

# **FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK**

des Arbeitskreises Forschung und Lehre der

Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) **596**

Thilo Steckel

**Entwicklung einer kontextbasierten  
Systemarchitektur zur Verbesserung des  
kooperativen Einsatzes mobiler Arbeitsmaschinen**



UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM

200  
JAHRE  
1818-2018

**Fakultät Agrarwissenschaften**  
**Institut für Agrartechnik**  
**Universität Hohenheim**  
Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (440d)  
Prof. Dr. sc. agr. Hans W. Griepentrog

Entwicklung einer kontextbasierten Systemarchitektur  
zur Verbesserung des kooperativen Einsatzes  
mobiler Arbeitsmaschinen

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften

vorgelegt der Fakultät Agrarwissenschaften

von

Dipl.-Ing. agr. Thilo Steckel  
aus Gütersloh  
2018

Die vorliegende Arbeit wurde am 23.11.2017 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 17.01.2018

Leiter der Prüfung:	Prof. Dr. sc. agr. Markus Rodehutschord
Berichterstatter 1. Prüfer:	Prof. Dr. sc. agr. Hans W. Griepentrog
Mitberichterstatter 2. Prüfer:	Prof. Dr. agr. habil. Heinz Bernhardt
Mitberichterstatter 3. Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger

**Thilo Steckel**

**Entwicklung einer kontextbasierten Systemarchitektur zur Verbesserung des kooperativen Einsatzes mobiler Arbeitsmaschinen**

D 100 (Diss. Universität Hohenheim)

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6004-1

ISSN 0931-6264

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Danksagung

Mit der vorliegenden Dissertation habe ich das Ziel verfolgt, die in der Landwirtschaft häufig zu beobachtende Lücke zwischen theoretischer und tatsächlicher Leistung bei maschinengestützten Prozessen zu untersuchen, durch Entwicklung quantitativer Methoden bewertbar zu machen und Ansätze zur Reduzierung zu liefern. Die Problemstellung ergab sich im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte die ich bei meinem Arbeitgeber CLAAS im Bereich der Vorentwicklung durchgeführt habe.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Hans W. Griepentrog und Herrn Prof. Dr. Heinz Bernhardt für die Betreuung bei der Erstellung der Arbeit und die fruchtbaren Diskussionen. Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger für die Übernahme der Rolle als Drittprüfer.

Weiterhin danke ich den Kollegen und Freunden Sebastian Scholz, Thomas Kersting und Heinrich Warkentin für die Unterstützung bei der softwaretechnischen Implementierung, meinem Bruder Jesko Steckel für die Diskussion und Unterstützung bei der Formulierung des mathematischen Modells, Herrn Prof. Dr. Willi Nüßer von der FHDW Paderborn für die Diskussion informationstheoretischer Aspekte, Herrn Dr. Frank Volz von der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft für die Unterstützung bei der empirischen Erhebung und Herrn Dr. Gerhard Moitzi für die Überlassung eines Datensatzes zur Analyse von Transportprozessen.

Ich möchte meinen Eltern danken, die mir eine fundierte Ausbildung als Basis für diese Arbeit ermöglicht haben.

Herzlichen Dank an meine Frau Alice und unsere Tochter Friederike, dass ich diese Arbeit an der Grenze zwischen Beruf und Familienleben verfassen konnte.

Thilo Steckel

Gütersloh, 31. März 2018



# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	iii
Inhaltsverzeichnis .....	iv
Abbildungsverzeichnis .....	viii
Tabellenverzeichnis .....	xi
Abkürzungsverzeichnis .....	xiii
Symbolverzeichnis .....	xviii
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Situation und Problemstellung .....	1
1.2 Gegenstand und Ziele dieser Arbeit .....	5
1.3 Aufbau dieser Arbeit .....	5
<b>2 Stand der Forschung und der Technik .....</b>	<b>7</b>
2.1 Methoden und Technologien zur Steuerung mobiler, land- wirtschaftlicher Prozesse .....	7
2.1.1 Precision Agriculture und Smart Farming .....	7
2.1.2 Automatisierung .....	9
2.1.3 Farm-Managementsysteme .....	9
2.2 Organisationstheoretische Analyse des landwirtschaftlichen Arbeitsumfeldes .....	12
2.3 Begriffsdefinitionen und -erläuterungen .....	15
2.3.1 System, Modell und Komplexität .....	15
2.3.2 Ereignis und Kontext .....	19
2.3.3 Geoobjekte .....	23
2.3.4 Prozess .....	24
2.3.5 Selbstorganisation .....	24
2.3.6 Systemarchitektur .....	25
2.3.7 Simulation .....	26
2.3.8 Agenten und Entscheidungstheorie .....	28
2.3.9 Logistische Kennlinien und Kennfelder .....	31
2.4 Relevante Forschungsprojekte .....	32
2.4.1 AGRICOLA .....	32
2.4.2 INA .....	32
2.4.3 Robot2Business .....	33
2.4.4 iGreen .....	33
2.4.5 marion .....	34
2.4.6 M2M-Teledesk .....	35
2.4.7 pre agro .....	35
2.4.8 LaSeKo .....	35
2.4.9 FutureFarm .....	36
2.4.10 PreSeed .....	36

2.4.11	KOMOBAR .....	37
2.5	Anwendungsfall Silomaiserte .....	37
2.5.1	Teilprozess „Häckseln von Silomais“ .....	41
2.5.2	Teilprozess „Transport von Erntegut“ .....	42
2.5.3	Teilprozess „Einlagerung von Erntegut“ .....	43
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>47</b>
3.1	Kontext-Modell .....	47
3.2	Ableitung von Komponenten aus dem Kontext-Modell .....	48
3.2.1	Gruppenidentifikation .....	48
3.2.1.1	Indikatoren für die Beschreibung von Kooperationsbeziehungen .....	50
3.2.1.2	3-stufiges Konzept zur Ermittlung von Indikatoren .....	51
3.2.1.3	Komponentendarstellung .....	54
3.2.2	Prozess- und Leistungskonfiguration .....	54
3.2.2.1	Typologisierung und Beschreibung von Ressourcen .....	56
3.2.2.2	Strukturierung und Beschreibung von Leistungen .....	59
3.2.2.3	Konfiguration .....	61
3.2.2.4	Komponentendarstellung .....	62
3.2.3	Geoobjekt-Managementkomponente .....	63
3.2.3.1	Geometrie von Geoobjekten .....	63
3.2.3.2	Topologie von Geoobjekten .....	64
3.2.3.3	Thematik von Geoobjekten .....	65
3.2.3.4	Dynamik von Geoobjekten .....	66
3.2.3.5	Geoobjekte und damit verbundene Zustände und Ereignisse .....	67
3.2.3.6	Komponentendarstellung .....	67
3.2.4	Ressourcenspezifisches Zeit-Arbeitsschema .....	68
3.2.4.1	Ressourcenzustände .....	68
3.2.4.2	Arbeitswirtschaftliche Typologie .....	69
3.2.4.3	Zusammenführung von Ressourcenzuständen und arbeitswirtschaftlicher Typologie .....	70
3.2.4.4	Komponentendarstellung .....	73
3.2.5	Speicherobjekte .....	73
3.2.5.1	Merkmale von Speicherobjekten .....	73
3.2.5.2	Komponentendarstellung .....	74
3.2.6	Managementsysteme .....	74
3.2.7	Ressourcen als verteilte, kooperierende Agenten .....	75
3.3	Kontext-basierte Systemarchitektur für den Anwendungsfall der Silomaiserte .....	76
3.3.1	Aufbau der Systemarchitektur .....	76

---

3.3.2	Verarbeitung von Ereignissen in der Systemarchitektur.....	79
3.3.2.1	Funktionsprinzip am Beispiel eines Anwendungsfallfragmentes.....	79
3.3.2.2	Verallgemeinerung des Funktionsprinzips..	80
3.4	Gesamtmodell.....	82
3.4.1	Konzept kommunizierender Speicherobjekte .....	83
3.4.2	Maschinen-Prozessparameter und daraus abgeleitete Größen.....	84
3.4.3	Visualisierung der Prozessumgebung.....	86
3.4.4	Nachrichten für die Analyse, Steuerung und Dokumentation des Prozesses .....	88
3.4.5	Implementierung des Anwendungsfalles in die Simulationsumgebung .....	88
3.5	Mathematisches Modell zur Erzeugung von Kennfeldern....	91
3.5.1	Teilprozess Häckseln.....	91
3.5.2	Teilprozess Transport .....	92
3.5.3	Teilprozess Verdichten .....	93
3.5.4	Gesamtprozess .....	93
3.6	Technische Grundlagen zur Ermittlung realistischer Parameterwerte und Parameterfunktionen für Simulation und Kennfelder .....	94
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>99</b>
4.1	Empirische Erhebung zur Absicherung prozessrelevanter Kennzahlen .....	99
4.2	Ermittelte Parameterwerte und Parameterfunktionen.....	101
4.2.1	Teilprozess Häckseln.....	101
4.2.2	Teilprozess Transport .....	103
4.2.3	Teilprozess Verdichten .....	106
4.2.4	Zusammenfassende Darstellung von Kennzahlen.....	107
4.3	Simulation des Ernteprozesses und analytisches Modell .....	107
4.3.1	Ergebnisse Teilprozess Häckseln.....	108
4.3.2	Ergebnisse Teilprozess Transport.....	108
4.3.3	Ergebnisse Teilprozess Verdichten.....	109
4.3.4	Ergebnisse Gesamtprozess .....	110
4.4	Ergebnisdetails für unterschiedliche Leistungsniveaus .....	113
4.4.1	Ergebnisse für unterschiedliche Leistungsniveaus im Teilprozess Häckseln .....	113
4.4.2	Ergebnisse für unterschiedliche Leistungsniveaus im Teilprozess Transport .....	113
4.4.3	Ergebnisse für unterschiedliche Leistungsniveaus im Teilprozess Verdichten .....	115

4.5 Zusammenfassende Darstellung der Kennfelder .....	117
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>121</b>
5.1 Beitrag der Architektur zur entwickelten Lösung .....	122
5.2 Diskussion von simulativem und analytischem Ansatz .....	124
5.3 Ansätze zur Weiterentwicklung der dargestellten Lösung ...	126
5.3.1 Technologiezentrierte Ansätze .....	126
5.3.2 Organisationszentrierte Ansätze .....	127
5.3.3 Methodenzentrierte Ansätze .....	127
5.3.4 Fachliche Ansätze .....	128
5.3.5 Übertragung auf andere Anwendungsfelder .....	131
5.4 Bezug zu den eingangs formulierten Zielen .....	131
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>133</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>135</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>147</b>