

LANDTECHNIK

AGRICULTURAL ENGINEERING

67. Jahrgang

1.2012



- Schwerpunkt
Methodenentwicklung und Versuchstechnik
- GIS- und Sensortechnologien zur
einzelpflanzenbezogenen Landwirtschaft
- Mechanische Reinigung von Spaltenboden

Contents in English on:

www.LANDTECHNIK-online.eu

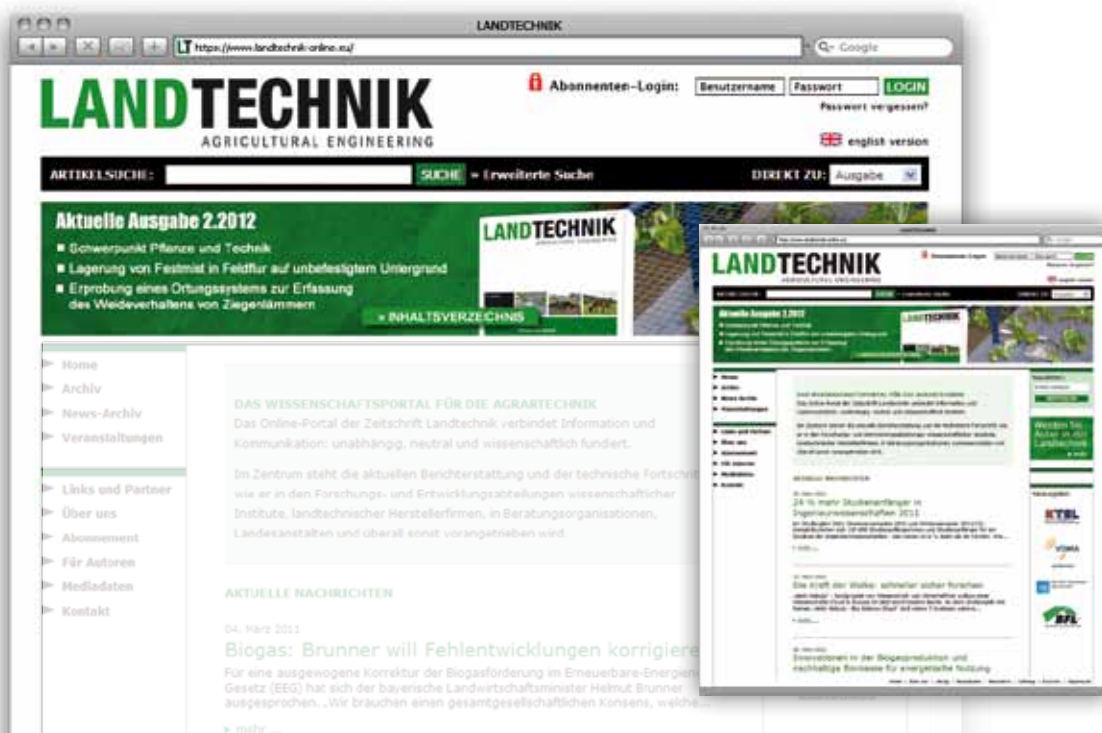
Das Wissenschaftsportal für die Agrartechnik

Der neue Weg: **www.LANDTECHNIK-online.eu**

Das Online-Portal verbindet Information und Kommunikation:
unabhängig, neutral und wissenschaftlich fundiert

2 gute Gründe, jetzt online zu gehen

- Laden Sie sämtliche Fachbeiträge ab dem Jahr 2000 in deutsch und/oder englisch herunter
- Bringen Sie sich auf den neuesten Stand agrarwissenschaftlicher Forschung



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



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].

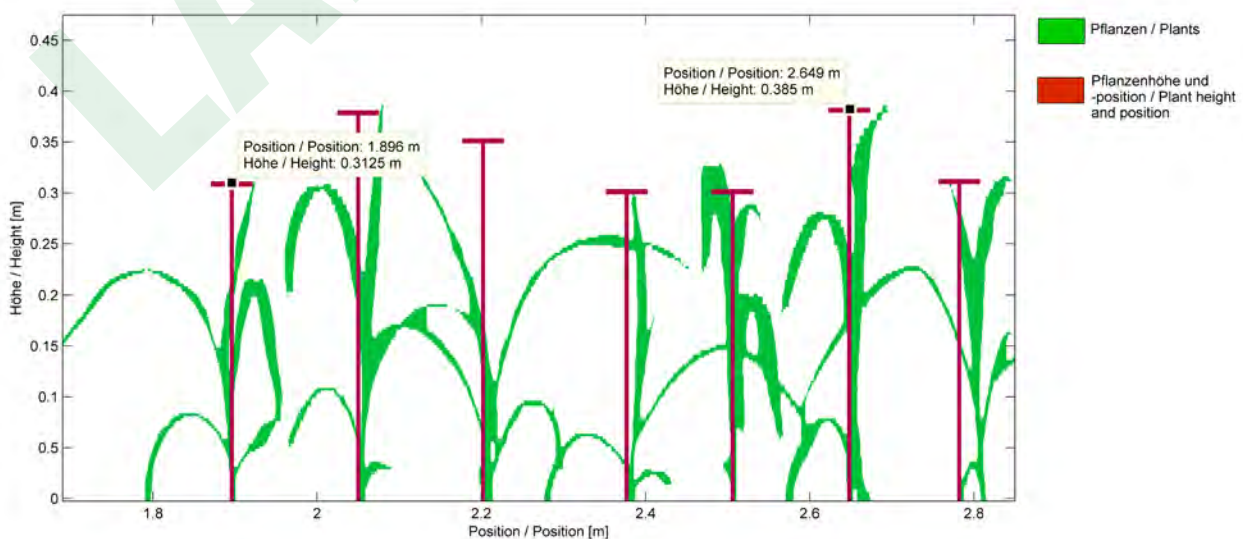
Zur Visualisierung der gewonnenen Daten wurde das Geo-Information System OpenJUMP eingesetzt. GIS-Tools im Allgemeinen sind vielfach bewährt und u. a. aus dem Bereich des Precision Farming bekannt, wo sie in der Regel für teilflächenspezifische Anwendungen verwendet werden. Im Fall der Einzelpflanzenbonitur 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-

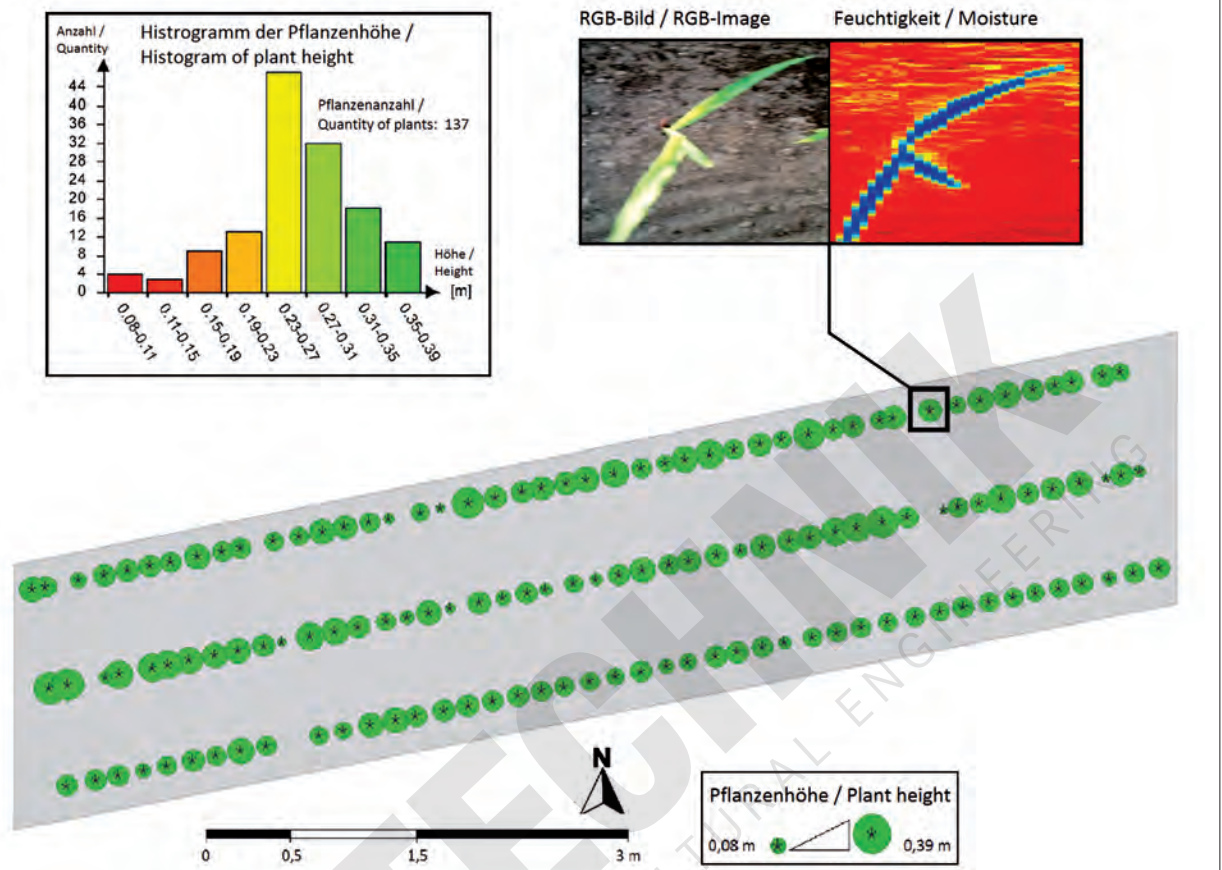
bildung ist ersichtlich, dass der eingesetzte Algorithmus alle sieben Pflanzen als einzelne Maispflanzen erkannt hat. Die Positionen der Pflanzen wurden mit hoher Genauigkeit bestimmt und mit Markern versehen, welche die Position und die ermittelte Pflanzenhöhe repräsentieren. Die Position der letzten 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 Pflanzhöhe) 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.

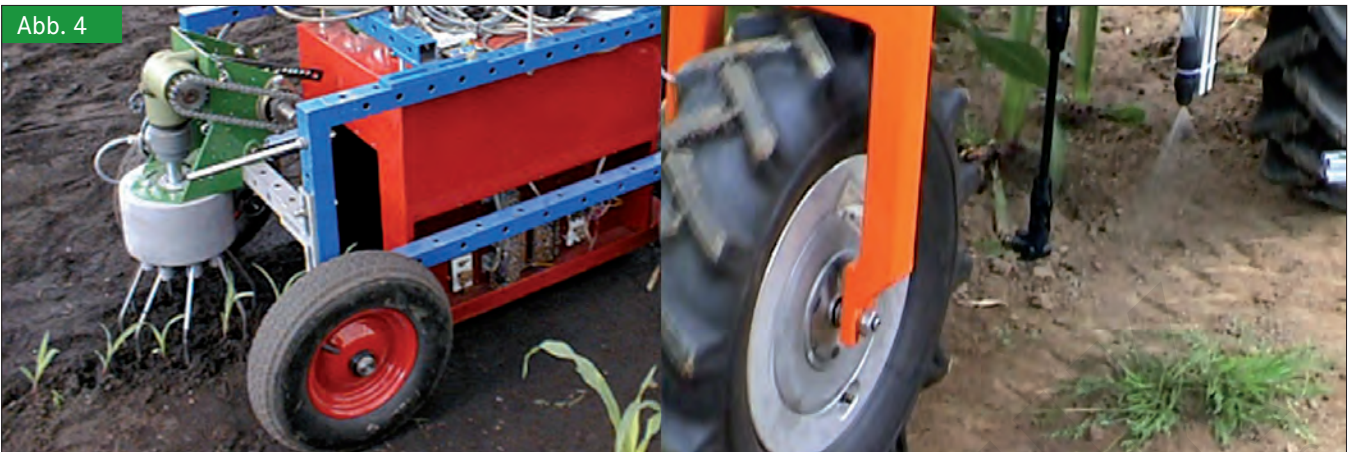
Schlussfolgerungen

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.

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

GIS- and sensor-based technologies for individual plant agriculture

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 application is illustrated using the example of a single plant 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

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

■ Due to global demands with respect to food, energy, environmental impacts, limited resources and climate changes agricultural processes and technologies have to be optimized with respect to high yield and low input [1; 2]. Until the year 2050 the production of food has probably to be increased about 70 % to satisfy the demand of the world's population [3]. Computer sciences together with electronics and sensor technologies have thus become key technologies in agriculture. The introduction of these technologies, often called in conjunction with precision agriculture, offers options for site-specific treatments in order to aim at economical as well as environmental benefits. Thereby the introduction of GPS is one of the most important technologies in agriculture due to the fact that the integration of spatial and temporal information is the fundament for documentation and thus for an optimization of agricultural processes. The resulting innovations are the base of an improved ecological agriculture [4]. To achieve optimized processes it is essential to incorporate precise information of the whole crop field, optionally down to single plants. Although the development and appliance of large agricultural machines has achieved strong yield improvements a big part of the needed energy is expended to overcome the resulting soil compaction [5]. Due to this fact the development of smaller intelligent machines could be an alternative way to overcome this problem or complement the classic methods respectively. Thus autonomous field robots are the next step in automation

of agricultural engineering [4] as combining options for the reduction of environmental impacts and economical benefits. Innovative technologies offer the option to observe even single plants in row cultures (e.g. maize). In order to demonstrate this potential the authors participated in the development of sensor and system technologies for single plant measurements of crops in plant breeding [6]. In combination with the development of autonomous vehicles, the specific task “plant rating” (or “phenotyping”) offers a promising option for an economical application of these technologies. Thus, for the demonstration of these potentials the authors participated in the development of the autonomous field robot “BoniRob” for phenotyping of maize as a first field robot application [7].

Individual plant phenotyping in plant breeding

Plant phenotyping is a very important area of agricultural field trials (plant breeding, plant protection, fertilization) but also a bottle neck because of its low degree of automation [8]. Due to the fact that the determination of plant parameters is mostly done by experts manually, the process is very time consuming resulting in high costs. Beyond that the parameters are influenced by the subjectivity and the time dependency of the measurements. Hence there is a fundamental need for automated phenotyping platforms [8]. With BoniRob a completely autonomous and modular designed platform was developed which is able to be attached with different application modules depending on user requirements [7]. A specific sensor module, attached with different sensor systems and substantial system technology for automated data acquisition and management was developed to perform the phenotyping application [6]. **Figure 1** shows the field robot BoniRob on a field measuring single maize plants. The application of different sensors enables the detection of different plant parameters of each single plant. In order to detect the position of the robot, a high resolution RTK-

Fig. 1



Measurements of individual plants on a maize field with the autonomous field robot BoniRob

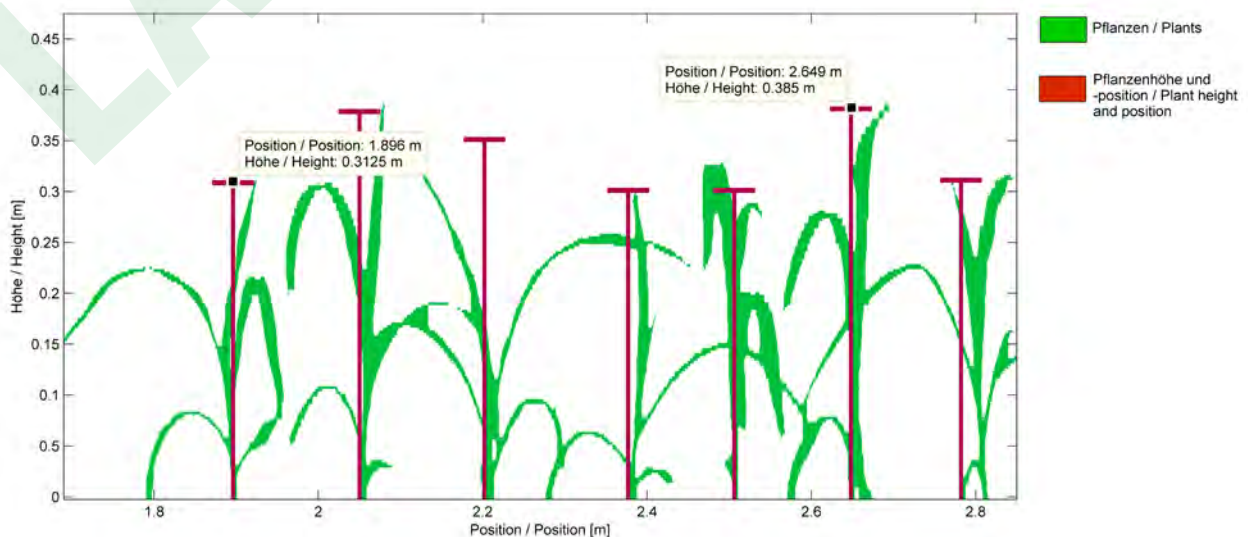
DGPS-system combined with a rotary encoder is used, thereby resulting in an accuracy of about two centimetres. Using this high spatial resolution the redetection of single plants has become possible. The identification of plants itself is realized by sensor fusion in which especially light curtains play a major role. Additionally multiple 3D time-of-flight cameras are used offering a complete three dimensional reconstruction of single plants to determine leaf parameters [9]. Furthermore laser distance sensors are used for the detection of stem thickness because of their very high sampling frequency. Beyond the detection of morphological parameters a spectral imaging system is adopted for measuring spectral signatures of plants leaves. Based on these data the relative plant moisture can be modelled [10]. During data acquisition all sensor information is stored in a MySQL database and marked with the current time and the rotary encoder position thereby allowing the offline correlation of sensor data.

In the next step the autonomous platform was used to measure single maize plants repeatedly in test plots for a time period of several weeks. Taking these measurement data different algorithms for the modelling of plant parameters were developed (e.g. the plant height). Beside the calculation of these parameters the detection and redetection of individual plants was a great challenge. To be able to address parameters to its specific plant the measured structure has to be identified as a plant.

At the initial step the algorithms are using the light curtain data – generating a shadow side view – for plant identification. Afterwards a skeleton structure is generated. In the further analyses the height of the plant structure is determined. Based on the number of branches and endpoints an indicator for the number of plant leaves is given. In order to detect overlapping plants criteria have been implemented in the analyses sequence to stop the analysis of a frame structure. In case of termination the algorithm continues its analysis at the lower end of the next frame. Frame points at which a termination appears are marked as endpoints of neighbouring plants. If selective conditions for the height, distance to neighbouring plants and number of leaves are fulfilled, the object are classified as a maize plant and marked with the precise GPS position. The parameters of each plant are stored in a data structure with a unique identifier. For follow-up runs of the robot the data of the re-measured maize plants are assigned to the existing ones based on the GPS position. This is enabled by applying the iterative closest point algorithm [11].

To visualize the determined plant parameters the geographic information system OpenJUMP is used. GIS tools in general have proved itself in many cases and are already known from precision farming where they are normally used for site specific applications. In the case of single plant phenotyping the single plant is considered as a partial area so that every

Fig. 2



Light curtain measurements (green) marked with the plants positions and the modelled plant heights

single plant can be visualized with its individual parameters. GIS tools offer many solutions for data visualization as well as extensive analyses [12]. Using this e.g. position maps of the measured crops were created and their different parameters were displayed.

Results

Figure 2 shows an example of field measurement results for maize. The given structures were measured by the light curtain and are showing the side view height profile of seven maize plants. The figure shows that in this case the applied algorithm has detected all seven plants as single maize plants. The positions of these plants have been determined with high precision and are marked in the diagram together with the modelled plant height. The position of the plant at the very right has not been detected exactly. But although this plant position couldn't be detected exactly due to a hanging leaf, the algorithm was still able to identify the plant and detect its height. The high detection rates of the algorithm demonstrate the potential of the method, also for other plant cultures.

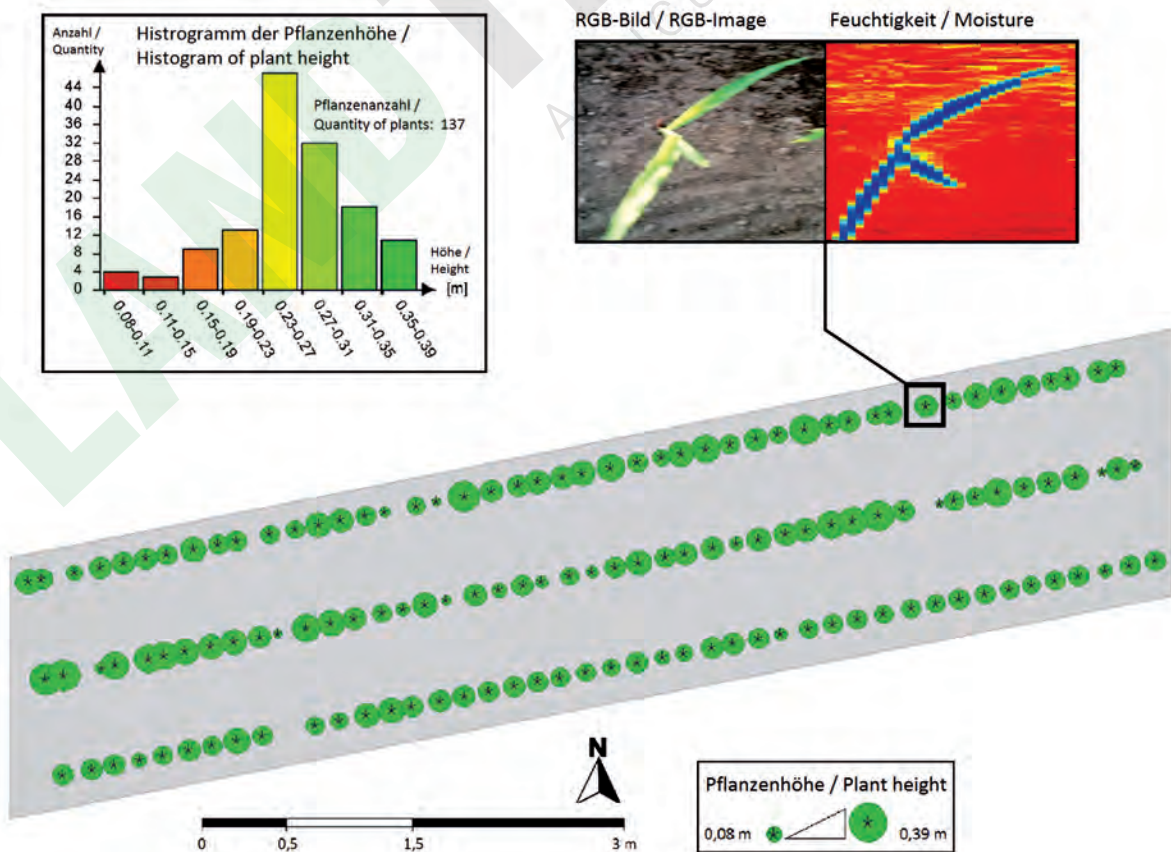
Next to the plant identification further parameters can be modelled, examples are the number of plants, height, width, distance between plants, stem thickness or the relative moisture of plant leaves. Importing the generated plant information into the GIS tool OpenJUMP it is possible to visualize these parameters

clearly and perform statistical analyses using the available toolboxes. In the lower section of figure 3 a GIS map of a field test with in total 137 maize plants is shown. The position of each plant is marked by a black star symbol. The diameters of the surrounding green circles are representing the different plant heights. In the upper left section of **Figure 3** a histogram of the measured plant heights is displayed exemplarily for the many different possibilities of graphical and statistical evaluation with this standard GIS tool. Moreover, all data points are linked to the extensive plant information and can also be displayed directly in the GIS map as demonstrated in **Figure 3** (in the upper right section). This visualization of data allows the user to get a fast overview and to detect abnormal parameters of plants in an early stage. The temporal change of plant parameters - based on the redetection - can be measured and displayed for individual plants. The corresponding maps and data have high relevance for plant breeding, moreover combination with further information (e.g. soil maps) is possible.

Conclusion and perspective

Based on the example of sensor-based plant phenotyping the developments and applications have demonstrated the option of a single plant based agriculture. In the first approach already several plant parameters can be modelled. With multiple measurements using a sensor based redetection of the plants,

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

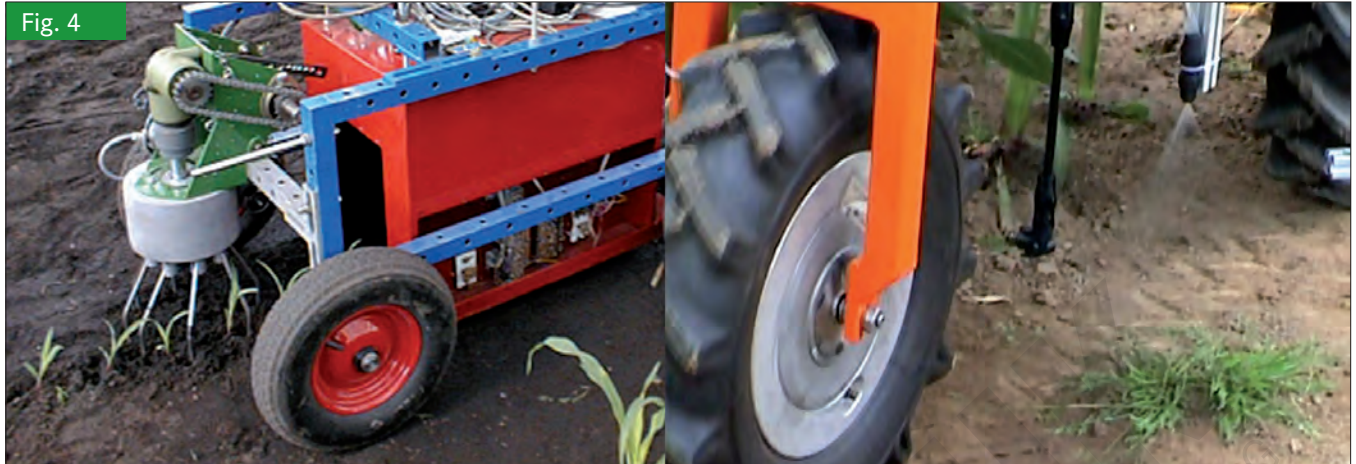


Fig. 4 Mechanical weed control within the row (intra row, „Querhacke“, [13]) (left) and weed robot survey „Weedy“ for selective chemical weed control in a field test (right, [14])

growth processes of plants can be visualized by comparing the different parameters as a function of time. The linking of the measurement data and the detected plant positions also provides the user with raw data – for example 3D images, spectral data or RGB images – for further analyses. The combination of the generated plant data structure and the GIS tool OpenJUMP supports the user with respect to the processing of the data, such as visual illustrations or statistical analyses. The research and development projects to combine sensor fusion, GIS technology and autonomous field robots have already led to practical solutions for the specific phenotyping application. For this reason the potential for further applications in agricultural engineering is established.

Due to their complexity the development of further single plant agricultural processes and its system integration require great efforts from crop farming as well as from technology. However, already many results of research and development projects working on this topic are available. As for example the authors have also worked on mechanical weed control in maize rows (Figure 4 left, [13]) as well as on studies for robots with selective chemical weed control (Figure 4 right, [14]). The potentials for selective plant protection based on autonomous field robots are pointed out in [15]. In the area of field robotics many options are possible, e. g. the combination of autonomous and manned vehicles or the appliance of big and small machine. First practical experiences are also available (e. g. [16]).

The single plant detection presented in this work as well as the conception and realization of the adaptable field robot BoniRob provides first experiences for the development of individual plant agriculture.

Literature

- [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, p. 2
- [4] Auernhammer, H. (2001): Precision farming – the environmental challenge. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 30 (1-3), pp. 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, p. 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, pp. 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, pp. 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), pp. 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, pp. 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, pp. 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.; WiBerodt, 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, pp. 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, pp. 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, pp. 37–43

Authors

Dipl.-Ing. (FH) Erik Wunder, M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Ralph Klose, M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Marius Thiel and **Prof. Dr. Arno Ruckelshausen** are working in the Competence Center of Applied Agricultural Engineering – COALA at the University of Applied Sciences Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück, Germany, e-mail: a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

Dipl.-Ing. (FH) Arnd Kielhorn is partner of the company FARMSYSTEM Hinck & Kielhorn. The offered services are GIS based data analyses for the management system precision farming. c/o University of Applied Sciences Osnabrück, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, Germany, e-mail: kielhorn@farmsystem.de

Acknowledgement

The work in the research project “BoniRob” was funded by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV). The project was a cooperative work of the company Amazonen-Werke, the company Robert Bosch GmbH and the University of Applied Sciences Osnabrück.

LANDTECHNIK
AGRICULTURAL ENGINEERING

LANDTECHNIK

ISSN 0023-8082

Impressum

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

VDMA Fachverband Landtechnik, Frankfurt/Main

Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG), Düsseldorf

Bauförderung Landwirtschaft e.V. (BFL), Hannover

Geschäftsführender Herausgeber

Dr. Heinrich de Baey-Ernsten (KTBL)
Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt

67. Jahrgang

Redaktionsleitung

Dr. Isabel Kriegseis (KTBL)
Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt
Telefon 06151 7001-127, Fax 06151 7001-123
E-Mail: landtechnik@ktbl.de

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. H. Bernhardt, Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger, Prof. Dr. habil. G. Breitschuh,
Prof. Dr. habil. W. Büscher, Dr. M. Demmel, Prof. Dr. R. Doluschitz, Dr.-Ing. D. Ehlert,
PD Dr. E. Gallmann, Prof. Dr.-Ing. M. Geimer, Dr. H. Georg, Dr. M. Geyer,
Prof. Dr. J. Hahn, Prof. Dr. O. Hensel, PD Dr. E. F. Hessel, Prof. Dr. habil. B. Hör-
ning, Prof. Dr.-Ing. B. Johanning, Prof. Dr. T. Jungbluth, Prof. Dr.-Ing. T. Lang,
Prof. Dr.-Ing. T. Meinel, Prof. Dr.-Ing. H.-J. Meyer, Prof. Dr. J. Müller, Dr. S. Nesper,
Prof. Dr. L. Popp, Prof. Dr. T. Rath, Prof. Dr. Y. Reckleben, PD Dr. habil. M. Schick,
Prof. Dr.-Ing. P. Schulze Lammers, Prof. Dr. H.-P. Schwarz, Prof. Dr. habil. J. Spilke,
Prof. Dr. Ir. H. Van den Weghe, Dr. G. Wendl, Prof. Dr. K. Wild

© Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des KTBL unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Briefanschrift

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
Telefon 0 6151 7001-0, Fax 0 6151 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de, www.ktbl.de

Bankverbindung

Volksbank Darmstadt
BLZ 508 900 00
Kto 6432603

Hauptgeschäftsführer

Dr. Heinrich de Baey-Ernsten

Vertrieb und Anzeigenverwaltung

Claudia Molnar
Telefon 0 6151 7001-119, Fax 0 6151 7001-123
E-Mail: abonnement@ktbl.de

Anzeigenpreise/Anzeigenschluss

Gültig sind zur Zeit die Media Daten 2012 unter www.landtechnik-online.eu

Erscheinungsweise

Zweimonatlich, jeweils zum Monatsende

Bezugspreise

Inland jährl. 162,60 € einschließlich Zustellgebühren und MwSt.
Ausland jährl. 165,00 € einschließlich Versand
Normalpost, Luftpost gegen Mehrkostenberechnung

Gesamtherstellung

Druckerei Lokay, Reinheim

