



# Objektorientierte mikroskopische Verkehrsflusssimulation

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen  
der Ruhr-Universität Bochum genehmigte

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades  
**Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)**

von

**Kai Erlemann**

Bochum, 2007



Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

Herausgeber:  
Geschäftsführender Direktor des  
Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau  
Ruhr-Universität Bochum

Heft 2007-7

**Kai Erlemann**

**Objektorientierte mikroskopische  
Verkehrsflusssimulation**

Shaker Verlag  
Aachen 2007

**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.: Bochum, Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2007

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6710-0

ISSN 1614-4384

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 in den Jahren 2002 bis 2007 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen. Ich möchte mich herzlich bedanken bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Allen voran gebührt mein Dank natürlich Professor Hartmann, der mich von Anfang an in meiner Arbeit stets unterstützt und gefördert hat, und der mir den Weg in die wunderbare Welt der Objektorientierung gewiesen hat. Auch Professor Brilon danke ich für Übernahme des Koreferats, und dafür, dass er die sehr erfolgreiche Kooperation auf dem Gebiet der Verkehrssimulation überhaupt erst ermöglicht hat.

Des Weiteren sollen natürlich auch die zahlreichen Kollegen nicht unerwähnt bleiben, die mir während der Entwicklung des Programmsystems und dem Verfassen dieser Arbeit geduldig zur Seite gestanden haben. Vielen Dank an mein verkehrstechnisches Gewissen, den unermüdlichen Jochen Harding, für die vielen Stunden, die er mit mir gemeinsam an den Fahrverhalten getüftelt hat. Stefan Seifarth danke ich für seine Diagrammkomponente und die Optimierungsroutinen, Monika Rott haus für die erste Dokumentation des Programms. Rüdiger Schütz danke ich dafür, dass er mit seiner Zuflussregelung die Erweiterbarkeit des Programms bewiesen hat. Außerdem danke ich allen anderen Mitarbeitern des Lehrstuhls, besonders Kay Smarsly, Ingo Mittrup, Karlheinz Lehner und Matthias Baitsch für die zahllosen produktive Diskussionen.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Freundin Sulamith, meiner Familie und meinen Freunden danken, die stets hinter mir standen und mich auf meiner langen Reise durch die Untiefen der Verkehrssimulation begleitet haben.

Bochum, im September 2007

Kai Erlemann

Tag der Einreichung: 28.03.2007  
Tag der mündlichen Prüfung: 19.07.2007

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. D. Hartmann  
Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen  
Ruhr-Universität Bochum
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. W. Brilon  
Lehrstuhl für Verkehrswesen  
Ruhr-Universität Bochum



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Verkehrstechnische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Einleitung . . . . .	5
2.2	Simulation . . . . .	6
2.2.1	Verkehrssimulation . . . . .	6
2.3	Definitionen . . . . .	7
2.3.1	Verkehr . . . . .	7
2.3.2	Verkehrsinfrastruktur . . . . .	8
2.3.3	Fahrzeuge . . . . .	8
2.3.4	Dynamische Grundgrößen eines Fahrzeugs . . . . .	8
2.3.5	Verkehrsstärke . . . . .	9
2.3.6	Verkehrsdichte . . . . .	9
2.3.7	Mittlere Geschwindigkeit . . . . .	9
2.3.8	Kapazität und Auslastung . . . . .	10
2.3.9	Mittlere Reisezeit . . . . .	10
2.3.10	Fahrzeugabstand . . . . .	11
2.4	Grundlagen der Verkehrssimulation . . . . .	11
2.4.1	Detaillierungsgrad . . . . .	11
2.4.2	Zeitverhalten der Simulation . . . . .	13
2.5	Existierende Verkehrssoftware . . . . .	14
2.5.1	Überblick . . . . .	14

2.5.2	VISSIM . . . . .	14
2.5.3	Paramics . . . . .	15
2.5.4	AIMSUN . . . . .	15
2.5.5	CORSIM . . . . .	16
2.5.6	HUTSIM . . . . .	17
2.5.7	PELOPS . . . . .	17
2.5.8	OLSIM . . . . .	18
2.6	Einschränkungen existierender Lösungen . . . . .	19
2.7	Verbessertes Lösungsansatz . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Modellierung</b>	<b>21</b>
3.1	Einleitung . . . . .	21
3.2	Anforderungen . . . . .	21
3.3	Simulationsablauf . . . . .	22
3.4	Fahrer-Fahrzeug-Elemente . . . . .	22
3.4.1	Fahrer . . . . .	24
3.4.2	Fahrverhalten . . . . .	25
3.4.3	Fahrzeuge . . . . .	26
3.4.4	Fahrzeugtypen . . . . .	27
3.4.5	Pkw . . . . .	29
3.4.6	Lkw . . . . .	30
3.5	Streckennetz . . . . .	31
3.5.1	Fahrspuren . . . . .	33
3.5.2	Quellen . . . . .	34
3.5.3	Vorlauf . . . . .	37
3.5.4	Senken . . . . .	38
3.5.5	Mehrspurbereiche . . . . .	39
3.6	Strecken . . . . .	40
3.7	Hindernisse . . . . .	41
3.8	Simulationsauswertungen . . . . .	44
3.8.1	Lokale Messungen . . . . .	44
3.8.2	Momentane Messungen . . . . .	46
3.8.3	Reisezeiten . . . . .	46



---

<b>4</b>	<b>Verhaltensmodelle</b>	<b>49</b>
4.1	Einleitung . . . . .	49
4.2	Abstandsmodelle . . . . .	50
4.2.1	Fahrzeugfolge-Theorie . . . . .	50
4.2.2	Optimal-Velocity-Model . . . . .	51
4.2.3	Psycho-physisches Modell . . . . .	52
4.3	Spurwechselmodelle . . . . .	55
4.3.1	Sparmann . . . . .	56
4.3.2	Theis . . . . .	57
4.4	Beschränkungen existierender Modelle . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Absichtsbasiertes Fahrverhalten</b>	<b>63</b>
5.1	Grundidee . . . . .	63
5.2	Lösungsansatz . . . . .	65
5.3	Mathematische Betrachtung . . . . .	66
5.4	Implementierung . . . . .	68
5.5	Diskussion . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Implementierung</b>	<b>75</b>
6.1	Einleitung . . . . .	75
6.2	Programmstruktur . . . . .	75
6.2.1	Programmbedienung . . . . .	77
6.2.2	Zweidimensionale Darstellung des Streckennetzes . . . . .	79
6.2.3	Dreidimensionale Darstellung des Streckennetzes . . . . .	80
6.2.4	Animationen . . . . .	83
6.3	Datenaustausch . . . . .	85
6.3.1	Geographical Data Format (GDF) . . . . .	85
6.3.2	Web Map Service (WMS) . . . . .	88
6.3.3	Keyhole Markup Language (KML) . . . . .	90
6.3.4	Scalable Vector Graphics (SVG) . . . . .	92
6.3.5	Sonstige Formate . . . . .	93
6.4	Parallelisierung der Verkehrssimulation . . . . .	95
6.4.1	Parallelisierungsarten . . . . .	95

6.4.2	Asynchrone Parallelisierung . . . . .	96
6.4.3	Synchrone Parallelisierung . . . . .	97
6.4.4	Message Passing Interface . . . . .	99
6.4.5	Implementierung der verteilten Simulation . . . . .	99
<b>7</b>	<b>Erweiterungen des Objektmodells</b>	<b>105</b>
7.1	Kreisverkehr . . . . .	105
7.1.1	Verhalten am Kreisverkehr . . . . .	105
7.1.2	Approximation von Kreisbögen . . . . .	106
7.1.3	Modellierung eines Kreisverkehrs . . . . .	107
7.2	Parkplätze . . . . .	109
7.2.1	Modellierung von Stellplätzen . . . . .	109
7.2.2	Auswahl eines Stellplatzes . . . . .	109
7.2.3	Nachbildung des Einparkvorgangs . . . . .	111
7.3	Lichtsignalanlagen . . . . .	113
7.4	Fußgänger . . . . .	115
7.4.1	Fußgängermodell . . . . .	116
7.4.2	Kopplung mit dem Straßenverkehr . . . . .	119
7.5	ÖPNV . . . . .	121
7.5.1	Linienbusse . . . . .	121
7.5.2	Straßenbahnen . . . . .	123
<b>8</b>	<b>Simulation großflächiger Straßennetze</b>	<b>125</b>
8.1	Einordnung des Anwendungsspektrums . . . . .	125
8.2	Netzerstellung . . . . .	126
8.2.1	Hauptfahrspuren . . . . .	128
8.2.2	Zu- und Abfahrten . . . . .	129
8.2.3	Verbinden der Teilnetze . . . . .	130
8.3	Festlegung der Verkehrsstärken . . . . .	130
8.3.1	Streckenerstellung . . . . .	131
8.3.2	Streckenelimination . . . . .	132
8.3.3	Setzen der Verkehrsstärken . . . . .	132
8.4	Einzelplatz-Simulation . . . . .	134

---

8.4.1	Hardwareanforderungen . . . . .	134
8.4.2	Simulationablauf . . . . .	134
8.4.3	Zeitverhalten . . . . .	135
8.5	Parallele Simulation . . . . .	136
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
9.1	Zusammenfassung . . . . .	139
9.2	Ausblick . . . . .	141
<b>A</b>	<b>Programmgesteuerte Erzeugung eines Streckennetzes</b>	<b>143</b>
A.1	Erstellung einer Einfahrt . . . . .	143
A.2	Erzeugung der Fahrspuren . . . . .	144
A.3	Quellen und Senken . . . . .	146
A.4	Verkehrsstärken . . . . .	147
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>