

# **Perspektiven der Automatisierung für Düngung und Pflanzenschutz**

## **Prospects of automation in fertilization and crop protection**

Prof.Dr. **A. Ruckelshausen**, Hochschule Osnabrück / Competence Center of Applied Agricultural Engineering -COALA, Osnabrück

### **Abstract**

Food production has strongly to be increased to meet the expanded world's population in future. Moreover, limited resources, energy consumption and climate change are challenges to present and future agricultural processing. Technological progress can have a strong impact to solve these problems. Sensors, data communication, intelligent systems and autonomous robots can be key components for reduced environmental burdens. Increased knowledge of plant production parameters has to be aligned with latest technological options in an interdisciplinary effort.

### **1. Rahmenbedingungen und Anforderungen**

Die Ernährung der für das Jahr 2050 zu erwartenden Weltbevölkerung von mehr als 9 Milliarden Menschen erfordert gegenüber dem Stand von heute Steigerungen der Nahrungsmittelproduktion im Bereich von 70 % [1]. Mit dieser Entwicklung einher geht der steigende Energiebedarf, die Einflüsse des Klimawandels sowie die Knappheit und Verteilung der Ressourcen, inclusive Wasser [2]. Die Landwirtschaft spielt bei diesen sowohl regional als auch global relevanten Anforderungen eine zentrale Rolle. Dabei besteht die Herausforderung in der Erfüllung der genannten Steigerungen bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt, dies bedeutet insbesondere einen geringeren Energiebedarf und eine Reduktion der Umweltbelastungen. Die Herausforderungen dieser überwiegend im Konflikt zueinander stehenden Anforderungen sind immens. Die Entwicklung und Anwendung großer landwirtschaftlicher Maschinen hat daher einerseits zu deutlichen Verbesserungen der Flächenleistungen geführt, andererseits wird der größte Teil der Energie dafür benötigt, um die durch Bodenverdichtung entstandenen Schäden dieser Maschinen zu kompensieren [3]. Ähnliche Gegenüberstellungen gelten für die Düngung und den Pflanzenschutz. Die Landwirtschaft der Zukunft hat daher die (schwere) Aufgabe zu lösen, nachhaltige wirtschaftliche Produktionssteigerungen bei geringer Umweltbelastung zu erzielen („Ecological Intensification“, [1]). Die Entwicklung von

Lösungsstrategien betrifft viele unterschiedliche Aspekte, von pflanzenbaulichen und technischen Fortschritten bis hin zu globalen verbindlichen Absprachen. Die Erfolge der Landwirtschaft haben die Optionen innovativer Technologien unter dem Oberbegriff „Automatisierung“ bereits aufgezeigt, diese sind jedoch bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Die Entwicklung und Umsetzung der Automatisierungstechnologien in der Landwirtschaft stellt daher bei der Lösung der dargestellten Anforderungen zwar nicht die einzige, aber eine zentrale Aufgabe dar.

## **2. Wissensbasierte Automatisierung**

Die technologische Grundlage landtechnischer Maschinen stellt der Maschinenbau dar. Hier wird es auch in Zukunft innovative Lösungsansätze geben, wobei die Entwicklungen zunehmend interdisziplinären Charakter haben, dies betrifft z.B. die Entwicklung neuer Materialien zur Leichtbautechnik, die Robotik oder die Hybrid- und Elektroantriebe. Die derzeit höchste Innovationsrate der Landtechnik findet jedoch in den Bereichen Elektronik und Informatik statt. Diese Bereiche werden in Zukunft noch deutlich mehr an Bedeutung gewinnen und stellen den Schwerpunkt dieses Beitrags dar. Die Gewinnung von Daten (z.B. durch Sensoren), die Verfügbarkeit dieser Daten und die Umsetzung der interpretierten Daten in Handlungsanweisungen nehmen eine zentrale Rolle ein. Das Wissen um den landwirtschaftlichen Prozess im Pflanzenbau kann dadurch ökonomisch und ökologisch (widerspruchsfreier) genutzt werden. Im Pflanzenbau lassen sich durch zusätzliches Wissen beispielsweise Düngemittel oder Herbizide einsparen. Aufgrund der erheblichen Zahl von Einflussgrößen auf den Pflanzenertrag und eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen gibt es jedoch hier im Bereich der Datenerfassung und –interpretation weiteren erheblichen Bedarf. Die Kenntnisse und Nutzung der Heterogenität, der örtliche und zeitliche Wachstumsverlauf, die Modellierung zur Entscheidungsunterstützung stellen in Verbindung mit den eingesetzten Technologien große Herausforderungen der Forschung und Anwendung dar [4].

Die Simulation und Modellierung landtechnischer Maschinen und Prozesse spielt dabei heute bereits eine große Rolle für Neuentwicklungen, Testverfahren und Service; diese können auch für Visualisierung komplexer Prozesse und Schulungen eingesetzt werden. In Zukunft werden die Simulationsmöglichkeiten noch darüber hinausgehen, so dass der Gesamtprozess (z.B. eine Pflanzenschutzmaßnahme) mit zunehmend mehr Details vorab oder zur Analyse simuliert werden kann. Bild 1 zeigt als Beispiel die Datenaufnahme durch Kamerasysteme auf einem fahrenden autonomen Feldroboter. Die Modelle des Fahrzeugs, der Senso-

rik und der Pflanzen sind darin integriert, die simulierten Messdaten können – wie echte Messdaten – ausgewertet werden.

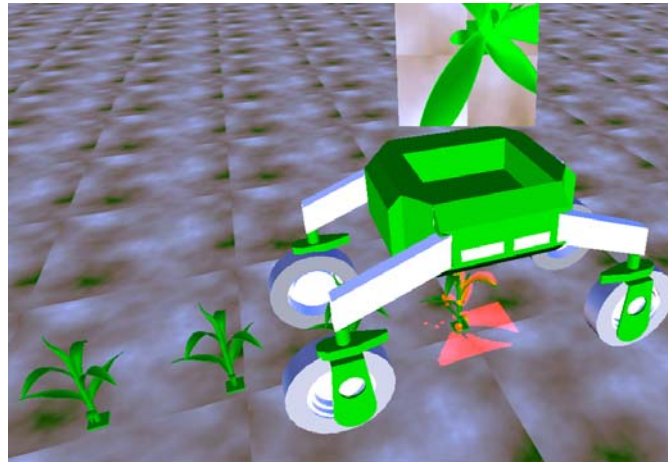


Bild 1: 3D-Simulation mit Microsoft Robotics Studio einer dynamischen Datenerfassung mit einem autonomen Feldroboter [5].

### **3. Technologie-Beispiele**

Die Einführung von GPS in die Landwirtschaft stellt heute die relevanteste Technologie im Precision Farming dar und ermöglicht die Integration von Ort- und Zeit-Informationen als Grundlage der Dokumentation und Verbesserung landwirtschaftlicher Prozesse. Die resultierenden pflanzenbaulichen und technologischen Fortschritte stellen die Grundlage einer umweltfreundlichen Landwirtschaft dar [6]. In diesem Abschnitt wird auf drei Zukunftstechnologien eingegangen, die überwiegend heute bereits eine bedeutende Rolle einnehmen: Sensoren, Systemintegration/Datenkommunikation und intelligente autonome Systeme.

#### **3.1 GPS und Sensoren**

Für den Pflanzenschutz und die Düngung können vorliegende Informationen (z.B. Bodenkarten) verwendet werden, die zum Zeitpunkt der Applikation bereits vorliegen. Neben dieser „offline-Applikation“ können Informationen zum Zeitpunkt der Anwendung generiert werden. Die bedeutendsten stellen die Orts- und Zeit-Koordinaten dar. Die GPS-Daten können für betriebswirtschaftliche, logistische und pflanzenbauliche Prozesse genutzt werden. Die Informationen können beispielsweise zum positionsgenauen Schalten bei Feldspritzen oder Düngerstreuern verwendet werden. Hierdurch können mehrere positive Effekte erzielt werden, beispielsweise eine Reduktion der Überlappungen, Berücksichtigung der Feldgrenzen und eine Entlastung des Fahrers. Damit können ökonomische und ökologische Prozessverbesserungen erzielt werden.

Die Anwendung von „online“-Sensoren wird für den Pflanzenschutz und die Düngung im Hinblick auf die Erfassung von Pflanzen-, Umgebungs- und Verschleißmerkmalen sowie die Messung der ausgebrachten Materialien und deren Wirkung eingeschränkt. Aufgrund der Komplexität und Vielfalt der Störgrößen werden für die Produktentwicklung solcher Sensoren ein erheblicher Aufwand und umfangreiche Praxisversuche benötigt. Beispielsweise zeigt Bild 2 den Prototyp einer kamerabasierten Unkrautregulierung, die zu deutlichen Herbizideinsparungen führen kann. Weiterhin ist ein Kamerasystem zur dynamischen Messung ausgebrachter Düngerkörner bei einem Zentrifugalstreuer abgebildet, ein solches Verfahren dient der automatischen Ermittlung der Einstellwerte für die Querverteilung. Beide in Bild 2 dargestellten Systeme befinden sich noch in der Entwicklung.



Bild 2: Entwicklungsprojekte zur kamerabasierten Unkrautregulierung (links: „H-Sensor“, [7]) und kamerabasierter Abtastung der Streufächer von Zentrifugalstreuern zur automatischen Ermittlung der Einstellwerte für die Querverteilung (rechts: Argus, [8]).

Für die Online-Erfassung von Bestands- oder Bodeninformationen werden derzeit mehrere Sensoren mit unterschiedlichen Selektivitäten angeboten [9], für 2011 wird die Einführung weiterer Sensoren erwartet. Problematisch ist häufig die erforderliche Trennung von Sensorinformationen und Handlungsanweisungen, so dass klarerweise Angaben zu Einsparungen in €/ha in Verbindung mit der Verwendung eines Sensors deutlich verkürzt und gegebenenfalls irreführende Informationen enthalten können. Eine klarere Trennung der Art und Qualität der erfassten Merkmale einerseits und der entsprechenden Handlungsweise (z.B. Düngestrategie) andererseits könnte dem Anwender hierbei helfen. Anzustreben sind vergleichende Messungen der Merkmale der verschiedenen Sensoren unter definierten pflanzenbaulichen

Bedingungen. Die Bedeutung der Sensoren und deren Verknüpfung mit georeferenzierten Karten wird in Zukunft deutlich zunehmen, so dass sich datenbasierte Düngung oder Unkrautregulierung zu Standardverfahren entwickeln werden. Das erhebliche Potenzial innovativer Messverfahren (Beispiele: Terahertz-Technologie, NMR, Bio- und Chemo-Sensoren) wird erst allmählich sichtbar.



Bild 3: Phänotypisierungsplattformen BoniRob (linke Seite) und BreedVision (rechte Seite) in Feldversuchen [10,11,12].

Im Bereich der Forschung und Pflanzenzüchtung spielt der Aspekt „Phänotypisierung“ eine zunehmend wichtige Rolle. Während in der Pflanzenzucht die Genotypisierung weit fortgeschritten ist (z.B. zur Züchtung von Pflanzen mit hoher Biomasse), wird die systematische Messung der Pflanzeigenschaften im Bestand erst seit kurzer Zeit entwickelt. Der Einsatz mehrerer – überwiegend bildgebender - Sensorsysteme zur Erfassung morphologischer und spektraler Signaturen spielt eine wesentliche Rolle zur Korrelation der gemessenen Pflanzeigenschaften mit den Genotypen [10]. Die dort eingesetzten Sensoren nehmen eine Vorreiterrolle für den zukünftigen Einsatz in landtechnischen Maschinen ein. Bild 3 zeigt die Phänotypisierungsplattform BreedVision (Anwendung: Triticale; [11]) und den autonomen Boniturroboter BoniRob (Anwendung: Mais; [12]). Bild 4 zeigt Messresultate von Feldmessungen in Triticale, wobei die Lichtgitter-Daten einzelne Halme und Ähren erkennen lassen [11]. Technologisch können Einzelpflanzen wiedergefunden werden, wenn die GPS-

Schwankungen geringer als der Pflanzenabstand sind; solche Messungen wurden – auch mit BoniRob im Mais - bereits durchgeführt.

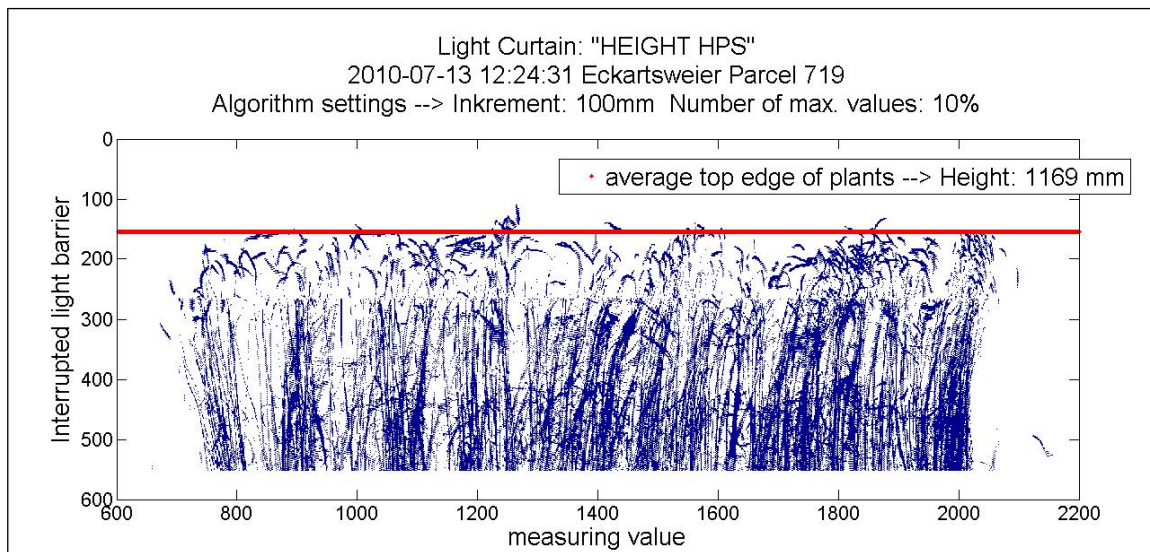


Bild 4: Höhenbestimmung von Triticum mit Lichtgittern der Phänotypisierungsplattform BreedVision [11].

### 3.2 Systemintegration und Datenkommunikation

Die Systemintegration und Datenkommunikation bei landtechnischen Maschinen und Prozessen erfordert herstellerübergreifende Initiativen und Lösungen [siehe z.B.: 13, 14 15].

Die Komplexität der Maschinen und Systeme erfordert eine intelligente und robuste Systemtechnik. Im maschinennahen Bereich (Traktor/Anbaugerät) gab es trotz bestehender Norm (ISO 11783) lange Zeit Probleme in der Praxisumsetzung. Hierdurch wurde die Anwendung neuer Technologien bei vielen Landwirten verzögert, auch hat dies eine rasche Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis behindert. Durch intensive firmenübergreifende Kooperationen wurde diese Situation in den letzten beiden Jahren jedoch deutlich verbessert, beispielsweise durch die Arbeit der AEF („Agricultural Industry Electronics Foundation“). Herstellerübergreifende Konzepte und Praxisorientierung spielen dabei eine wichtige Rolle; beispielsweise wurde von mehreren (z.T. im Wettbewerb stehenden) Unternehmen ein herstellerübergreifendes Bedienkonzept erarbeitet und realisiert [13]. Überträgt man die im Rahmen der Einführung des ISOBUS aufgetretene Problematik auf die insgesamt in der Landwirtschaft anfallenden technischen und betriebswirtschaftlichen Daten, so stellt sich hier die Herausforderung eines organisationsübergreifenden Wissensmanagements. Die Möglichkeit der unkomplizierten Nutzung von Daten verschiedener Formate unter Berücksichti-

gung der Datenhoheit stellt eine notwendige Infrastruktur dar, die als Grundlage wettbewerblicher Prozesse dient. Im Rahmen des laufenden Verbundprojekts iGreen [14] wird mit 24 Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand an dieser Thematik gearbeitet. Die Integration relevanter Standards, maximale Flexibilität durch den Einsatz semantischer Technologien und offene Schnittstellen sollen Entwicklern und Softwareanbietern vielfältige Möglichkeiten für neue Lösungen eröffnen.

### 3.3 Intelligente und autonome Systeme

Die Verknüpfung verschiedener Informationen zur Unterstützung des Menschen bei der Bedienung komplexer Systeme wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Dies kann beispielsweise die Bedienung einer landwirtschaftlichen Maschine betreffen oder Vorschläge für Handlungsanweisungen. Intelligente Systeme können zunehmend auch für qualitätsorientierte Sortierungen eingesetzt werden. Neben der Verlässlichkeit der Algorithmen und der praxiserprobten Datenbasis stellt die Mensch-Maschine-Schnittstelle dabei einen wichtigen Aspekt dar.

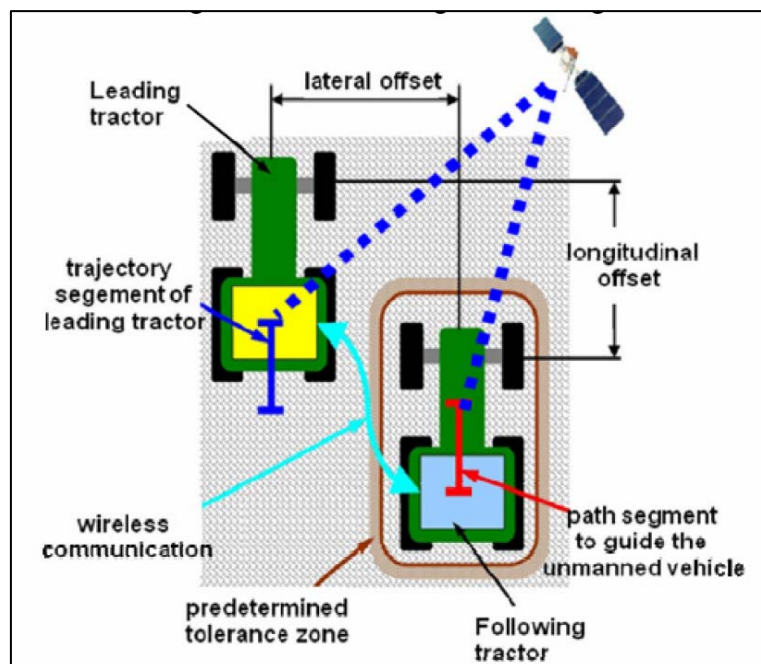


Bild 5: Schema zur virtuellen Kopplung von landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen („elektronische Deichsel“, [17]).

Die nächste Stufe der Automatisierungstechnik in der Landtechnik stellt die Einführung der Feldrobotik dar [6]. Für das Flottenmanagement in der Außenwirtschaft gibt es dabei mehrere Optionen, die bemannte und unbemannte Fahrzeuge einschließen. Dabei können vorhandene Maschinenn „autonomisiert“ werden oder neue fahrerlose Fahrzeuge entwickelt werden

[16]. Bild 5 zeigt beispielsweise das Schema der elektronischen Deichsel, wobei ein fahrerloses Fahrzeug virtuell an ein mit einem Fahrer besetzten Fahrzeug angekoppelt ist [17], solche Konzepte wurden bereits in der Praxis getestet. Die Verwendung einzelner oder Schwärme leichter autonomer Feldroboter bietet Optionen hinsichtlich einer ökonomisch und ökologisch orientierten Flächenbehandlung [3]. Erste vielversprechende Forschungsarbeiten in diesem Bereich beziehen sich meist auf die Pflanzenbonitur oder den Pflanzenschutz [18]. Die Einführung autonomer Feldroboter wird technologisch in wenigen Jahren möglich sein, wobei spezifische „roboterfreundliche“ Anwendungen im Vordergrund stehen dürften. Langfristig ist von einem Nebeneinander großer Maschinen und kleiner Feldroboter in teilautonomen oder autonomen Flotten auszugehen, je nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen. Sicherheitsaspekte und Akzeptanz spielen hierbei eine wichtige Rolle.

#### **4. Ausblick**

Innovative Technologien ermöglichen einen neuen Zugang zum Pflanzenbau, der einerseits automatische intelligente Prozesse ermöglicht und andererseits räumlich kleinste Bereiche – bis hin zur Einzelpflanze – berücksichtigen kann.



Bild 6: Einzelpflanzenbasierte Unkrautregulierung: mechanische Querhacke (links, [18,19]) und autonomer Sprayroboter Weedy (rechts, [20]).

So zeigt Bild 6 mechanische und chemische Pflanzenschutzmaßnahmen auf Grundlage von Sensorik, Mechatronik und intelligenter Systemtechnik. Für das Beispiel der mechanischen Unkrautregulierung legen die Datenfusion mehrerer Sensoren oder/und eine gespeicherte GPS-Position die Position der Nutzpflanze oder des Unkrautes fest und eine ge-



gesteuerte Hacke reguliert das Unkraut innerhalb der Reihe [18,19]. Bei der chemischen Unkrautregulierung werden aufgrund der Sensordatenauswertung bewegliche Spritzen positioniert und aktiviert [20]. Die technologischen Möglichkeiten – bis hin zu autonomen Robotern – erlauben neue Optionen zur Optimierung des Pflanzenbaus. Aspekte zur Ertragsverbesserung und Umweltverträglichkeit können beispielsweise eine geringere Bodenbelastung, reduzierter Einsatz von Chemikalien, flexiblere Einsatzzeiten oder optimierte Pflanzenformationen sein. Zur Nutzung der Optionen ist eine intensivere Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdisziplinen und Anwender erforderlich, die zunächst von dem pflanzenbaulichen Prozess ausgeht und hierfür jeweils die neuen technischen Optionen ständig überprüft.

- [1] Cassmann, K.G.: Global food security, yield limits, precision agriculture, conservation of natural resources and environmental quality, Proceedings 10th International Conference on Precision Agriculture ICPA, Denver/USA, 2010.
- [2] Landwirtschaft im Umbruch – Herausforderungen und Lösungen, KTBL-Schrift 474, 2009.
- [3] B.S. Blackmore, H. Griepentrog, S. Fountas, and T. Gemtos. “A Specification for an Autonomous Crop Production Mechanization System”. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 032. VOL. IX. APRIL, 2007.
- [4] Oerke, E.-C., Gerhards, R., Menz, G., Sikora, R.A (Editors): Precision Crop Protection – The Challenge and Use of Heterogeneity, Springer, 2010.
- [5] Tsukor, V.: Multisensor-Simulation für einen autonomen Feldroboter mit Microsoft Robotics Developers Studio, Master-Thesis, Hochschule Osnabrück, in Vorbereitung.
- [6] Auernhammer, H. (2001): Precision farming – the environmental challenge, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 30 (1-3), S. 31-43.
- [7] Leithold, P., Piotraschke, H.F., Krieger, T, Gerhards, R.: Intelligenter optischer Sensor für den teilflächenspezifischen Herbizideinsatz im Online-Verfahren (H-Sensor); in “Innovationstage 2010 : Forschungs- und Entwicklungsprojekte”, Broschüre der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2010.
- [8] Kamerasystem Argus, in Neuheitenvorstellung Agritechnica 2007, Amazonen-Werke.
- [9] Ehlert, D.: Precision Farming: Entwicklungsstand und Perspektiven in Deutschland, KTBL-Schrift 474, 2009, S. 120-129.
- [10] Ruckelshausen, A., Busemeyer, L., Klose, R., Linz, A., Moeller, K., Thiel, M., Alheit, K., Rahe, F., Trautz, D., Weiss, U.: Sensor and system technology for individual plant crop scouting, Proceedings 10th International Conference on Precision Agriculture IC-PA, Denver/USA, 2010.

- [11] Busemeyer, L., Klose, R., Linz, A., Thiel, M., Wunder, E., Tilenac, M., Ruckelshausen, A.: Agro-sensor systems for outdoor plant phenotyping platforms in low and high density crop field plots; Proceedings 68th International Conference Agricultural Engineering 2010, pp.213 - 218.
- [12] Rahe, F., Heitmeyer, K., Biber, P., Weiss, U., Ruckelshausen, A., Gremmes, H., Klose, R., Thiel, M., Trautz, D.: First field experiments with the autonomous field scout Boni-Rob; ; Proceedings 68th International Conference Agricultural Engineering 2010, pp.419 - 424.
- [13] Dzinaj, T., LeBars, J.-M., Möller, A., Nagel, M., Ruckelshausen, A., Schniederburns, B., Stöcklin, V., van den Boom, M.: "ISOBUS meets the farmer: Multi-manufacturer ISO-Terminal";, Proceedings 67th International Conference Agricultural Engineering/ AgEng 2009, ISBN 978-3-18-092060-3, 2009, pp. 463 - 468.
- [14] Bernardi, A.: iGreen: Organisationsübergreifendes Wissensmanagement in öffentlich-privater Kooperation, KTBL-Schrift 480, S. 91-99, 2010.
- [15] Jochheim,C., Heldt,C.: FarmPilot: Statusbericht einer Branchenlösung für den mobile Datenaustausch in der Landwirtschaft; Proceedings 68th International Conference Agricultural Engineering 2010, pp.251 - 256.
- [16] Ruckelshausen, A.: Autonome Feldroboter, KTLB-Schrift 480, S.146-155, 2010.
- [17] 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, March 9-11,2010, pp. 37-43.
- [18] Griepentrog, H.-W., Ruckelshausen, A., Jörgensen, R.N., Lund, I.: Autonomous systems for plant protection, in „Precision Crop Protection – The Challenge and Use of Heterogeneity“, pp. 323-334 (Editors Oerke,E.-C., Gerhards, R., Menz, G., Sikora, R.A.), Springer, 2010.
- [19] 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.
- [20] Klose,R., Ruckelshausen, A., Thiel, M., Marquering, J.: Weedy – a Sensor Fusion Based Autonomous Field Robot for Selective Weed Control, 66th International Conference Agricultural Engineering/ AgEng 2008, Stuttgart-Hohenheim, VDI-Verlag, Conference Proceedings, pp. 167-172.