

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

**Multisensor Data Fusion in einem mobilen landtechnischen BUS-System für die  
Real-time Prozessführung in sensorgestützten Düngesystemen**

Ralph Ostermeier

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. J. Meyer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer  
2. Univ.-Prof. Dr. M. Faulstich

Die Dissertation wurde am 27.08.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 15.04.2013 angenommen.

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Autors urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2013

Im Selbstverlag:           Ralph Ostermeier

Bezugsquelle:            Technische Universität München

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Am Staudengarten 2

85354 Freising

## **Vorwort**

Nach Abschluss dieser Dissertation bedanke ich mich bei allen sehr herzlich, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Auernhammer für die Überlassung des Themas und für die Gesamtbetreuung. Seine engagierte und motivierende Begleitung aller Phasen dieser Arbeit, die gewährten Freiräume sowie die wertvollen Hinweise und Anregungen zur Abfassung schätze ich sehr. Für seine Förderung beginnend mit meiner Diplomarbeit, bei meiner Tätigkeit als Mitarbeiter am Fachgebiet wie auch in meiner außeruniversitären Berufstätigkeit bin ich außerordentlich dankbar.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Faulstich für die Übernahme des Koreferats und bei Herrn Prof. Dr. J. Meyer für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Danken möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung des IKB-Dürnast-Projektes und allen Mitgliedern der DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast für die enge und erfolgreiche Zusammenarbeit als ein Garant für das Gelingen dieser Arbeit.

Mein Dank gilt auch allen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik und dem Fachgebiet Technik im Pflanzenbau für die schöne und erlebnisreiche Zeit. Ich bleibe Ihnen freundschaftlich verbunden.

Abschließend möchte ich mich bei meinem derzeitigen Arbeitgeber John Deere, vor allem bei Herrn Dr. G. Kormann und Herrn Dr. T. Engel, für die motivierenden Worte und die eingeräumte Flexibilität bedanken, um Beruf und Abfassung der Arbeit in Einklang zu bringen.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Familie und meinen Freunden.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	HINFÜHRUNG .....	1
1.2	PROBLEMSTELLUNG.....	2
1.3	HINWEISE ZUR TEXTGESTALTUNG .....	5
<b>2</b>	<b>THEORETISCHE BETRACHTUNGEN UND STAND DES WISSENS.....</b>	<b>7</b>
2.1	THEORIE DER MULTISENSOR DATA FUSION.....	7
2.1.1	Grundlagen, Anwendungen, Motivation .....	7
2.1.2	Definition von Data Fusion .....	10
2.1.3	Sensoren und Sensordaten.....	10
2.1.4	Funktionale Modelle .....	13
2.1.4.1	JDL Modell und Erweiterungen .....	13
2.1.4.2	Dasarathy's Functional Model .....	17
2.1.5	Prozessmodelle.....	18
2.1.5.1	Hall's taxonomy .....	18
2.1.5.2	Boyd's Decision Loop.....	19
2.1.5.3	Omnibus Process Model .....	19
2.1.5.4	Antony's Data Fusion Process Model .....	20
2.1.6	Systemarchitektur.....	22
2.2	MSDF ANSÄTZE UND IMPLEMENTIERUNGEN IN DER MOBILEN AGRARSYSTEMTECHNIK.....	25
2.2.1	Ortung und Navigation.....	25
2.2.2	Umfelderfassung .....	25
2.2.3	Prozesssteuerung für Applikationssysteme .....	26
2.2.4	Zustandsüberwachung und Teleservice.....	27
2.3	REAL-TIME PROZESSFÜHRUNG FÜR SENSORGESTÜTZTE DÜNGESYSTEME IM SENSOR-ANSATZ MIT KARTENÜBERLAGERUNG.....	28
2.3.1	Methodische Ansätze zur kleinräumigen Bestandesführung - Düngung.....	28
2.3.2	Prozessführung in der Agrarsystemtechnik.....	32
2.3.2.1	Prozessleittechnik .....	33
2.3.2.1.1	Steuerung und Regelung.....	34
2.3.2.1.2	Prozessführungsstrategien .....	36
2.3.2.1.3	Algorithmen und Entwurfsverfahren .....	36
2.3.2.2	Sensorik .....	38
2.3.2.3	Kartierung.....	46
2.3.2.4	Aktorik.....	50
2.3.2.5	Farm Management Informationssysteme und Geo-Informationssysteme .....	54
2.3.2.6	Systemarchitektur .....	58
2.4	LANDWIRTSCHAFTLICHE BUS-SYSTEME.....	61
2.4.1	Landwirtschaftliches BUS-System nach DIN 9684 - LBS .....	61
2.4.2	Landwirtschaftliches BUS-System nach ISO 11783 – ISOBUS.....	64

2.4.3	Ausblick .....	70
2.5	ENTWICKLUNGSPROZESSE UND VORGEHENSMODELLE .....	71
2.5.1	Wichtige Vorgehensmodelle .....	72
2.5.2	Integration der MSDF .....	75
2.6	SCHLUSSFOLGERUNG .....	78
<b>3</b>	<b>MSDF-FRAMEWORK UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>79</b>
3.1	MSDF-FRAMEWORK FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE BUS-SYSTEME .....	79
3.2	ZIELSETZUNG .....	81
<b>4</b>	<b>MSDF ISOBUS-LÖSUNG FÜR DIE (KLEINRÄUMIGE) N-DÜNGUNG.....</b>	<b>83</b>
4.1	RAHMENBEDINGUNGEN .....	84
4.2	FUNKTIONALES MODELL .....	86
4.2.1	Informationsquellen .....	86
4.2.2	Level 0 Processing .....	87
4.2.3	Level 1 Processing .....	88
4.2.4	Level 2 Processing .....	90
4.2.5	Level 3 Processing .....	90
4.2.6	Level 4 Processing .....	91
4.2.7	Level 5 Processing oder die Mensch-Maschine-Schnittstelle .....	91
4.2.8	Datenbank-Management-System .....	93
4.3	PROZESSMODELL .....	93
4.3.1	Zuordnung der Wissensarten.....	95
4.3.2	Bestimmung des Problemlösungsparadigmas .....	97
4.4	SYSTEMARCHITEKTUR .....	99
4.4.1	Zuordnung der Wissensarten & Prozessmodell-Elemente in einem ISOBUS-System .....	101
4.4.2	Zentraler Data Fusion-Prozessor „ <i>In-field Controller</i> “ .....	104
4.4.3	Integration Online-Sensorik .....	107
4.4.4	Konkurrierender Zugriff auf Gerätere Ressourcen .....	114
<b>5</b>	<b>SIMULATIONSERGEBNISSE DER MSDF ISOBUS-LÖSUNG FÜR DIE N-DÜNGUNG.....</b>	<b>117</b>
5.1	EXPERTENSYSTEME ALS SYSTEMGRUNDLAGE .....	117
5.1.1	Architektur von Expertensystemen .....	117
5.1.2	Wissensakquisition.....	120
5.1.3	Evolutionärer Entwicklungsprozess .....	121
5.1.3.1	Konzeption und Formalisierung – Ausgewählte Methoden.....	124
5.2	REALISIERUNG DER SIMULATION.....	134
5.2.1	Identifikation .....	135
5.2.2	Konzeption und Formalisierung.....	137
5.2.2.1	Specification Level .....	137
5.2.2.2	Task Level .....	137

5.2.2.3	Problem Solving Level .....	137
5.2.2.4	Knowledge-base Level .....	143
5.2.2.4.1	Modul „CROP_PRODUCTION“ .....	144
5.2.2.4.2	Modul „CROP_PRODUCTION-SUM_UP“ .....	151
5.2.2.4.3	Modul „CONSTRAINTS“ .....	152
5.2.2.4.4	Modul „CONSTRAINTS-SUM_UP“ .....	154
5.2.2.4.5	Module „AG_ENGINEERING“ und „AG_ENGINEERING-SUM_UP“ .....	157
5.2.2.4.6	Modul „SUM_UP“ .....	159
5.2.2.4.7	Modul „EMERGENCY_STOP“ .....	162
5.2.2.4.8	Module „MAIN“, „CLEAN_UP“, „CLEAN_UP_DEMS“ .....	163
5.2.2.5	Tool Level .....	163
5.2.3	Implementierung .....	166
5.2.4	Testen .....	172
5.2.4.1	Problemlösungsfähigkeit .....	173
5.2.4.2	Informationstechnische Eignung und Leistung .....	175
<b>6</b>	<b>EINORDNUNG UND DISKUSSION .....</b>	<b>183</b>
6.1	ANALYSE- UND ENTWURFSMETHODE .....	183
6.2	REAL-TIME PROZESSFÜHRUNG .....	191
6.2.1	Funktionales Modell .....	192
6.2.2	Prozessmodell .....	194
6.2.3	Systemarchitektur .....	200
6.2.4	Verfahrenstechnische Einordnung .....	211
6.3	SIMULATION .....	213
6.3.1	Entwicklungsprozess .....	214
6.3.2	Realisierung der Simulation .....	218
6.3.3	Systemtest (Validation) .....	228
6.4	HERAUSFORDERUNGEN UND GRENZEN EINER MSDF .....	235
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>239</b>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>247</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>251</b>
<b>A</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>271</b>
A.1	VERSUCHSFELD D4 DER TU MÜNCHEN .....	271
A.2	ENTSCHEIDUNGSBAUM ZUR ZWEITEN N-APPLIKATION MIT DEM ATTRIBUT REIP_2, VERSUCHSFELD D4 DER TU MÜNCHEN, VERSUCHSJAHR 2003 .....	272
A.3	ENTSCHEIDUNGSBAUM ZUR ZWEITEN N-APPLIKATION OHNE DAS ATTRIBUT REIP_2, VERSUCHSFELD D4 DER TU MÜNCHEN, VERSUCHSJAHR 2003 .....	273

---

A.4	IMPLEMENTIERUNGSDetails DER SIMULATION - SENSOR-ANSATZ MIT KARTENÜBERLAGERUNG .....	274
A.4.1	Grundstruktur und Ablaufsteuerung in JESS .....	274
A.4.2	Faktenbasis und Simulation der Prozessumgebung.....	284
A.4.3	Regelwerk .....	292
A.4.4	Datenbankanbindung.....	301
A.4.5	Mensch-Maschine-Schnittstelle .....	305