

**Konzeption einer dynamischen Routenplanung als Assistenzsystem
für Erntemaschinen**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Andreas Brunnert
aus Lippstadt

Berichter:
Universitätsprofessor Dr.-Ing. H. Wallentowitz
Universitätsprofessor Dr.-Ing. T. Dellmann

Tag der mündlichen Prüfung:

15. Januar 2009

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Assistenzsysteme auf Erntemaschinen, insbesondere Mähdreschern	12
2.1	Merkmale von Fahrerassistenzsystemen	12
2.2	Stand der Technik bei automatischen Spurführungssystemen.....	16
2.2.1	Grundlagen der automatischen Spurführung	16
2.2.2	Spurführungssysteme mit mechanischer Abtastung	20
2.2.3	Berührungslos arbeitende Sensoren.....	21
2.2.3.1	Ultraschall.....	21
2.2.3.2	Laserscanner.....	22
2.2.3.3	Bildverarbeitung.....	23
2.2.4	Weitere Verfahren zur automatischen Spurführung	24
2.2.5	GPS basierte Spurführungssysteme	25
2.2.5.1	Aufbau und Funktion des GPS Systems.....	25
2.2.5.2	Genauigkeitsklassen landwirtschaftlich genutzter GPS Systeme	31
2.2.5.3	Verbesserung der Positionsbestimmung durch Stützsensoren.....	35
2.2.5.4	Sollspurgenerierung bei GPS - basierter Spurführung.....	36
2.3	Stand der Technik bei Routenplanungssystemen	38
2.3.1	Routenplanung in kommerziellen Anwendungen	38
2.3.2	Routenplanung in der agrartechnischen Forschung.....	41
2.3.3	Verwandte Forschungsgebiete.....	44
3	Entwicklungsmethoden für Assistenzsysteme	45
3.1	Modellbasierte Spezifikation	47
3.2	Model-in-the-Loop (MIL)	47
3.3	Rapid-Control-Prototyping (RCP)	48
3.4	Software-in the-Loop (SIL)	49

3.5	Automatische Generierung von Serien-Code	49
3.6	Hardware-in-the-Loop (HIL).....	50
4	Umfeld und Beurteilungskriterien für ein Routenplanungssystem.....	52
4.1	Strukturierung des Ernteablaufs	52
4.1.1	Parameter der Erntebedingungen	52
4.1.2	Einsatzbedingungen bei der Getreideernte	53
4.1.3	Erntetechnik	56
4.2	Bewertungsgrundlagen für die Effizienz des Maschineneinsatzes	57
4.3	Analyse von Ernteeinsätzen von Mähdreschern.....	60
4.3.1	Erforderliche Messdaten	62
4.3.2	Eingesetzte Messtechnik.....	63
4.3.3	Auswertung der Erntedaten.....	64
5	Konzept der dynamischen Routenplanung für Erntemaschinen	67
5.1	Definition der dynamischen Routenplanung	67
5.1.1	Kriterien für die Ausrichtung der Sollfahrspuren.....	68
5.1.2	Kriterien für die Verkettung der Fahrspuren	70
5.1.3	Randbedingungen für den Fahrereingriff.....	72
5.1.4	Informationsaufbereitung zur Fahrerunterstützung	73
5.2	Anforderungen an die Maschinenausrüstung	74
5.2.1	Ertragsmessung- und Kartierung	74
5.2.2	Benutzerschnittstelle	76
6	Modellierung der dynamischen Routenplanung	77
6.1	Verwendete Entwicklungsumgebung.....	77
6.2	Basisfunktionen für die GPS-basierte Spurführung	79
6.2.1	Koordinatentransformation	79
6.2.2	Generierung von Sollfahrspuren	83

6.2.2.1	A-B Navigation.....	83
6.2.2.2	Konturnavigation.....	85
6.2.2.3	A-B-Konturnavigation.....	86
6.2.3	Generierung eines Lenksignals zur automatischen Spurführung	87
6.3	Erweiterungen des Systems für die dynamische Routenplanung.....	90
6.3.1	Feldumrandungsfunktion.....	90
6.3.2	Verwaltung der Felddaten	94
6.3.3	Generierung von Beeteinteilungen	96
6.3.4	Generierung von Wendemanövern	97
6.3.5	Planung einer kontinuierlichen Fahrspur	98
6.3.6	Generierung weiterer Informationen für die Fahrerassistenz	99
6.3.6.1	Bereitstellung von Einsatzdaten des Mähreschers	100
6.3.6.2	Verwendung von Prozessdaten	101
6.3.7	Graphische Bedienoberfläche für die Routenplanung	103
6.4	Exemplarische Durchführung von Simulationen	104
7	Zusammenfassung	107
8	Abkürzungen und Akronyme.....	109
9	Literatur.....	115