

# **Wechselwirkende Autofahrer**

–

## **ein Mikroverkehrsmodell auf Basis handlungsplanender, interagierender Fahrermodelle**

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Technischen Universität Carola–Wilhelmina zu Braunschweig  
zur Erlangung der Würde  
einer Doktor–Ingenieurin (Dr.–Ing.)  
genehmigte Dissertation

von  
Katja A. Rösler  
aus Lörrach

eingereicht am: 11.01.2008

mündliche Prüfung am: 22.05.2008

Referenten: Prof. Dr.–Ing. Ostermeyer  
Prof. Dr.–Ing. Lemmer

2008



Schriftenreihe des Instituts für Dynamik und Schwingungen  
TU Braunschweig

**Katja A. Rösler**

**Wechselwirkende Autofahrer**

ein Mikroverkehrsmodell auf Basis handlungsplanender,  
interagierender Fahrermodelle

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7417-7

ISSN 1865-9101

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Dynamik und Schwingungen an der Technischen Universität Braunschweig in der Zeit vom November 2002 bis Dezember 2008.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. G.-P. Ostermeyer für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit: Große Freiheiten und zugleich spannende Anregungen, die er mir ließ und gab, machten die Forschung an dem komplexen Thema Verkehr überhaupt erst möglich.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Lemmer danke ich für die Übernahme der Aufgabe des Berichterstatters und die damit verbundene Mühe.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Tutsch möchte ich mich für die Bereitschaft, den Prüfungsvorsitz zu übernehmen, bedanken.

Großer Dank geht an meine Kolleginnen und Kollegen am Institut für Dynamik und Schwingungen. Gerade durch die Vielfältigkeit ihrer Forschungsthemen kam es zu spannenden und wichtigen Diskussionen mit immer wieder neuen Sichtweisen, die in meine Arbeit eingeflossen sind. Für rechnerische Unterstützung möchte ich mich bei Frau K. Hentrich bedanken, für die Rechtschreibkorrektur bei Frau A. Struckmann.

Da eine solche Arbeit fast zwangsläufig mit zahlreichen Einschränkungen und Mühen für Partner verbunden ist, möchte ich meinem Mann Matthias insbesondere für seine Toleranz und seine Gelassenheit danken. Meine beiden Kinder Lilian und Fabrizio sorgten für notwendige Arbeitspausen, in dem sie mich immer wieder hartnäckig ein Stück in ihre Welt entführten.

Braunschweig, im Juni 2008



## **Zusammenfassung**

Das individuelle Recht auf Fortbewegung bedeutet heute, mit dem eigenen PKW im Mittel 27 km pro Tag zurückzulegen, wobei die Tendenz steigt. Menschen begegnen, behindern und gefährden sich in ihrer Mobilität zwangsläufig. Staus und Unfälle sind unerwünschte Folgen ihrer Wechselwirkungen. Die individuelle Verbesserung der Leistung (z.B. schnellere Fahrzeuge) und die individuelle Optimierung der Sicherheit (z.B. bessere Bremssysteme) stoßen bei Wechselwirkungsphänomenen an ihre Grenzen. Autofahrer müssen mitsamt ihren wechselwirkenden Beziehungen zueinander genauer betrachtet werden.

In diesem Sinne wurde das Fahrermodell von Ostermeyer (Stackmodell), das sich an Handlungsplänen des Fahrers orientiert, zur Untersuchung Wechselwirkender Autofahrer erweitert und in Software umgesetzt: Zum einen war eine Ausgestaltung der Handlungspläne für die Längsführung und den Spurwechsel sowie eine Einbeziehung vermuteter Handlungspläne anderer Verkehrsteilnehmer notwendig. Zum anderen musste ein Softwareprogramm zur Mikroverkehrssimulation auf Basis handlungsplanender interagierender Fahrermodelle erstellt werden.

Insbesondere zur Ausgestaltung der Handlungspläne (Geschwindigkeit und Spurwechsel) und der vermuteten Handlungspläne wurde eine Analyse realer Daten vorgenommen (eigene Daten: Messfahrzeug zur Fahrerbefragung und Videomessung zur Bereichsmessung; sowie fremde Daten: Abstandsmessungen durch Messfahrzeuge). Die Einbeziehung von vermuteten Handlungsplänen in den Aufbau der eigenen Handlungspläne ermöglicht die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern und schließlich die Untersuchung von komplexen Selbstorganisationseffekten im Verkehr. Insbesondere aus Fehlern im Aufbau der eigenen oder der vermuteten Handlungspläne können unerwünschte Situationen (wie Staus oder Unfälle) auf kollektiver Ebene entstehen.

Mit dem Ziel, Verbesserungspotentiale des Risikos, aber auch der Verkehrsleistung und weiterer Kriterien zu finden, wurden verschiedene komplexe Verkehrssituationen mit handlungsplanenden Fahrermodellen simuliert, analysiert und bewertet. Die Verkehrssituationen betreffen sowohl den einspurigen Verkehr (Kolonnenverhalten und Bremswelle) als auch den mehrspurigen Verkehr (Engpass sowie aggressives Verhalten). Zur Bewertung der Situationen wurden die Bewertungskriterien Risiko, Leistung, aber auch Anstrengung und Frustration für den Einzelfahrer sowie für das Kollektiv im Rahmen dieser Arbeit aufgestellt.

Durch Maßnahmen von Fahrempfehlungen und gesetzlichen Regelungen über Fahrerassistenzsysteme bis hin zum autonomen Fahren können Selbstorganisationseffekte im Verkehr verbessert werden. Ein verbessertes ACC-System (Automatic Cruise Control) erhöht nicht nur den Fahrkomfort, sondern ist durch eine bessere Wissensverarbeitung mit handlungsplanenden und interagierenden Fahrermodellen auch zur Risikoreduktion nutzbar. Ein Elektronisches Bremslicht als Fahrerassistenzsystem kann das Aufsteilen einer Bremswelle ursächlich verhindern. Ebenso kann die Leistung und das Risiko beim Engpass verbessert werden. Interagierende, handlungsplanende Fahrermodelle ermöglichen so eine adäquate Betrachtung und Optimierung des Fahrers – auch im Hinblick auf zukünftige kommunizierende Fahrerassistenzsysteme.

Diese Arbeit zeigt die Bedeutung der Untersuchung von Wechselwirkenden Autofahrern: Durch ein Mikroverkehrsmodell auf Basis handlungsplanender interagierender Fahrermodelle werden Wechselwirkungen zwischen FFOs nicht nur simulierbar, analysierbar und bewertbar, sondern es werden auch unerwünschte Wechselwirkungseffekte (sicherheitskritische durch Unfälle oder wirtschaftlich schädliche durch Staus) eliminierbar oder ursächlich optimierbar.



## **Summary**

Individual mobility today means to drive about 17 miles per day with the own car (with rising tendency). People meet and affect themselves in their mobility and get in hazardous situations. Traffic jams and accidents are undesired results of their interactions. The individual improvement of performance (e.g. faster cars) and the individual optimization of safety (e.g. better brake systems) reach their limits, because of the phenomenon of interaction. Therefore the drivers with all their interactions to each other have to be subject of closer examination.

In order to achieve this, the stackmodel of Ostermeyer, which is an action planning driver model, is enlarged to analyse interacting drivers and transformed into software. On the one hand, the action plans for longitudinal movement and lane changing have to be modelled, and on the other hand the software program of the micro traffic simulation based on action planning and interacting driver models has to be provided.

Especially for modelling the action plans and the expected action plans of other drivers, an analysis of real traffic data (own data: measurement car to analyse and interview drivers and video detection for area measurement; data from others: distance measurement from measurement car) has been conducted. The inclusion of expected plans of other drivers into the modelling of own action plans enables the interaction with other road users and allows to analyze complex selforganisation effects in traffic. Particularly undesired situations on global traffic (like traffic jams and accidents) can be results of mistakes in own or expected action plans of special drivers.

The knowledge of the effect of the action of drivers on a global area is fundamental to build up driver assistance systems and to improve traffic. In order to find potentials to improve the safety and also the traffic flow, different traffic situations were simulated, analysed and measured in this paper with the micro traffic simulation model based on action planning and interacting drivers. The situations reach from one lane traffic (driving in convoys and the brakewave) to two lane traffic (bottle-neck and aggressive behaviour). For the quantification of the situations, measurement criteria are necessary for performance, risk, effort and frustration, for both, the individual driver and the traffic as a whole. These criteria were built up in this paper.

Selforganization effects in traffic can be improved through driving aids, jurisdiction and driver assistance systems or even autonomous driving. An improved ACC-system (Automatic Cruise Control) doesn't only improve the comfort of driving, it can also be used for a reduction of risk by better assumptions from the action planning driver model. An electronic stop light as a driver assistance system causally breaks up the growing of a brakewave. Interacting and action planning driver models allow a detailed view and optimization of the driver – especially for communicating driver assistance systems in the future.

This paper shows the significance of analysing interacting driver models: With a microtraffic simulation model based on action planning and interaction driver models, the interactions of drivers will become simulatable, analysable and measurable. But also undesired effects of interactions (safety critical by accidents or economic critical by jams) will become eliminable and causally optimizable.



# Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und Literaturstudie	3
2.1 Fahrer- und Verkehrsmodelle	3
2.1.1 Makroskopische Verkehrsmodelle	4
2.1.2 Mikroskopische Verkehrsmodelle	6
2.1.3 Fahrermodelle	14
2.2 Fahrerassistenzsysteme (FAS)	17
2.2.1 Konventionelle FAS	17
2.2.2 Fahrzeugintern kommunizierende FAS	19
2.2.3 Kommunizierende und kooperierende FAS	21
3 Datengrundlage zur Untersuchung von wechselwirkenden Autofahrern	23
3.1 Messfahrzeug	25
3.1.1 Literaturstudie	25
3.1.2 Daten anderer Messfahrzeuge	28
3.1.3 Daten des eigenen Messfahrzeuges	34
3.2 Mikroverkehrsanlage	42
3.2.1 Literaturstudie	42
3.2.2 Aufbau der Mikroverkehrsanlage	44
3.3 Stationäre Videomessung	47
3.3.1 Literaturstudie	47
3.3.2 Daten der stationären Videomessung	48
4 Mikroverkehrsmodell auf Basis eines interagierenden, handlungsplanenden Fahrermodells	56
4.1 Fahrermodell und Mikroverkehrsmodell	57
4.1.1 Bestehendes Fahrermodell	57
4.1.2 Grundlagen der Erweiterung	60
4.2 Realisierungsbausteine des Mikroverkehrsmodells	62
4.2.1 Modellierung der Straße	62
4.2.2 Modellierung der Fahrer-Fahrzeug-Objekte	64
4.2.3 Modellierung der Nachbarschaften	66
4.2.4 Modellierung der Handlungspläne	67
4.2.5 Modellierung der Software	70
4.3 Handlungsstrang Geschwindigkeit des Fahrermodells	75
4.3.1 Literaturstudie	75
4.3.2 Modellierung	76
4.3.3 Ergebnisse	83

4.4 Handlungsstrang Spurwechsel des Fahrermodells	89
4.4.1 Literaturstudie	89
4.4.2 Modellierung	92
4.4.3 Ergebnisse	96
5 Wechselwirkung von Fahrer–Fahrzeug–Objekten in komplexen Verkehrssituationen anhand von Beispielen	99
5.1 Kolonnenverhalten	100
5.1.1 Literaturstudie	100
5.1.2 Bewertungskriterien und Modellierung	103
5.1.3 Ergebnisse	106
5.1.4 Potentiale	116
5.2 Bremswelle	120
5.2.1 Literaturstudie	120
5.2.2 Elektronisches Bremslicht und Modellierung	122
5.2.3 Ergebnisse	123
5.2.4 Potentiale	134
5.3 Aggressives Verhalten	138
5.3.1 Literaturstudie	138
5.3.2 Modellierung	141
5.3.3 Ergebnisse	142
5.3.4 Potentiale	147
5.4 Engpass	148
5.4.1 Literaturstudie	148
5.4.2 Modellierung	150
5.4.3 Ergebnisse	152
5.4.4 Potentiale	159
6 Zusammenfassung und Ausblick	163
6.1 Zusammenfassung	
6.2 Ausblick	166
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	iv
Literaturverzeichnis	viii