



Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und
Umwelt

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Algorithmische Analyse von Prozessketten in der Agrarlogistik

Valentin Johannes Heizinger

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

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

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

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. H. Bernhardt
2. Univ.-Prof. Dr. J. F. Sauer

Die Dissertation wurde am 05.11.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 28.11.2014 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Agrarlogistik - Stand des Wissens und Stand der Technik	3
2.1	Logistikbegriff	3
2.2	Grundlagen der Agrarlogistik	4
2.2.1	Transportmengen und Problembereiche der Agrarlogistik in Deutschland	4
2.2.2	Internationale Schwerpunkte der Agrarlogistik	6
2.2.3	Transporttechniken und -verfahren	8
2.2.3.1	Verfahrensalternativen für den Transport von Siliergütern	9
2.2.3.2	Verfahrensalternativen Getreidetransport	10
2.2.3.3	Verfahrensalternativen Flüssigmistausbringung	11
2.2.3.4	Verfahrensalternativen Zuckerrübentransport	12
2.2.4	Transportkosten	12
2.3	Technische Lösungen	13
2.3.1	Globale Navigationssatellitensysteme	14
2.3.2	Agrarnavigation und Flottenmanagement	16
2.3.3	Telemetriesysteme und vernetzte Maschinensysteme	17
2.4	Simulation und Optimierung agrarlogistischer Prozesse	18
2.5	Datenmanagement und -analyse	21
2.5.1	Anwendungen in der Landwirtschaft	21
2.5.2	Zeitgliederung landwirtschaftlicher Arbeitsprozesse	23
2.6	Reflexion der Problemstellungen: Ausblick in andere Forschungsbereiche	25
3	Zielstellung	27
4	Material und Methoden	31
4.1	Methodik und Technik der Datenaufzeichnung	31
4.1.1	Verwendete Technik zur Datenaufzeichnung	32

4.1.2	Eignung für den Praxiseinsatz	33
4.1.3	Standorte der Datenerfassung	35
4.2	Aufbereitung der Rohdaten	38
4.2.1	Rohdaten	38
4.2.2	Gauß-Krüger-Koordinaten	39
4.2.2.1	Wechsel des Bezugsellipsoids	40
4.2.2.2	Gauß-Krüger Projektion	42
4.3	Auswahl der Softwareumgebung	43
5	Entwicklung eines agrarlogistischen Analysesystems	45
5.1	Positionserkennung auf Schlägen	45
5.1.1	Entscheidungsalgorithmus: Befindet sich ein Fahrzeug auf einem gegebenen Schlag?	45
5.1.1.1	Punkt in Polygon: konvexer Fall	46
5.1.1.2	Punkt in Polygon: nicht-konvexer Fall	52
5.1.2	Automatisierte Ermittlung von Schlag-Polygonen	56
5.1.2.1	Befahrene und unbefahrene Flächenanteile	56
5.1.2.2	Einteilung in Einzelschläge	57
5.1.2.3	Erzeugung von Schlagkonturen	59
5.1.2.4	Randstreifen von Schlägen	62
5.2	Verwendetes Zeitgliederungsschema	63
5.3	Fahrzeugklassen	66
5.4	Verfahrensszenarien	68
5.5	Interne Datenstruktur	68
5.5.1	Fahrzeugbezogene Daten	69
5.5.2	Ortsfeste Strukturelemente	70
5.5.3	Übergeordnete Datenstrukturen	71
5.6	Analysealgorithmen zur Bestimmung von Betriebszuständen	72
5.6.1	Szenarien Silierguternte	73
5.6.1.1	Ernteverfahren mit Ladewagen	74
5.6.1.2	Einphasige Ernte mit Selbstfahrhäcksler im Parallelverfahren ohne Überladung	75
5.6.1.3	Dreiphasige Ernte mit Selbstfahrhäcksler im Parallelverfahren mit Überladung	80
5.6.2	Szenarien Getreideernte	85
5.6.2.1	Einphasige Getreideernte	86

5.6.2.2	Mehrphasige Getreideernte	88
5.6.3	Verfahren der Flüssigmistausbringung	89
5.6.3.1	Einphasige Flüssigmistausbringung	89
5.6.3.2	Mehrphasige Flüssigmistausbringung	90
5.7	Von Betriebszuständen zu Analyseergebnissen	92
5.7.1	Dynamische Visualisierung	92
5.7.2	Prozesszeitanalyse	94
5.7.3	Beladungszustände und Rückverfolgbarkeit	95
5.7.4	Geschwindigkeitsanalyse	97
5.8	Aufbau des Analyse-Tools	98
5.8.1	Positionsdaten importieren	99
5.8.2	Betriebszustände ermitteln	99
5.8.3	Darstellung, Speicherung und Export der Ergebnisse	101
5.9	Prüfung der Algorithmen	102
5.9.1	Visuell bestimmte Referenzdaten	102
5.9.1.1	Prüfung Szenarien Silierguternte	103
5.9.1.2	Prüfung Szenarien Getreideernte	108
5.9.1.3	Prüfung Szenarien Flüssigmistausbringung	112
5.9.2	Sensorbasierte Referenzdaten	114
5.9.2.1	Datengrundlage Ertragserfassung Feldhäcksler	114
5.9.2.2	Telemetriedaten Mähdrescher	117
6	Diskussion	123
6.1	Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des entwickelten Systems	123
6.1.1	Kritische Beurteilung der betrachteten Verfahren	123
6.1.2	Anwendung als Primärsystem	127
6.1.3	Anwendung als Sekundärsystem	128
6.1.4	Grenzen im Anwendungsbereich	129
6.1.5	Reflexion der Zuweisung von Betriebszuständen	131
6.2	Vergleichsbetrachtungen mit Systemen zur Verwendung von erweiterten Prozessinformationen	132
6.2.1	Eignung für die Gesamtanalyse von Prozessketten	132
6.2.2	Datenmenge und Datenübertragung	134
6.2.3	Ökonomische Aspekte	134
6.3	Möglichkeiten zur Weiterentwicklung	135
6.4	Ausblick	136

7	Zusammenfassung	137
8	Summary	139
	Literaturverzeichnis	141
	Anhang	152
A	Abbildungen und Tabellen	155
B	Abkürzungen	175
C	Mathematische Notationen	179
D	Verwendete Maßeinheiten	181