

**Modulare Entwicklungsumgebung für Fahrerassistenzsysteme im
Nutzfahrzeug**

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

vorgelegt von

Stefan Josef Deutsche

Berichter:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Henning Wallentowitz

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Torsten Dellmann

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Unfallanalyse und Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme	14
2.1	Allgemeine Betrachtung des Unfallgeschehens	14
2.2	Beteiligung von Nutzfahrzeugen am Unfallgeschehen	18
2.2.1	Allgemeine Betrachtung des Unfallgeschehens mit Nutzfahrzeugen	18
2.2.2	Unfallgeschehen mit Nutzfahrzeugen der Klasse N ₃ und abgeleitete Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme	21
2.3	Zusammenfassung der abgeleiteten Anforderungen	24
3	Stand der Technik von längsdynamischen Fahrerassistenzsystemen	26
3.1	Grundlagen der Fahrzeugführung und von Fahrerassistenzsystemen	26
3.2	Ziele beim Einsatz von Fahrerassistenzsystemen	28
3.3	Längsdynamische Komfortsysteme	31
3.3.1	Adaptive Geschwindigkeitsregelung ACC	31
3.3.2	Full-Speed-Range ACC	33
3.4	Längsdynamische passive Warnsysteme	34
3.4.1	Distance-Warning-Systeme	38
3.4.2	Collision-Warning-Systeme	40
3.5	Aktive längsdynamische Sicherheitssysteme	42
4	Zustandsschätzung und Methoden der Fusion von Sensordaten	48
4.1	Grundlagen der Systemtheorie	48
4.1.1	Zeitkontinuierliche Darstellung linearer Systeme	48
4.1.2	Zeitdiskrete Darstellung linearer Systeme	50
4.1.3	Lineare stochastische Systeme	51
4.2	Filter- und Schätzverfahren	52
4.2.1	Theoretische Grundlagen des Kalman-Filters	52
4.2.2	Das diskrete Kalman-Filter	55
4.2.3	Das Extended-Kalman-Filter	56

4.3	Grundlagen und Verfahren zur Fusion von Sensordaten	59
4.3.1	Klassifizierung von Sensordatenfusionsprozessen	60
4.3.2	Verfahren zur Fusion von Sensordaten.....	61
5	Hard- und Software der Entwicklungsumgebung	65
5.1	Versuchsträger IVECO Stralis	65
5.2	Umfeldsensoren der Versuchsträger	66
5.3	Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikationshardware	68
5.4	GPS – Global Positioning System	69
5.5	dSpace Autobox und Matlab/Simulink.....	71
6	Informationsmodule der Entwicklungsumgebung.....	72
6.1	Sattelzug-Querdynamikmodul	72
6.1.1	Modellierung der Querdynamik eines Sattelzuges	73
6.1.2	Implementierung des Sattelzug-Querdynamikmoduls.....	78
6.1.3	Ergebnisse der Fahrversuche mit dem Sattelzug-Querdynamikmodul	79
6.2	Modul zur Beschreibung des Straßenverlaufs.....	87
6.2.1	Modellierung des Straßenverlaufs.....	89
6.2.2	Implementierung des Straßenmoduls	94
6.2.3	Ergebnisse der Fahrversuche mit dem Straßenmodul	96
6.3	GPS-Trackingmodul	103
6.3.1	Modellierung der globalen Fahrzeugbewegung	105
6.3.2	Implementierung des Fahrzeugmodells im GPS-Trackingmodul	107
6.3.3	Ergebnisse der Fahrversuche mit dem GPS-Tracking-Modul	109
6.4	Modul zur Erkennung von Umgebungsobjekten.....	113
6.4.1	Modellierung von Umgebungsobjekten	114
6.4.2	Implementierung des Objekterfassungsmoduls	116
6.4.3	Ergebnisse der Fahrversuche mit dem Objekterfassungsmodul.....	117
7	Aufbau eines Notbremssystems mit Hilfe der Informationsmodule	122
7.1	Architektur des Notbremssystems	122

7.2 Implementierung der Umgebungserfassung und des Risikobewertungsalgorithmus des Notbremssystems	125
7.2.1 Fahrzeug-Daten-Modul	127
7.2.2 Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikations-Modul	128
7.2.3 Umfeldmodul	129
7.2.4 Notbrems-Funktionsmodul und Risikobewertungsalgorithmus.....	132
7.3 Fahrversuche und Ergebnisse.....	137
7.3.1 Ergebnisse der Objektplausibilisierung	137
7.3.2 Ergebnisse der Fahrschlauchprädiktion mit der Zielfahrzeugposition	145
7.3.3 Ergebnisse der Notbremsmodultests	148
8 Zusammenfassung und Ausblick	152
9 Formelzeichen und Indizes	156
10 Abkürzungen.....	173
11 Literatur.....	177
12 Anhang	199
12.1 Unfalldatenanalyse	199
12.2 Übersicht der bekannten Algorithmen	202
12.2.1 Distance-Warning-Algorithmen	202
12.2.2 Collision-Warning-Algorithmen.....	203
12.2.3 Collision-Mitigation-Algorithmen.....	215
12.3 Spezifikationsdaten der verwendeten Sensoren	223
12.4 Matrixeinträge des Sattelzug-Einspurmodells	225
12.5 Darstellung der Relativgeschwindigkeiten	228
12.6 Umrechnung Gauß-Krüger-Koordinaten zur Objektplausibilisierung.....	231