



Markus Köbe (Autor)

# Entwicklung fahrdynamisch-eingreifender Fahrerassistenzsysteme für motorisierte Zweiräder

Schriftenreihe des Lehrstuhls Kraftfahrzeugtechnik

Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Günther Prokop

Band 24

Markus Köbe

Entwicklung  
fahrdynamisch-eingreifender  
Fahrerassistenzsysteme für  
motorisierte Zweiräder



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8790>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzzusammenfassung</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Relevanz motorisierter Zweiräder im Unfallgeschehen . . . . .	1
1.2. Stand der Fahrzeugsicherheit motorisierter Zweiräder . . . . .	5
1.3. Motivation . . . . .	6
1.4. Das Projekt TrackMoto . . . . .	7
1.5. Ziel der Arbeit . . . . .	7
1.6. Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2. Stand der Technik</b>	<b>10</b>
2.1. Fahrdynamik motorisierter Zweiräder . . . . .	10
2.1.1. Koordinatensystem, Geometrie und Größen eines Zweirads . . . . .	10
2.1.2. Modellierung der Fahrdynamik eines Zweirads . . . . .	11
2.1.3. Zusammenfassung zur Stabilisierung eines Zweirads . . . . .	16
2.1.4. Kurvenbremsung von Zweirädern . . . . .	17
2.1.5. Instabilitäten . . . . .	17
2.2. Fahraufgabe und Fahrerverhalten von Motorradfahrern . . . . .	19
2.2.1. Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung nach Donges . . . . .	19
2.2.2. Drei-Ebenen-Modell menschlichen Verhaltens nach Rasmussen . . . . .	20
2.2.3. Teilaufgaben der Fahrzeugführung . . . . .	21
2.2.4. Zusammenfassung zu Fahraufgabe und Fahrerverhalten . . . . .	22
2.3. Potentiale zur Steigerung der Sicherheit motorisierter Zweiräder . . . . .	22
2.3.1. Aktive Sicherheit und Fahrerassistenz zur Vermeidung des Unfalls . . . . .	23
2.3.2. Informierende und warnende Fahrerassistenzsysteme . . . . .	24
2.3.3. Intervenierende Fahrerassistenzsysteme bei motorisierten Zweirädern . . . . .	24
2.4. Passive Sicherheit zur Minderung der Unfallschwere . . . . .	27
2.5. Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs . . . . .	27
2.6. Defizit im Stand der Technik und Fazit . . . . .	28
<b>3. Stand der Wissenschaft und Methodik</b>	<b>30</b>
3.1. Forschung zum Verkehrs- und Unfallgeschehen . . . . .	30
3.2. Fahrerverhalten und Fahrfehler . . . . .	33
3.3. Akzeptanzkriterien von Fahrerassistenzsystemen . . . . .	33
3.4. Ableitung von Sicherheitsfunktionen . . . . .	34

3.5. Modellierung der Fahrdynamik . . . . .	35
3.6. Wirksamkeitsbewertung von Sicherheitsfunktionen . . . . .	35
3.7. Methodisches Vorgehen . . . . .	38
<b>4. Motorisierte Zweiräder im Verkehrs- und Unfallgeschehen</b>	<b>40</b>
4.1. Internationales Unfallgeschehen . . . . .	40
4.2. Unfallgeschehen in Deutschland . . . . .	41
4.2.1. Fahrer . . . . .	42
4.2.2. Fahrzeug . . . . .	44
4.2.3. Umwelt . . . . .	45
4.2.4. Konfliktauslösende Situation . . . . .	45
4.2.5. Zusammenfassung . . . . .	47
4.3. Unfalldatenanalyse der German In-Depth Accident Study (GIDAS) . . . . .	48
4.3.1. Datensatz der German In-Depth Accident Study . . . . .	48
4.3.2. Der Fahrnunfall . . . . .	51
4.3.3. Der Abbiegeunfall . . . . .	54
4.3.4. Der Einbiegen-Kreuzen-Unfall . . . . .	55
4.3.5. Der Längsverkehrsunfall . . . . .	57
4.3.6. Fahrverhalten und Fehlerverortung . . . . .	58
4.3.7. Zusammenfassung zu konfliktauslösenden Situationen . . . . .	62
4.4. Kritische Fahrsituationen motorisierter Zweiräder . . . . .	63
4.4.1. Empfehlungen zum Fahrverhalten . . . . .	63
4.4.2. Natürliche Fahrdaten und Realfahrversuche . . . . .	64
4.5. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	66
<b>5. Identifikation von Assistenzfunktionen</b>	<b>70</b>
5.1. Der Motorradfahrer als Anforderungsgeber für Fahrerassistenzsysteme . . . . .	70
5.1.1. Motivation und Gruppen von Motorradfahrern . . . . .	70
5.1.2. Verhaltensdeterminanten von Motorradfahrern . . . . .	72
5.1.3. Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen . . . . .	73
5.1.4. Zusammenfassung . . . . .	74
5.2. Anforderungen für Assistenzfunktionen . . . . .	75
5.3. Ableitung der Assistenzfunktionen . . . . .	77
5.3.1. Unterscheidung zwischen System und Funktion . . . . .	77
5.3.2. Identifikation der Assistenzfunktionen . . . . .	78
5.4. Assistenzfunktionen und ihre Umsetzbarkeit . . . . .	80
5.5. Umzusetzende Assistenzfunktionen und Wirkfelder . . . . .	82
5.5.1. Stillstand und Rangieren . . . . .	83
5.5.2. Anfahren und Langsamfahrt . . . . .	83
5.5.3. Anpassen von Drehzahl und Übersetzung . . . . .	83
5.5.4. Längsdynamischer Eingriff in der Normalfahrt . . . . .	84
5.5.5. Querdynamischer Eingriff in der Normalfahrt . . . . .	84
5.5.6. Längs- und querdynamischer Eingriff in Gefahrensituationen . . . . .	85
5.5.7. Wirkfeld der Assistenzfunktionen . . . . .	85

5.6. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	86
<b>6. Modellierung der Fahrdynamik, Regelung und Evaluation</b>	<b>87</b>
6.1. Nichtlineares Fahrdynamikmodell mit Rolldynamik . . . . .	87
6.2. Regelung . . . . .	88
6.2.1. Aufteilung der Regelungsaufgabe . . . . .	89
6.2.2. Stabilisierungsebene . . . . .	89
6.2.3. Bahnplanungsebene . . . . .	90
6.3. Aufbau des Versuchsträgers . . . . .	93
6.3.1. Anforderungen an den Versuchsträger und Umsetzung . . . . .	94
6.3.2. Sensorik . . . . .	95
6.3.3. Aktorik . . . . .	95
6.4. Implementierung und Evaluation . . . . .	96
6.5. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	97
<b>7. Entwicklung, Implementierung und Test der Assistenzsysteme</b>	<b>98</b>
7.1. Übersicht der Assistenzfunktionen . . . . .	98
7.2. Assistenzfunktionen für sekundäre Fahraufgaben . . . . .	99
7.2.1. Anpassung der Drehzahl . . . . .	99
7.2.2. Anpassung der Übersetzung . . . . .	101
7.3. Assistenzfunktionen für primäre Fahraufgaben . . . . .	102
7.3.1. Längsdynamischer Eingriff . . . . .	102
7.3.2. Querdynamischer Eingriff . . . . .	109
7.4. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	115
<b>8. Potentialanalyse der Wirkung der Fahrerassistenzsysteme im Feld</b>	<b>116</b>
8.1. Vorgehen und Methodik zur Wirksamkeitsbewertung . . . . .	116
8.2. Bewertung mittels tiefenanalytischer Unfalldaten . . . . .	116
8.2.1. Analysedatensatz . . . . .	117
8.2.2. Verletzungsschwereminderung des längsdynamischen Eingriffs . . . . .	118
8.2.3. Bewertung des längs- und querdynamischen Eingriffs . . . . .	121
8.3. Skalierung auf das Unfallgeschehen in Deutschland . . . . .	121
8.4. Abschätzung der Wirksamkeit der weiteren Assistenzfunktionen . . . . .	123
8.5. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	123
<b>9. Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>124</b>
9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	124
9.2. Diskussion und Ausblick . . . . .	126
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>128</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>153</b>
A.1. Einleitung und Motivation . . . . .	153
A.2. Mathematische und systemtheoretische Grundlagen . . . . .	154
A.2.1. Bahnkoordinaten und Pfadfolge . . . . .	154

A.2.2. Lineare zeitkontinuierliche Systeme und Regelung . . . . .	156
A.2.3. Lineare zeitdiskrete Systeme . . . . .	157
A.2.4. Nicht-lineare Systeme und Regelung . . . . .	157
A.2.5. Stabilität . . . . .	158
A.3. Fragestellungen zum Stand der Wissenschaft und Methodik . . . . .	166
A.4. Verkehrs- und Unfallgeschehen . . . . .	167
A.5. Identifikation von Assistenzfunktionen . . . . .	178
A.6. Modellierung der Fahrdynamik . . . . .	201
A.7. Entwicklung, Implementierung und Evaluation der Fahrerassistenzsysteme . . . . .	204
A.8. Bewertung der Fahrerassistenzsysteme . . . . .	210
<b>B. Glossar</b>	<b>214</b>
B.1. Begriffsbestimmungen . . . . .	214
B.2. Unfallforschung . . . . .	214
B.3. Ablauf eines Unfalls . . . . .	215
B.4. Unfallgeschehen . . . . .	216
B.4.1. Unfalltyp . . . . .	216
B.4.2. Unfallart . . . . .	217
B.4.3. Unfallursache . . . . .	218
B.4.4. Art der Verkehrsbeteiligung . . . . .	221
B.4.5. Kollisionskontrahent und Anprall . . . . .	223
B.4.6. Belastung . . . . .	223
B.5. Unfalldatenerhebung und Unfallstatistik . . . . .	225
B.5.1. Polizeilich erhobene Unfalldaten . . . . .	225
B.5.2. „In-Depth“ Unfallerbhebungen . . . . .	225
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>227</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>230</b>