

**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 Mähdreschers .....	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