

Messende Lichtgitter und Multispektralkameras als bildgebende Systeme zur Pflanzenerkennung

Imaging for crop detection based on light curtains and multispectral cameras

Frank Fender^(*), Mark Hanneken^(*), Andreas Linz^(*), Arno Ruckelshausen^(*), Mark Spicer^(**)

^(*) Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme, Fachhochschule Osnabrück, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück

^(**) Pioneer Hi-Bred International, Inc., Johnston/Iowa, USA

Email: a.ruckelshausen@fhos.de

Kurzfassung: Die Entwicklung automatisierter Systeme zur Erfassung und Unterscheidung von Pflanzen erfordert die kombinierte Analyse geometrischer und spektraler Merkmale. Der Einsatz neuartiger messender Lichtgitter bietet neue Optionen zur Messung zuverlässiger geometrischer Signaturen, wobei durch die direkt zur Verfügung stehenden Binärinformationen hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten möglich sind.

Es wurde ein messendes Lichtgitter (Height Profile Sensor/ High Resolution – “HPS-HR“) zur online-Erfassung von Pflanzenmerkmalen entwickelt und angewendet. Weiterhin wurde eine Multispektralkamera zur Erfassung bildhafter spektraler Merkmale mit dem Lichtgitter kombiniert. Die Korrelation der Signale eröffnet umfassende Möglichkeiten zur Erkennung und Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern sowie zur Bonitur von Pflanzenkulturen.

Deskriptoren: Bildverarbeitung, Multispektrale Kameras, messende Lichtgitter, teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung, Pflanzenbonitur.

Summary: The development of automated systems for the measurement and the distinction of plants is based on the detection of geometric and spectral information. The application of new light curtains for measurement purposes offers new options for the reliable analysis of geometric signatures, whereas the binary data are directly available thus resulting in high processing speeds.

A new light curtain for measurement purposes (Height Profile Sensor/ High Resolution – “HPS-HR”) for the online-detection of plant characteristics has been developed and applied. Moreover, a spectral imaging camera for the detection of the spectral characteristics has been combined with the light curtain. The correlation of the signals is a powerful tool for crop-weed-detection as well as for the characterization of plant cultures.

Keywords: Image processing, multispectral cameras, light curtains, site specific weed control, plant characterization.

1. Einleitung

An der Entwicklung von Komponenten zur ortsspezifischen Unkrautregulierung wird seit vielen Jahren gearbeitet, jedoch stehen noch keine praxistauglichen Geräte zur Verfügung. Die Verfügbarkeit einer zuverlässigen und kostengünstigen Sensorik wäre insbesondere die Voraussetzung für nichtchemische Verfahren mit ökonomischen als auch ökologischen Vorteilen (RUCKELSHAUSEN et al. 2004). Ein Lösungsansatz basiert auf dem Einsatz von Kameras, die verschiedene Spektralbereiche erfassen (z.B. SÖKEFELD et al. 2002, LANGNER und BÖTTGER 2003, OEBEL et al. 2004). Von DZINAJ et al. wurde 1998 die kombinierte Erfassung geometrischer und spektraler Signaturen unter Integration in ein Multisensorsystem vorgeschlagen, wobei insbesondere die Höheninformation online erfasst wurde. Die kombinierte Erfassung beider Aspekte wird von den Autoren als eine wesentliche Voraussetzung für eine kostengünstige und zuverlässige Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern angesehen. Hier bieten sich in Zukunft 3D-Kameras an (CMOS-IMAGING 2004), jedoch erfordert die Marktverfügbarkeit hochauflösender und zuverlässiger Systeme für die Praxis noch erhebliche Entwicklungsarbeiten.

Die seitliche – “einseitige“ – Erfassung von Pflanzenabständen wurde bereits bis zu Geschwindigkeiten oberhalb von 10 km/h durch punktweise optoelektronische Messungen realisiert (z.B. THÖSINK 2004), jedoch sind bildgebende Systeme mit Zeilenstrukturen noch nicht am Markt verfügbar. Zur Erfassung des seitlichen Pflanzenprofils mit Höheninformationen bieten sich prinzipiell Lichtgitter an. Jedoch haben sich die Hersteller dieser Systeme (eine Auswahl ist unter LICHTGITTER 2005 aufgeführt) in der Vergangenheit fast ausschließlich an sicherheitstechnischen Aspekten in der Robotik und Lasertechnik orientiert, ohne den bildgebenden Charakter ihrer Systeme in vollem Umfang auszunutzen. Eine erste landtechnische Anwendung für die Nutzung eines Lichtgitters als “Kamera“ wurde von HARA et al. (2003) für die Kartoffelernte realisiert.

Im folgenden wird daher auf die Technik dieser Systeme sowie die Entwicklung eines schnellen hochauflösenden Höhenprofilsensors auf Basis des Prinzips von DZINAJ et al. (1998) beschrieben. Die Kombination dieses kostengünstigen Systems mit spektralen Signaturen wird als eine Anwendung dargestellt.

2. Messende Lichtgitter

Messende Lichtgitter stellen ein System parallel angeordneter Lichtschranken dar. Das zu vermessende Objekt muss sich zwischen dem Sende- und Empfangsteil befinden. Durch die Bewegung des Messobjektes oder des Lichtgitters kann das Profil des Objektes zweidimensional abgetastet werden und zu einem Binärbild synthetisiert werden. Wird darüber hinaus die Geschwindigkeit oder der Weg für die Bewegung aufgenommen, so lassen sich auch in Bewegungsrichtung absolute geometrische Abmaße ermitteln. Durch die Unterbrechungen der Lichtschranken erhält man für das in Abbildung 1 dargestellte Beispiel absolute Höhen- und Strukturinformationen. Die „digitalen“ Informationen mehrerer Messungen stellen unmittelbar ein Binärbild zur weiteren Verarbeitung mit den in der Bildverarbeitung angewendeten Algorithmen bereit. Es muss daher nicht – wie bei einer Standardkamera – eine analoge Information durch Schwellwertsetzung in eine binäre Information umgewandelt werden. Die resultierende schnelle Bilderfassung und –auswertung ermöglicht kostengünstige online-Anwendungen.

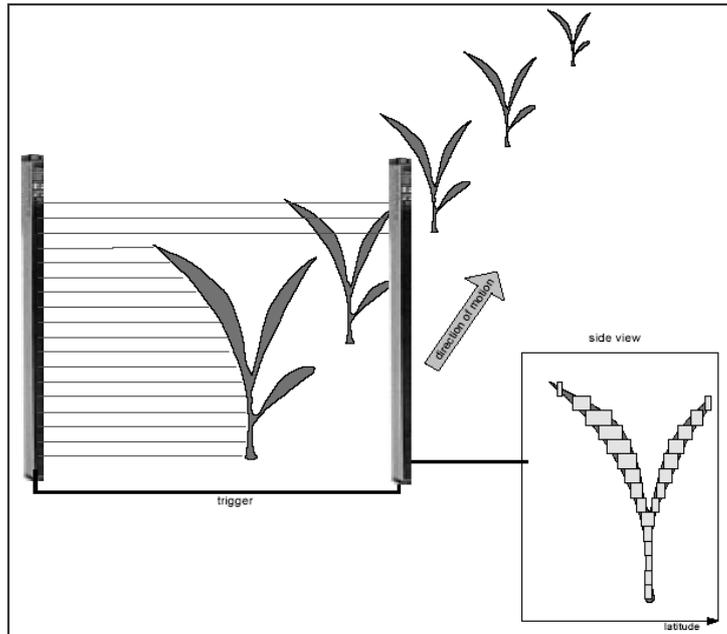


Abb. 1: Messprinzip eines Höhenprofilsensors: Mehrere Lichtschranken erfassen das Profil des Objektes (z.B. einer Pflanze) und erzeugen ein Binärbild.

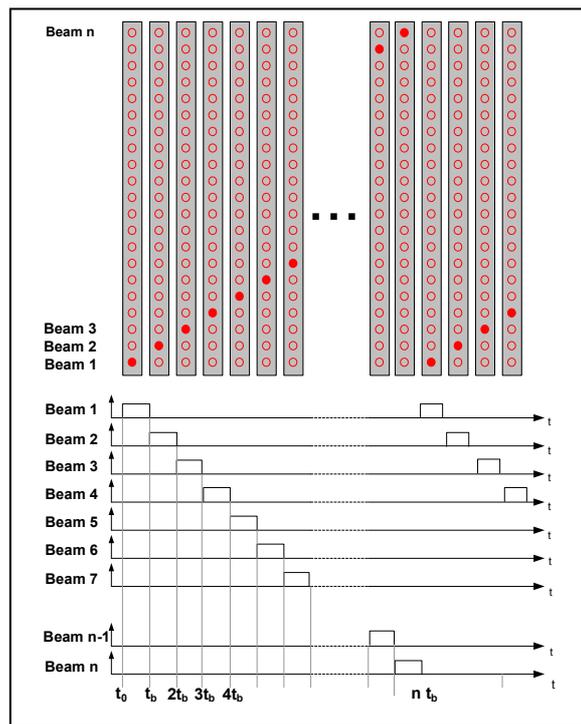


Abb. 2: Gepulster Betriebs eines Lichtgitters.

Kommerziell verfügbare Systeme (LICHTGITTER 2005) zielen überwiegend auf Anwendungen in der Sicherheitstechnik ab, so dass sie für anwenderspezifische Abstände ausgelegt sind. Zur Vermeidung fehlerhafter Signale werden die einzelnen Lichtschranken oder –gruppen gepulst (siehe Abb. 2), auch wird die Lichtintensität der Sender dem Abstand angepasst.

Für spezifische Anwendungen der Lichtgitter als „Binärkamera“ – z.B. zur Erfassung von Pflanzenprofilen in Reihenkulturen - ist der Abstand jedoch meist festgelegt. In diesem Fall kann auf die Pulsung verzichtet werden, wenn das Übersprechen durch eine entsprechende geometrische Abschattung verhindert wird. Ein solches System (*HPS-HR: Height-Profile-Sensor/High Resolution*) wurde von den Autoren realisiert, wobei der Abstand der Lichtschranken gegenüber DZINAJ et al. (1998) von 10 mm auf 5 mm reduziert wurde. Aufgrund des Arbeitsabstandes und der Abstrahlcharakteristik der Sendedioden wurde ein Kunststoffblock als Träger der elektronischen Komponenten konstruiert, die LEDs und Fotodioden wurden alternierend eingebaut. Der mechanische Aufbau sowie das Blockschaltbild der Analogelektronik sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

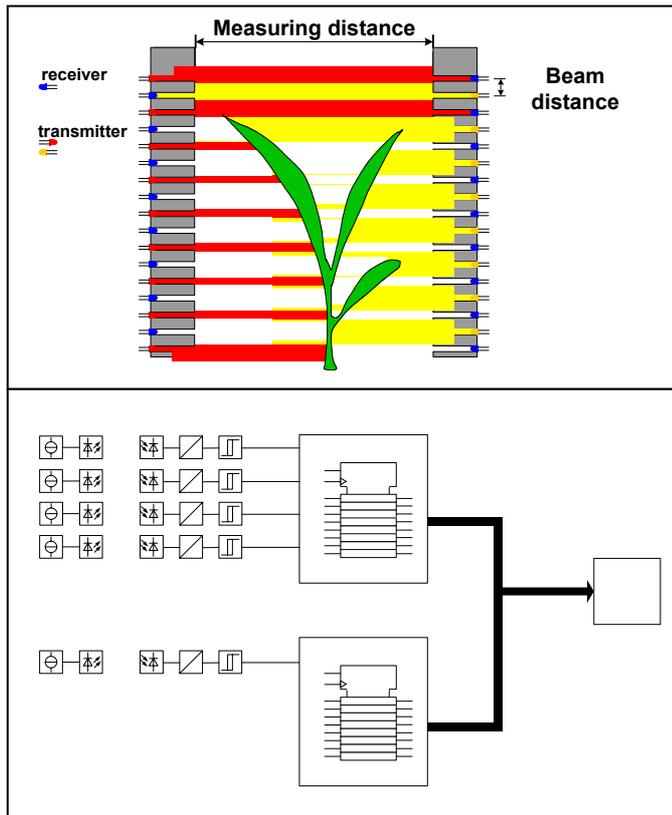


Abb.3: Design/Prinzipbild des HPS-HR (oben) und Blockschaltbild (unten).

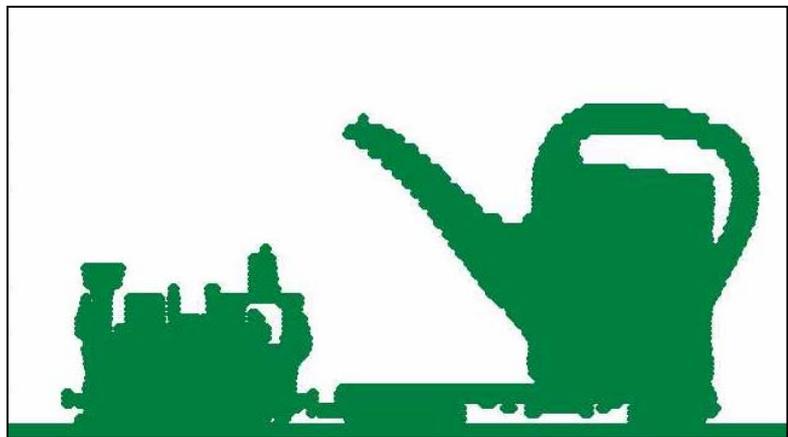


Abb. 4: Testaufbau eines HPS-HR-Lichtvorhangs (links) mit Messergebnis (rechts)

Abbildung 4 zeigt einen Labor-Testaufbau und illustriert die Funktionsweise des HPS-HR. In Tabelle 1 werden technische Daten des Systems mit kommerziell verfügbaren Lichtgittern verglichen. Das realisierte System zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Frame-Rate aus.

	Baumer INFRASCAN 5000	Leuze KONTURflex K5-480	Height Profile Sensor HPS-HR
Working height (measuring field)	475 mm	475 mm	475 mm
Measuring distance	≤4 m	≤4 m	≤ 0,7 m
Beam distance	5 mm	5 mm	5 mm
Resolution with double scanning	2,5 ¹	-	-
Number of beams (light barriers)	96	96	96
Clock speed per beam t_b	11 μs	50μs	
Clock speed per frame t_f	1056 μs	4800μs	30μs
Switching output	-	pnp	-
Serial interface	RS 422 / SSI (optional)	RS485 ProfiBus-DB	-
Configuration interface	RS232 ²	RS232	-
Parallel interface	10 Bit (optional)	-	16 bit
Analog output	Yes ³	-	-
Data format ⁴	normal / over all / largest blocked area		
Voltage supply	24 VDC ±10%	19 – 40 V DC	12 - 14 V DC
Light source	Infrared	Infrared	Infrared
Light emission	950 nm	950 nm	950 nm
Reverse polarity protection	Yes	no	no
Temperature range	-25...+50 °C	0 ... 65 °C	0 ... 50 °C
Dimensions			
Sensor height	630 mm	510 mm	550 mm
Sensor length	40 mm	40 mm	65 mm
Sensor width	80 mm	40 mm	50 mm
Min. perceiving height	130 mm / 25mm ⁵	10 mm	10 mm
Protection class	IP67	IP65	-

¹ In the centre of the measuring distance

² RS232 adapter in the connecting cable

³ With ext. analog converter

⁴ Only for Baumer INFRASCAN

⁵ Upside down

Tab. 1: Vergleich kommerziell verfügbarer Lichtgitter (Baumer, Leuze) mit dem HPS-HR.

3. Multispektralkamera

Zur Unterscheidung von Boden und Pflanzen sowie für weitere spektrale Optionen zur Pflanzenunterscheidung wurde die Optik „ImSpector“ in Verbindung mit einer CMOS-Kamera eingesetzt (IN DER STROTH et al.,2003). Die Optik erfasst dabei eine geometrische Zeile und erzeugt durch ein Prisma-Gitter-Element eine zweidimensionale Ort-Wellenlängen-Matrix (Abb. 5). Die spektrale Signatur einzelner Messpunkte im Bereich von 1 bis 2 mm² kann dabei z.B. durch Quotientenbildung bei selektiven Wellenlängen per Software definiert werden. Dieses System ist insbesondere bei variablen Anwendungen von Vorteil, da gegenüber Kamerasystemen mit spektral festgelegten Bereichen keine Hardware-Änderungen erforderlich sind. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für eine Boden-Pflanze-Unterscheidung.

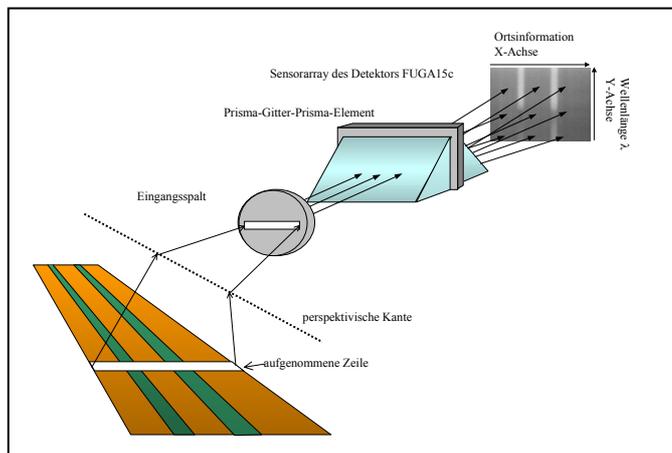


Abb.5: Arbeitsprinzip der Spektralkamera "ImSpector" zur Pflanzendetektion (IN DER STROTH et al. 2003).



Abb. 6: ImSpector-Analyse (rechts) mit einer Software (Spektralauswertung und Schwellwert) zur Boden-Pflanze-Unterscheidung (RUCKELSHAUSEN et al. 2004).

4. Ergebnisse und Ausblick

Das messende Lichtgitter HPS-HR und die Multispektralkamera ImSpector wurden in ein System zur Online-Messung von Pflanzen in Reihenkulturen integriert. Zur Positionsbestimmung wurde ein Drehgeber verwendet, ein zusätzlicher Triangulationssensor zur Abstandsmessung wurde ebenfalls verwendet. Die Sensoren verfügen jeweils über einen Mikrocontroller zur schnellen Vorverarbeitung der Signale, die Kommunikation erfolgt über den CAN-Bus. Die Systemkomponenten sind in Abbildung 7 dargestellt.

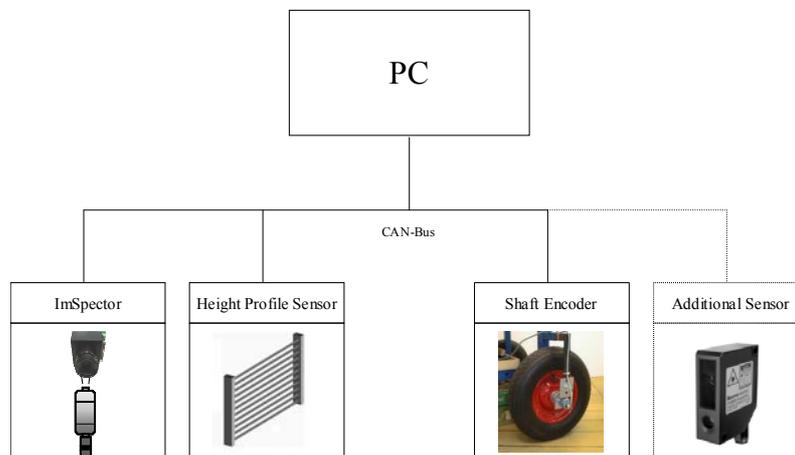


Abb.7: Systemintegration zur Messung von Pflanzenmerkmalen.

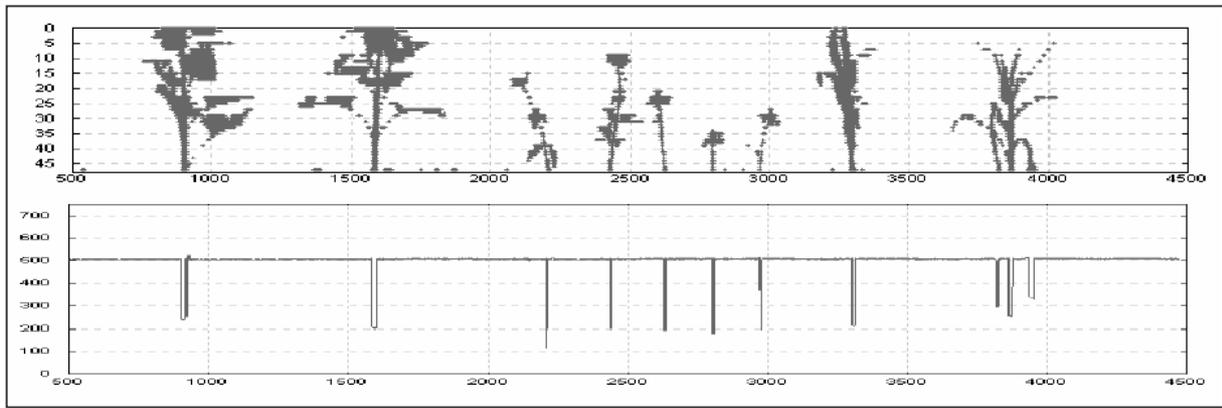


Abb.8: Profile von Pflanzen aufgenommen mit einem Höhenprofilsensor (oben) sowie zugehörige Signale eines seitlichen optischen Abstandssensors (unten).

Abbildung 8 zeigt typische Messergebnisse des HPS-HR für Pflanzenprofile sowie die Signale eines optischen Abstandssensors (Triangulation). Abbildung 9 zeigt Signale des HPS-HR in Korrelation mit den Daten der Multispektralkamera.

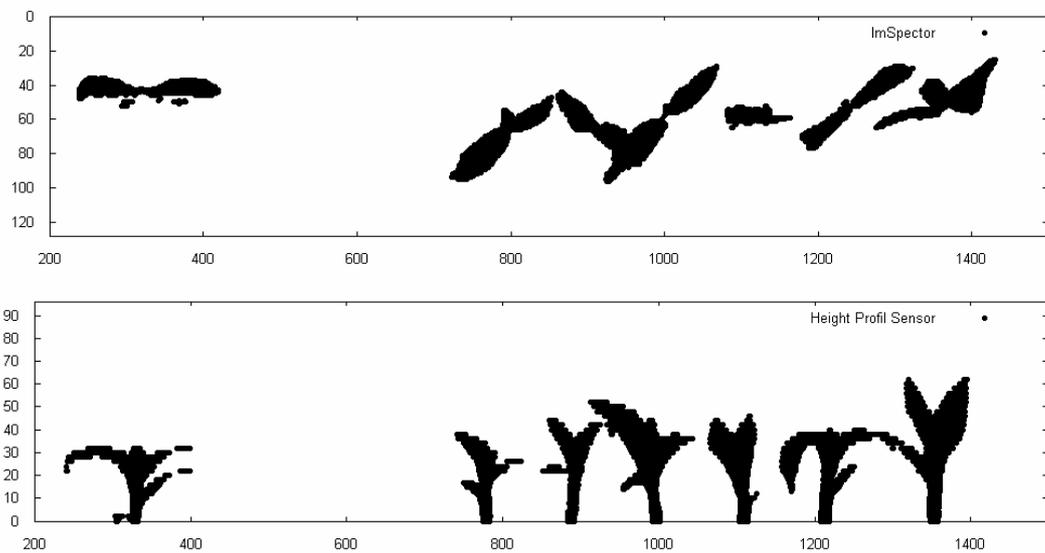


Abb.9: Messung von Maispflanzen mit dem Spectral Imaging System ImSpector (oben) und dem messenden Lichtgitter HPS-HR (unten).

Die Systeme können vielfältig zur Detektion einzelner Pflanzen (GRIEPENTROG et al. 2003) eingesetzt werden, beispielsweise zur Bonitur von Pflanzen oder zur Ansteuerung von Aktoren. Im Rahmen der Weiterentwicklung von zuverlässigen und kostengünstigen Sensoren zur nichtchemischen Unkrautregulierung innerhalb von Reihenkulturen (KIELHORN et al. 2000, BONTSEMA et al. 2002) bieten insbesondere messende Lichtvorhänge vielversprechende Optionen.

5. Literatur

- Bontsema J., van Asselt, K., Groot, T. (2002)** Intra-row weed control , Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 31, 2002, ISSN 0947-7314, S.64-72.
- CMOS Imaging (2004)** Proceedings of the 2nd Fraunhofer IMS Workshop CMOS Imaging – Emerging Technologies for Tomorrow Markets, May 25th and 26th, 2004, Duisburg/Germany.
- Dzinaj, T., Kleine Hörstkamp,S., Linz, A., Ruckelshausen, A., Böttger, O., Kemper, M., Marquering, J., Naescher, J., Trautz, Dr., Wisserodt, E. (1998)** Multi-Sensor-System zur Unterscheidung von Nutzpflanzen und Beikräutern, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI, 233-242,1998.
- Griepentrog, H.W., M. Norremark, H. Nielsen, B.S. Blackmore (2003)** Individual plant care in cropping systems. Proceedings ECPA , 247-251, 2003.
- Hara, Y., Takenaka, H., Sekiguchi, K. (2003)** A study on potato yield sensor and monitoring system for potato harvester, 4th European Conference on Precision Agriculture ECPA, Berlin, Programme book, ISBN 9076998345, 2003.
- 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.
- Langner H.-R., Böttger, H. (2003)** IEFahrungsbericht zur bildgestützten Unkrauterkenennung mit einer 2Chip-CCD-Kamera, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 34, 2003, ISSN 0947-7314, S.38-48.
- Lichtgitter (2005)** Auswahl: <http://www.betasensorik.de/>, <http://www.leuze.de/>, <http://www.baumerelectric.com/de/>; www.sick.de, www.lucom-gmbh.de, www.pilz.com.
- In der Stroth, S., Linz, A., Ramler, B., Ruckelshausen, A. (2003)**, Weed detection based on spectral imaging systems with CMOS cameras, 4th European Conference on Precision Agriculture ECPA, Berlin, Programme book, 2003.
- Oebel, H., Gerhards, R., Beckers, G., Dicke, D., Sökefeld, M., Lock, R., Nabout, A., Therburg, R.-D. (2004)** Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline (und Online)-Verfahren (TURBO) – Erste Erfahrungen aus der Praxis ; Z.PflKrankh.PflSchutz, Sonderheft XIX, 459-465 (2004), ISSN 0938-9938.
- Ruckelshausen, A., Linz, A., Ramler, B., In der Stroth, S. (2004)** Innovative methods in non-chemical weed control, Proeedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing, China, Mai 11-16, 2004 , Foreign Languages Press, ISBN 7-119-03698-X.
- 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 (2002), ISSN 0938-9938.
- Thösink, G., Preckwinkel, J., Linz, A., Ruckelshausen, A., Marquering, J. (2004)** Optoelektronisches Sensorsystem zur Messung der Pflanzenbestandsdichte : Landtechnik 59, S.78-79, 2004.

Fender, Frank
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
fender@fhos.de

Hanneken, Mark
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
hanneken@fhos.de

Linz, Andreas
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
a.linz@fh-osnabrueck.de

Ruckelshausen, Arno
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
a.ruckelshausen@fhos.de

Spicer, Mark
Pioneer Hi-Bred International, Inc.
7300 NW 62nd Ave. PO Box 1004
Johnston, IA 50131-1004
USA
mark.spicer@pioneer.com