

Modellerweiterungen des Cell Transmission Model (CTM) für städtische Hauptstraßennetze

Von der
Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Jannis Rohde
geboren am 23.06.1978
aus Meppen

(2016)

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

Eingereicht am:	14. Dezember 2015
Disputation am:	23. Juni 2016
Berichterstatter	Prof. Bernhard Friedrich Prof. Markus Friedrich

INSTITUT FÜR VERKEHR UND STADTBAUWESEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
UNIV.-PROF. DR.-ING. BERNHARD FRIEDRICH

**Schriftenreihe
Heft 60**

Jannis Rohde

**Modellerweiterungen des Cell
Transmission Model (CTM)
für städtische Hauptstraßennetze**

**SHAKER
VERLAG**

Aachen 2017

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., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5047-9

ISSN 1615-2948

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Das war der Streich.

Für Philipp

*31.08.76 †16.07.16

Dank an

Prof. Bernhard Friedrich und Prof. Markus Friedrich

Qin Wang

Meine Eltern

*Es ist eine lange schwere Reise
und keiner weiß wohin,
doch die Nadel zeigt auf Hoffnung.*
Kleinstadthelden

Bist du Muli oder Mensch?
Fiva

*So understand,
don't waste your time always searching for those wasted years.
Face up, make your stand,
and realize you're living in the golden years.*
Iron Maiden

Kurzfassung

Diese Arbeit möchte den praktischen Einsatz des CTM zur effektiven Simulation des Verkehrsflusses in Hauptstraßennetzen entscheidend erleichtern. Durch die Analyse der theoretischen Grundlagen und ausgewählter wissenschaftlicher Arbeiten werden Stärken und Einschränkungen des CTM identifiziert, sowie fünf offene Forschungsaspekte, zu denen diese Arbeit einen Beitrag leistet: Realistische Modellierung von Warteprozessen an Knotenpunkten, stochastische Verkehrsnachfrage, Modellierung von Lichtsignalanlagen mit verkehrabhängiger Steuerung und ÖPNV-Priorisierung, praxisrelevante Bewertungsgrößen, Hinweise zur Kalibrierung und Validierung.

Ein deutlicher Fortschritt bei der Modellierung des Verkehrsflusses im CTM wird durch die Entwicklung eines Algorithmus erzielt, der erstmals die Modellierung des Verkehrsflusses in Knotenpunkten mit einer beliebigen Anzahl von Zu- bzw. Ausfahrten und unter Beachtung von Vorfahrtregelungen ermöglicht. Zur Simulation von Lichtsignalanlagen mit verkehrabhängiger Steuerung und ÖPNV-Priorisierung wird eine allgemeingültige Modellerweiterung vorgestellt, die die Steuerungsparameter in Abhängigkeit von gemessenen verkehrlichen Kenngrößen während der Simulation verändert sowie eine manuelle Versorgung unterschiedlicher Steuerungsstrukturen ermöglicht. Eine Methodik zur Bewegung masseloser Partikel erlaubt die Abbildung der An- und Abmeldung eines Busses an einer Lichtsignalanlage und die Abschätzung seiner Verlustzeit gegenüber seinem Fahrplan. Zur Kalibrierung und Validierung des CTM werden die Kenngrößen Verkehrsstärke, mittlere Reisezeit, Verlustzeit oder Rückstaulänge empfohlen und Berechnungsvorschriften angegeben.

Als praktischer Anwendungsfall zur Evaluierung der Realitätstreue des Verkehrsflusses im erweiterten CTM dient der Linksabbiegerstrom vom nördlichen Altewiekring in die östliche Kastanienallee in Braunschweig. Die Kalibrierung des Modells erfolgt manuell und durch visuellen Vergleich der Summenlinien der simulierten und realen Flüsse. Zur Validierung werden die Ausprägungen der simulierten Reisezeit, mittleren Verlustzeit, mittleren Anzahl von Halten pro Fahrzeug und Rückstaulänge mit realen Werten aus Videoanalysen und Reisezeitmessungen verglichen. Die Ausprägungen liegen bemerkenswert dicht beieinander. Der Verkehrsfluss im erweiterten CTM wird daher als realistisch bewertet, jedoch unter der Einschränkung, dass nur Datensätze aus einem Erhebungszeitraum vorlagen und die guten Übereinstimmungen zwangsläufig aus der erfolgreichen Kalibrierung resultieren.

Eine Kurzanleitung fasst die wichtigsten Arbeitsschritte für eine effektive Simulation mit dem erweiterten CTM zusammen.

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Aufbau der Arbeit	15
1.1	Ziele	15
1.2	Aufbau	16
2	Stand der Forschung	17
2.1	Verkehrsflussmodellierung mit dem CTM	17
2.1.1	Grundlagen der Verkehrsflussmodellierung	17
2.1.2	Das CTM nach Daganzo	21
2.2	Ausgewählte wissenschaftliche Arbeiten	25
2.2.1	Verkehrsflussmodellierung auf Autobahnabschnitten	26
2.2.2	Verkehrsflussmodellierung in Hauptstraßennetzen	30
2.2.3	Optimierung der Lichtsignalanlagen in Hauptstraßennetzen	36
2.3	Synthese	41
2.3.1	Stärken des CTM	41
2.3.2	Einschränkungen des CTM	43
2.3.3	Identifizierter Forschungsbedarf und Beitrag dieser Arbeit zum Fortschritt von Forschung und Entwicklung	45
3	Modellbeschreibung und -erweiterungen	51
3.1	Netzmodell	51
3.2	Modellierung des Verkehrsflusses auf den Kanten	52
3.3	Modellierung des Verkehrsflusses in den Quellknoten	53
3.4	Modellierung des Verkehrsflusses in den Knotenpunkten	59
3.4.1	Generischer Algorithmus	59
3.4.2	Anwendung des INMC im Kontext dieser Arbeit	70
3.5	Modellierung der Lichtsignalanlagen	71
3.5.1	Allgemeines	71
3.5.2	Lichtsignalanlagen mit Festzeitsteuerung	72
3.5.3	Lichtsignalanlagen mit verkehrsabhängiger Steuerung/ÖPNV-Priorisierung	74
3.6	Modellierung der Bewegung masseloser Partikel	88
3.6.1	Allgemeines	88
3.6.2	Partikel	89
3.6.3	Buspartikel	90
3.7	Eingangsdaten	97

3.8	Verkehrliche Kenngrößen	101
3.8.1	Definition	101
3.8.2	Direkte verkehrliche Kenngrößen	101
3.8.3	Indirekte verkehrliche Kenngrößen	102
3.9	Praxisrelevante Bewertungsgrößen	103
4	Modellanwendung	109
4.1	Hinweise zur Kalibrierung und Validierung	109
4.2	Praktischer Anwendungsfall	111
4.2.1	Modellaufbau	111
4.2.2	Kalibrierung	113
4.2.3	Validierung	121
4.2.4	Fazit	125
5	Zusammenfassung und Ausblick	127
A	Ermittlung der mittleren Verlustzeit durch Zählen gestoppter Fahrzeuge	132
A.1	Motivation und Ziel	132
A.2	Methodenablauf	132
B	Bewertung der Ähnlichkeit zweier Verkehrsstärke-Ganglinien	136
B.1	Motivation und Ziel	136
B.2	Methodenablauf	137
B.3	Beispiel	138
	Literaturverzeichnis	143