



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, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	v
Abstract	vii
Abkürzungsverzeichnis	xv
Formelzeichenverzeichnis	xvii
1. Einleitung	1
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
2. Stand der Technik	10
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
3. Stand der Wissenschaft und Methodik	30
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
4. Motorisierte Zweiräder im Verkehrs- und Unfallgeschehen	40
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
5. Identifikation von Assistenzfunktionen	70
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
6. Modellierung der Fahrdynamik, Regelung und Evaluation	87
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
7. Entwicklung, Implementierung und Test der Assistenzsysteme	98
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
8. Potentialanalyse der Wirkung der Fahrerassistenzsysteme im Feld	116
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
9. Zusammenfassung und Diskussion	124
9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse	124
9.2. Diskussion und Ausblick	126
Literaturverzeichnis	128
A. Anhang	153
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. Glossar	214
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“ Unfallerhebungen	225
Abbildungsverzeichnis	227
Tabellenverzeichnis	230