

Erik Wunder, Arnd Kielhorn, Ralph Klose, Marius Thiel und Arno Ruckelshausen

GIS- und Sensortechnologien zur einzelpflanzenbezogenen Landwirtschaft

Ein zunehmender Bedarf an Nahrungsmitteln, Ressourcenknappheit und Umweltbelastungen erfordert eine Optimierung agrartechnischer Prozesse hin zu höheren Erträgen bei geringeren Aufwänden. In den letzten Jahren sind daher insbesondere Elektronik und Informationstechnologien zu Schlüsseltechnologien für eine sowohl ökonomisch als auch ökologisch orientierte Landtechnik geworden. Der Einsatz innovativer Technologien hat mittlerweile das Potenzial, einzelpflanzenbezogene Prozesse in Betracht zu ziehen. Hierdurch können sich neue Optionen und Lösungsansätze für die genannten globalen Fragestellungen ergeben. In diesem Beitrag wird am Beispiel einer einzelpflanzenbezogenen Bonitur im Versuchswesen eine erste Applikation aufgezeigt, wobei technologisch die Kombination autonomer Feldrobotik mit intelligenten Sensorsystemen im Vordergrund steht.

Schlüsselwörter

Sensoren, GIS, einzelpflanzenbezogene Landwirtschaft, Phänotypisierung, Feldrobotik

tion is illustrated using the example of a single plant focused phenotyping in plant research. The major focus is put on the technological combination of autonomous field robotics and intelligent sensor systems.

Keywords

Sensors, GIS, individual plant agriculture, phenotyping, field robotics

Abstract

Wunder, Erik; Kielhorn, Arnd; Klose, Ralph; Thiel, Marius and Ruckelshausen, Arno

GIS- and sensor-based technologies for individual plant agriculture

Landtechnik 67 (2012), no. 1, pp. 37–41, 4 figures, 16 references

A continuously increasing demand of food, limited resources and environmental impacts require optimization of agricultural processes with respect to high yield and low input. Electronics and computer science have thus become key technologies for an economically and ecologically oriented agriculture in the last years. The adoption of innovative technologies has now reached a level to consider individual plant processes. Hereby new options and approaches for the global problems could arise. In this article a first applica-

■ Aufgrund des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln und Energie, der steigenden Belastung der Umwelt, des Abbaus von limitierten Ressourcen und des Klimawandels ist es notwendig, agrartechnische Prozesse und Technologien im Hinblick auf höhere Erträge bei geringeren Aufwänden zu optimieren [1; 2]. Bis zum Jahr 2050 wird die Nahrungsmittelproduktion gegenüber heutigem Stand um etwa 70 % gesteigert werden müssen, um den Bedarf der Weltbevölkerung zu decken [3]. Sensortechnologien zusammen mit Informatik und Elektronik sind daher zu zentralen Technologien in der Landwirtschaft geworden. Die Einführung dieser Technologien, oft im Zusammenhang mit „Precision Farming“ genannt, bietet beispielsweise die Möglichkeit der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung und zielt damit auf ökonomische wie auch ökologische Verbesserungen ab. Dabei ist die Einführung von GPS in der Landwirtschaft eine der relevantesten Technologien in diesem Bereich, da die Integration von Ort- und Zeitinformationen eine Grundlage für die Dokumentation ist und damit eine Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse ermöglicht. Die daraus resultierenden Fortschritte bilden die Basis für eine umweltfreundlichere Landwirtschaft [4]. Zur Optimierung der Prozesse ist es unerlässlich, präzisere Informationen über den gesamten Bestand bis hin zu einzelnen Pflanzen einfließen zu lassen. Da die Ent-

wicklung und Anwendung von großen landwirtschaftlichen Maschinen zwar zu einer deutlichen Verbesserung der Flächenleistung geführt hat, allerdings ein großer Teil der benötigten Energie aufgewendet wird, um entstandene Schäden durch Bodenverdichtung zu beseitigen [5], kann die Entwicklung von kleineren intelligenten Maschineneinheiten ein alternativer Weg sein, dieser Problematik zu begegnen bzw. die klassischen Verfahren zu ergänzen. Autonome Feldroboter stellen somit die Automatisierung der Landtechnik auf eine nächste Stufe [4], indem sie Möglichkeiten zur Reduzierung von Umwelteinflüssen unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit in sich vereinigen. Neueste Technologien bieten die Möglichkeit, in Reihenkulturen (z.B. Mais), einzelne Pflanzen zu betrachten. Um dies zu demonstrieren, haben die Autoren an Sensor- und Systemtechnologien für einzelpflanzenbezogene Messungen des Bestands im Bereich der Pflanzenzüchtung mitgewirkt [6]. In Verbindung mit der Entwicklung autonomer Fahrzeuge bietet die spezifische Applikation „Bonitur“ (oder „Phänotypisierung“) eine vielversprechende Option zum wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologien. Zur Demonstration dieses Potenzials haben die Autoren ebenfalls an der Entwicklung des autonomen Feldroboters „BoniRob“ zur Phänotypisierung in Maiskulturen als eine erste Feldroboter-Applikation mitgewirkt [7].

Einzelpflanzenbonitur in der Pflanzenzüchtung

Die Bonitur ist ein sehr bedeutsamer Bereich des pflanzenbaulichen Versuchswesens (Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz, Düngung) und ist gleichzeitig ein Engpass, da dort bislang nur sehr wenig Automatisierung Einzug gehalten hat [8]. Der Umstand, dass die Erfassung von Pflanzeigenschaften überwiegend in Handarbeit von Experten durchgeführt wird, bedeutet einen hohen Zeitaufwand und verursacht hohe Kosten. Darüber hinaus beeinflussen die Subjektivität und die Zeitabhängigkeit der Messungen deren Ergebnisse. Daher besteht der grundlegende Bedarf für automatisierte Phänotypisierungsplattformen [8]. Für BoniRob wurde eine vollständig autonome und modular gestaltete Roboterplattform entwickelt, die je nach Bedarf mit verschiedensten Anwendungsmodulen ausgestattet werden kann [7]. Für die Bonitur wurde ein spezielles Sensormodul, ausgerüstet mit unterschiedlichen Sensorsystemen, entwickelt und aufgebaut, welches umfangreiche Systemtechnik für eine automatisierte Messdatenaufnahme und das Datenmanagement beinhaltet [6]. **Abbildung 1** zeigt den Feldroboter BoniRob auf einer Versuchsfläche bei der Vermessung einzelner Maispflanzen. Durch den Einsatz verschiedener Sensoren kann eine Vielzahl von Pflanzeigenschaften der Einzelpflanze detektiert werden. Zur Bestimmung der Position erkannter Pflanzen wird ein hochauflösendes RTK-DGPS-System mit einem Drehgeber kombiniert, was eine absolute Ortsauflösung von etwa 2 Zentimetern gewährleistet. Eine anschließende Wiederauffindung von Einzelpflanzen ist durch diese präzise Positionsbestimmung möglich. Die Detektion von Pflanzen wird über die Fusion mehrerer Sensoren bestimmt, wobei insbesondere Lichtgitter eine maßgebliche Rolle spielen. Zusätzlich



Abb. 1

Der autonome Feldroboter BoniRob bei der Vermessung von Einzelpflanzen auf einem Maisfeld (Foto: Hochschule Osnabrück)
Fig. 1: Measurements of individual plants on a maize field with the autonomous fieldrobot BoniRob

werden mehrere 3DTime-of-Flight Kameras eingesetzt, die eine vollständige dreidimensionale Rekonstruktion der einzelnen Pflanzen zur Bestimmung von Blattparametern ermöglichen [9]. Des Weiteren werden Laserdistanzsensoren verwendet, die aufgrund einer sehr hohen Messfrequenz für die Bestimmung von Stängeldicken eingesetzt werden. Über die Erfassung morphologischer Parameter hinaus wird ein Spectral Imaging System eingesetzt, mit dem bildgebend spektrale Signaturen der Pflanzenblätter erfasst werden. Auf Basis dieser Daten lassen sich Aussagen u. a. über die Pflanzenfeuchtigkeit treffen [10]. Alle Sensordaten werden während der Messung in einer mySQL-Datenbank abgelegt und dabei mit der aktuellen Zeit und dem Drehgeberstand versehen, was eine spätere Zuordnung der verschiedenen Sensordaten zueinander ermöglicht.

Diese autonome Messeinrichtung wurde im Folgenden dazu genutzt, einzelne Maispflanzen in Testplots über einen Zeitraum von mehreren Wochen wiederholt zu vermessen. Mithilfe verschiedener Algorithmen wurden aus den Messdaten Pflanzenparameter modelliert (z. B. die Pflanzenhöhe). Neben der Berechnung verschiedener Pflanzenparameter stellt insbesondere die Erkennung und Wiedererkennung individueller Pflanzen eine große Herausforderung dar. Um berechnete Pflanzenparameter einer spezifischen Pflanze zuordnen zu können, muss die gemessene Struktur zunächst als einzelne Pflanze erkannt werden. Der entwickelte Algorithmus für die Pflanzenerkennung analysiert zunächst die aufgezeichneten Daten des Lichtgitters. Aus diesen Daten wird im ersten Schritt ein Profilbild der Pflanzenstrukturen aufgebaut (seitliche Betrachtung). Diese Strukturen werden anschließend auf ein Skelett reduziert. Bei der weitergehenden Analyse werden die Höhe der Pflanzenstruktur berechnet und die Anzahl der Abzweigungen und Endpunkte ermittelt, welche als Indikatoren für die Anzahl der Blätter der Pflanze verwendet werden. Da häufig Überlappungen von Blättern verschiedener Pflanzen auftreten, wurden bei der Analysesequenz definierte Abbruchkriterien implementiert, welche die Analyse eines Skeletts beenden können. Im Falle eines Abbruchs fährt der Algorithmus am unteren Ende des nächsten

Skeletts mit der Analyse fort. Skelett-Punkte, an denen es zu Abbrüchen kommt, werden als Endpunkte beider benachbarter Pflanzen betrachtet. Erfüllen die analysierten Skelette die wählbaren Bedingungen einer Mindesthöhe, eines Mindestabstands zur vorhergehenden Pflanze und des Vorhandenseins wenigstens zweier Blätter, so werden sie als Maispflanzen klassifiziert und mit einer präzisen GPS-Position versehen. Alle ermittelten Informationen werden anschließend für jede Pflanze in einer Datenstruktur mit einer eindeutigen ID abgelegt. Bei wiederholter Vermessung von Maispflanzen zu späteren Zeitpunkten werden die neuen Messungen der Pflanzen den bereits existierenden Messungen mittels der GPS-Position zugeordnet. Dieser Vorgang erfolgt durch die Anwendung des „Iterative Closest Point“-Algorithmus [11].

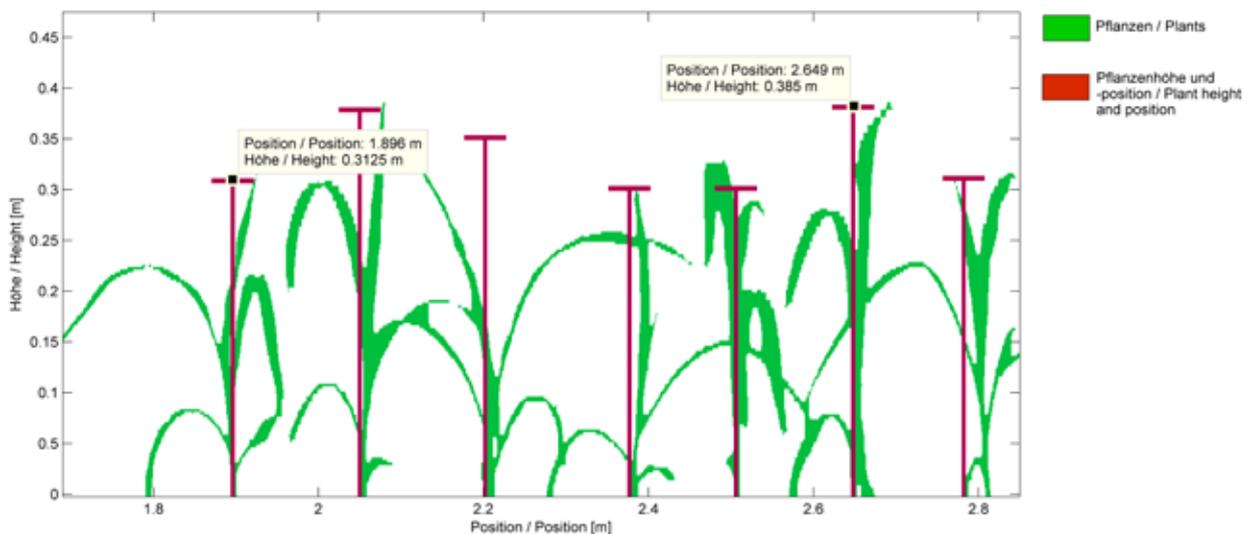
Zur Visualisierung der gewonnenen Daten wurde das Geo-Information System OpenJUMP eingesetzt. GIS-Tools im Allgemeinen sind vielfach bewährt und u.a. aus dem Bereich des Precision Farming bekannt, wo sie in der Regel für teilflächenspezifische Anwendungen verwendet werden. Im Fall der Einzelpflanzenbonitur lässt sich die einzelne Pflanze als „Teilfläche“ betrachten, sodass jede Pflanze mit ihren individuellen Parametern visualisiert werden kann. GIS-Tools bieten dabei viele Möglichkeiten sowohl für die Darstellung von Daten als auch für weitreichende Analysen [12]. So wurden z.B. Positionskarten des vermessenen Pflanzenbestands angelegt und deren unterschiedliche Parameter dargestellt.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt einen Auszug der Ergebnisse von Feldmessungen an Maispflanzen. Die dargestellten Strukturen sind mittels Lichtgitter aufgezeichnet worden und zeigen das seitliche Höhenprofil von sieben Maispflanzen. Aus der Ab-

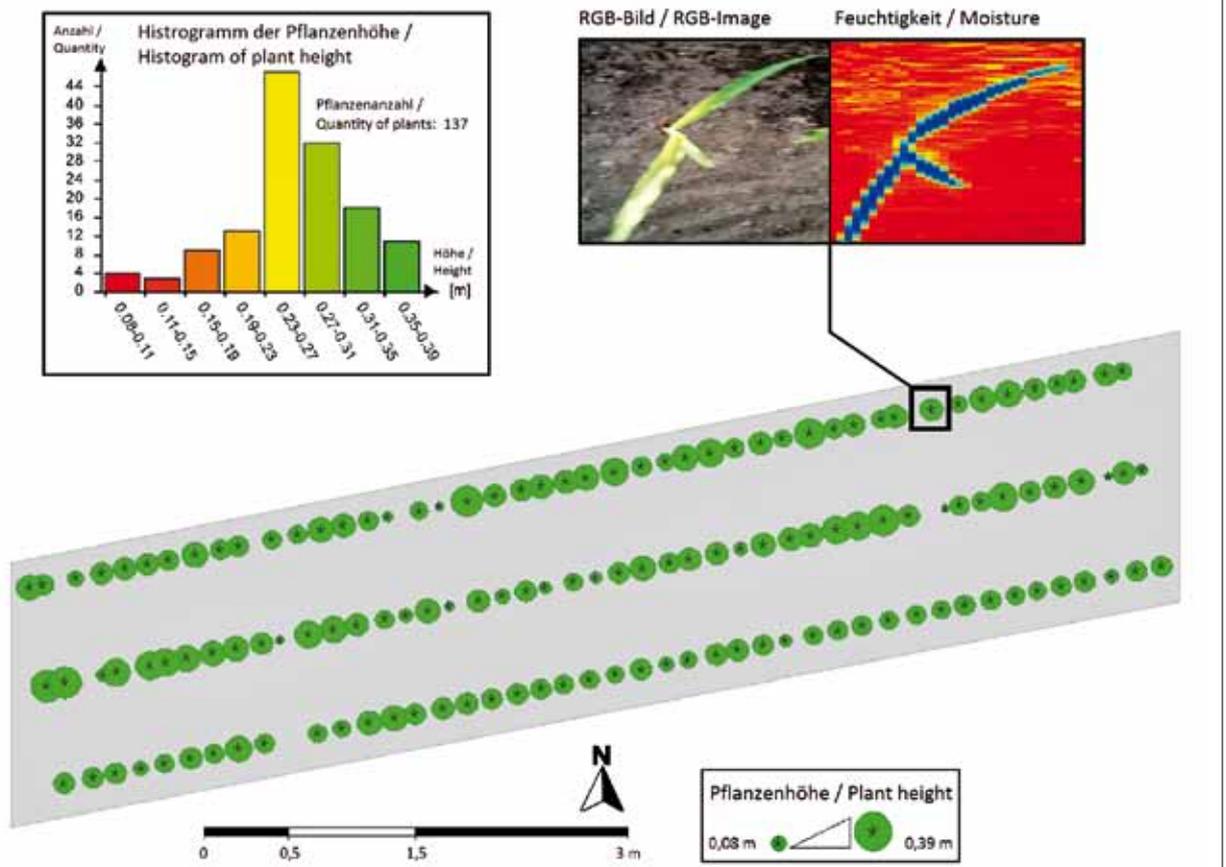
bildung ist ersichtlich, dass der eingesetzte Algorithmus alle sieben Pflanzen als einzelne Maispflanzen erkannt hat. Die Positionen der Pflanzen wurden mit hoher Genauigkeit bestimmt und mit Markern versehen, welche die Position und die ermittelte Pflanzenhöhe repräsentieren. Die Position der letzten Pflanze konnte in diesem Beispiel-Plot durch den verwendeten Algorithmus nicht exakt bestimmt werden. Obwohl die Pflanzenposition der letzten Pflanze durch ein auf den Boden hängendes Blatt mit den genutzten Parametern nicht exakt zugeordnet werden konnte, war der Algorithmus in der Lage, die Struktur als Einzelpflanze zu identifizieren und deren Höhe zu ermitteln. Die bei Maispflanzen bereits jetzt erreichten hohen Erkennungsraten zeigen das Potenzial auf, diesen Algorithmus durch die Modifikation der Erkennungsparameter auch bei anderen Kulturpflanzen einsetzen zu können. Aus den Rohdaten der Feldversuche können neben der Pflanzenerkennung durch verschiedenste Algorithmen weitere Parameter für die einzelnen Pflanzen ermittelt werden, zum Beispiel die Pflanzenanzahl, -position, -höhe, -breite, der Pflanzenabstand, die Stängeldicke oder die relative Feuchte. Durch Importieren der gewonnenen Pflanzeninformationen in das GIS-Tool OpenJUMP ist es möglich, diese Parameter sehr übersichtlich zu visualisieren und mittels der verfügbaren Toolboxes statistisch auszuwerten. **Abbildung 3** zeigt im unteren Bereich eine GIS-Karte von drei Pflanzenreihen mit insgesamt 137 Maispflanzen, die im Versuch vermessen wurden. Die Positionen der einzelnen Pflanzen sind durch schwarze Sterne markiert. Die Durchmesser der umschließenden grünen Kreise repräsentieren die unterschiedlichen Höhen der einzelnen Pflanzen. Im oberen linken Bereich der Abbildung ist ein Histogramm über die gemessenen Pflanzenhöhen dargestellt als Beispiel für die vielen Möglichkeiten graphischer und statistischer Auswertungen,

Abb. 2



Messdaten des Lichtgitters (grün) mit Markierung der Pflanzenposition und der modellierten Pflanzenhöhe
Fig. 2: Light curtain measurements (green) marked with the plants positions and the modelled plant heights

Abb. 3



GIS-Karte mit drei vermessenen Maisreihen (unten) sowie dem Beispiel einer statistischen Auswertung (Histogramm der Pflanzenhöhe) und exemplarischen Messdaten einer Pflanze

Fig. 3: GIS-map of three measured maize rows (bottom) as well as an example of a statistic analysis (histogram of plant height) and exemplary data of a single plant

die mit diesem Standard-GIS-Tool durchgeführt werden können. Die Datenpunkte in der GIS-Karte sind des Weiteren mit den umfangreichen Pflanzeninformationen verknüpft, sodass sich diese auch direkt in der GIS-Karte darstellen lassen, wie es in **Abbildung 3** mit den beiden Bildern im oberen rechten Bereich angedeutet ist. Diese Darstellung der Daten bietet dem Nutzer einen sehr schnellen Überblick und lässt anormale Parameter der Pflanzen frühzeitig erkennen. Durch das Wiederfinden der einzelnen Pflanzen kann die zeitliche Entwicklung von Pflanzenparametern individuell gemessen werden. Die Karten und Daten stellen für die Pflanzenzüchtung relevante Informationen bereit, die z. B. auch mit zusätzlichen Daten (z. B. Bodenkarten) kombiniert werden können.

Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Entwicklungen und Versuche haben gezeigt, dass die Umsetzung einer auf Einzelpflanzen basierenden Landwirtschaft am Beispiel der sensorgestützten Bonitur im pflanzenbaulichen Versuchswesen möglich ist. Im ersten Ansatz konnten bereits mehrere Pflanzenparameter modelliert werden. Durch Wiederholungsmessungen und die sensorische Wiedererkennung der Einzelpflanzen kann der Wachstumsverlauf der Pflanzen visualisiert werden, indem die jeweiligen Pflanzenpara-

meter zu unterschiedlichen Zeitpunkten miteinander verglichen werden. Durch die Verknüpfung der Messdaten mit der ermittelten Pflanzenposition ist es darüber hinaus möglich, dem Benutzer Rohdaten – wie z. B. 3D-Bilder, Spektraldaten und RGB-Bilder – für eine weiterführende manuelle Analyse zur Verfügung zu stellen. Die Kombination der ermittelten Pflanzendatenstruktur mit dem GIS-Tool OpenJUMP bietet dem Benutzer zusätzlich eine komfortable Aufbereitung der Messdaten in Form unterschiedlicher visueller Darstellungen und statistischer Analysen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verbindung von Sensorfusion, GIS-Technologie und autonomen Feldrobotern haben für die spezifische Applikation Phänotypisierung bereits zu praxisnahen Lösungen geführt. Damit eröffnet sich das Potenzial für weitere Anwendungen in der Landtechnik.

Die Entwicklung weiterer einzelpflanzenbezogener landwirtschaftlicher Prozesse und deren Systemintegration erfordert aufgrund der Komplexität sowohl aus pflanzenbaulicher als auch technischer Sicht erhebliche Anstrengungen. Dabei liegen jedoch schon heute zahlreiche Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben vor, die sich mit dieser Thematik beschäftigen haben. So haben die Autoren beispielsweise an der mechanischen Unkrautregulierung innerhalb von Maisreihen (**Abbildung 4** links, [13]) oder an Studien für Unkrautroboter

Abb. 4



Mechanische Unkrautregulierung innerhalb von Maisreihen („Querhacke“, [13]) (links) und die Roboterstudie „Weedy“ zur selektiven chemischen Unkrautbekämpfung in einem Feldtest (rechts, [14]) (Foto: Hochschule Osnabrück)

Fig. 4: Mechanical weed control within the row (intra row, „Querhacke“, [13]) (left) and weed robot survey „Weedy“ for selective chemical weed control in a field test (right, [14])

mit selektiver chemischer Regulierung (**Abbildung 4** rechts, [14]) gearbeitet. Die Potenziale für die selektive Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf Grundlage autonomer Feldroboter werden in [15] aufgezeigt. Im Bereich der Feldrobotik sind viele Varianten denkbar, beispielsweise die Kombination autonomer und bemannter Fahrzeuge oder der Einsatz großer und kleiner Maschinen. Auch hierzu liegen erste Praxiserfahrungen vor (z. B. [16]).

Die im Rahmen dieser Arbeit dargestellte Einzelpflanzenerkennung sowie die Konzeption und Realisierung des flexiblen autonomen Feldroboters BoniRob bieten erste Erfahrungen zur Entwicklung einer einzelpflanzenbezogenen Landwirtschaft.

Literatur

- [1] Bruinsma, J. (2009): The Resource Outlook to 2050. FAO Expert Meeting, 12.-13.10.2009, Rome
- [2] KTBL (Hrsg.) (2009): Landwirtschaft im Umbruch - Herausforderungen und Lösungen. Goslar, Reihe KTBL-Schrift, Band 474
- [3] Cassmann, K. G. (2010): Global food security, yield limits, precision agriculture, conservation of natural resources and environmental quality. Proceedings 10th International Conference on Precision Agriculture ICPA, 18.-21.06.2010, Denver/USA, S. 2
- [4] Auernhammer, H. (2001): Precision farming - the environmental challenge. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 30 (1-3), S. 31-43
- [5] Blackmore, B. S.; Griepentrog, H.; Fountas, S. and Gemtos, T. (2007): A Specification for an Autonomous Crop Production Mechanization System. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 032. VOL. IX. September
- [6] Ruckelshausen, A.; Busemeyer, L.; Klose, R.; Linz, A.; Moeller, K.; Thiel, M.; Alheit, K.; Rahe, F.; Trautz, D.; Weiss, U. (2010): Sensor and system technology for individual plant crop scouting. International Conference on Precision Agriculture ICPA, 18.-21.06.2010, Denver/USA, S. 75
- [7] Rahe, F.; Heitmeyer, K.; Biber, P.; Weiss, U.; Ruckelshausen, A.; Gremmes, H.; Klose, R.; Thiel, M.; Trautz, D. (2010): First field experiments with the autonomous field scout BoniRob. Tagung LAND. TECHNIK 2010, VDI-MEG. 27.-28.10.2010, Braunschweig, S. 419-424
- [8] Montes, J. M.; Technow, F.; Dhillon, B. S.; Mauch, F.; Melchinger, A. E. (2011): Highthroughput non-destructive biomass determination during early plant development in maize under field conditions. Field Crops Research 121, S. 268-273
- [9] Klose, R.; Penlington, J.; Ruckelshausen, A. (2009): Usability study of 3D Time-of-Flight cameras for automatic plant Phenotyping. CIGR Workshop - Image Analysis for Agricultural Products and Processes, Potsdam, Bornimer Agrartechnische Berichte - Heft 69., Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), S. 93-104
- [10] Thiel, M.; Rath, T.; Ruckelshausen, A. (2010): Plant moisture measurement in field trials based on NIR spectral imaging - a feasibility study. 2nd CIGR Workshop on Image Analysis in Agriculture, 26.-27.08.2010, Budapest, S. 16-29
- [11] Rusinkiewicz, S.; Levoy, M. (2001): Efficient Variants of the ICP Algorithm. 3rd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM 2001), IEEE Computer Society, 28.03.-01.06.2001, Quebec City/Canada, S. 145-152
- [12] Brüning, M.; Kielhorn, A.; Biermann, J.; Gervens, T.; Rahn, O. (2007): Statistikwerkzeuge in OpenJUMP - Implementationen der PIROL Edition. Online-Wiki der FOSSGIS-Konferenz 2007, Humboldt- Universität zu Berlin
- [13] 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. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, S. 207-215
- [14] Klose, R.; Ruckelshausen, A.; Thiel, M.; Marquering, J. (2008): Weedy - a Sensor Fusion Based Autonomous Field Robot for Selective Weed Control. Tagung LAND. TECHNIK 2008, VDI-Verlag, 25.-26.09.2008, Stuttgart-Hohenheim, S. 167-172
- [15] Griepentrog, H.-W.; Ruckelshausen, A.; Jörgensen, R. N.; Lund, I. (2010): Autonomous systems for plant protection. In: Precision Crop Protection - The Challenge and Use of Heterogeneity (Editors Oerke, E.-C.; Gerhards, R.; Menz, G.; Sikora, R. A.), Heidelberg, Springer-Verlag, S. 323-334
- [16] Zhang, X.; Gimer, M.; Grandl, L.; Noack, P. O.; Kammerbauer, B.: Electronically controlled towing bar between agricultural vehicles. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, 09.-11.03.2010, Bonn, S. 37-43

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Erik Wunder, M.Sc. Dipl.-Ing (FH) Ralph Klose und **M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Marius Thiel** und **Prof. Dr. Arno Ruckelshausen** arbeiten im Competence Center of Applied Agricultural Engineering - COALA an der Hochschule Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück, E-Mail: a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

Dipl.-Ing. (FH) Arnd Kielhorn ist Partner im Unternehmen FARMSystem Hinck & Kielhorn. Zu den Dienstleistungen zählen GIS-gestützte Datenanalysen für das Managementsystem Precision Farming. C/o Hochschule Osnabrück, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, E-Mail: kielhorn@farmsystem.de

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „BoniRob“ vom Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert. Das Projekt wurde von den Amazonen-Werken, der Robert Bosch GmbH und der Hochschule Osnabrück bearbeitet.