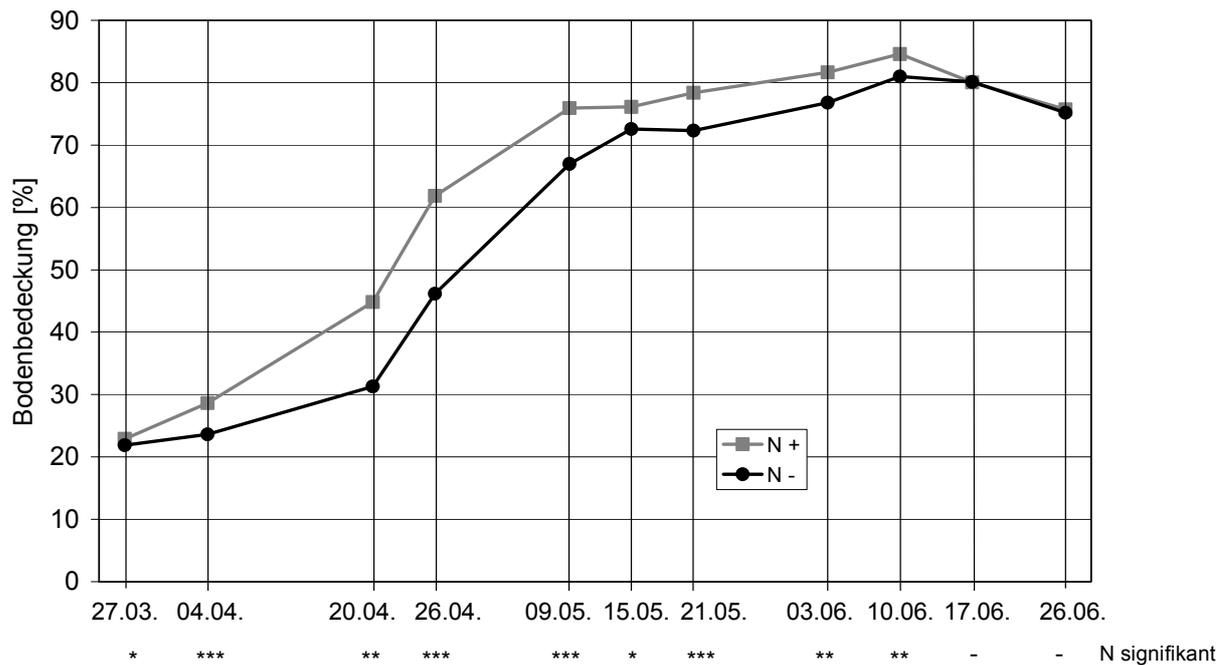


Bild 1: Bildanalytisch bestimmter Bodenbedeckungsgrad von Winterweizen bei praxisüblicher (N+) und reduzierter (N-) N-Düngung.

Der Bodenbedeckungsgrad ist nicht nur eine Funktion des Wachstums und Ernährungszustandes der Pflanzen, sondern auch der Pflanzendichte (Anzahl von Nutzpflanzen und ggf. Unkraut pro Fläche). In den Versuchsfeldern gab es Lücken in den Saatreihen, die in den einzelnen Bildaufnahmeflächen zwischen 7 und 32 % lagen (Bilder 2 und 3).



Bild 2: In dieser Aufnahme vom 20. April wurden Lücken von insgesamt 30 % der von links nach rechts verlaufenden Säereihen manuell ermittelt.

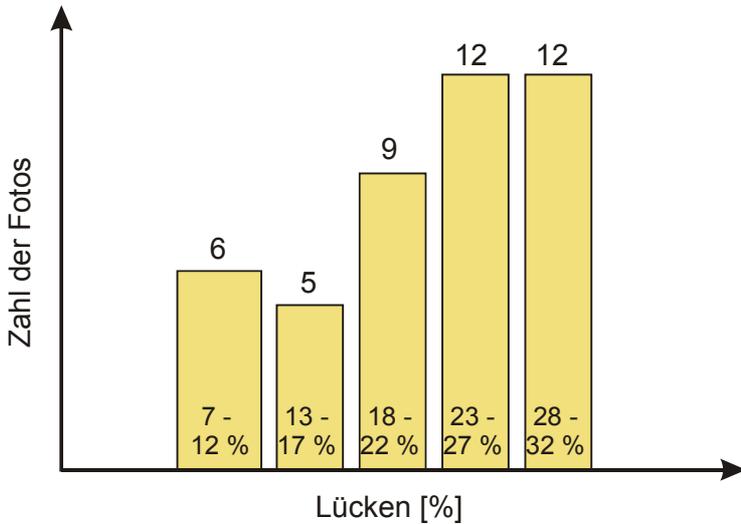


Bild 3: Im Frühjahr hatte der Bestand in den 44 Aufnahmeflächen Lücken zwischen 7 % und 32 %.

Diese Lücken führen bei ansonsten gleicher Behandlung zu einem geringeren Bodenbedeckungsgrad (Bild 4).

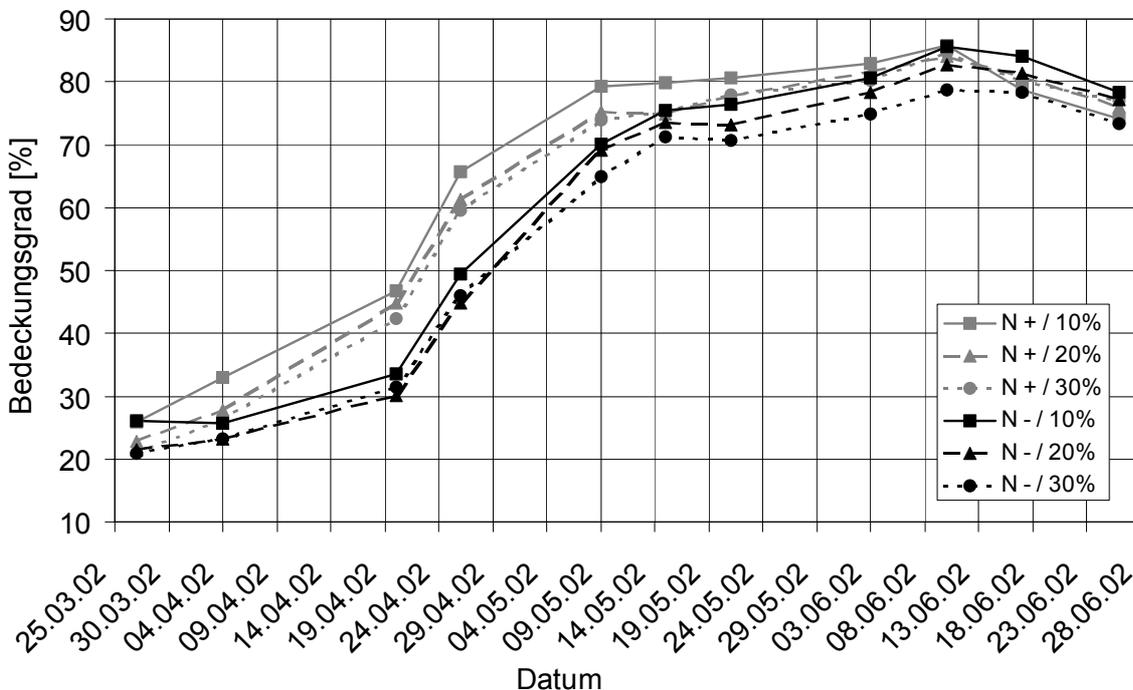


Bild 4: Bodenbedeckungsgrad von Winterweizen bei zwei N-Düngungsstufen und Bestandeslücken von ca. 10 % bis ca. 30 %. Ein geringerer Bodenbedeckungsgrad kann seine Ursache sowohl in reduzierter Nährstoffversorgung als auch in Bestandeslücken haben.

Die Lücken treten also bei der Interpretation des Bodenbedeckungsgrades z.B. im Hinblick auf die Nährstoffversorgung als Störgröße auf. Zur möglichst genauen Interpretation des Wachstumszustandes der Pflanzen anhand des Bodenbedeckungsgrades ist es deshalb ggf. erforderlich, die Bestandeslücken zu bestimmen und in der Auswertung zu berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Bestimmung der Bestandeslücken manuell durch Abzählen und Ausmessen der Lücken in den Säreihen anhand der Bilder vom 20. April. Automatische Verfahren zur Bestimmung der Bestandeslücken zu allen relevanten Wachstumsstadien müssen noch entwickelt werden.

Im Gegensatz zu flächenintegrierenden Spektrosensoren erlaubt die Bildanalyse eine gezielte Farbauswertung der Bildpunkte mit grünem Bestand. Bildpunkte, die als Boden klassifiziert werden, können von der Farbauswertung ausgeschlossen werden. In dieser Arbeit wurden darüber hinaus auch die Pixel der Klassen YEL (gelbe und abgestorbene Blätter) und WHL (durch Sonnenbestrahlung weiß erscheinende Blattabschnitte) ausgeschlossen.

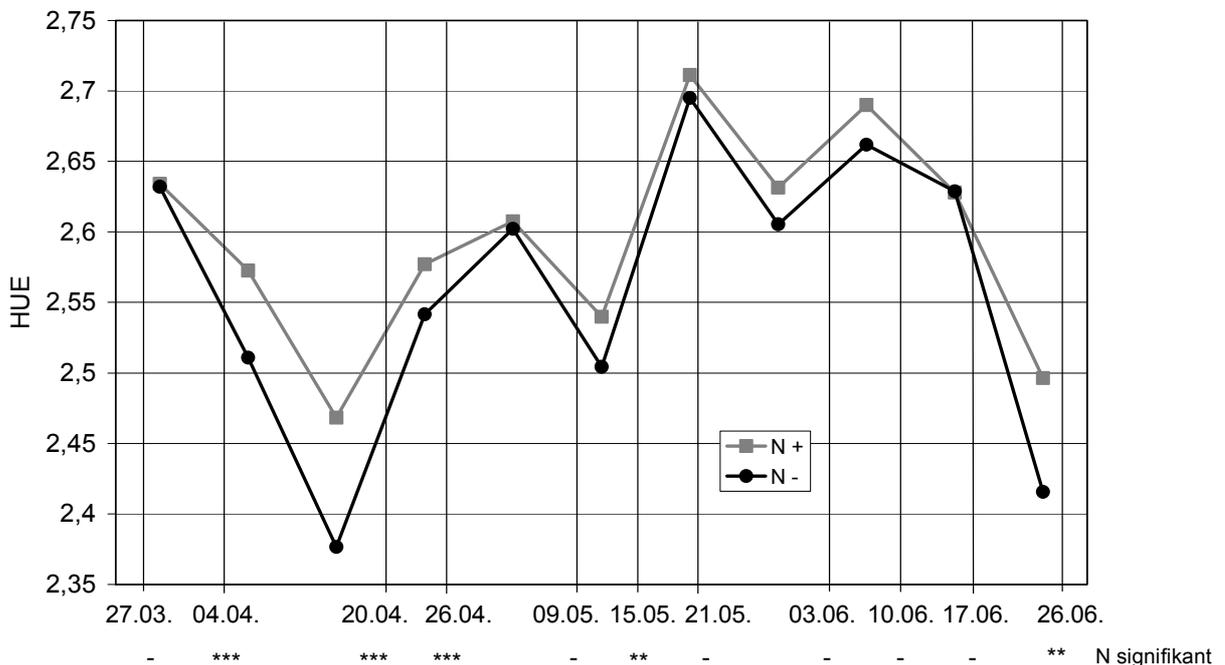


Bild 5: Farbton der grünen Blätter von Winterweizen nach dem Farbmodell CIELUV.

Der Farbton der Blätter ist zu einigen Terminen in der Variante N+ höher (grüner) als in N- (gelber, Bild 5). Zu anderen Terminen ergibt sich im Mittel kein Unterschied. Ein signifikant höherer Farbton konnte nur in 5 Aufnahmetermen nachgewiesen werden. Die Ursache

der Schwankungen des Farbtons zwischen den Terminen konnte nicht festgestellt werden; möglicherweise spielen die natürlichen Beleuchtungsbedingungen zum Zeitpunkt der Aufnahmen (Bewölkung) eine Rolle, obwohl die direkte Sonneneinstrahlung abgeschattet wurde. Die Farbsättigung scheint als Indexwert zur Farbinterpretation besser geeignet zu sein (Bild 6); sie weist nicht die terminlichen Schwankungen auf und unterscheidet die beiden Düngungsvarianten signifikant vom Beginn der Aufnahmen bis zum 21.5.

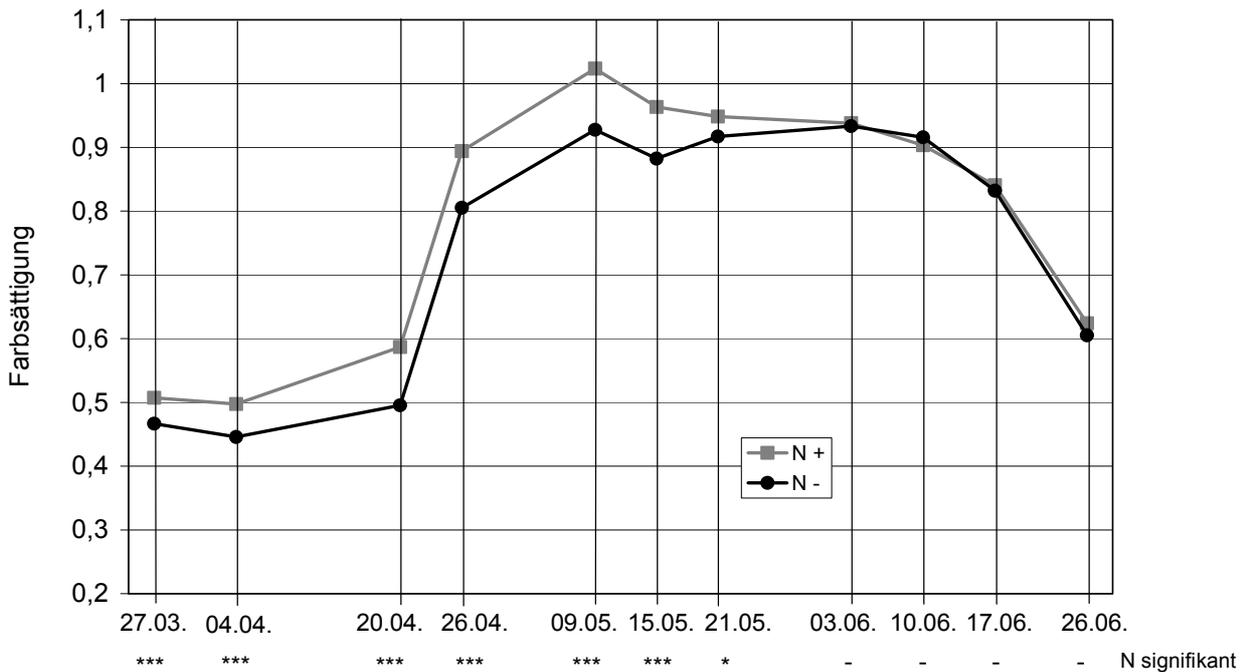


Bild 6: Farbsättigung der grünen Blätter von Winterweizen nach dem Farbmodell CIE-LUV ( $L^*u^*v^*$ ).

#### 4. Diskussion

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellte automatische bildanalytische Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades kann auf der einen Seite eine Möglichkeit sein, direkt als Vegetationsindex zur Zustandsbeschreibung eines Pflanzenbestandes zu dienen. Der bildanalytisch quantifizierte Bodenbedeckungsgrad könnte andererseits in Kombination mit einer flächenintegrierenden spektralen Messtechnik deren Aussagefähigkeit erhöhen.

Schließlich liegt in den Aufnahmen einer Farbkamera selbst auch die Möglichkeit, die Farbe der Blätter auszuwerten und daraus z.B. auf den Chlorophyllgehalt zu schließen. Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz, die Farbanalyse aus Mittelwerten über alle grünen Bildpixel durchzuführen, lässt die Farbdimension Farbton als wenig geeignet und die Farbsättigung als besser geeignet zur Darstellung des N-Versorgungsgrades erscheinen. Insbesondere

bei den älteren Pflanzen enthalten die Bilder sehr unterschiedliche Anteile grüner Blätter. Die Farbinformation der Fahnenblätter wurde hier nicht anders gewichtet als diejenige der tiefer liegenden Blätter. Eine automatische Trennung der Blätter in höher und tiefer liegende Schichten wäre näherungsweise einfach anhand der Helligkeit der Blätter möglich und würde erlauben, die oberen Blattschichten entsprechend der biologischen Bedeutung in der Auswertung höher zu gewichten.

**Danksagung:** Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit und mit umfangreicher freundlicher Unterstützung durch das Institut für Agrarökologie der FAL. Herzlicher Dank gilt vor allem Herrn Dr. Manderscheid für die Zusammenarbeit und die Idee zur Auswertung und Untersuchung der Bestandeslücken.

## 5. Literatur

**Casady WW, Singh N, Costello TA (1996)** Machine Vision for Measurement of Rice Canopy Dimensions. Trans. ASAE, Vol. 39 (5), pp 1891-1898

**CIE (Commission internationale de l'éclairage, 1986)** Colorimetry, second edition, CIE publication No. 15.2, Wien.

**Kraft M, Brandes F, Behrens T, Wiesler F (2000)** Reflexionsoptische Bestimmung des Stickstoffversorgungsgrades von Rapsbeständen. In: Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft - Workshop 1999/2000, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 25, S. 91-100, Potsdam-Bornim.

**Kraft M, Behrens T, Brandes F (2001)** Assessing Winter Rape N Status by Vertical and Non-Vertical Reflectance Measurements. In: IWSAPF International Workshop on Spectroscopy Application in Precision Farming, Jan 16-18, 2001, S. 12-17, IKB Dürnast, Freising-Weihenstephan.

**Petry W, Kühbauch W (1988)** Messung des Unkrautdeckungsgrades durch echtfarbentüchtige quantitative Bildanalyse auf Personalcomputern. KALI-Briefe (Büntehof), 19 (4), S. 311-323

**Reusch S (1997)** Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diss. Uni Kiel, Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG 303

**Richardson MD, Karcher DE, Purcell LC (2001)** Quantifying Turfgrass Cover Using Digital Image Analysis. Crop Science, Vol. 41, pp 1884-1888

## **Erfahrungsbericht zur bildgestützten Unkrauterkenennung mit einer 3Chip-CCD-Kamera**

### ***Experience report about weed detection with pictures from a 3chip-CCD-camera***

Hans-Rainer Langner, Hartmut Böttger  
Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
E-mail: [hboettger@atb-potsdam.de](mailto:hboettger@atb-potsdam.de)  
E-mail: [hlangner@atb-potsdam.de](mailto:hlangner@atb-potsdam.de)

**Kurzfassung:** Für Herbizidapplikationen steht im allgemeinen nur ein kleines Zeitfenster zur Verfügung. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, einen frühen Spritztermin (Keimblattstadium der Unkräuter) zu wählen. Die Erfassung dieser kleinen Unkräuter während einer Online-Applikation kann mit einer Multispektralkamera erfolgen. Erste Laboruntersuchungen zeigen eine sichere Detektion kleiner Pflanzenteile von 2 mm x 2 mm bei Geschwindigkeiten von 15 km/h.

**Deskriptoren:** Multispektralkamera, Unkrauterkenennung, teilflächenspezifische Herbizidapplikation

**Abstract:** *In general there is only a small time slot for herbicide applications. It is necessary to use this early date of spraying (germ layer of weeds). The registration of the small germ layers during online application can be made with a multispectral camera. Early investigations under laboratory conditions produce reliable detection of small plant parts of 2 mm x 2 mm at a speed of 15 km/h.*

**Keywords:** *multispectral camera, weed detection, site specific herbicide application*

## 1. Problemstellung

Das Einsparpotenzial der teilflächenspezifischen Herbizidapplikation ist hinreichend nachgewiesen und Verfahren zur sensorischen Unkrauterkenung beschrieben worden (Gerhards *et al.* 2002, Wartenberg *et al.* 2002). Zur Detektion des Unkrautvorkommens werden einerseits bildanalytische Verfahren herangezogen, bei denen Art, Anzahl und Größe der Unkräuter ermittelt werden, andererseits gibt es einen einfacheren Ansatz, der nur die Erkennung der Anzahl und Größe der Unkräuter zum Ziel hat. Der letztgenannte Ansatz ermöglicht es, Unkräuter unmittelbar nach dem Auflaufen (Keimblattstadium) zu erfassen. Dies ist von besonderer Bedeutung, da seitens der Landwirte zur Vermeidung von Arbeitsspitzen möglichst frühe Spritztermine gefordert werden. Inzwischen ist es deshalb übliche Praxis, die Unkrautbehandlung in Getreide bereits im Herbst durchzuführen. Zu diesem Zeitpunkt versagt zum einen die bildanalytische Erkennung, zum anderen wird in diesem Fall die Arten unabhängige Detektion der Anzahl der Unkräuter für die Schadensbewertung und damit die Spritzmengendosierung als ausreichend angesehen.

Eine Möglichkeit, die Anzahl der Unkräuter und deren Größe für eine Online-Verarbeitung zu erfassen, wird in der Anwendung einer Multispektralkamera gesehen. Die technischen Parameter der Kamera und erste Ergebnisse aus Laboruntersuchungen werden im folgenden beschrieben.

## 2. Allgemeine Anforderungen

Für das optische Erkennungssystem, das in der Lage sein muss, Unkrautpflanzen bereits im Keimblattstadium sicher zu detektieren, gelten folgende Einschränkungen:

- Die Unkrautdetektion erfolgt in Fahrspuren,
- Das Erkennen von Pflanzen erfolgt auf Grund ihrer spezifischen Reflexion, nicht nach Formen.

Eine sichere Erkennung wird durch mehrere Faktoren beeinträchtigt:

- Unkräuter im Keimblattstadium sind sehr klein, die Blattbreite beträgt ca. 2 mm (Bild 1 und 2).
- Die Geschwindigkeit der Landmaschine (Feldspritze) ist hoch, um die Produktivität zu gewährleisten.

- Die Bodenbedingungen sind sehr wechselhaft: Sand, Lehm, Schluff, jeweils in verschiedenen Mischungsverhältnissen, trocken und feucht haben unterschiedliches Reflexionsverhalten.
- Die Lichtverhältnisse sind wechselhaft: bedeckter Himmel, trübes Wetter, Sonnenschein mit Licht und Schatten wechseln sich ab.
- Abgestorbene Pflanzenreste, Stroh, Laub bedecken den Boden.
- Fahrschwingungen der Landmaschine führen zur Änderung der optischen Verhältnisse (Abstandsänderungen).



Bild 1: Verunkrautung in Winterweizen zur Herbstapplikation von Herbiziden

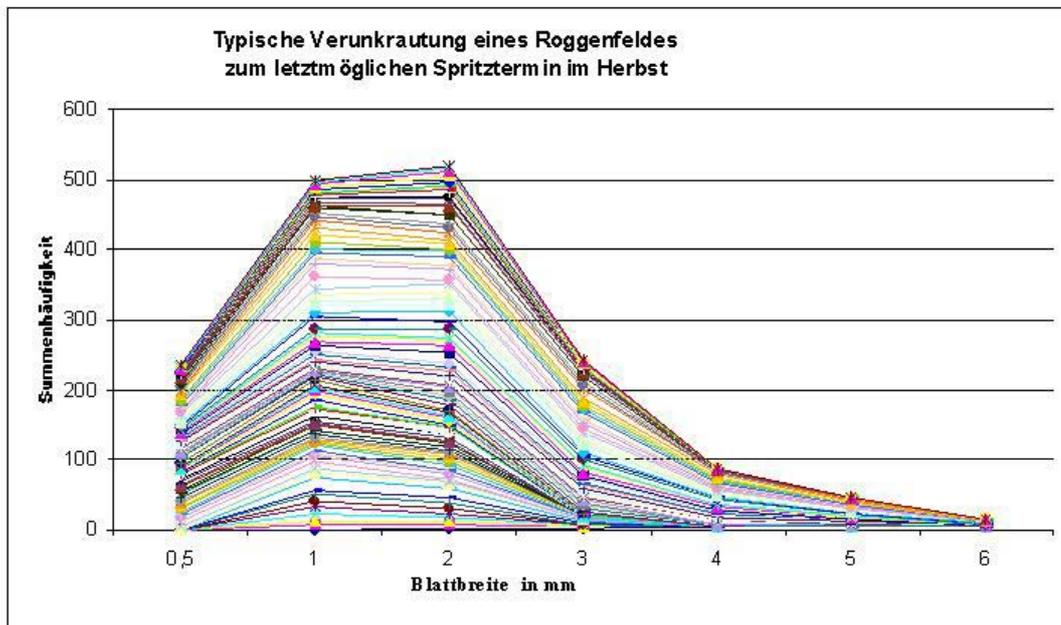


Bild 2: Unkrautgrößen (Blattbreite) aus Bonituren

### 3. Technische Beschreibung der Multispektralkamera

Für die Untersuchungen wird eine Multispektralkamera der Fa. DuncanTech, Kanada, mit der Bezeichnung MS2100 eingesetzt. Kernstück der Kamera ist ein kompakter Strahlteiler, der das einfallende Licht in 3 Strahlenbündel aufteilt (Bild 3). Jedes der 3 Strahlenbündel wird über ein schmalbandiges Filter auf einen CCD-Bildsensor geleitet. Die Daten der 3 digitalisierten Bilder werden über eine parallele Schnittstelle einem Frame Grabber zugeführt, der softwaregesteuert die Verarbeitung der Bilder und die Weiterleitung an den PC übernimmt.

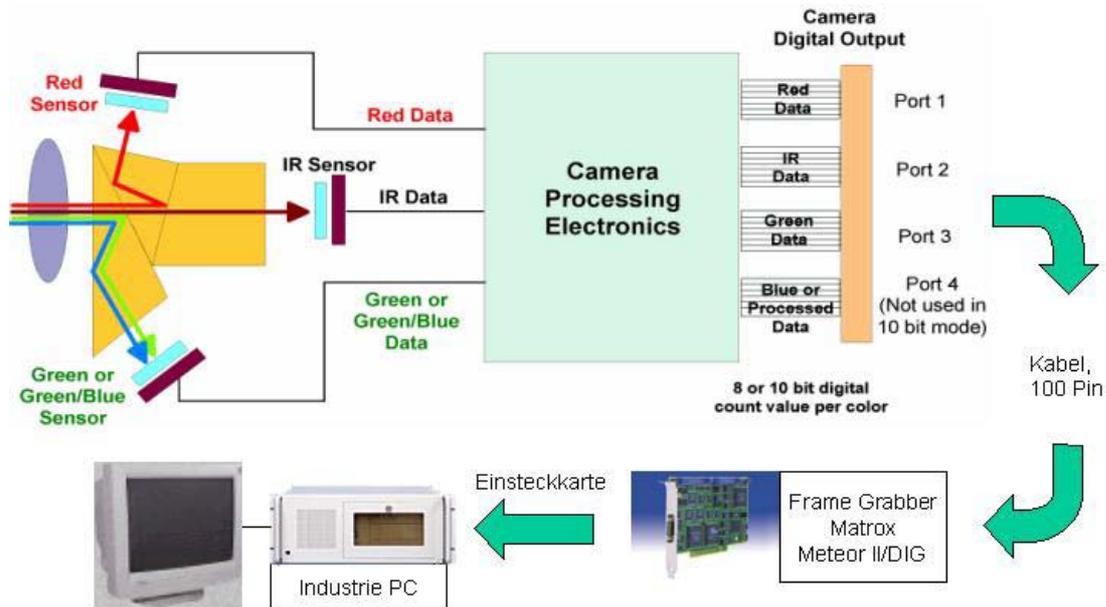


Bild 3: Schema der Signalverarbeitung der Multispektralkamera

Die Kamera verfügt über folgende technische Daten:

- 3 Chip Progressive Scan Digital Kamera
- 3 x ½ inch Interline Transfer CCD
- Pixel: 659 x 494
- Pixelgröße: 9,9 mm x 9,9 µm
- Clock Rate: 12 MHz max.
- Frame Rate: 30 Frames/Sek. max
- Objektiv: Sigma Festobjektiv, 14/2,8

Die spektrale Empfindlichkeit der Kamera wird bestimmt durch die Kombination dichroitischer Schichten des Prismenkörpers und der Schmalbandfilter.

Standardmäßig werden mehrere Konfigurationen angeboten: RGB (rot, grün, blau), CIR (grün, rot, nahes infrarot) und RGB/CIR (rot, grün, blau, nahes infrarot). Kundenspezifisch wurde die Kamera mit speziellen Schmalbandfiltern für rot und grün ausgerüstet (20...22 nm, Bild 4). Die Verstärkung der einzelnen Kanäle ist unabhängig voneinander im Bereich von 0..30 dB einstellbar.

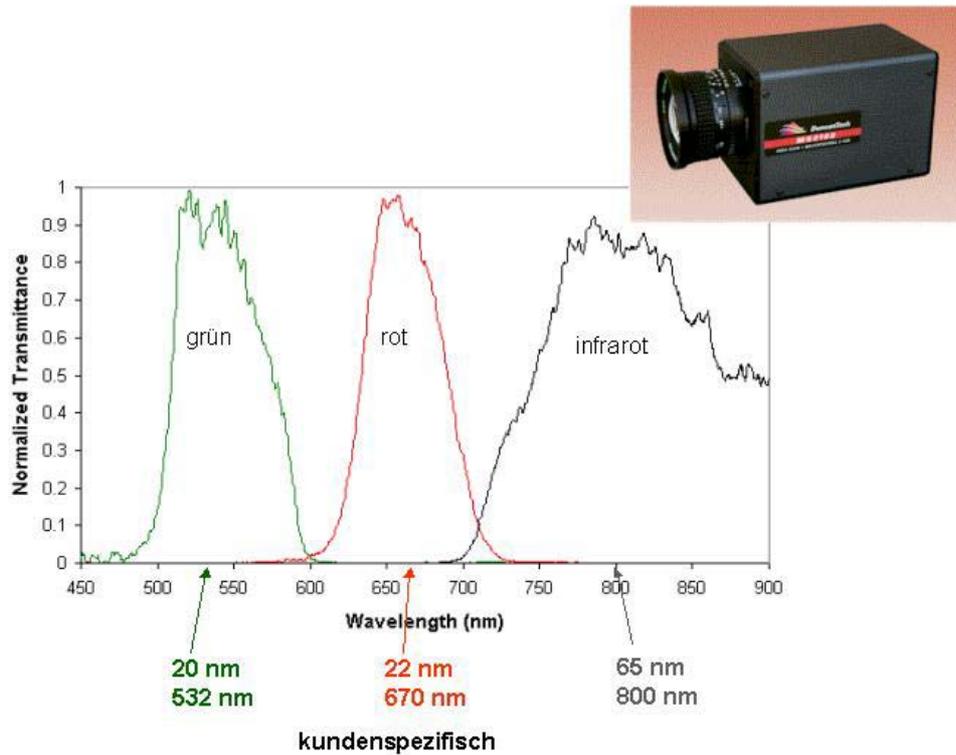


Bild 4: Spektrale Empfindlichkeit der MS 2100, Standard-Konfiguration CIR (grün, rot, nahes infrarot)

#### 4. Prüfstandaufbau

Erste Laboruntersuchungen mit der Multispektralkamera erfolgten auf einem Prüfstand, dessen Aufbau in Bild 5 dargestellt ist. Die Kamera ist höhenverstellbar über einer Kreisscheibe angeordnet, die als Objektträger dient und stufenlos drehzahl geregelt werden kann. Es lassen sich Fahrgeschwindigkeiten bis über 20 km/h simulieren. Die Objekte, kleine Pflanzenteile, können direkt auf der Scheibe befestigt und von der Kamera in Bewegung erfasst werden. Als Beleuchtung diente eine neben der Kamera angeordnete normale Glühlampe (60W, 200W).

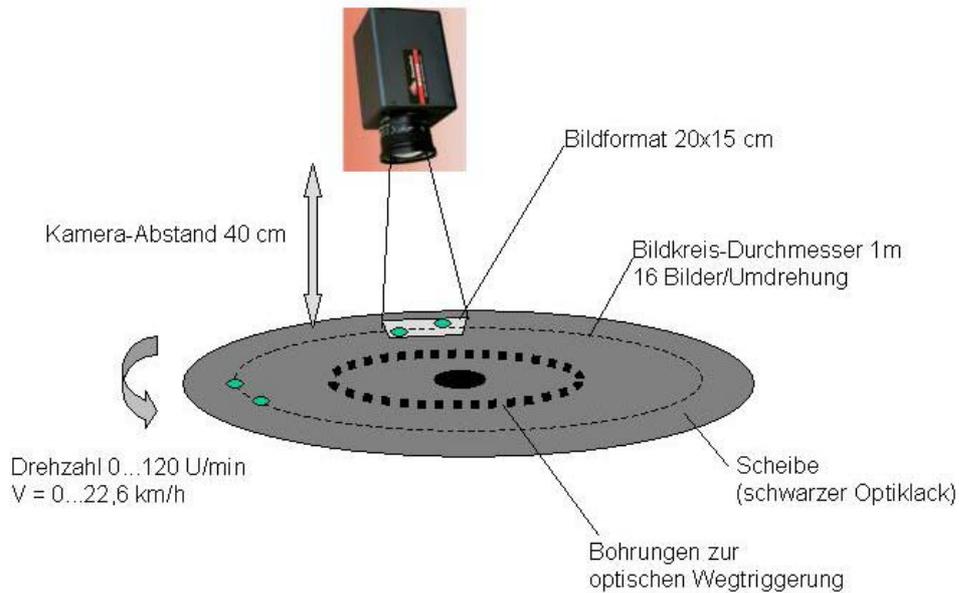


Bild 5: Schema des Laborprüfstandes

## 5. Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Beispielhaft verdeutlichen die folgenden im Stand gemachten Aufnahmen von Pflanzen auf Sandboden die hohe selektive Empfindlichkeit der Kamera (Bild 6 und 7). Andere Bodenarten als Untergrund beeinflussen die Selektivität nicht.

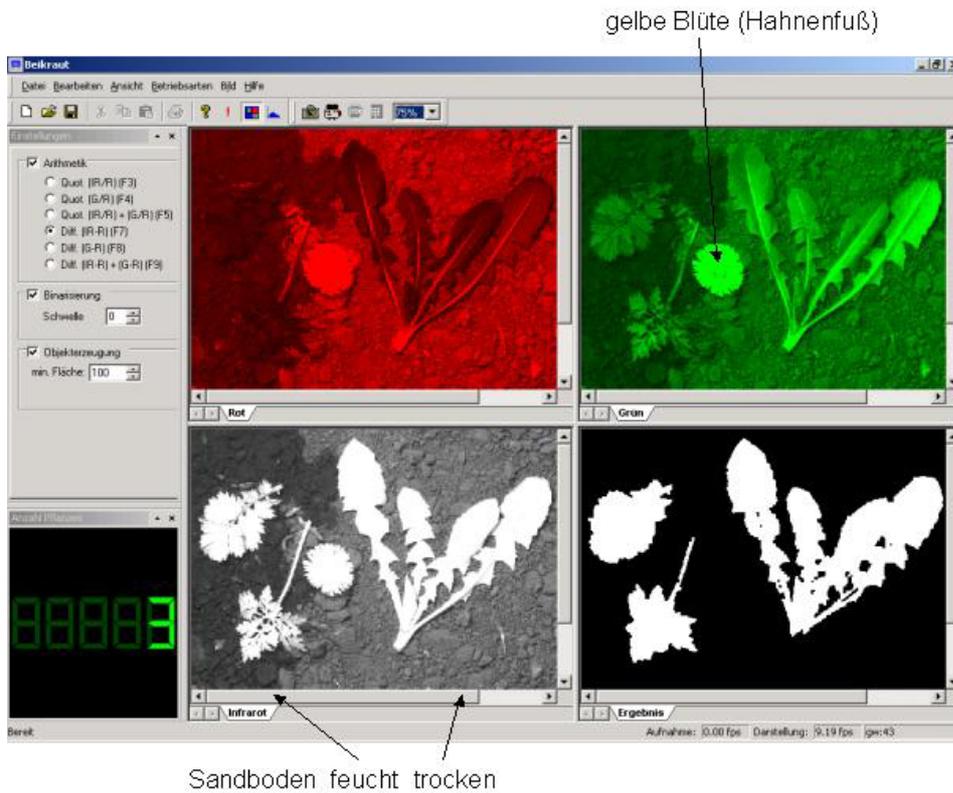


Bild 6: Einzelfarbbilder und Binärbild einer Pflanzengruppe Anordnung: rot grün  
infrarot Binärbild

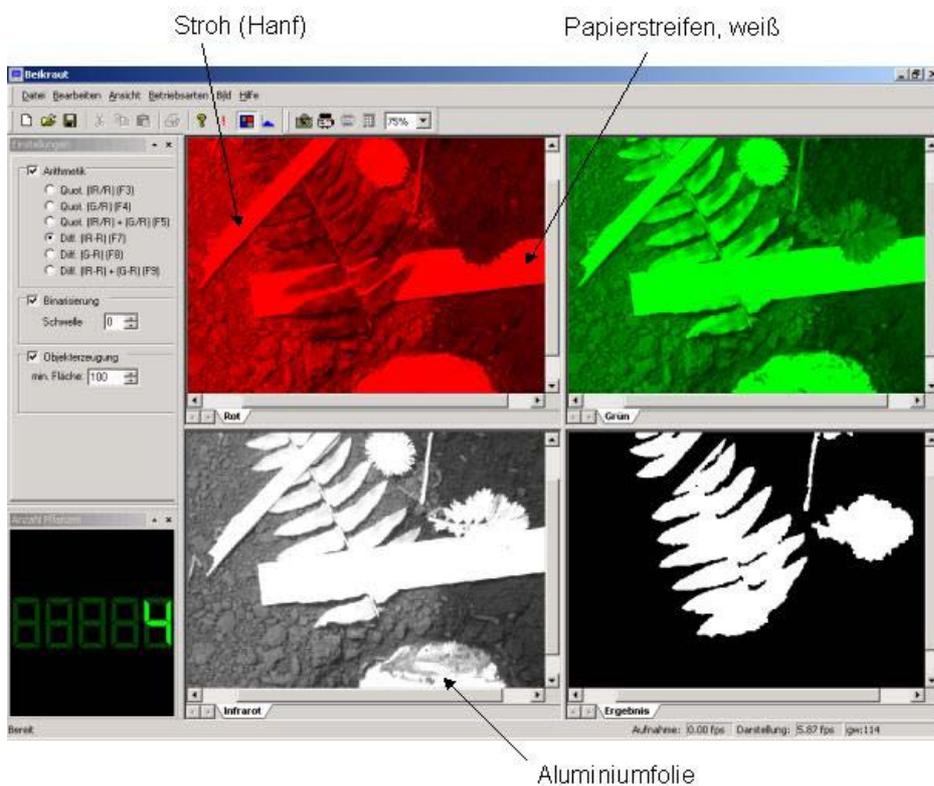


Bild 7: Einzelfarbbilder und Binärbild einer Pflanzengruppe mit Störmaterialien

Im Rotbild wird der geringe Reflexionsgrad der Grünpflanzen deutlich. Sie erscheinen im Unterschied zu abgestorbenen Pflanzenteilen dunkler als der trockene Boden bzw. gleich dunkel (Boden feucht). Zur Gewinnung des Binärbildes wurden die Grauwerte der Einzel(farb)bilder miteinander verrechnet. Dabei konnten die Verstärkung der Farbkanäle separat variiert, bestimmte Schwellen gesetzt und unterschiedliche mathematische Formeln angewendet werden.

Es zeigte sich, dass mit der Verrechnung der Bilder nach der einfachen Beziehung IR-R die besten Ergebnisse erzielt werden konnten. Unter allen im Labor simulierten Bedingungen, den verschiedenen Boden- und Pflanzenarten, dem Einfluss abgestorbenen Pflanzenteilen (Stroh, Blätter, Wurzeln) und Störmaterialien (Steine, Papier) wurde die Abbildung der vitalen Pflanzen im Binärbild durch Einbeziehung des grünen Spektralteiles nicht verbessert. Der Einfluss wechselnden Sonnenlichtes wird unter Feldbedingungen zu ermitteln sein.

Die Bilder 8 und 9 veranschaulichen das Erkennungsvermögen der Kamera für kleine Pflanzenteile bis 2 mm x 2 mm bei hoher Relativgeschwindigkeit. Bei einer Geschwindigkeiten von 15 km/h und einer entsprechend angepassten Belichtungszeiten von 0,6 ms werden die Pflanzenteile im Binärbild noch deutlich abgebildet.

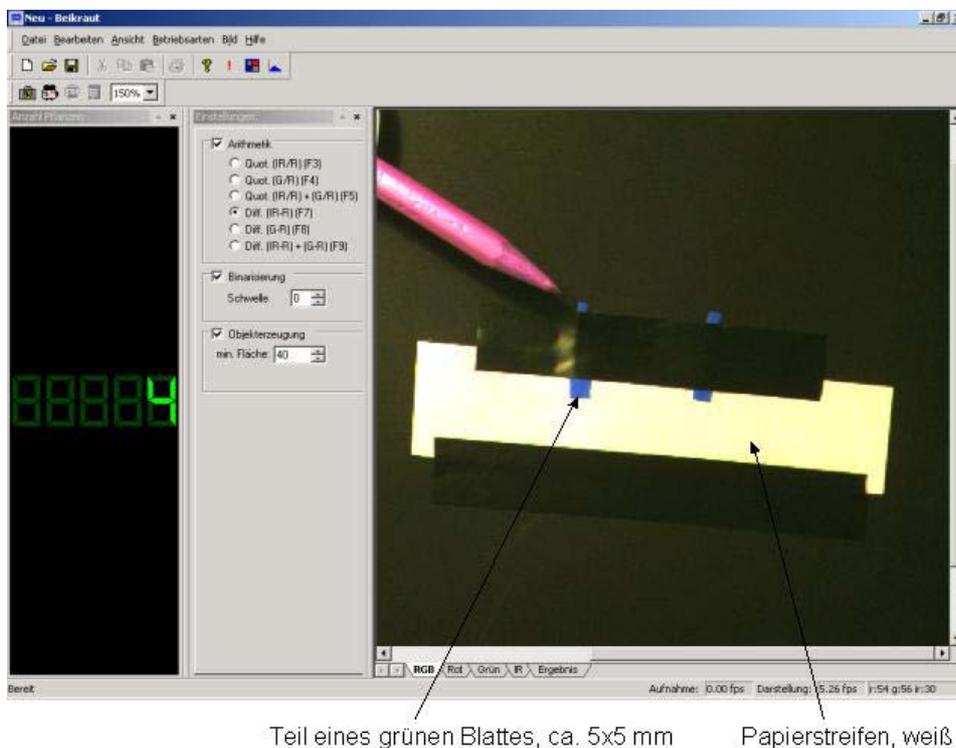


Bild 8: RGI-Bild eines Arrangements, im Stand, Belichtung 15ms Größe der Pflanzenteile 5 mm x 5 mm bis 2 mm x 2 mm

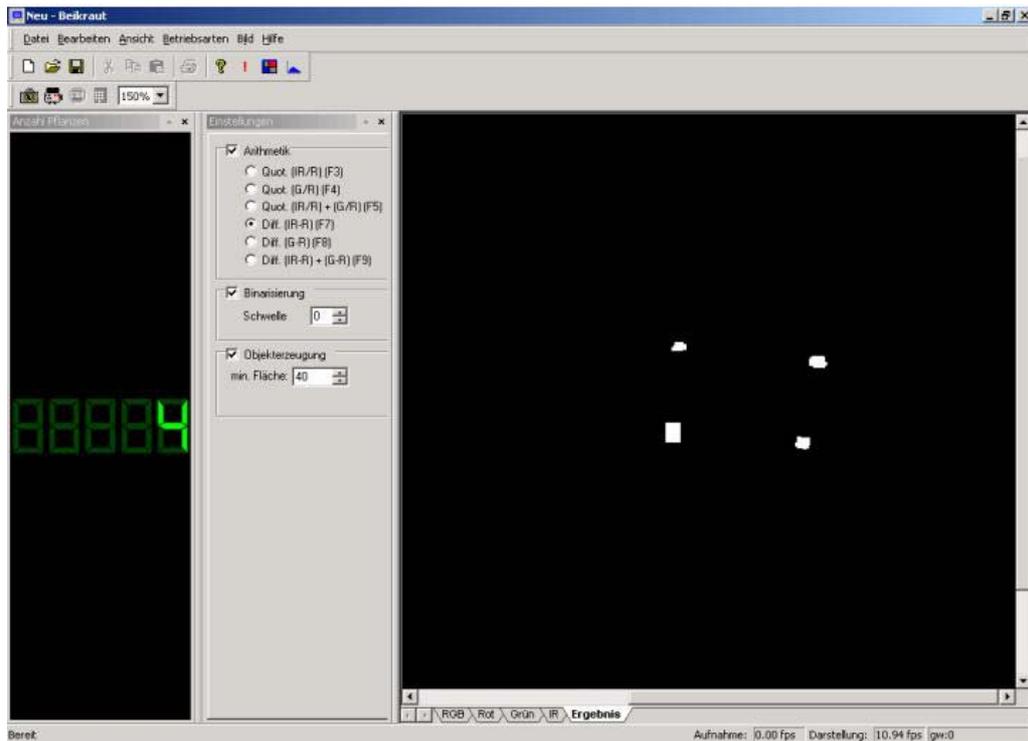


Bild 9: Binärbild des Arrangements, Geschwindigkeit 15 km/h, Belichtung 0,6 ms

Abstandsänderungen der Objekte zur Kamera haben in ausreichend weiten Grenzen keinen Einfluss auf die Erkennungssicherheit. Wie Bild 10 zeigt, führen Abstandsänderungen von plus/minus 10 cm nicht zur Beeinträchtigung der Abbildungsqualität.

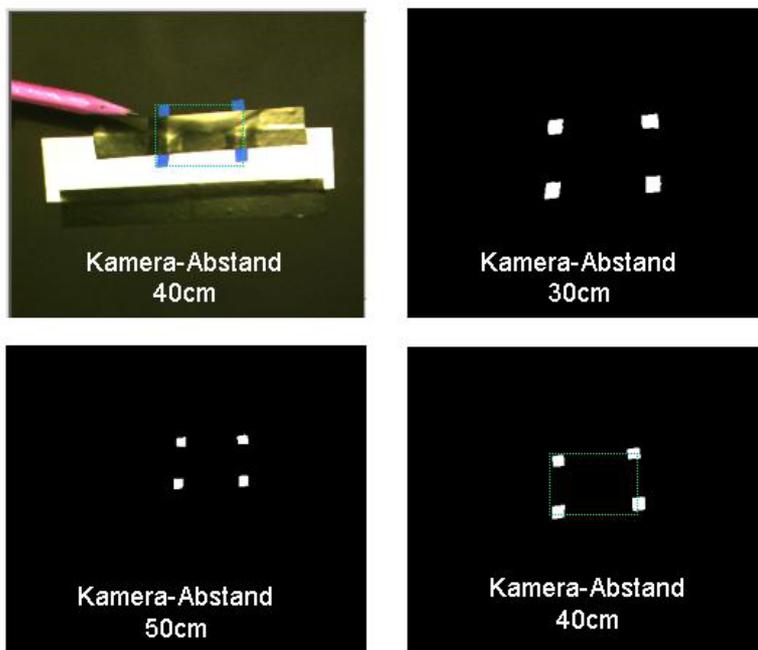


Bild 10: Demonstration der Schärfentiefe, Objektabstand 30 bis 50 cm

Im Online-Verfahren wird die momentane Ausbringmenge der Feldspritze direkt nach dem Unkrautauftreten geregelt, das mit dem zu erwartenden Ertragsverlust korreliert. Die Bildfolge der Kamera wird wegabhängig so getriggert, dass sich die Bilder unmittelbar aneinander reihen. Bisher wurde die über eine bestimmte Wegstrecke gemittelte Anzahl der Unkräuter in eine entsprechende Spritzanweisung umgesetzt. Die einfach zu realisierende Größenklassierung (Bild 11) erlaubt Rückschlüsse auf vorhandene Altunkräuter mit der Möglichkeit einer zugeordneten Wichtung.

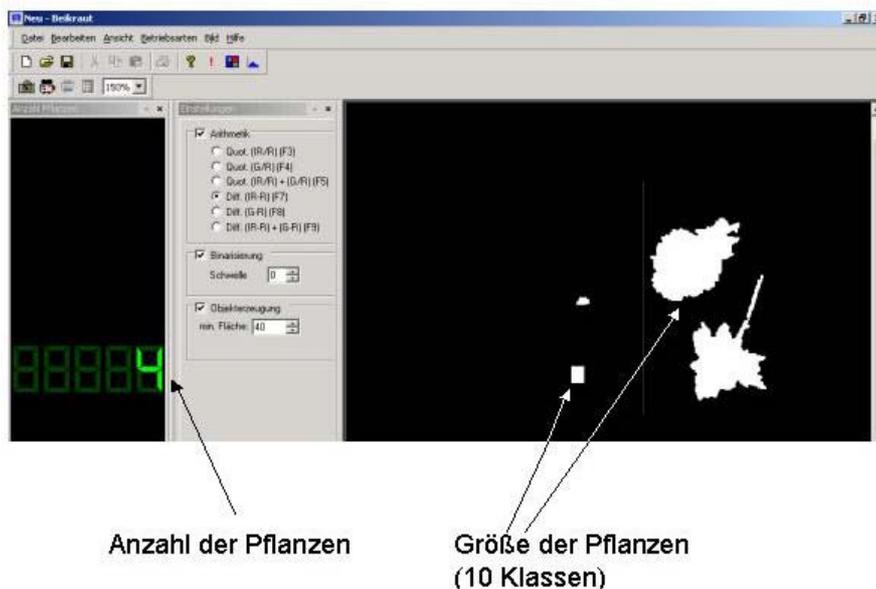


Bild 11: Auswertung des Binärbildes

## Literatur

- Gerhards R, Sökefeld M, Nabout A, Therburg R-D, Kühbauch W (2002)** Online weed control using digital image analysis. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII, 421-427
- Wartenberg G, Dammer K-H (2002)** Erfahrungen bei der Verfahrensentwicklung zur teilflächen-spezifischen Herbizidanwendung in Echtzeit. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII, 443-450

## **Realisierung eines traktorgetragenen optischen Messsystems – am Beispiel des Hydro-N Sensors zur optimierten Stickstoffausbringung**

*The Hydro-N Sensor, development of a mobile platform based system for on-line determination of Nitrogen fertilizer input*

Maik Müller  
tec5 AG Business Unit Systems :  
mail : [m.mueller@tec5.com](mailto:m.mueller@tec5.com)

**Zusammenfassung:** Am Beispiel des Hydro-N-Sensors wird die Realisierung eines kommerziell nutzbaren Messsystems und damit die erfolgreiche Kooperation zwischen einem Forschungsinstitut und einem Industriepartner dargestellt. Die Partner tec5 AG, Oberursel und HydroAgri GmbH & Co. KG haben in einer 3 jährigen Zusammenarbeit den Hydro-N-Sensor entwickelt und kommerziell vermarktet. Bis Ende 2002 wurden ca. 350 Einheiten produziert und ausgeliefert. Die Markteinführung war sehr erfolgreich und die Resonanz vom Kunden durchweg positiv.

Zusätzlich konzipiert und erstellt die tec5 AG kundenspezifische Messsysteme für die Forschung und Entwicklung. Im Bereich der landwirtschaftlichen Forschung liegt der Schwerpunkt auf tragbaren und batteriegetriebenen Messsystemen mit einem einfachen Bedienkonzept und hoher Robustheit. Hierfür kann die tec5 AG auf ihre langjährige Erfahrung in den Bereichen Entwicklung (Elektronik/Software) und Konstruktion (Optik/Mechanik) zurückgreifen und die Messsysteme optimal auf die jeweilige Aufgabenstellung auslegen.

**Summary:** *With the presentation of the Hydro-N Sensor, a mobile platform based system for on-line determination of Nitrogen fertilizer input, we will show a successful cooperation between a research institute and an industry partner. The partners tec5 AG, Oberursel and HydroAgri GmbH & Co. KG have developed the Hydro-N-Sensor together within 3 years and put it on the market. Until the end of 2002 ca. 350 units have been produced and delivered. The feed back from the customers is very positive.*

*In addition tec5 AG develops and produces other customer specific measurement systems for research and development. In the agricultural area the focus lies on portable, battery-driven spectrometer systems with easy handling and high robustness.*

*tec5 AG can refer to several years of experience in the areas development (electronics, software) and construction (optic, mechanical) to find the optimal solution for the customers application.*



## Vorstellung einer erfolgreichen Kooperation zur Realisierung eines traktorgetragenen optischen Messsystems

- am Beispiel des Hydro-N-Sensors zur optimierten Stickstoffausbringung
- zwischen der tec5 AG und der Hydro Agri GmbH & Co. KG

### Basis für ein erfolgreiches Produkt

- Idee
- Analyse der Marktfähigkeit
- Auswahl geeigneter Partner, die ihr spezielles Know-how in das Projekt einbringen und ein definiertes Aufgabengebiet bearbeiten
- optimale Abstimmung der Partner untereinander
- zügige und konsequente Bearbeitung des gemeinsamen Projektes
- Marketing und Vertrieb
- kontinuierliche Verbesserung, Erweiterung der Funktionalität



### Hydro Agri GmbH & Co. KG

- Auftraggeber
- Idee zur Erstellung eines kommerziellen Messsystems zur optimierten Stickstoffausbringung
- Know-how im Bereich Düngemittel und optimierter Stickstoffdüngung
- angeschlossenes Institut für die Grundlagenforschung im Rahmen von großangelegten Feldversuchen
- Entwicklung der Methoden für die agronomische Kalibrierung
- Test der Funktionsmuster, Prototypen und des Serienproduktes im Feldeinsatz



**tec5 AG**

- Realisierung und Projektleitung
- Hersteller von OEM-Systemen für die Spektroskopie
- Erfahrung und Kapazität in der Entwicklung von Elektronik, Software, Mechanik und Optik
- Know-how im Bereich Entwicklung und Fertigung von Komplettsystemen
- Projekterfahrung bei der Umsetzung von OEM-Systemen vom Prototyp bis zum Seriergerät
- eigene Fertigung für Systeme

**Weitere Partner**

- WTK Elektronik  
Hersteller von Terminals und Kabelsystemen für den landwirtschaftlichen Einsatz
- Agri Con GmbH  
Partner für den Feldtest des Messsystems
- pro\_Plant GmbH  
Hersteller von Auswertesoftware
- Pentas Moulding B.V. Niederlande  
Hersteller des Übergehäuses

**Von der Idee zum Produkt***Historischer Abriss*

- 1997 – erste Gespräche zwischen Hydro Agri und tec5
- 1997 – Konzeption und Aufbau von 3 Prototypen auf der Basis von tec5 Standardkomponenten für den Feldtest in der Saison 1998
- 1998 – Aufbau einer Kleinserie von 23 Systemen auf der Basis des Prototypen für den Feldtest in 1999
- 1999 – komplette Neuentwicklung und Überführung des Gesamtsystems zur Serienreife
- 2000 – 2003 Fertigung von ca. 100 Einheiten/a und kontinuierliche Weiterentwicklung des Serienmodells

### *Kleinserie 1998*

- bestehend aus tec5 Standard-Komponenten
- keine spezielle Entwicklungsleistung im Bereich Elektronik und Software
- Integration aller Systembestandteile in ein robustes und wassergeschütztes Übergehäuse
- Standard-Anschlussstechnik für alle elektrischen und optischen Schnittstellen



### *Definition der Systemanforderungen*

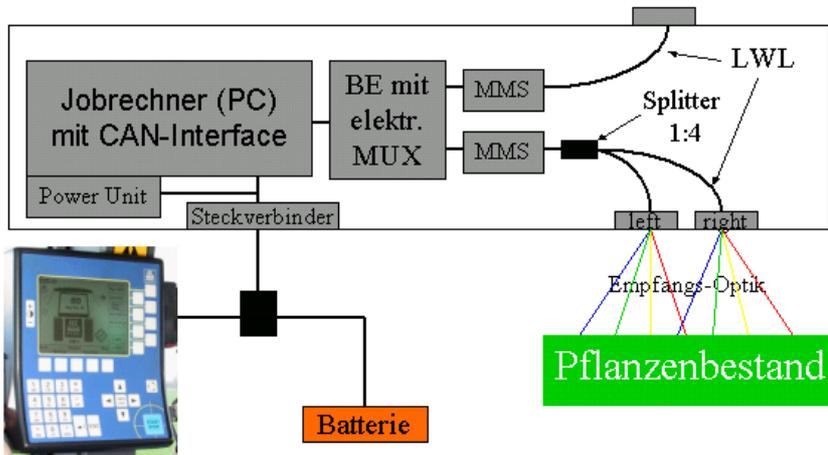
- Systemkonzept gemäß LBS-Norm
- Zentraleinheit für die Messdatenerfassung und -verarbeitung im integrierten Jobrechner
- Visualisierung und User-Interface über LBS-Terminal
- robuster mechanischer Aufbau für den Feldeinsatz
- weiter Temperaturbereich von ca.  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $60^{\circ}\text{C}$
- Software-Update „im Feld“ möglich
- einfache Herstellung und Wartbarkeit der Systeme
- CE-Zertifizierung

### *Zentraleinheit mit*

- optischer Sende- und Empfangseinheit
- integriertem Jobrechner gemäß LBS-Norm
- mechanisch robustem, leichtem und spritzwassergeschütztem Übergehäuse
- Befestigungselementen für die Systemhalterung auf dem Schlepperdach



## Systemdesign



### Jobrechner gemäß LBS-Norm

- integriert in die Zentraleinheit
- wasserdichtes Übergehäuse IP65
- feldtaugliche elektrische Anschlusstechnik

Integration der Baugruppen:

- PC-kompatibler Rechner
- Spektrometer für Referenz- und Reflexionskanal
- Betriebselektronik mit elektronischem Multiplexer



### Fazit

- entstanden ist ein kommerzielles Produkt das seit 3 Jahren nahezu unverändert verkauft wird
- ständige Weiterentwicklung der Funktionalität durch die Erweiterung der Software
- bisher etwa 350 weltweit verkaufte Einheiten



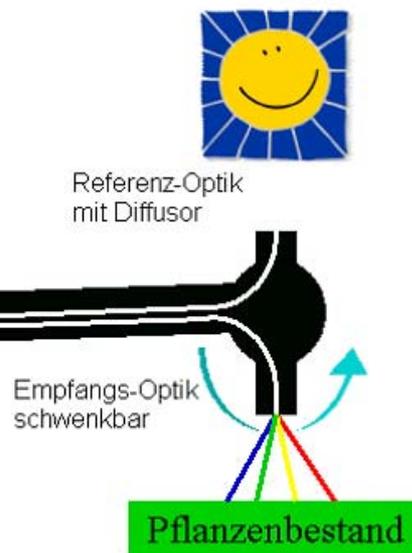
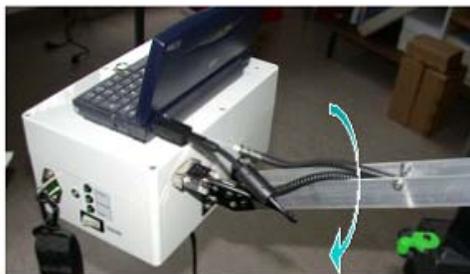
## Systemlösungen für die Forschung

### Tragbares Meßsystem für den Feldeinsatz

- Aufbau auf tec5-Standard-Elektroniken
- Integration von Spektrometern der MMS/MCS-Baureihe von Zeiss
- Erstellung einer spezifischen Software
- robuster mechanischer Aufbau
- einfachste Bedienung
- optimiertes Handling für den täglichen Einsatz im Feld



### Hydro Feldspektrometer für Feldversuche



- Einsatz eines Handheld-PC von HP
- Spezifische Software unter Win CE, basierend auf tec 5 Win 32 Standard-Modulen
- Eingeschränkte Displaytauglichkeit für den Outdoor-Einsatz
- Betriebselektronik mit RS232-Schnittstelle

## Zukunftsperspektiven

### *Pocket PC (PDA) + USB-Betriebselektronik*

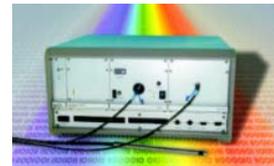
- transflektives TFT Flüssigkristall-Displays
- sehr gut ablesbar auch bei direkter Sonneneinstrahlung
- Touchscreen
- Betriebssystem Windows CE.NET
- einfacher Datenaustausch mit Desktop-PC
- Betriebselektronik mit USB-Schnittstelle
- Software auf der Basis der portierten tec5 Win32 Standard-Module



## tec5 AG

### *Business Unit Systems*

- Standard-Systeme für die Spektroskopie im UV / VIS / NIR
- OEM-Systeme und Sonderentwicklungen
- kundenspezifische Anpassungen



### *Business Unit OEM Components*

- Elektroniken für Spektrolsensoren



### *Business Unit Zeiss Spectral Sensors*

- Vertrieb der Spektrometermodule  
MMS / MCS – Baureihe von Zeiss



## Tragbares funkangekoppeltes Minispektrometer

### *Portable wireless coupled mini-spectrometer*

Ingo Truppel

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

e-mail: [itruppel@atb-potsdam.de](mailto:itruppel@atb-potsdam.de)

**Zusammenfassung:** Ein leicht tragbares optisches Spektrometer für den Wellenlängenbereich von 300 bis 1100 nm und modular austauschbare Glasfasersonden für unterschiedliche Messarten wurde auf der Grundlage von kommerziell verfügbaren OEM Baugruppen entwickelt. Um das System sowohl flexibel unter Freilandbedingungen als auch mit komfortabler Datenverarbeitung einsetzen zu können, wurde das Spektrometer per Funk an einen PC angekoppelt. Das komplette System wird ausführlich beschrieben.

Für zerstörungsfreie Messungen an Äpfeln wurde ein spezifischer Messkopf für partielle Lichttransmission entwickelt. Zur Erprobung des Spektrometers wurden mit Hilfe dieses Messkopfes die spektralen Signaturen identischer Früchte während ihrer Baumreife gemessen. Wie die Ergebnisse zeigen, könnte auf diesem Wege die Bewertung der Fruchtentwicklung verbessert werden.

**Deskriptoren:** tragbares VIS/NIR Spektrometer, Glasfasersonde für Früchte, drahtlose Datenübertragung, zerstörungsfreie Messung am Baum

**Summary:** *Based on commercially available devices, an easily portable optical spectrometer and exchangeable glass fibre probes for different measuring modes were developed for the wavelength range from 300 to 1100 nm. For flexible use in open field as well as with comfortable data processing, the spectrometer was wireless coupled with a PC. A detailed description of complete system is given.*

*For non-destructive measurements on apple fruit, a specific sensor probe for partial light transmission was developed. Experimental tests were carried out by using the spectrometer with this sensor probe on identical apple fruits during fruit development and ripening at the tree. According to the results, this way of data acquisition could improve the evaluation of fruit development.*

**Keywords:** *portable VIS/NIR spectrometer, glass fibre probe for fruit, wireless data transfer, non-destructive measurement at the tree*

## 1. Einleitung

Die zerstörungsfreie optische Bestimmung des Produktzustandes hat mit der Verfügbarkeit schneller preiswerter Messtechnik zunehmend an Bedeutung sowohl für die Beurteilung von Stichproben als auch für die Online-Prozesskontrolle gewonnen.

Mit der Einführung von miniaturisierten monolithischen Spektrometermodulen ohne mechanisch bewegte Teile wurde es möglich, Messungen der Absorption von Licht direkt am Produkt vorzunehmen. Derartige Spektrometermodule finden sich bereits in Sortieranlagen und auf landwirtschaftlichen Maschinen. Für Grundlagenuntersuchungen, die sich mit der Untersuchung am lebenden Produkt beschäftigen, sind Spektrometer interessant, die außerhalb des Labors *in situ* eingesetzt werden können. Damit soll insbesondere die Möglichkeit geschaffen werden, einzelne Produkte über einen gewissen Zeitraum in ihrer natürlichen Entwicklung (z.B. Reife) zu verfolgen, ohne sie von der Pflanze zu entfernen.

## 2. Entwicklungsziele

Aus kommerziell verfügbaren OEM-Baugruppen sollte mit vertretbarem Aufwand ein leicht tragbares Spektrometer entwickelt werden, das mit autarker Stromversorgung Messungen *in situ* zulässt. Das Spektrometer sollte per Funk an einen PC angekoppelt werden, der während der Messungen in der Nähe des Messortes abgestellt wird. Ein-Mann-Bedienung ohne Blick auf den Computerbildschirm sollte möglich sein. Neben dem Spektrum sollte die Temperatur des Messobjektes als wesentlicher Einflussfaktor auf das Spektrum erfasst werden. Die Aufzeichnung von Kommentaren zur Kennzeichnung von während der Messung beobachteten besonderen Umständen sollte möglich sein.

## 3. Stand der Technik

Kommerziell verfügbar sind portable Spektrometer zur Farbmessung (z.B. von Minolta), die im Spektralbereich von 360 bis 740 nm in 10 nm Intervallen messen und damit nicht den mit Siliziumchips möglichen Bereich von 300 bis 1100 nm abdecken. Sie erfassen gerade noch die für Chlorophyllabsorption typischen Wellenlängen um 680 nm, nicht jedoch den für Inhaltsstoffe wie Zucker interessanten NIR Bereich.

Darüber hinaus sind portable Spektrometer wie z.B. das Unispec von PPSystems für den Bereich 300 bis 900 nm mit Glasfasersonde und Steuerung durch einen PC bekannt. Die verfügbaren Sonden sind jedoch nicht optimal für Messungen am Apfel unter Freilandbe-

dingungen angepasst. Darüber hinaus sind sie für Messungen *in situ* schwierig zu handhaben.

Prinzipiell erlauben Laborspektrometer mit Glasfaseranschluss eine flexible Ankopplung des Spektrometers an das Produkt, der Messkopf muss sich aber bedingt durch die endlich langen Lichtleiter in der Nähe des Spektrometers befinden. Zudem sind die Lichtleiter empfindlich für mechanische Beschädigung infolge zu starker Verbiegung. Ein minimaler Biegeradius von etwa 40 mm sollte nicht unterschritten werden.

#### 4. Spezielle Probleme

##### Lichtleiter

Lichtleiter haben sofern sie nach dem Weißabgleich noch bewegt werden, einen Einfluss auf das gemessene Spektrum. Die Ursache dafür liegt in der Art, wie das Licht den Lichtleiter passiert. Die Lichtleitung im Inneren einer Faser beruht auf der Totalreflexion an Grenzflächen von Medien unterschiedlicher optischer Dichte.

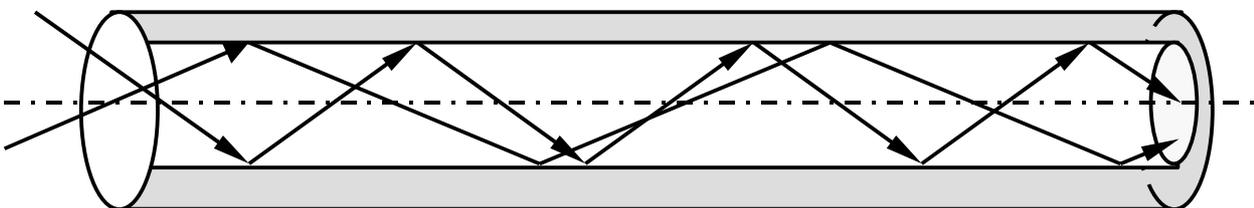


Bild1: Weg des Lichtes durch flexible Lichtleiter

Wird der Lichtleiter verbogen, so ändern sich die Wege, die das Licht zurücklegen muss, es kommt wellenlängenabhängig zu Veränderungen der Phasenlaufzeit. Passiert nun inhärentes (Weiß-)Licht den Lichtleiter, so verändert sich durch Krümmung des Lichtleiters das Dämpfungsverhalten in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Dieser Effekt lässt sich gut beobachten, wenn nach erfolgtem Weißabgleich der Lichtleiter verbogen und anschließend der Weißstandard erneut gemessen wird.

Bild 2 zeigt exemplarisch die Abweichung der Transmission für Weißlicht (Halogenlampe) gemessen an einem Laborspektrometer mit je einem 1m langen Lichtleiter an Lichtquelle und Spektrometer durch Veränderung der Lichtleiterkrümmung. Als Messkopf diente eine Ulbrichtkugel, als Messobjekt (Weißstandard) ein Stück Spektralton.

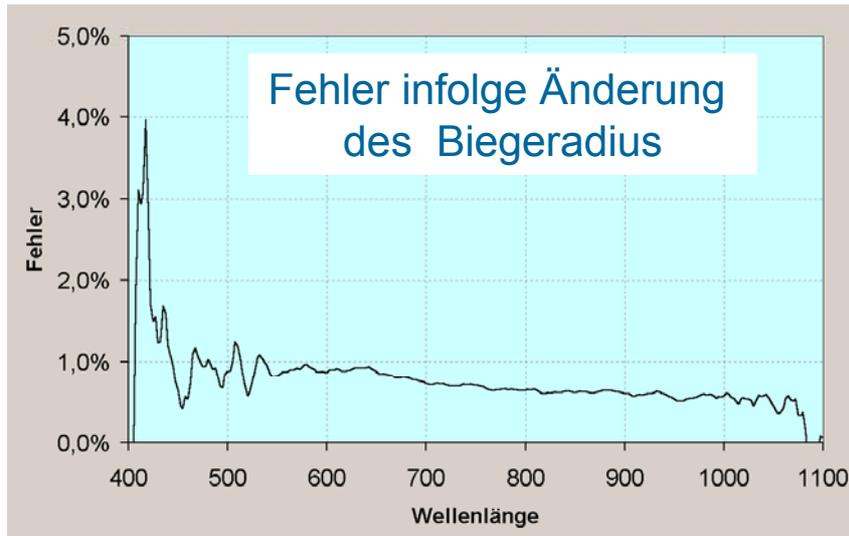


Bild 2: Änderung des Transmissionsverhaltens durch Lichtleiterkrümmung

Wird die Lichtquelle am Messkopf befestigt, so kann einer der beiden vorhandenen Lichtleiter eingespart werden. Durch Platzierung des Spektrometermoduls ebenfalls in der Nähe des Messkopfes lässt sich der Einfluss der Lichtleiterkrümmung auf das Messergebnis minimieren. Es werden nun ausschließlich elektrische Leitungen vom Messkopf weggeführt.

### Lichtquellen

Der Vorteil lichtleiterangekoppelter Lichtquellen besteht vor allem darin, dass eine relativ leistungsstarke Lichtquelle in einem Lampengehäuse - meist zwangsgekühlt - platziert werden kann. Diese Lichtquelle wird zumeist dauerhaft mit Strom versorgt und in einem stationären Zustand betrieben. Das kontinuierliche Licht kann (z.B. zum Dunkelabgleich) per (elektro-) mechanischem Shutter unterbrochen werden. Die Platzierung der Lichtquelle am Messkopf erlaubt hingegen meist keinen kontinuierlichen Betrieb, um den Messkopf nicht zu stark zu erwärmen. Für den transportablen akkubetriebenen Einsatz ist auch aus ökonomischen Gründen ein kontinuierlicher Betrieb der Lichtquelle nicht erwünscht.

Tabelle 1 stellt für den portablen Einsatz geeignete Lichtquellen gegenüber.

Tabelle 1: Lichtquellen für portable Spektrometer

**Lichtquellen:**

	Glühlampe	Halogen	Blitzlampe	LED
Intensität	**	***	***	**
Stabilität - seit letztem Weißabgleich	**	**	*	***
spektrale Verteilung der Lichtleistung	***	***	*	*
Lebensdauer	**	**	*	***
Wirkungsgrad	*	*	***	***

- \* ... weniger gut
- \*\* ... gut
- \*\*\* ... sehr gut

Wenn eine gleichmäßige spektrale Verteilung der Lichtleistung als Voraussetzung gefordert ist, kommt man an einer Glühlampe (evtl. als Halogenlampe) nicht vorbei. Da aus o.g. Gründen ein kontinuierlicher Betrieb nicht möglich ist, muss die Lampe vor jeder Messung ein- und nach der Messung wieder ausgeschaltet werden. Nach dem Einschalten der Lampe sendet diese jedoch Licht, dessen spektrale Leistungsverteilung sich innerhalb einer Anheizzeit verändert, bevor ein stabiler Zustand erreicht wird. Wenn diese Anheizphase ein zeitlich wiederholbares Verhalten darstellt, könnte die Messzeit (Integrationszeit des Spektrometers) bereits mit dem Einschalten der Lampen beginnen, sofern mit ebendieser konstanten Messzeit sowohl der Weißabgleich als auch sämtliche Messungen am Messobjekt erfolgen. Die Integrationszeit ist aber der einzige veränderliche Parameter eines Spektrometers mit dem seine Empfindlichkeit gesteuert werden kann. Daher scheint es wenig sinnvoll diesen Parameter festzulegen auf einen Wert, der beim Weißabgleich Übersteuerung vermeidet und bei der Messung von z.B. schwachreflektierenden Proben zu verrauschten Signalen führt. Daher interessiert, wie lang die Anheizzeit gewählt werden muss, bis die abgegebene Lichtleistung zeitlich konstant ist.

Es wurde eine Versuchsreihe durchgeführt mit verschiedenen Glühlampen:

Der Versuchsaufbau bestand aus einem Minispektrometer mit Lichtleiteranschluss und der zu untersuchenden Lichtquelle (Glühlampe). Der Abstand zwischen Lampe und Lichtleiterende wurde so gewählt, dass bei einer festen Integrationszeit von 100 ms keine Übersteuerung des Messsignals auftrat. Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau.

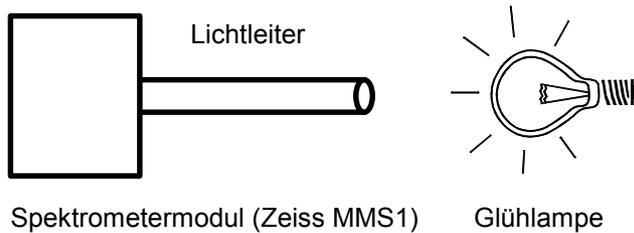


Bild 3: Prinzipieller Versuchsaufbau zum Lampenverhalten

Zunächst wurden die Lampen für eine Zeit von mindestens einer Minute eingeschaltet und dann ein Weißabgleich durchgeführt und das Spektrum einmal gemessen (ergibt Linie bei eins). Anschließend wurde mit der gleichen Integrationszeit von 100 ms jeweils eine definierte Zeitspanne nach Einschalten der Glühlampe ein Spektrum aufgezeichnet. Dieses Spektrum wurde von dem Spektrum nach der einminütigen Einlaufzeit subtrahiert und das Ergebnis wurde in Bild 4 dargestellt. Bild 4 zeigt somit den prozentualen Fehler im Spektrum durch zu geringe Anheizzeit. Dieser Fehler kann als maximaler Empfindlichkeitsfehler des Gesamtsystems aus Lampe und Spektrometer aufgefasst werden. Die Zeitspanne vom Einschalten der Lampen bis zum Beginn der Messung ist Parameter. Es zeigt sich, dass eine Anheizzeit von wenigstens 1,6 s erforderlich ist, um ausreichend stationäre Bedingungen zu gewährleisten. Für Wellenlängen unter 500 nm war das Signal gering, so dass hier vor allem bei zu kurzer Anheizzeit Rauschen dominiert.

Interessant war, dass sämtliche untersuchten Lampen, deren Durchmesser zwischen 3 mm und 6 mm und deren Glaskolbenlänge 6 mm bis 20 mm betrug, mit Betriebsspannungen von 1,5 V (Krypton) bis 24 V nahezu die gleiche Anheizzeit (>1,5 s) benötigten. Versuche, die Anheizzeit durch kurzzeitig überhöhten Strom zu verkürzen, zeigten ebenfalls keinen positiven Effekt. Auch ob die Lampen bei ihrer Nennspannung oder bis 20 % darunter betrieben wurden, hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Anheizzeit.

Untersuchungen an Halogenlampen erfolgten nicht, da Halogenlampen in der gewünschten Bauform (Durchmesser <6 mm) nicht verfügbar waren.

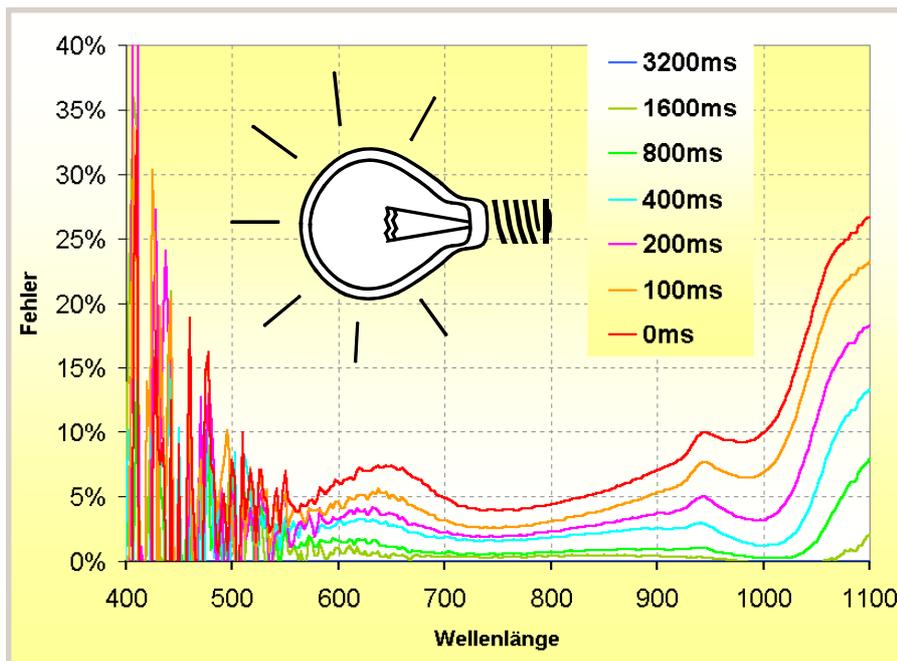


Bild 4: Empfindlichkeitsfehler des Systems Lampe-Spektrometer bei zu geringer Zeitspanne zwischen Einschalten der Lampe und Beginn der Messung (bezogen auf eine Messung mit ca. 1 min Anheizzeit), Parameter: Anheizzeit

Als für den vorgesehenen Zweck am geeignetsten erwiesen sich Lampen der Fa. Zorn GmbH aus Stockach, Germany. Diese Lampen haben eine Stromaufnahme von 0,5 A bei nominell 5 V, haben einen kurzen kräftigen Glühfaden von nur ca. 2 mm Länge und stirnseitig eine Linse, so dass das Licht gebündelt austritt.

## 5. Gesamtkonzept

Bild 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau des tragbaren Spektrometersystems.

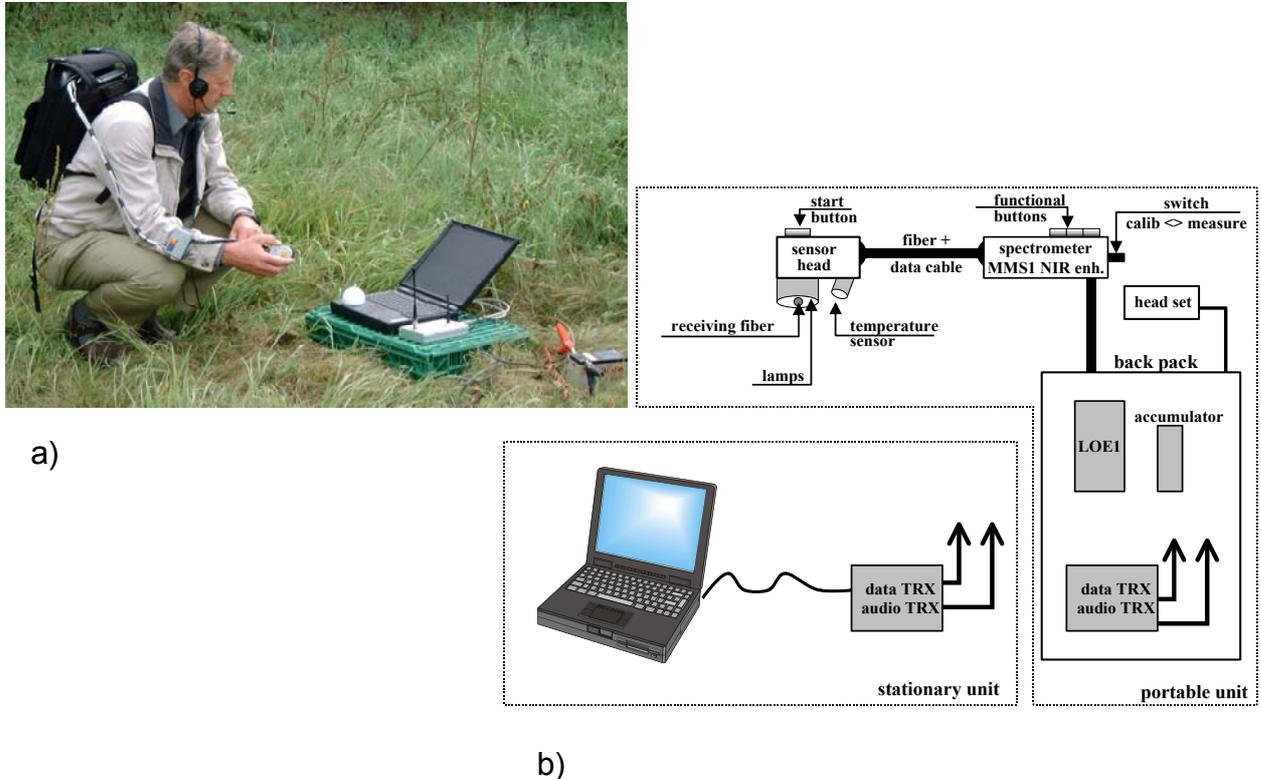


Bild 5: Tragbares Spektrometersystem - a) Gesamtsystem, b) prinzipieller Aufbau

## Bedienung

Das Spektrometermodul befindet sich zusammen mit drei Funktionstasten und einem Schalter am Arm der Messperson. In ihrer Hand hält sie den Messkopf bestehend aus der Messoptik und der Lichtquelle sowie ergänzt durch eine Auslösetaste für die Messung. An einem Finger wird ein Strahlungstemperatursensor zur kontaktlosen Erfassung der Produkttemperatur angesteckt. Die Elektronik zur Steuerung des Spektrometers, die Stromversorgung (Akku) sowie Sende-Empfangseinrichtung (TRX) befinden sich in einem Rucksack. Die Messperson trägt ein Head-Set auf dem Kopf, über dessen Hörer sie Informationen vom Computer erhält (Status- und Fehlermeldungen) und mittels dessen Mikrofon sie gesprochene Kommentare erfassen kann, die dann zusammen mit den Daten gespeichert werden. Später kann beim Betrachten eines Spektrums am PC der genau zu diesem Spektrum gehörige Kommentar angehört werden. Damit kann auf das Führen ei-

nes handschriftlichen Messtagebuches verzichtet werden. Die stationäre Einheit besteht aus einem Notebook und einem Sende-Empfangsmodul zur Übertragung von Daten- und Audiosignalen vom und zum Spektrometer.

An der tragbaren Einheit stehen folgende Tasten zur Verfügung:

Betriebsartenschalter	Messen	Kalibrieren
Taste 1	Messung	Weißabgleich
Taste 2	Lösche letzte Messung	Dunkelabgleich
Taste 3	Ansage der Nummer der nächsten Messung	Neue Datei
Taste 4	Zeichne Audiokommentar auf	

Die Kommunikation der Messperson über wenige Tasten und eine bidirektionale Audio-schnittstelle hat den Vorteil, dass sie die Augen und die zweite Hand frei hat, sich auf den Messvorgang insbesondere die Ankopplung des Messkopfes an das Messobjekt zu konzentrieren.

## Hardware

### *Spektrometer*

Das eigentliche Spektrometer basiert auf dem ZEISS-Modul MMS1 NIR enhanced und der Ansteuerbaugruppe LOE1 Akku von TEC5. Diese wurden von TEC5 zusammen mit einer Link-Library zur Erstellung anwenderspezifischer Software geliefert. Der eingesetzte 12 Zellen 1,3 Ah NiMh-Akku wurde durch einen solchen mit 3,7 Ah ersetzt, die Ladeelektronik wurde entsprechend modifiziert, so dass auch bei zusätzlicher Versorgung der Lampen der ununterbrochene Betrieb für einen ca. 8 h Arbeitstag mit voll geladenen Akkus ermöglicht wird.

Die Spektrometerelektronik (LOE1) befindet sich im Rucksack, das Kabel zum Spektrometermodul wurde auf ca. 1,5 Meter verlängert. Im Gehäuse der LOE1-Baugruppe fanden zusätzlich die Lampenstromversorgung und die Tastenabfrageelektronik Platz, das Akkupack wurde ausgebaut und wird nun von außen angeschlossen.

Die RS232-Schnittstelle der LOE1-Baugruppe wurde mit einem Funkmodem OPC1515 NiceCom Fast Speed II der Firma OPC (Bild 6) verbunden.

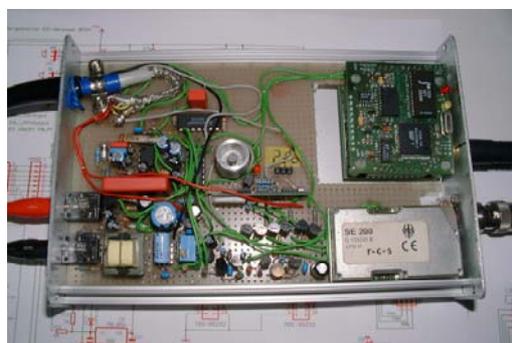


Bild 6: Datenfunkmodem

Technische Daten	
Frequenzbereich:	2,405 bis 2,477 GHz
Schnittstelle:	RS232, (8/N/1)
Übertragungsrate:	9,6 bis 230,4 kbps
Spannungsversorgung:	5 V
Abmessungen:	60 mm x 45 mm x 15 mm
Antennenanschluss:	SMA
LED's:	grüne LED (neben Taster) Spannungsversorgung über Netzteil rote LED Batteriespannung low gelbe LED CTS-Signal - Datenpuffer empfangsbereit grüne LED Funkkontakt
Zulassung:	Europaweit nach I-ETS 300440
Produktbezeichnung:	OPC1515

Dieses befindet sich zusammen mit einem Audiotransceiver und der für diesen notwendigen Elektronik (Microcontroller zur Transceiveransteuerung, Mikrofonverstärker mit Dynamikkompressor, Kopfhörerverstärker) in einem kleinen Gehäuse (Bild 7a). Die Stromversorgung erfolgt aus dem Akku der LOE1.

Ein zweites Datenmodem OPC1515 befindet sich wiederum mit einem Audiotransceiver in einem zweiten Gehäuse (Bild 7b) und ist an die RS232-Schnittstelle des Bedien-PC (Notebook) der stationären Einheit angeschlossen. Diese wird mit einem zweiten (PKW- oder Motorrad-) Akku betrieben, der auch den Notebook PC versorgen kann.



a) mobile Einheit



b) stationäre Einheit

Bild 7: Audio- und Datentransceiver

### *Lampenstromversorgung*

Über die kommerziell beschafften OEM-Module zur Spektrometersteuerung (TEC5), zur Funk-Datenübertragung (OPC) und zur Audioübertragung (Conrad-Electronic) hinaus wurden sechs Baugruppen entwickelt:

- Lampenstromversorgung
- Lampenarbeitspunktbestimmung
- Tastenabfrage
- 2 Stück Daten- und Audio-TRX
- Messkopf (Lampengehäuse) inklusive Ankopplung an Temperatursensor

Die Lampenstromversorgung ist so ausgelegt, dass die Spannung an den Lampen nach durchgeführtem Weißabgleich für alle nachfolgenden Messungen wiederholbar den gleichen Wert annimmt. Die Lampenbetriebsspannung (5V) wird aus der Rohspannung des Akkus mittels Schaltregler (Wirkungsgrad) gewonnen. Da die Schaltregler nur eine Regelung Ihrer Ausgangsspannung um  $\pm 5\%$  erlauben, ermittelt ein Microcontroller auf Anfrage vom PC den optimalen Arbeitspunkt für die Spannungsregler und stellt die Spannung an den Lampen entsprechend ein. Durch 4-Leitertechnik ist garantiert, dass Übergangswiderstände an den Steckverbindern keinen Einfluss auf die Lampenspannung haben. Eine spezielle Schaltung überwacht, ob die Spannungsregelung innerhalb ihrer Grenzen arbeitet und gibt anderenfalls Alarm. Bei Störungen in der Funkübertragung zwischen PC und Spektrometer kann es auftreten, dass die einmal eingeschalteten Lampen nicht wieder ausgeschaltet werden. Eine Überwachungsschaltung registriert dies, und schaltet die Lampen nach spätestens 30 Sekunden ununterbrochenem Betrieb ab. Die Lampen sind in 2 getrennt schaltbaren Gruppen angeordnet, so dass mit halber oder voller Leistung beleuchtet werden kann.

### *Audioverbindung*

Zur bidirektionalen Übertragung von Audiosignalen zwischen tragbarer Einheit und PC wird ein Transceiverpaar (UHF-Transceivermodul SE200, Conrad electronic Best.-Nr. 117072-66) eingesetzt. Der eingesetzte Transceivertyp erlaubt die Nutzung eines von 15 Kanälen im Bereich von 433MHz (LPD - Low Power Device) und wird von einem Microcontroller über einen 21 Bit-Datenstrom gesteuert. Da er für die Übertragung von Digitalsignalen optimiert ist, musste das zu übertragene Signal vorverzerrt werden (starke Tie-

fenanhebung), um gute Sprachqualität zu ermöglichen. Zur Sicherung einer optimalen Aussteuerung (rauscharmes übersteuerungsfreies Mikrofonsignal) bei der Übertragung gesprochener Kommentare musste das Mikrofonsignal automatisch auf einen konstanten Pegel gebracht werden. Hierzu wurde eine Schaltung um einen als Dolby-Schaltkreis konzipierten Baustein entwickelt. Somit spielen weder der Abstand zwischen Mund und Mikrofon noch die Lautstärke des Sprechers eine Rolle für den Pegel und damit die Qualität des aufgezeichneten Signals. Die Messperson drückt eine Taste, um die Audio-Aufzeichnung im PC zu starten. Der aufgezeichnete Sound wird dann automatisch dem nächsten aufgezeichneten Spektrum zugeordnet.

### *Temperaturmessung*

Zur Temperaturmessung wird ein Thermopile-Sensor MLX90601EZA-CAA (mit integrierter Elektronik, SPI-Ausgang, erweiterter Temperaturbereich:  $-20^{\circ}\text{C}$  ...  $+120^{\circ}\text{C}$ ) eingesetzt. Diese Temperatursensoren sind vom Hersteller auf eine absolute Genauigkeit von  $\pm 2$  K kalibriert, die Reproduzierbarkeit der Messung ist besser als 0,4 K. Die Sensoren verfügen über einen seriellen Datenein-/ausgang (SPI). Im Messkopf befindet sich ein Microcontroller, der über diese Schnittstelle mit dem Temperatursensor kommuniziert und die Daten anschließend seriell 2 Bit-weise auf den I<sup>2</sup>C-Bus der Spektrometerelektronik legt.

Wenn die Taste zum Auslösen der Messung betätigt wird, so erfolgt augenblicklich die Temperaturmessung (10  $\mu\text{s}$ ). Anschließend werden die Lampen eingeschaltet. Die Anheizzeit der Lampen (ca. 2 Sekunden) wird genutzt, um die Daten der Temperaturmessung zum PC zu übertragen (dauert wegen der Art der Übertragung und des Protokolls ca. 85 ms je Bit). Damit ist auch gewährleistet, dass die Strahlungswärme der Lampen den Temperaturmesswert nicht beeinflusst.

### *Messkopf*

Das Spektrometer ist so ausgelegt, dass mittels verschiedener anschließbarer Messköpfe verschiedene Messarten möglich sind. Der erste aufgebaute Messkopf (Bild 8a) realisiert die Messung der partiellen Transmission, d.h. ringförmig auf das Produkt gestrahltes Licht tritt im Innern des Ringes aus der Frucht, nachdem es Fruchtschale und einen Teil des Fruchtfleisches durchstrahlt hat (Bild 8b), und wird mit einem Lichtleiter eingefangen, der optisch mit dem Spektrometereingang verbunden ist. Auf seinem Weg durch die Frucht wird das Spektrum des Lichtes durch Absorption verändert, so dass durch Auswertung dieses Spektrums auf Fruchtzustand und Inhaltsstoffe geschlossen werden kann.

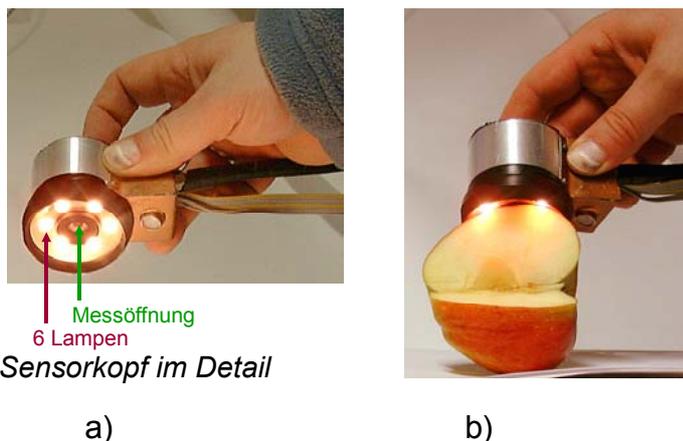


Bild 8: Messkopf für partielle Transmission

### Software

Auf der Basis der mit der LOE1-Baugruppe gelieferten DLL wurde ein Delphi-Programm erstellt, welches die gesamte Kommunikation mit dem Spektrometer sowie die Verwaltung und Speicherung der Spektren ermöglicht. Es verwaltet verschiedene Nutzerprofile, so dass jeder Nutzer seine Einstellungen beim Programmstart wiederfindet. Neben der ferngesteuerten Spektrenaufzeichnung ermöglicht es die Betrachtung und Manipulation derselben und das Abhören der gesprochenen Kommentare.

Weiterhin entstanden 3 Steuerprogramme für insgesamt 4 zusätzliche Microcontroller (Basic-Briefmarke 1, Fa. Parallax) eines für das Auslesen des Temperaturmoduls, eines für die Steuerung der Lampenspannung, und je eines für die beiden eingesetzten Audi-transceiver.

## 6. Erprobung des Spektrometersystems

Das tragbare Spektrometer mit Messkopf für partielle Transmission wurde im Jahre 2002 während der Baumreife von Äpfeln („Boskoop“-ähnliche Sorte) auf einer Streuobstwiese nahe dem ATB eingesetzt. Die Messungen erstreckten sich anfänglich auf insgesamt zehn identische Früchten eines Baumes, an deren Stiel zur Identifizierung ein Farbband befestigt wurde. Die Messstelle an jeder Frucht wurde zur Wiederfindung mittels Kugelschreiber markiert. Wegen vorzeitigen Fruchtfalls waren jedoch keine vollständigen Messreihen realisierbar. Um zur Messung an die einzelnen Früchte am Hochstamm zu gelangen, wurde eine Stehleiter benutzt. Trotz dieser erschwerten Bedingungen war der Messablauf durch die Ein-Hand-Bedienung und dank der Audio-Verbindung zum PC problem-

los zu handhaben. Das Notebook PC war dabei in der Nähe des betreffenden Baumes platziert. Die versuchsweise getestete Reichweite der Datenübertragung per Funk betrug knapp 100 m.

Bild 9 zeigt am Beispiel einer ausgewählten Frucht die Veränderung der spektralen Lichttransmission während knapp fünf Wochen Baumreife. Am deutlichsten markiert sich die Verringerung des Chlorophyllgehalts durch zunehmende Transmissionswerte bei Wellenlängen um 680 nm.

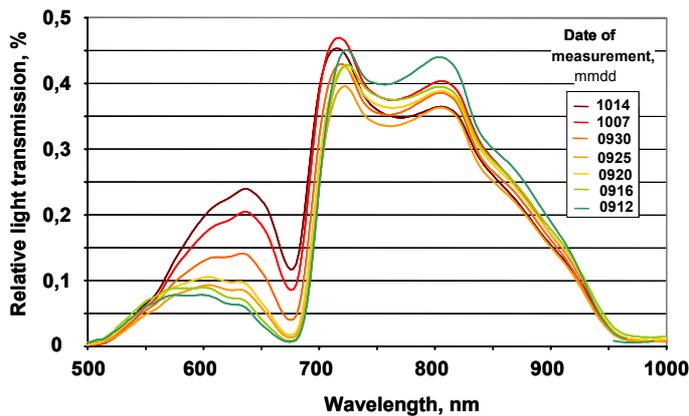


Bild 9: Spektrale Signatur einer ausgewählten Frucht während der Baumreife

Aus den spektralen Signaturen von sechs Früchten wurde die Wellenlänge des Wendepunkts an der Rot-Flanke (Red edge) ermittelt, um den Rückgang des Chlorophyllgehalts zu verdeutlichen (Bild 10). Die markanten Differenzen zwischen den Kennlinien der einzelnen Früchte werden als individuell unterschiedliche Reifezustände interpretiert. Sie zeigen einerseits an, dass mit einer erheblichen Streuung der Fruchtentwicklung an einem Baum zu rechnen ist. Andererseits lässt sich der Stichprobenumfang dadurch reduzieren, dass an Stelle von Labormessungen an unterschiedlichen Früchten nunmehr Feldmessungen an ein und denselben Früchten durchgeführt werden können.

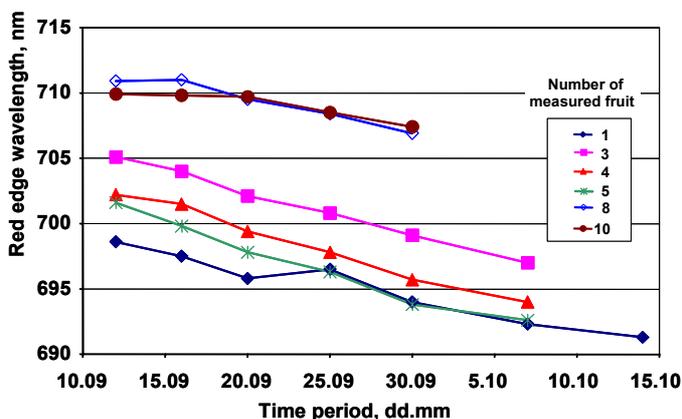


Bild 10: Verschiebung der Rot-Flanke an sechs Früchten während der Baumreife

## **Bildanalytische Bestimmung von Lückigkeit und Farbe auf Rasenparzellen**

### ***Evaluation of turfgrass cover and colour based on image analysis***

Ingo F. Rademacher<sup>1)</sup>, Reiner Lock<sup>1)</sup>, H. Nonn<sup>2)</sup>, Walter Kühbauch<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn

<sup>2)</sup> Wolf-Garten, Betzdorf/Sieg

**Kurzfassung:** Farbaspekt, Narbendichte und Allgemeinzustand von Rasenversuchen werden mit Hilfe visueller Bonituren bewertet. Basierend auf Multispektral- und RGB- Aufnahmen wird ein bildanalytisches Verfahren vorgestellt, das eine objektive und reproduzierbare Bewertung der Lückigkeit ermöglicht. Das Verfahren nutzt die hohe Reflexion von Vegetation im NIR sowie die geringe Helligkeit bzw. die farbliche Differenz von Rasenlücken und Schatten im Vergleich zum Rasen. Die Beurteilung der Farbe erfolgt durch die computergesteuerte Zuordnung des Rasenfarbtons zu einer Palette vorgegebener Referenzfarben. Effekte, die die Farbwahrnehmung und –messung beeinflussen, werden diskutiert.

**Deskriptoren:** Rasen, Farbmessung, Narbenlückigkeit, Bildanalyse.

**Summary:** *Information of colour, cover and sward condition in turf grass trails is mainly based on estimates. A method evaluating multi-spectral and RGB-images for an objective and reproducible judgement of sward cover is introduced. This method uses the high NIR-reflectance of vegetation and the darkness and colour information of gaps and shadows. The evaluation of colour is performed by an automatic assignment of turf colour to a range of reference colours. Effects that have impact on colour perception and measurement are discussed.*

**Keywords:** *turf, colour measurement, sward gaps, image analysis.*

## 1. Einleitung

Bonituren zur Erfassung der sortentypischen Eigenschaften von Rasengräsern werden visuell durchgeführt (BSA, 1999). Das Verfahren der Bonitur beinhaltet jedoch den Nachteil einer personen- oder objektgebundenen Subjektivität sowie der mangelnden Reproduzierbarkeit und Übertragbarkeit der erhobenen Daten auf andere Versuchsstandorte oder -jahre (Amanat 1977; Hau *et al.* 1989; Cooper 1990; Gooding and Newell 1991; Dreier u. Schlösser 1993; Bell *et al.* 2002). Dass viele züchterisch bedeutende Merkmale nach wie vor geschätzt statt gemessen werden, ist nicht zuletzt auf das Fehlen geeigneter und standardisierter Messverfahren zurückzuführen. Mit der heute verfügbaren Technik können Bildinformationen mit hoher spektraler und räumlicher Auflösung erfasst, analysiert und dokumentiert werden. Damit besteht die Möglichkeit, Eigenschaften von Rasennarben in objektiver Weise und weit über den gegenwärtigen Stand der üblichen Boniturverfahren hinaus präzise zu charakterisieren.

Im Vordergrund von Rasenbonitur stehen, Narbendichte bzw. -lückigkeit, Farbe und Aspekt. Der Bodendeckungsgrad ist z.B. ein Merkmal, das bei geringem Pflanzenbewuchs mit Hilfe digitaler Bildanalyse sehr zuverlässig und sehr schnell erfasst werden kann (Andrieu *et al.* 1997, Richardson *et al.* 2001). In dichten Rasenbeständen gilt es jedoch, Narbenlücken von Schatten bzw. Verfärbungen zu unterscheiden. Aber auch Farbe und Aspekt von Rasenoberflächen sind Kriterien, die mit Hilfe bildanalytischer und radiometrischer Verfahren zu beschreiben sind.

Gooding und Gamble (1990) haben an 30 verschiedenen Sorten von Wiesenrispe (*Poa pratensis*) Farbe und Aspekt bonitiert und die Ergebnisse mit den Messwerten eines Kolorimeters ( $L^*a^*b^*$ ) und eines Spektralradiometers (NIR/R) verglichen. Zusätzlich haben sie den Chlorophyllgehalt der Blätter bestimmt. Während die Kombination der  $L^*$ - und  $b^*$ -Werte die stärkste Beziehung zu den visuellen Farbbonituren zeigte, war die Farbmessung nicht geeignet, den Aspekt zu beschreiben. Dagegen korrelierte die Spektrometermessung sehr gut mit dem Aspekt, der Farbbonitur und dem Parameter  $a^*$  der kolorimetrischen Farbmessung. Thorogood (1995) hat ähnliche Untersuchungen an Rasenblättern und an Rasenbeständen durchgeführt. Anders als Gooding und Gamble (1990) fand er, dass die Grünheit nicht alleine durch die Parameter  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  beschrieben werden können, da diese Werte über die Zeit in einer nicht linearen Beziehung zueinander stehen. Die Ursache für diese nicht lineare Beziehung lag in der zunehmenden Seneszenz der Blätter über einen relativ kurzen Beobachtungsraum.

Nachfolgend wird ein bildanalytisches Verfahren vorgestellt, mit dem in zwei verschiedenen Rasenversuchen die Narbendichte bzw. -lückigkeit anhand multispektraler und RGB-Bildaufnahmen ermittelt wurde. Daneben wird ein Konzept zur ortsauflösenden Farbmessung von Rasenflächen vorgestellt.

## 2. Material und Methoden

### - multispektrale Bildaufnahmen

Vor die 16 mm Optik einer CCD -Monochromkamera (Hitachy KP-F190, 8 bit, 1024 x 1024 Pixel) wurde ein revoltierendes Filterrad montiert, das mit 3 dichroitischen Farbtrennfiltern und einem Infrarotfilter bestückt war (Bild 1).



Bild 1: Multispektrale Aufnahmeeinheit mit Kamera (1), Filterrad (2), Filter (3), Motor (4) und Steuereinheit (5)

Die Farbfilter ermöglichten die Transmission sichtbaren Lichts in den Bandbreiten 400-500 nm (Blau), 500-570 nm (Grün) und 580-730 nm (Rot). Zusätzlich wurden die Farbfilter mit einem Wärmeschutzfilter kombiniert, der störendes NIR eliminiert und Strahlung >700 nm nicht passieren lässt. Der Infrarotfilter hatte eine Durchlässigkeit für Strahlung oberhalb von 770 nm. Die obere Begrenzung des NIR-Kanals (ca. 900 nm) wurde durch die Sensitivität der Kamera festgelegt.

Die Steuerung des Filterrades, Bildaufnahme (R-G-B-NIR), Digitalisierung und Bildspeicherung (TIFF- Format) erfolgte über einen externen Laptop. Für den Freilandeinsatz wurde die Kameraeinheit auf ein abgeschirmtes, transportables Stativ montiert, das mit interner Belichtung und autonomer Energieversorgung für den Betrieb der Kamera und

des Rechners ausgestattet war. Durch die schnelle Aufnahme einer Bildsequenz (ca. 1s/ Bild) und die Abschirmung der Pflanzen gegen Regen und Wind wurde eine nahezu pixelgenaue Übereinstimmung der vier Kanäle erreicht.

#### - RGB- Bildaufnahmen

Für Anwendungen, bei denen auf die Bildinformation im nahen Infrarot verzichtet werden konnte, kam eine handelsübliche Digitalkamera (Nikon coolpix 995) zum Einsatz. Die Bildaufnahmen erfolgten unter vergleichbaren Bedingungen mit dem Aufnahmestativ der Multispektralkamera.

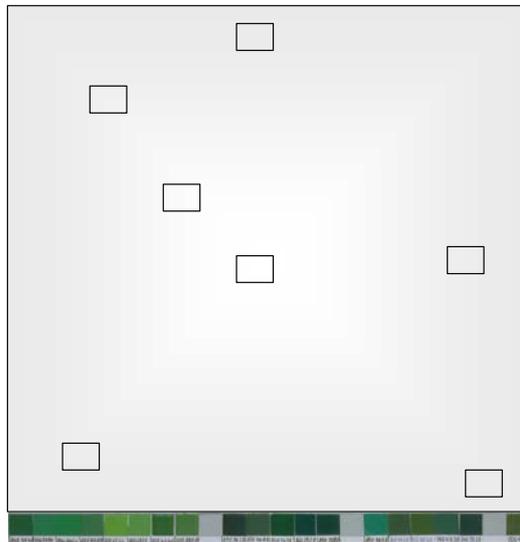


Bild 2: Schema der Aufnahmeebene mit den Referenzen für einen permanenten Weißabgleich und einer Grüntonpalette

Die gespeicherten Bilder wurden mit einer eigenen Bildverarbeitungssoftware bearbeitet, die in C<sup>++</sup> programmiert wurde. Narbenlücken wurden anhand von Grauwertschwellen (NIR-Bild) oder einer Farbbereichszuordnung zwischen Boden und Rasen (RGB-Bild) bestimmt.

Die Farbmessung der Rasennarbe basiert auf einem permanenten Weißabgleich im Aufnahmebereich und der Zuordnung der Rasenfarbe zu einer vorgegebenen Palette von Referenzfarben (Bild 2). Der permanente Weißabgleich ermöglicht eine weitgehende Unabhängigkeit von einer homogenen Belichtung hinsichtlich Verteilung, Spektrum und Intensität des Lichtes.

Die Messungen zur Narbendichte und Lückigkeit von Rasen erfolgten in zwei verschiedenen Freilandversuchen. Im ersten Versuch stand die Wirkung von vier verschiedenen Langzeitdüngern auf die Narbendichte im Vordergrund. Der zweite Versuch konzentrierte sich vornehmlich auf die Erfassung von Lücken, die in Form und Flächenanteil variierten. Die Variationsbreite einer visuellen Bonitur von Rasenfarbe wurde anhand eines Gefäßversuches mit 12 verschiedenen Rasensorten und 18 Testpersonen überprüft.

### 3. Ergebnisse

Ein typischer Bildausschnitt einer multispektralen Rasenaufnahme mit den detektierten Lücken im NIR-Kanal ist im Bild 3 dargestellt. Der Infrarotkanal erwies sich auch auf Rasenflächen geeignet, um Vegetation vom Bodenhintergrund zu trennen. Anhand dieses Verfahrens konnte die Wirkung von Langzeitdüngern auf die Narbendichte dokumentiert werden. Während zu allen Terminen die Lückigkeit der ungedüngten Kontrolle

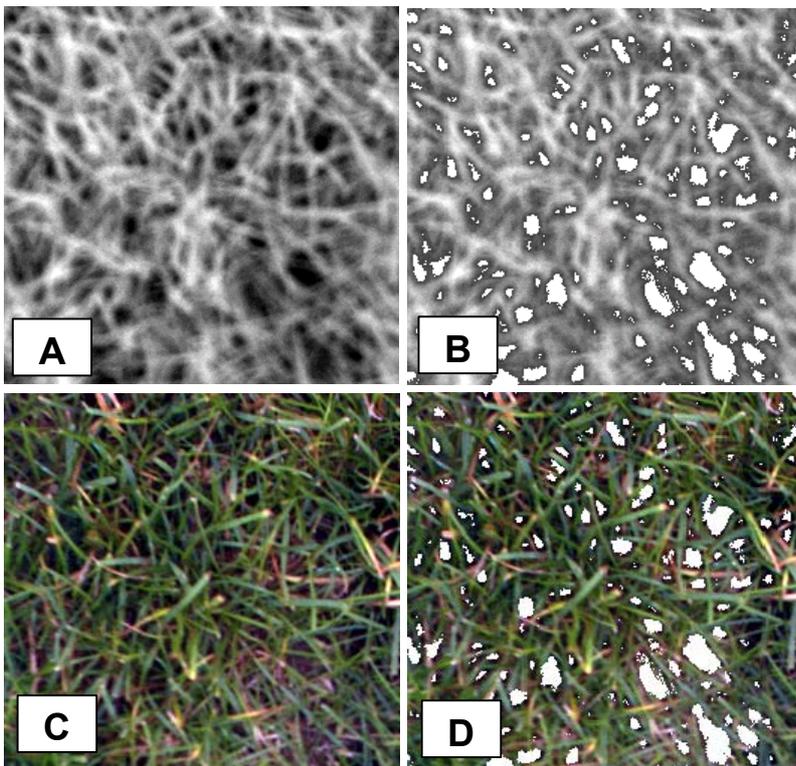


Bild 3: Bildaufnahme einer Rasenoberfläche.

- A) NIR-Aufnahme
- B) NIR-Aufnahme mit detektierten Lücken (weiß)
- C) RGB-Aufnahme
- D) RGB-Aufnahme mit maskierten Lücken

über den gedüngten Varianten lag, konnte zwischen den verschiedenen Düngern kein Unterschied festgestellt werden. Ohne Düngung nahm die Lückigkeit über den Untersuchungszeitraum zu, mit Düngung nahm sie ab (Bild 4).

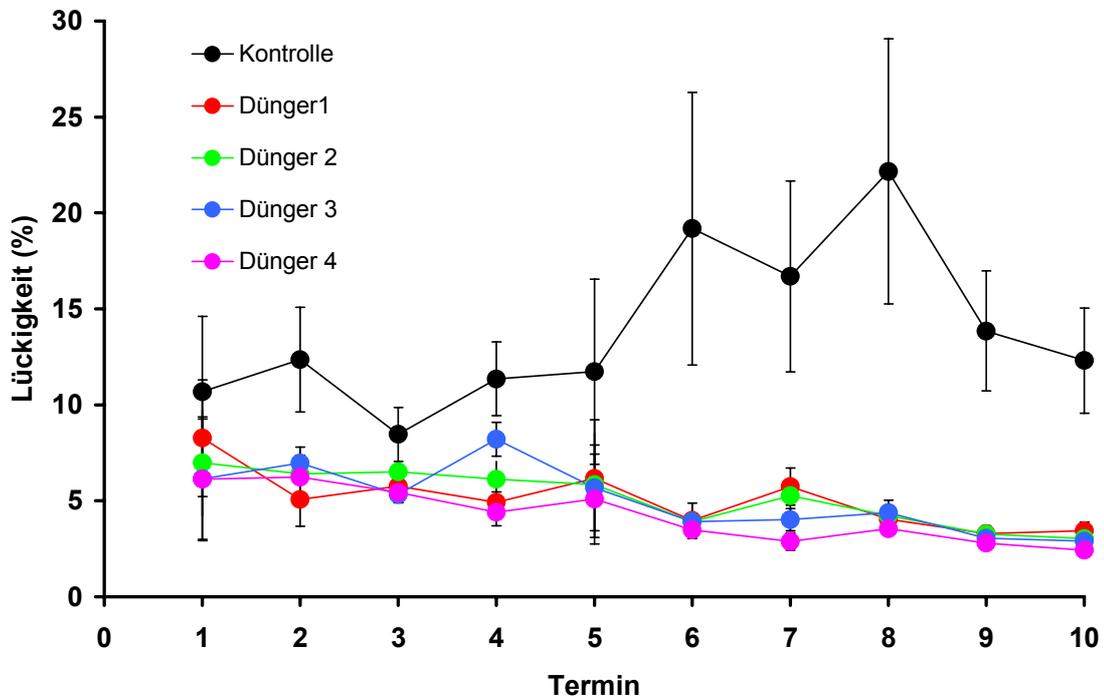


Bild 4: Veränderung der Lückigkeit von Rasenflächen unter dem Einfluss verschiedener Langzeitdünger – Termine 1 bis 10; Fehlerbalken +/- 1 SE (n=12; zu T1 n=6)

Zur Bestimmung der Lückigkeit von Rasenflächen ist ein NIR-Kanal nicht zwingend nötig. Oft reichen RGB-Aufnahmen mit einer Digitalkamera vollkommen aus, um den Flächenanteil von Narbenlücken zu quantifizieren, wie Arbeiten von Richardson und Mitarbeitern (2001) sowie eigene Arbeiten zeigen. Um den Anteil der Lücken nicht zu überschätzen, erweist es sich aber als sinnvoll, Schwellenwerte für Pixelcluster zu verwenden, die zwischen Lücken ( $<4\text{mm}^2$ ) und Schatten ( $>4\text{mm}^2$ ) differenzieren.

Die Bonitur der Rasenfarbe von 12 verschiedenen Rasensorten/ -arten durch 18 Testpersonen zeigte eine erhebliche individuelle Variationsbreite, die nochmals zunahm, wenn ohne Farbreferenzen bonitiert wurde (Bild 5). Diese Schwierigkeiten liegen z.T. darin begründet, dass die menschliche Farbwahrnehmung auch von der Textur des betrachteten Objekts abhängt. Es liegt daher nahe, dass morphologische Merkmale der Rasengräser einen entscheidenden Einfluss auf Farbe und Aspekt haben können. Hinzu kommt, dass der visuelle Eindruck zusätzlich durch Störgrößen wie Farbe und Mus-

ter des Hintergrundes, Lücken, Verunkrautung, Krankheitsbefall etc. beeinträchtigt wird. Eine Eliminierung oder Bewertung der Störgrößen ist daher eine entscheidende Voraussetzung zur Standardisierung neuer technischer Verfahren bei der Klassifizierung von Rasenbeständen.

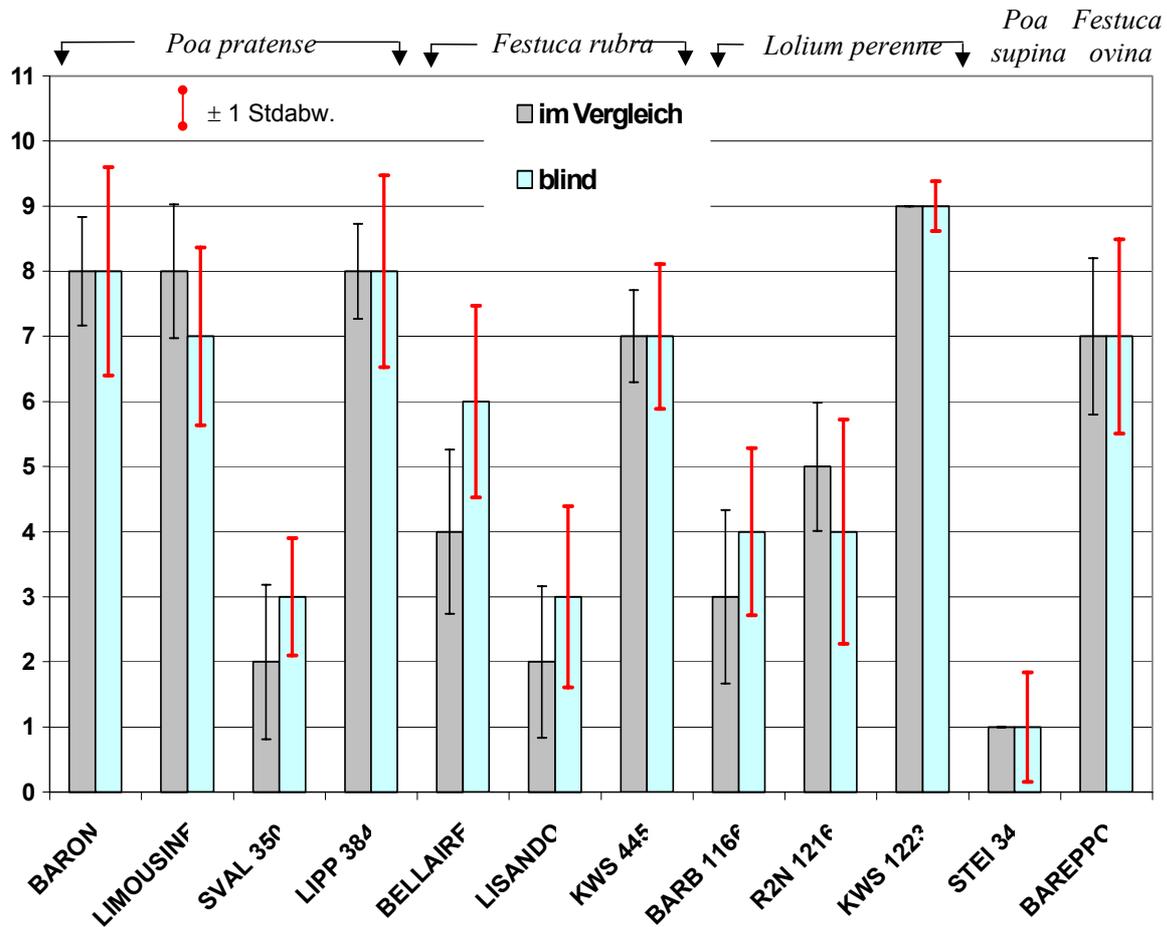


Bild 5: Bonitur der Farbe (1 - 9) von 12 verschiedenen Rasensorten durch Testpersonen ( $n = 18$ ), denen im Vergleich die hellste (STEI 34) und dunkelste (KWS 122) Variante als Farbreferenz zur Verfügung stand. Die zweite Bonitur fand blind, d.h. ohne Referenz statt.

#### 4. Fazit

Eine Messung der Narbendichte und der Lückigkeit von Rasenbeständen ist mit Hilfe der digitalen Bildanalyse schnell, zuverlässig und reproduzierbar möglich. Es ist somit ein geeignetes Verfahren, um Bonituren zu ersetzen.

Ortsauflösende bildanalytische Farbmessungen erfordern Farbreferenzen und einen permanenten Weißabgleich, um Unzulänglichkeiten bei der Belichtung der Bildaufnah-

me ausgleichen zu können. Die Quantifizierung weiterer Effekte auf die Farbwahrnehmung von Rasenflächen sind Gegenstand laufender Untersuchungen.

## 5. Literatur

- Amanat P (1977)** Modellversuche zur Ermittlung individueller und objektiver Schätzfehler bei Pflanzenkrankheiten. Diss. Universität Gießen
- Andrieu B, Allirand JM, Jaggard K (1997)** Ground cover and leaf area index of maize and sugar beet crops. *Agronomie*, **17**; 315-321
- Bell GE, Martin DL, Wiese SG, Dobson DD, Smith MW, Stone ML, Solie JB, (2002)** Vehicle-Mounted Optical Sensing: An Objective Means for Evaluating Turf Quality, *Crop Sci.*, **42**, 197-201
- Bundessortenamt (1999)** Richtlinie für die besondere Anbauprüfung auf Rasennutzung.
- Cooper TH (1990)** Development of students' ability to match soil color to munsell color chips. *Journal of Agronomic Education*, **19**, 141-144
- Dreier M, Schlösser E (1993)** Befallsmessung mittels digitaler Bildanalyse und Vergleich mit visueller Bonitur. Medelingen-Faculteit- Landbouwkundige- en- Toegepaste Wetenschappen. Universiteit Gent (Belgium), **58**; 1193-1199
- Gooding MJ, Gamble LJ (1990)** Colour evaluation of *Poa pratensis* cultivars; *Journal-of-the-Sports-Turf-Research-Institute*; **66**; 134-140
- Gooding MJ, Newell AJ (1991)** Objective assessment and visual perception of *Poa pratensis* cultivars under close mowing. *Journal-of-the-Sports-Turf-Research-Institute*, **67**, 105-112
- Hau B, Kranz J, König R (1989)** Fehler beim Schätzen von Befallsstärken bei Pflanzenkrankheiten. *Zierpflanzenkrankheiten Pflanzenschutz*, **96**, 649-674
- Richardson MD, Karcher DE, Purcell LC (2001)** Quantifying Turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.*, **41**, 1884-1888
- Thorogood D (1995)** The inter-relationship of colour parameters in turfgrass- the basis of a model for turfgrass colour description. *Plant Varieties and Seeds*, **8**, 55-64

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 <sup>th</sup> 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 <sup>TM</sup> , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements Bericht aus den sozioökonomischen Forschungen der BMBF-geförderten Verbundvorhaben des Förderschwerpunktes Biotop- und Artenschutz / Integrierte Naturschutzforschung (01LN)	2003

Interessenten wenden sich an:

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

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

Schutzgebühr: 13,- €