

Dipl.-Ing. Matthias Kopf, München

**Ein Beitrag zur
modellbasierten, adaptiven
Fahrerunterstützung
für das Fahren
auf deutschen Autobahnen**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **203**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	1
1.1 Die Notwendigkeit der Fahrerunterstützung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2. Hintergrund	4
2.1 Grundlagen der Fahrerunterstützung	4
2.2 Stand der Technik der Fahrerunterstützung	8
2.2.1 Meßtechnische Grundlagen	8
2.2.2 Unterstützung bei Stabilisierung und Lenkung	8
2.2.2.1 Fahrzeugtechnische Maßnahmen	8
2.2.2.2 Automatisierung von Teilen der Fahraufgabe	8
2.2.2.3 Warnende Systeme	9
2.2.3 Navigationshilfen	11
2.2.4 Allgemeine Informations- und Managementsysteme	12
2.2.5 Fahrerzustandserkennung	12
2.3 Modellierung des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umwelt	13
2.3.1 Allgemeines	13
2.3.2 Modellierung des Fahrers	13
2.3.2.1 Kontinuierliche sensomotorische Modelle	14
2.3.2.2 Diskontinuierliche sensomotorische Modelle	15
2.3.2.3 Gesamtmodelle	17
2.3.2.4 Ein operationalisierbares Gesamtmodell	18
2.3.3 Modellierung des Fahrzeugs	21
2.3.4 Modellierung der Umwelt	25
3. Systembeschreibung auf Konzeptebene	28
3.1 Grundgedanken zur Konzeption	28
3.2 Architektur	31
3.3 Beschreibung der Module	33
3.3.1 Der Referenzfahrer (RF)	33
3.3.2 Diskrepanzinterpretation (DI)	34
3.3.3 Fahrerspiegel (FS)	36
3.3.4 Warnungsausgabe und MMS (WA/MMS)	37
3.4 Interaktion der Module	39

4. Systembeschreibung auf Modellebene	42
4.1 Situationsmodelle	42
4.1.1 Allgemeines Situationsmodell	42
4.1.2 Modell für die externe Situation	43
4.1.3 Prädiktionsmodell	43
4.1.4 Verhaltenssituationsmodell	43
4.2 Zielgeschwindigkeitsmodell	46
4.3 Ein Gefährdungsmodell	48
4.3.1 Herleitung	48
4.3.2 Betrachtung im Parameterraum	52
4.3.3 Anwendungen	55
4.3.3.1 Auffahrunfall	56
4.3.3.1.1 Gefährdungsverminderungsaktion Bremsen	56
4.3.3.1.2 Gefährdungsverminderungsaktion Ausweichen	58
4.3.3.2 Lenkunfall	59
4.3.3.3 Kurvenunfall	62
4.4 Das Behinderungsmodell	62
4.5 Individuelles Fahrerverhaltensmodell	64
4.5.1 Modell für die Querführung	66
4.5.1.1 Zeitreserve	66
4.5.1.2 Situationsraum	66
4.5.2 Modell für die Längsführung	68
4.5.2.1 Zeitreserve	68
4.5.2.2 Situationsraum	72
4.6 Das Fahrerzustandsmodell	74
5. Systembeschreibung auf Wissensrepräsentationsebene	76
5.1 Allgemeine Eigenschaften	76
5.2 Wissensrepräsentation	77
5.2.1 Zu repräsentierendes Wissen	77
5.2.2 Repräsentationsformen	78
5.2.2.1 Niedere Datenstrukturen	78
5.2.2.2 Automaten	79
5.2.2.3 Entscheidungsbaume	80
5.2.2.4 Boolesche Ausdrücke	82
5.2.2.5 Mathematische Funktionen	83
5.2.2.6 Empirische Verteilungen	84
5.3 Zusammenwirken der Wissensrepräsentationsstrukturen	84

6. Untersuchung zur Zielgeschwindigkeitsschätzung	86
6.1 Hintergrund	86
6.1.1 Modell zur Zielgeschwindigkeitsschätzung	86
6.1.1.1 Kurveneinfluß	87
6.1.1.2 Längsneigungseinfluß	89
6.1.1.3 Einfluß anderer Verkehrsteilnehmer	90
6.1.1.4 Eigenbeschleunigungseinfluß	91
6.1.1.5 Spureinfluß	91
6.1.2 Modell zur Schätzung der freien Überholgeschw.	92
6.1.3 Modell zur Schätzung der freien Folgegeschw.	92
6.1.4 Implementierung der Modelle	93
6.2 Experiment	93
6.3 Ergebnisse	95
6.3.1 Zielgeschwindigkeitsschätzung	96
6.3.2 Schätzung der freien Überholgeschwindigkeit	97
6.3.3 Schätzung der freien Folgegeschwindigkeit	98
6.4 Zusammenfassung	98
7. Untersuchungen zur Adaptivität	100
7.1 Untersuchungsziele	100
7.2 Versuch zur Querführung	101
7.2.1 Experiment	101
7.2.2 Ergebnisse	102
7.3 Versuch zur Längsführung	104
7.3.1 Experiment	105
7.3.2 Ergebnisse	107
7.3.2.1 Allgemeines zur Auswertung	107
7.3.2.2 Zeitreservenhistogramme und Vergleichsperzentilwert	108
7.3.2.3 Unterschiede aufgrund des verschiedenen Absolutgeschwindigkeitsniveaus	113
7.3.2.4 Lerneffekte	112
7.3.2.5 Intra- vs. interindividuelle Varianz	113
7.3.2.6 Unterschiede zwischen den Situationen	114
7.3.2.6.1 Unterraum Folgefahren	115
7.3.2.6.2 Unterraum Auffahren	115
7.3.2.6.3 Konstruktion eines reduzierten Situationsraums	116
7.3.2.7 Lernzeiten	116

7.3.2.8 Überholtoleranz	116
7.4 Zusammenfassung	117
8. Untersuchung zur Fahrerzustandserkennung	119
8.1 Hintergrund und Ziele der Untersuchung	119
8.2 Experiment	119
8.3 Ergebnisse	120
8.3.1 Bestimmung eines Kennwerts	120
8.3.2 Kennwertunterschiede zwischen den Läufen	122
8.3.3 Festlegung eines Schwellwerts	122
8.3.4 Normative vs. adaptive Fahrerzustandserkennung	123
8.4 Zusammenfassung	124
9. Systembewertung im Versuchsfahrzeug	125
9.1 Hintergrund und Ziele der Untersuchung	125
9.2 Beschreibung des Versuchssystems	125
9.2.1 Systemkomponenten	125
9.2.2 Meßwertverarbeitung	126
9.2.3 Mensch-Maschine-Schnittstelle	128
9.3 Experiment	128
9.3.1 Versuchsumgebung	128
9.3.2 Versuchsblöcke und -läufe	129
9.4 Ergebnisse	131
9.4.1 Warnschwellenberechnung	131
9.4.2 Warnschwellenevaluation	131
9.4.3 Erkennbarkeit der Richtungsinformation	132
9.4.4 Wirksamkeit des Warnsystems bei Ablenkung	133
9.4.5 Subjektive Bewertung durch die Versuchspersonen	135
9.5 Zusammenfassung	138
10. Zusammenfassung und Ausblick	140
Anhang A: Automaten	
A1: 'Eigene Spurwechselsituation'	142
A2: 'Spurwechselsituation Fremdfahrzeug'	144
A3: 'Schilderlage Geschwindigkeitsbegrenzung'	145
A4: 'Schilderlage Überholverbot'	147

Anhang E: Entscheidungsbäume	
E1: 'Verhaltenssituation Längsführung'	149
E2: 'Verhaltenssituation Querführung'	152
E3: 'Spurwechselfähigkeit'	154
E4: 'Geometrische Spursituation'	156
E5: 'Zielgeschwindigkeitsschätzung'	158
E6: 'Eigene Gefährdung nach vorne'	161
Anhang F: Fragebögen zu Kap. 9	163
Anhang M: Mathematische Herleitungen	
M1: TTC-Algorithmus	166
M2: Analytische Berechnung der Zeitreserve für Bremsen entsprechend G_1	172
M3: Iterative Berechnung der Zeitreserve für Bremsen entsprechend G_1	176
M4: Untersuchung von Gl. (4.4) für zwei Gefährlichkeitsfunktionen	180
M5: Analytische Berechnung der Zeitreserve für Ausweichen entsprechend G_2	184
M6: Analytische Berechnung der Zeitreserve entsprechend G_3	187
M7: Iterative Berechnung der Zeitreserve entsprechend G_3	192
Anhang N: Niedere Wissensrepräsentationsstrukturen	200
Anhang S: Simulatorbeschreibung	204
Anhang V: Versuchsergebnisse zum Versuch Fahrerzustandserkennung (Kap. 8)	207
Anhang W: Ergebnisse zum Simulatorversuch zur Querführung (Kap. 7.2)	209
Literaturverzeichnis	210