

Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung

A. RUCKELSHAUSEN^{1*}, R. KLOSE¹, A. LINZ¹, J. MARQUERING², M. THIEL¹, S. TÖLKE¹

¹ Fachhochschule Osnabrück, Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme (ISYS), Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, E-Mail: a.ruckelshausen@fhos.de, ralph.klose@gmx.de, a.linz@fh-osnabrueck.de, marius.thiel@gmx.de, sascha.toelke@web.de

² Amazonen Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG, Postfach 51, D-49205 Hasbergen, E-Mail: Dr.Johannes.Marquering@amazone.de

* korrespondierender Autor

Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung von Sensorik- und Aktorik-Komponenten zur Unkrautbekämpfung hat in den letzten Jahren Fortschritte erzielt, die jedoch noch nicht in Form eines voll funktionsfähigen autonomen Feldroboters realisiert wurden. Auf Basis der Vorarbeiten der Autoren zur sensorgesteuerten Querhacke sowie der Entwicklung des autonomen Fahrzeugs optoMAIZER zum Field Robot Event wird ein Gesamtkonzept für den modular aufgebauten autonomen Roboter Weedy zur Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen vorgeschlagen. Die Entwicklungsschritte umfassen folgende Teilbereiche: Sensorik zur Nutzpflanzenerkennung, Aktorik zur Unkrautregulierung, Reihenführung, Wendevorgang, Fahrzeugtechnik, Systemtechnik und Anwendungsaspekte.

Stichwörter: Unkrautbekämpfung, autonome Feldroboter, Reihenführung

Summary

Autonomous robots for weed control

The development of sensor and actuator components for weed control has been improved in the last years. However, a complete autonomous field robot with all necessary functions is not yet available. Based on the previous works of the authors with the sensor-based cycloid hoe "Querhacke" and the autonomous vehicle optoMAIZER for the Field Robot Event a new concept for the modular autonomous robot Weedy for weed control within row cultures is proposed. The development steps include: sensor for crop detection, actuator for weed control, row guidance, U-turn, vehicle and system technology and application aspects.

Keywords: Weed control, autonomous field robots, row guidance

Einleitung

Die gleichzeitige Optimierung ökonomischer und ökologischer Aspekte steht seit Jahren im Fokus innovativer Entwicklungen bei der Unkrautbekämpfung. Die Verfügbarkeit praxistauglicher Sensorik- und Aktorik-Komponenten ist hierzu eine wesentliche Voraussetzung. Dabei nehmen innovative Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung eine besondere Rolle ein, da diese die Option einer deutlichen Reduktion von Herbiziden bieten (DUSSELDORP und RÖSCH 2004, RUCKELSHAUSEN *et al.* 2004a/b). Bezüglich der Komplexität der Bekämpfung müssen nach Abb.1 die Bereiche zwischen den Reihen (inter-row), innerhalb der Reihe (intra-row) und nahe der Nutzpflanze (close-to-crop) unterschieden werden. Während es für den ersten Fall technische Lösungen gibt (z.B. WEBER und MEYER 1998, TILLET *et al.* 2003), stehen Produkte für die beiden anderen Fälle noch aus. Beispiele für

Entwicklungen zur Unkrautregulierung innerhalb der Reihe sind die Wageninger Hacke (BONTSEMA *et al.* 2002) oder die Querhacke (KIELHORN *et al.* 2000).

Der zielgerichtete Einsatz mechanischer Aktoren oder teilflächenspezifischer Spritztechniken basiert maßgeblich auf der Verfügbarkeit einer zuverlässigen Sensorik sowie deren Systemintegration. Beispiele sind der Einsatz der Bildverarbeitung (GERHARDS *et al.* 2004) zur teilflächenspezifischen Applikation von Herbiziden oder der Einsatz von Multisensor-Systemen (RUCKELSHAUSEN *et al.* 2004a/b) zur Ansteuerung der Querhacke.

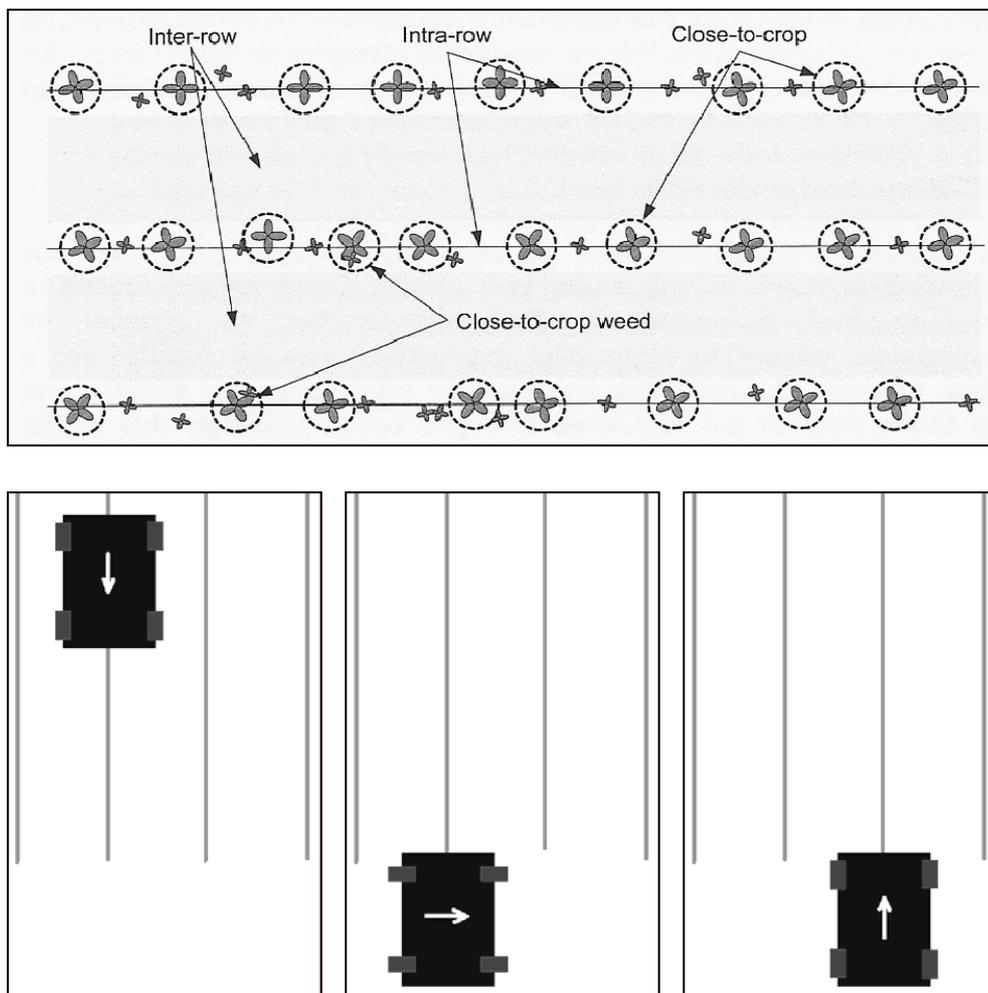


Abb. 1: Positionierung der Unkräuter in Reihenkulturen (oben; nach ÅSTRAND 2005); Schema zur Reihenführung und Wende in Reihenkulturen (unten).

Fig. 1: Positioning of weed plants in row cultures (top); scheme for row-following and turn in row cultures (bottom).

Durch die Fortschritte der Sensor- und Aktorentwicklungen sowie die Verfügbarkeit von GPS-Systemen wurden Forschungsarbeiten zur Entwicklung autonomer Roboter motiviert. Die Kombination von GPS-gestützter Saat, Bildverarbeitung sowie verschiedener Aktoren (Laser, Mikro-Sprayer, Querhacke) bildet die Basis der Konzepte und Entwicklungen in Kopenhagen (GRIEPENTROG *et al.* 2004, GRIEPENTROG 2005). Ein erstes autonomes Testfahrzeug zur Unkrautregulierung wurde in Göteborg entwickelt (ÅSTRAND und BAERFELDT 2002, ÅSTRAND 2005). Bisher ungelöste Fragestellungen dieser Arbeiten sind die Unterscheidung von Bereichen innerhalb und außerhalb des Feldes, der Überlapp von Pflanzen bei der Bildverarbeitung sowie Variationen in den Pflanzenbeständen. Entwicklungsschübe in dem Bereich der Entwicklung autonomer Fahrzeuge erfolgen auch durch den seit 2003 jährlich stattfindenden internationalen Wettbewerb FIELD ROBOT EVENT (MÜLLER 2005).

Die bisherigen Arbeiten haben noch nicht zu einem praxistauglichen autonomen Feldroboter geführt, der auf einem Feld eine landtechnische Aufgabe – z.B. Unkrautregulierung – durchführen kann. Ein solcher marktnaher Prototyp könnte durch Praxiserfahrungen bei der Anwendung des Gesamtsystems Impulse für die weitere Anwendung innovativer Technologien liefern, die sich sowohl für die Wirtschaft als auch die Umwelt positiv auswirken.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird daher das Konzept zur Entwicklung eines autonomen Roboters zur Unkrautbekämpfung vorgestellt. Zu den verschiedenen Teilkomponenten wurden im Rahmen mehrerer angewandter Forschungsvorhaben von den Autoren Vorentwicklungen durchgeführt. Dies bezieht sich sowohl auf die Sensorik als auch auf die Aktorik und die mechatronische Systemintegration bis hin zu feldtauglichen Versuchsfahrzeugen. Der zu realisierende Roboter („Weedy“) soll in Reihenkulturen mit geringer oder mittlerer Verunkrautung eingesetzt werden können. Automatische Reihenführung sowie Wendemanöver sind implementiert (siehe Abb. 1), Anwendungsaspekte wie Schnittstellen zum Anwender oder Sicherheitstechnik werden berücksichtigt. Die Modularität der Komponenten eröffnet im Falle der Praxistauglichkeit des Prototypen weitere Anwendungsfelder.

Material und Methoden

Die Aufgabe zur Entwicklung eines autonomen Fahrzeugs zur Unkrautbekämpfung gliedert sich in folgende Teilbereiche: Sensorik zur Nutzpflanzenerkennung, Aktorik zur Unkrautregulierung, Reihenführung, Wendevorgang, Fahrzeugtechnik, Systemtechnik und Anwendungsaspekte.

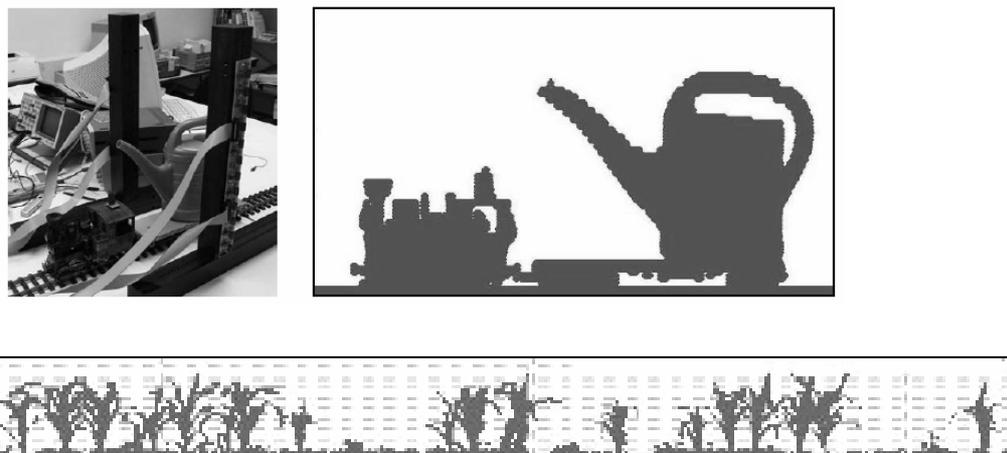


Abb. 2: Lichtgitter als Höhenprofilsensor (oben); Profil einer Maisreihe (unten).
 Fig. 2: Light curtain as height profile sensor (top), profile of a maize row (bottom).

Sensorik zur Nutzpflanzenerkennung: Die Komplexität bei der Erkennung von Nutzpflanzen sowie insbesondere bei der Unterscheidung von Nutzpflanzen und Unkräutern führt bei der Anwendung von Bildverarbeitungsmethoden zu Problemen beim Überlapp von Pflanzen (siehe z.B. ÅSTRAND 2005). Bei geringer bis mittlerer Verunkrautung bieten sich optoelektronische Lösungen an, die sich durch Zuverlässigkeit, geringe Kosten und hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit auszeichnen. Ein leistungsfähiges System wurde von den Autoren als bildgebendes Lichtgitter realisiert (FENDER *et al.* 2005), welches direkt Binärinformationen liefert und mit absoluten geometrischen Informationen einfache Bildverarbeitungsalgorithmen ermöglicht (Abb. 2). Dieser „Höhenprofilsensor“ kann – insbesondere bei niedrigen Pflanzenhöhen – mit weiteren einfachen optischen Sensoren zur Messung des Grünflächenanteils und der Abstände ergänzt werden (RUCKELSHAUSEN *et al.* 1999). Durch die Aufnahme und Analyse von Rohdaten steht ein lernfähiges Sensorsystem zur Verfügung, welches auf unterschiedliche Kulturpflanzen angewendet werden kann.

Aktorik: Die Unkrautbekämpfung soll auf Basis mechanischer Aktoren realisiert werden, jedoch können durch die modulare Bauweise des Systems auch andere Aktoren integriert werden (z.B. Sprayer, Laser). Für die Unkrautregulierung zwischen den Reihen werden an dem Fahrzeug schmale Striegel angebracht. Innerhalb der Reihe stellt die Querhacke eine Lösungsoption dar (Abb. 3), alternativ ist der Einsatz der kommerziell verfügbaren Fingerhacke (Firma Kress) denkbar.

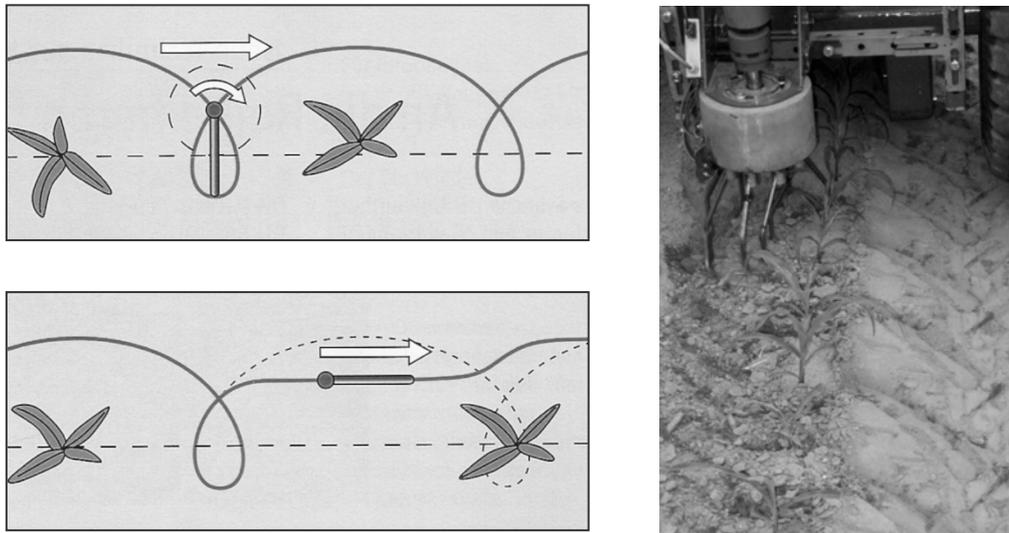


Abb. 3: Prinzip der Zykloidenhacke oder Querhacke (RUCKELSHAUSEN *et al.* 2004).

Fig. 3: Principle of the cycloide hoe or "Querhacke".

Reihenführung: Zur sensorgesteuerten Reihenführung – ohne GPS – werden überwiegend Kameras mit Bildverarbeitung eingesetzt (z.B. ÅSTRAND und BAERFELDT 2005, TILLET *et al.* 2003). Das kostengünstige Kamerasystem CMUCam bietet Optionen für einen Datentransfer der reduzierten Daten (ohne Transfer der Bilddaten). Auf dieser Weise wurde eine Reihenführung auf Basis des Farbmanagements der Kamera realisiert (KLOSE *et al.* 2005a). Darüber hinaus wurde in Mais eine Reihenführung mit mehreren Abstandssensoren entwickelt und erprobt (KLOSE *et al.* 2005a; Abb. 4).

Wendevorgang: Im Rahmen der Entwicklung eines Roboterfahrzeugs zum Field Robot Event (KLOSE *et al.* 2005b) wurde ein Wendevorgang mit integrierten Gyrometer-ICs (Abb. 5) sowie Drehgebern realisiert. Dieser kostengünstige Lösungsansatz soll für den autonomen Unkrautroboter verwendet werden.

Fahrzeugtechnik: Zur Fahrzeugtechnik wird eine Mechanik als Eigenentwicklung realisiert und mit kommerziell verfügbaren Komponenten ergänzt (Stromerzeuger, Antriebsmotor, Lenkungssystem).

Systemtechnik: Die rechnerbasierte Systemtechnik nimmt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung des autonomen Fahrzeugs ein. Die softwaremäßige Integration von Sensorik, Aktorik, Energieversorgung, User-Interface sowie einer WLAN-Verbindung sind in Abbildung 6 dargestellt und wurden realisiert (KLOSE *et al.* 2005b). Durch die Verwendung einer Hierarchie von Mikrocontrollern wird eine Verarbeitung auch größerer Datenmengen möglich.

Anwendungsaspekte: Über ein User-Interface (Beispiel in Abb. 7) können vom Anwender Systemparameter übergeben werden (z.B. Informationen zur Verunkrautung oder zum mittleren Pflanzenabstand). Weiterhin kann die Funktion oder Fehlfunktion der einzelnen Komponenten – auch auf Basis zusätzlicher Sensoren zur Sicherheit – angezeigt werden. Abschaltungen können neben einem Notaus-Schalter durch das System selbst erfolgen (Feststellung bestimmter Konstellationen) oder über die WLAN-Verbindung.

Erfahrungen zu den einzelnen Komponenten wurden von den Autoren insbesondere durch die Entwicklung der sensorgesteuerten Querhacke (Abb. 8, links) und den autonomen Roboter optoMAIZER (Abb. 8, rechts) gewonnen. Die in Tabelle 1 zusammengefasste Funktionalität des autonomen Roboters zur Unkrautbekämpfung soll in einen Prototypen umgesetzt werden (siehe Abb. 9).

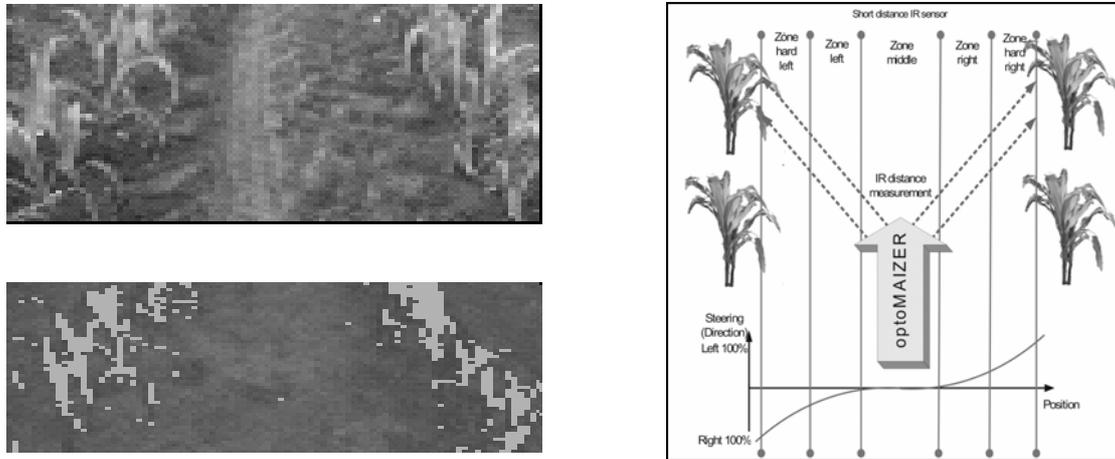


Abb. 4: Alternative Methoden zur Reihenführung (KLOSE *et al.* 2005a): Kamera-basierte Farberkennung durch die CMUCam (links), Kombinationen von Abstandssensoren (rechts).

Fig. 4: *Alternative methods for row guidance: camera-based colour tracking with the CMUCam (left), combination of distance sensors (right).*

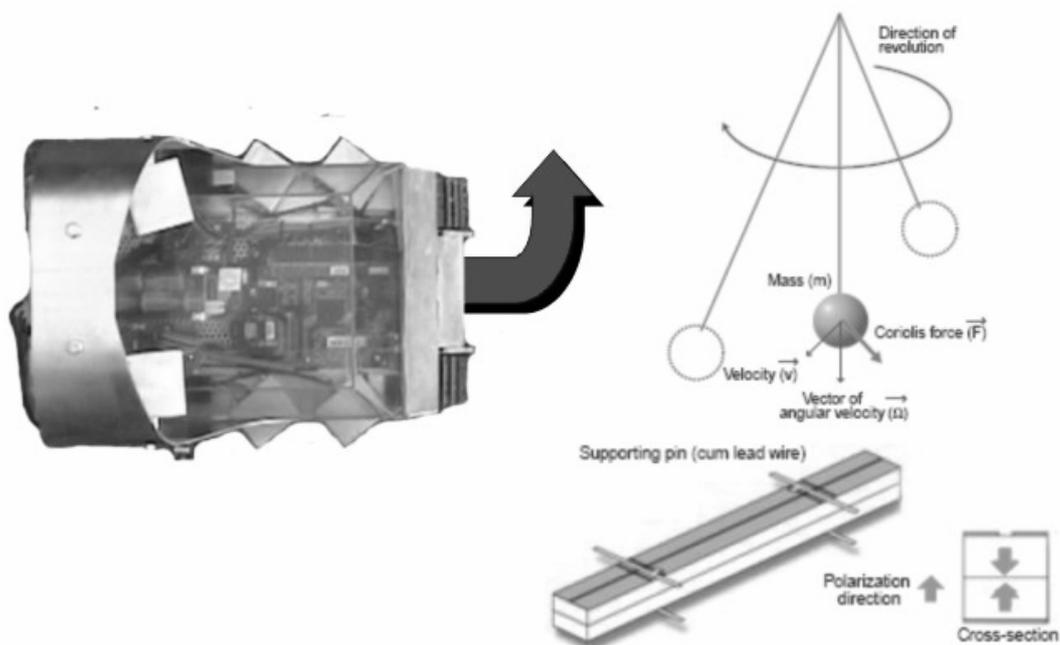


Abb. 5: Anwendung des Gyrometers ENC-03 der Firma MURATE für Wendemanöver (KLOSE *et al.* 2005b).

Fig. 5: *Application of the gyroscope ENC-03 from MURATE for U-turns.*

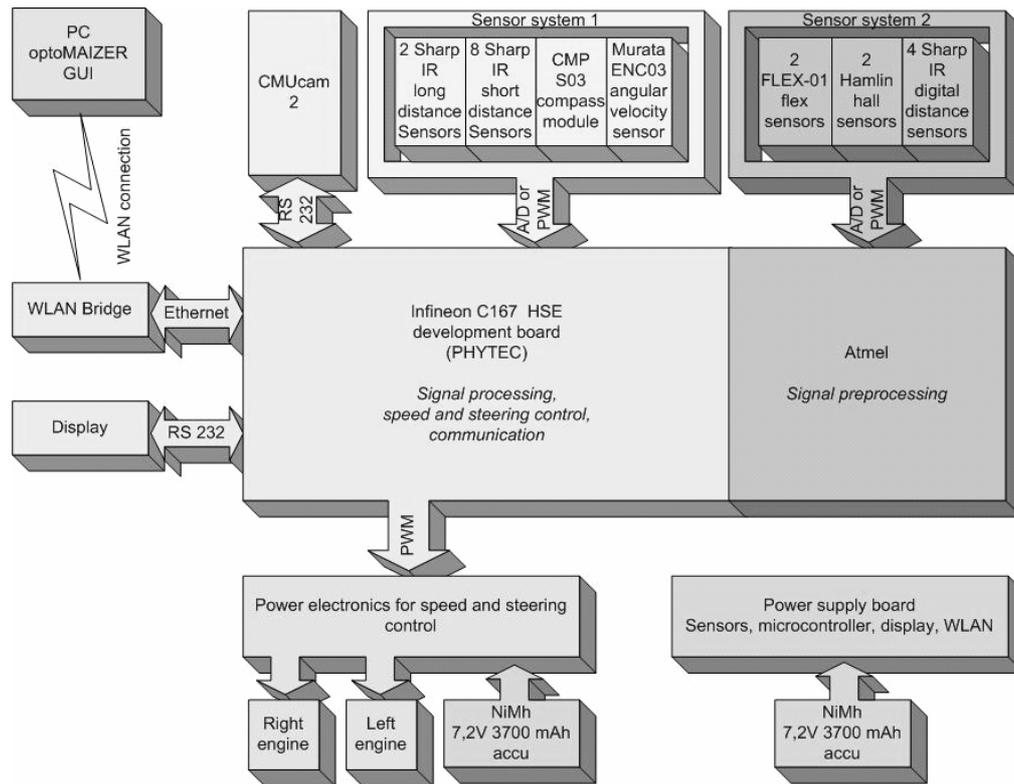


Abb. 6: Systemstruktur des autonomen Feldroboters optoMAIZER (KLOSE et al. 2005b).
 Fig. 6: System structure of the autonomous field robot optoMAIZER.

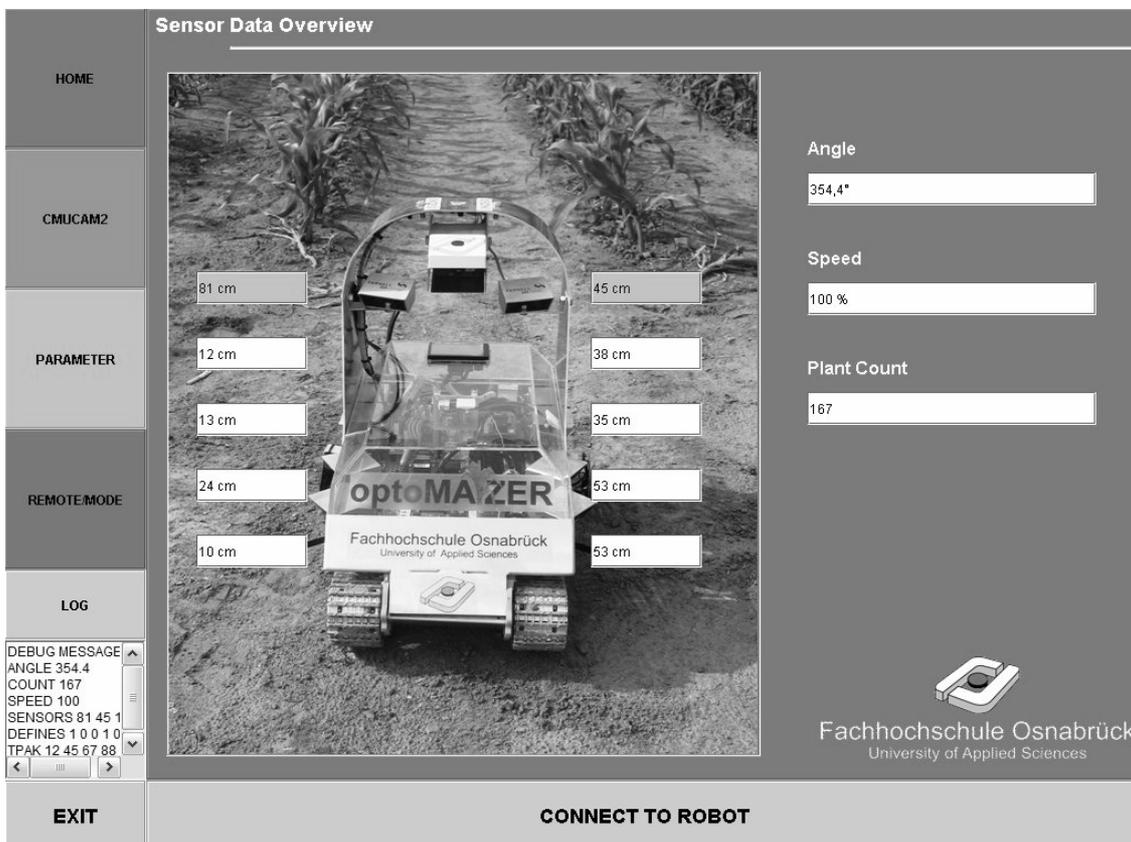


Abb. 7: Grafisches User-Interface für den autonomen Feldroboter optoMAIZER.
 Fig. 7: Graphical user interface for the autonomous field robot optoMAIZER.

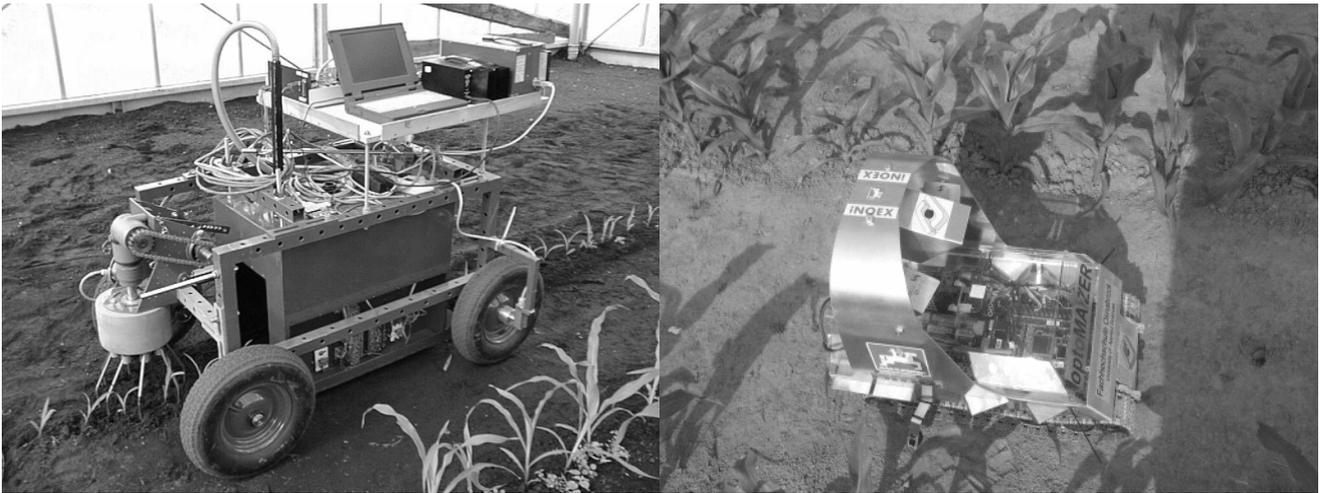


Abb. 8: Sensorgesteuerte Querhacke (links, RUCKELSHAUSEN *et al.* 2004); autonomer Feldroboter optoMAIZER (rechts, KLOSE *et al.* 2005b).

Fig. 8: *Sensor-based cyloid hoe (left); autonomous field robot optoMAIZER (right).*

Tab. 1: Funktionalität des autonomen Unkrautroboters WEEDY.

Tab. 1: *Functionality of the autonomous weed control robot WEEDY.*

Basisfunktionen "Weedy"	
Funktion	Autonome Unkrautregulierung (reihenbasiert)
Reihenführung	Colour-Tracking (Kamera) und Abstandssensorik
Wendemanöver	Gyroskop-IC, Drehgeber
Nutzpflanzenerkennung	Multisensor-Konzept (Lichtgitter, Abstandssensorik)
Unkrautregulierung	Striegel (zwischen den Reihen); Querhacke oder Fingerhacke (innerhalb der Reihe)
Fahrzeug	Stromerzeuger mit Antriebsmotor
Lenkungssystem	Schrittmotoren
Kommunikation und Sicherheit	Grafisches User Interface, WLAN, Alarm-Sensorik

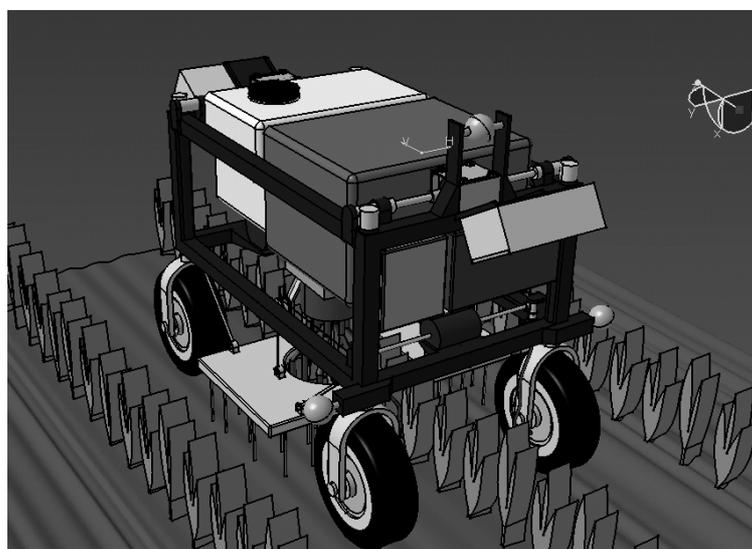


Abb. 9: Konzept von "Weedy": autonomer Roboter zur Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen.

Fig. 9: *Concept of "Weedy": an autonomous robot for weed control in row cultures.*

Literatur

- ÅSTRAND, B., BAERFELDT: An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control, *Autonomous Robots* **13**, 21-35, 2002.
- ÅSTRAND, B., A.J. BAERFELDT: A Vision Based Row-Following System for Agricultural Field Machinery, *Mechatronics* **15**, 251-269, 2005.
- ÅSTRAND, B.: Vision Based Perception of Mechatronic Weed Control, Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2005.
- DUSSELDORP, M., C. RÖSCH: Stand und Perspektiven des Einsatzes von moderner Agrartechnik im ökologischen Landbau, TAB Büro für Technikfolgenabschätzung im Deutschen Bundestag, Hintergrundpapier Nr. 12., Dezember 2004.
- FENDER, F., M. HANKKENEN, A. LINZ, A. RUCKELSHAUSEN, M. SPICER: Messende Lichtgitter und Multispektralkameras als bildgebende Systeme zur Pflanzenerkennung“, *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 40, 2005, ISSN 0974-7314, S.7-16.
- BONTSEMA, J., K. VAN ASSELT, T. GROOT: Intra-row weed control, *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 31, 2002, ISSN 0974-7314, S.64-72.
- GERHARDS, R., D. DICKE, P. KROHMANN, A. BÜCKSEK, K. HURLE: Precision farming in weed management – Technologies for real-time control and GIS-based population dynamics. Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing/China, 11.05.-16.05.2004, Foreign Languages Press, 2004.
- GRIEPENTROG, H.W., S. CHRISTENSEN, H.T. SØGAARD, M. NØRREMARK, I. LUND, E. GRAGLIA: Robotic Weeding, *AgEng Leuven*, Proceedings, 2004.
- GRIEPENTROG, H.W.: Unkrautregulierung mit autonomen Fahrzeugsystemen. Workshop Precision Farming, 18.10.2005, University Hohenheim/Germany.
- KIELHORN, A., T. DZINAJ, F. GELZE, J. GRIMM, , H. KLEINE-HARTLAGE, S. KLEINE HÖRSTKAMP, W. KUNTZE, A. LINZ, J. NAESCHER, M. NARDMANN, A. RUCKELSHAUSEN, D. TRAUTZ, E. WİBERODT: Beikrautregulierung in Reihenkulturen - Sensorgesteuerte Querhacke im Mais. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 207-215, 2000.
- KLOSE, R., M. MEIER, A. LINZ, A. RUCKELSHAUSEN: Reihenföhrung autonomer Roboter mit der Low-Cost-Kamera CMUCam, *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 40, 2005/a, ISSN 0974-7314, S. 131-137.
- KLOSE, R., M. MEIER, A. LINZ, A. RUCKELSHAUSEN: Field robot optoMAIZER: Development of a mechatronic system based on sensor fusion, a real time operating system and WLAN. Workshop Precision Farming, 18.10.2005/b, University Hohenheim/Germany.
- MÜLLER, J.: Field Robot Event – International student design contest in Agricultural Engineering, Workshop Precision Farming, 18.10.2005, University Hohenheim/Germany.
- RUCKELSHAUSEN, A., T. DZINAJ, F. GELZE, S. KLEINE HÖRSTKAMP, A. LINZ, J. MARQUERING: Micro-controller-based multi-sensor system for online crop/weed detection. *The 1999 Brighton Conference Weeds, Proceedings*, vol. 2, 601-606, Brighton, 1999.
- RUCKELSHAUSEN, A., A. LINZ, B. RAMLER, S. IN DER STROTH: Innovative methods in non-chemical weed-control, *Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing, China, May 11-16, 2004a*, Foreign Languages Press, ISBN 7-119-03698-X.
- RUCKELSHAUSEN, A., A. KIELHORN, A. LINZ, D. TRAUTZ: Innovative Methoden in der nichtchemischen Unkrautbekämpfung, *Wissenschaftliches Kolloquium Vielfalt-Ideen-Fortschrit / Weed Science on the GO*, S.67-77, Universität Hohenheim, 2004b.
- TILLET, N., T. HAGUE, P. GARFORD, P. WATTS: Development of a commercial vision guided inter-row-hoe: achievements, problems and future directions. *Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture ECPA, Berlin*, 671-676, 2003.