

Urban Intersections in first order models with the Godunov scheme

C.P.IJ. van Hinsbergen*

*Department of Transport and Planning, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Stevinweg 1, P.O. Box 5048, 2600 GA, Delft, The Netherlands.
Member of TRAIL Research School*

C.M.J. Tampère

Centre for Industrial Management, Department of Traffic & Infrastructure, Katholieke Universiteit Leuven, Celestijnenlaan 300a - bus 2422, 3001 Heverlee, Belgium

J.W.C. van Lint**

Department of Transport and Planning, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Stevinweg 1, P.O. Box 5048, 2600 GA, Delft, The Netherlands

H.J. van Zuylen

*Department of Transport and Planning, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Stevinweg 1, P.O. Box 5048, 2600 GA, Delft, The Netherlands.
Scientific Director of TRAIL Research School*

** Corresponding author*

*** Presenting author*

Abstract

Online traffic simulation models have been the subject of study in recent years, for various applications such as state estimation, state prediction or travel time estimation. All of these studies have been focusing on freeway networks, but many municipalities struggle with their urban traffic systems and may have a large interest in an urban traffic state estimator or predictor. One model that may be suited for this is the first order model, for which the Godunov scheme is a widely applied numerical solution. However, in order to apply this model on an urban network, extensions are required to the node model, as urban intersections are very different from freeway intersections. Three extensions to the node model are described: (1) exponentially decreasing turn capacities, (2) the separation of low-frequent and high-frequent processes at traffic signals and (3) the turn fractions. A comparison with a microscopic simulation shows the ability of the first order model with these extensions applied to the node model to reproduce the dynamic traffic behavior in an urban environment.

Short Term Estimation of OD Matrices and Traffic Streams in Urban Networks

Tobias Pohlmann

Institute of Transportation and Urban Planning, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 3, 38106 Braunschweig, Germany

Bernhard Friedrich

Institute of Transportation and Urban Planning, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Pockelsstr. 3, 38106 Braunschweig, Germany

Extended Abstract

For a variety of online traffic management and control strategies, such as adaptive traffic control for traffic signals or VMS strategies, a preferably precise estimation of the current traffic demand in a network is crucial in order to serve as input for the underlying optimization algorithms. For such estimation different approaches have been developed. In a current research project at the Institute of Transportation and Urban Planning at TU Braunschweig an optimized technique for OD matrix estimation described in [3, 4, 9] is taken up and examined with regard to further modification and its applicability for online control strategies.

The method is based on the information minimization (IM) model for estimating OD matrices as described in [8]. The IM method uses traffic counts q_a on several links a in a network as constraints for the estimation. Furthermore, it is assumed that the fraction p_a^{ij} of the trips from origin i to destination j passing link a are known. Based on this input data and the flows f_{ij}^0 taken from a historic matrix, all flows f_{ij} are estimated in an iterative procedure by using the following equation:

$$f_{ij} = f_{ij}^0 \prod_a X^a \frac{p_{ij}^a}{g_{ij}}, \quad g_{ij} = \sum_a p_{ij}^a \quad (1)$$

At each iteration step the proportionality factors X^a for each link with traffic counts are adapted according to the difference between real and estimated traffic counts q_a until both match for all links used as constraints.

A drawback of this method that derives from redundant information is described in [6]. If several links that are used as constraints for the estimation contain the same information as other links or sum up to the exact information of another link (as will be the case if for example one link splits up into several turning links), the trips that are affected by this redundant information suffer from an impaired estimation. While an approach to improve the original IM model by making it independent from redundant information is proposed in [6], a different approach has been chosen in [9]. Seven rules have been developed in order to eliminate redundant information in a network by examining the structure of different types and combinations of nodes with a varying number and arrangement of connected links. In principle, redundant information on approaching links (q_a and p_{ij}^a) is eliminated by subtraction of more precise information on turning links if counts on these links are available. Applying these rules on the network before starting the IM iteration assures that no redundant information is used. According to [9] this method performs slightly better than the modified IM in [6], which is especially the case when the p_a^{ij} are not exactly known but estimated, for example by using successive traffic assignment. Further improvement could be achieved by applying an iterative procedure with repeated matrix estimation and assignment until the matrix converges.

The sketched method has been basis for further investigation and modification. It is intended to use it for a continuously updated traffic demand estimation of rather small consecutive intervals of 15 minutes during the whole day. Current traffic flows of the last time slice taken from existing detectors at signalized intersections are used as constraints for the IM model and assigned to the correspondent links of the graph representing the network. Counts on turning links at intersections are the most precise constraints for the IM model compared to counts on approaching sections between the intersections. However, not all turning flows at intersections are measured independently or at all. Therefore, a simple iterative algorithm has been developed in a first step that derives as many missing counts on links without detectors as possible by repeated summation and subtraction of given or previously derived counts until no further count can be determined in the whole network.

The IM model needs consistent traffic counts for a good estimation of the OD matrix. Since inductive loops, which are still the most common detectors in urban areas, are known to be prone to measuring errors (cp. [5]), an algorithm proposed in [7] is applied in a second step in order to balance inconsistent traffic flows.

Once the flows are consistent, the redundant information on all links has to be eliminated. Therefore, the seven rules mentioned above have been brought into a general form and transformed into an algorithm that is applied in a third step. This algorithm identifies dependencies of each link on other links. These dependencies are stored and used during application of the IM model to eliminate all redundant information. Finally the iterative process starts by assigning a unit matrix or the estimated matrix of the last interval to the different routes in order to have a first estimate of the p_a^{ij} . Then, a first updated matrix will be estimated and assigned to the network again. This process is repeated until the matrix is stable. The assignment of the last iteration will then be used to determine the estimated flows on each route in the network.

As assignment technique the successive assignment and the stochastic user equilibrium using the C-logit model have been implemented. Another modification of the method in [9] is to use simulated travel times for the assignment instead of a common volume delay function such as the well known BPR function. For simulation a fast Java implementation of the Cell Transmission Model described in [1, 2] with some modification is used during the assignment in order to estimate the travel times. It has to be applied at each iteration step of the assignment. Since the implemented CTM model also includes the current signal timings at each intersection, the effect of these signal timings on travel times can be taken into account in a better and more realistic way compared to static BPR functions. A good performance of the travel time estimation could be demonstrated by comparing travel times on different routes generated by the model to average travel times of 30 replications of the same network using the microsimulator Aimsun NG.

The sketched method is described more in detail in the complete paper, as well as its performance that turned out to be promising.

References

- [1] C. Daganzo: "The Cell Transmission Model: A dynamic Representation of Highway Traffic consistent with the Hydrodynamic Theory", *Transportation Research B* 28 (4), pp. 269-287, (1994)
- [2] C. Daganzo: "The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic", *Transportation Research B* 29 (2), pp. 79-93, (1995)

- [3] B. Friedrich, Y. Wang: "Optimizing O-D Estimation with Respect to Redundant Information and Route Choice", *Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Control in Transportations Systems*, Delft, Netherlands, (2006)
- [4] B. Friedrich, Y. Wang: „Optimierung der Matrixschätzung durch Elimination redundanter Informationen“, *Proceedings of Heureka 2008*, Stuttgart, (2008)
- [5] N. Lehnhoff: „Überprüfung und Verbesserung der Qualität von automatisch erhobenen Daten an Lichtsignalanlagen“, *Dissertation at the Institute of Transport, Road Engineering and Planning, Universität Hannover*, (2005)
- [6] H. J. van Zuylen: "Some Improvement in the Estimation of an OD Matrix from Traffic Counts", *Proceedings of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. University of Toronto Press*, Toronto, Canada, (1981)
- [7] H. J. van Zuylen, D. M. Branston: "Consistent Link Flow Estimation From Counts", *Transportation Research Part B* 16 (6), pp. 473-476, (1982)
- [8] H. J. van Zuylen, L. G. Willumsen: "The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts", *Transportation Research Part B – Methodological*, 14, pp. 281-293, (1980)
- [9] Y. Wang: „Optimierung der Quelle-Ziel-Matrixschätzung hinsichtlich Redundanzstörungen sich verändernder Verkehrszustände“, *Dissertation at the Institute of Transport, Road Engineering and Planning, Leibniz Universität Hannover*, (2008)

Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis der Wahrnehmung durch Verkehrsteilnehmer

Evaluating the quality of traffic flow based on drivers' perception

Timo Munk

BMW Group, Max-Diamand-Str. 11-13, 80937 München, Germany

Markus Mailer

BMW Group, Max-Diamand-Str. 11-13, 80937 München, Germany

Irina Matschke

BMW Group, Max-Diamand-Str. 11-13, 80937 München, Germany

Abstract

Alltäglich stehen in der Bundesrepublik Deutschland zahlreiche Berufspendler im Stau. Dabei verlieren sie nicht nur wertvolle Zeit und belasten Umwelt, Infrastruktur und nicht zuletzt ihre eigenen Nerven. Vielmehr gilt es auch den dadurch jährlich entstehenden volkswirtschaftlichen Schaden von 95 Mrd. Euro zu berücksichtigen.

Besonders dramatisch ist die Lage in den Ballungsräumen, auf den Autobahnen und insbesondere auf den städtischen Hauptverkehrsachsen. Aufgrund der eingeschränkten Flächenverhältnisse stehen verkehrliche Infrastruktur, Umwelt, Anwohner und Wirtschaft gerade dort durch das weiter anschwellende städtische Verkehrsauskommen unter einem besonderen Druck.

Vorrangiges Ziel von Verkehrsplanung und -technik ist daher die Bündelung des Verkehrs in den Ballungsräumen, um eine dauerhafte, stadtverträgliche Abwicklung des motorisierten Straßenverkehrs auf dem Hauptverkehrsstraßennetz zu erreichen. Um die Frage zu beantworten, ob innerstädtische Verkehrsnetze auch zukünftig in der Lage sein werden, die ihnen zugedachte Funktion zu erfüllen, bedarf es neben verbesserten Verkehrsmodellen in erster Linie praxistauglicher Kriterien und Bemessungsgrenzen zur Beurteilung der Verkehrsqualität. Denn Verkehrsqualität ist ein Begriff von zentraler Bedeutung sowohl in der Verkehrsplanung als auch im Verkehrsmanagement. Sie dient Planern als Grundlage für die Auslegung von Verkehrsnetzen, Ingenieuren als Kenngröße für die Verkehrssteuerung und Verkehrsteilnehmern als Schlüsselgröße der Verkehrsinformation zur Auswahl ihrer Routen. Demzufolge bedarf es einheitlicher praxistauglicher und prognostizierbarer Kriterien und Bemessungsgrenzen zur Beurteilung der Verkehrsqualität auf städtischen Hauptverkehrsstraßen.

Die Bedeutung einer Analyse der mit dem Begriff Verkehrsqualität verbundenen Parameter unterstreicht nicht zuletzt der Verkehrsentwicklungsplan der Landeshauptstadt München (VEP München), der das Erreichen einer ‚entsprechenden Verkehrsqualität‘ auf dem Münchner Primär- und Sekundärnetz fordert [5]. Allerdings werden dabei weder Kriterien noch Anspruchsniveaus für eine Bewertung genannt. Auch das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) lässt diese Frage im Kapitel 8 („Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen“) vorerst unbeantwortet [3].

Vor diesem Hintergrund wurde versucht, folgende praktische Fragenstellungen im Hinblick auf eine Annäherung an die Definition des Begriffs ‚Verkehrsqualität‘ zu beantworten:

- Welche Qualität des Verkehrs entscheidet z.B. über die Bündelungsfähigkeit einer Straße?
- Mit welchen Kriterien kann ich diese Qualität beschreiben?
- Wie kann ich diese messen oder prognostizieren?
- Wo liegen die relevanten Anspruchsniveaus aus Sicht der Verkehrsteilnehmer?

- Welche Rolle spielen Erfahrung und Erwartungshaltung bei der Qualitätsbewertung durch den Verkehrsteilnehmer?
- Sind Knoten, Streckabschnitte oder Routen zu betrachten?

In den Verkehrswissenschaften wurden in den letzten Jahren verschiedenste theoretische Ansätze diskutiert, um Qualitätskriterien und daraus resultierende Anspruchsniveaus für Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen festzulegen. Dabei werden wiederholt die Parameter Verkehrsdichte und mittlere Reisegeschwindigkeit als mögliche Qualitätskriterien vorgeschlagen. Letzteres scheint besonders sinnvoll, da anstelle einer nach Einzelelementen getrennten Betrachtung eine integrierte Analyse über längere zusammenhängende Strecken bzw. Routen möglich ist. Diverse Veröffentlichungen, wie jene von Brilon et al., 2003 [1] und international anerkannte Standards wie das U.S.-amerikanische Highway Capacity Manual (HCM) [10] schlagen etwa ein derartiges Vorgehen vor.

Natürlich ist es hinsichtlich der Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufes mit messbaren Kriterien aber auch zweckmäßig die in der Praxis verfügbaren Datengrundlagen zu analysieren. Für den Straßenverkehr existieren heute in zahlreichen Kommunen Verkehrszentralen, in denen die für den Straßenverkehr relevanten Daten als Grundlage für die Verkehrssteuerung, -lenkung und -information zusammengeführt werden. Eine Untersuchung unterschiedlicher Ansätze im deutschsprachigen Raum zeigt auf, welche Bandbreite in der Praxis bezüglich der Erhebung von Verkehrsdaten mit Hilfe unterschiedlichster Erfassungssysteme festzustellen ist. In den untersuchten Ansätzen werden im Wesentlichen drei Kriterien verwendet: Reisezeit, Reisegeschwindigkeit, Verkehrsdichte [6]. Doch nicht nur die in der Praxis zugrunde liegenden Kriterien, sondern auch die Anzahl und Abgrenzungen der Qualitätsstufen unterscheiden sich beträchtlich zwischen den Verkehrszentralen in verschiedenen Ballungsräumen. Jedoch basieren letztere zumeist auf eher pragmatischen Einteilungen.

Um diese in der Praxis bisweilen wenig genaue Herangehensweise an die Thematik ‚Verkehrsqualität‘ wissenschaftlich zu unterfüttern, stellten eine Reihe von Untersuchungen bei der BMW Group den Verkehrsteilnehmer als Rezipienten von Verkehrsinformationen in den Fokus. So ist es im Hinblick auf eine Optimierung der Abläufe im Verkehr und der Ausschöpfung von Entwicklungspotentialen unumgänglich – im Sinne einer Ergonomisierung von Verkehrsinformation – die ‚Funktionsweise‘, sprich Wahrnehmung des Menschen in die theoretischen Überlegungen mit einzubeziehen. Denn um eine Akzeptanzsteigerung von Verkehrsleitsystemen und Verkehrsinformation zu erreichen, muss zwangsläufig eine Orientierung des Produktes, und als solches gilt es die Verkehrsinfrastruktur zu betrachten, hinsichtlich des Konsumenten erfolgen.

Demnach war es ein Ziel der Versuchsserie, zu erfassen, wie Verkehrszustände/ -qualitäten aus Sicht der Verkehrsteilnehmer beurteilt werden bzw. wie Klassengrenzen aus Sicht der Verkehrsteilnehmer abzugrenzen sind. So wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [7] ein Versuchsdesign entwickelt, das es ermöglicht die Bewertung des Verkehrszustandes nach verkehrstechnischen Größen mit einer Bewertung aus Sicht des Verkehrsteilnehmers in Verbindung zu bringen. Wesentlicher Punkt war es dabei, eine dynamische sowie unmittelbare Bewertung der Verkehrsqualität durch Probanden zu ermöglichen, indem diese einer realen Fahrsituation ausgesetzt wurden. Dementsprechend wurden mit 40 Versuchspersonen jeweils zwei Fahrten auf dem Münchner ‚Mittleren Ring‘ unternommen, der in mehrere zu bewertende Streckenabschnitte eingeteilt wurde. Um die aus diesen Versuchsfahrten resultierende subjektive Bewertung der vorliegenden Verkehrsqualität mit objektiven, durch Sensoren erfasste Kenngrößen in Verbindung setzen zu können, wurden während der Fahrten folgende Parameter aufgezeichnet:

- GPS-Tracks für jede einzelne Befahrung
- Verkehrsdaten durch Verkehrsdetektoren, die vom Kreisverwaltungsreferat München (KVR) zur Verfügung gestellt wurden
- abschnittsbezogene Reisezeitmessungen der Technischen Universität München

Setzt man nun diese verkehrlichen Maßzahlen mit den subjektiven Verkehrszustandsbewertungen der Probanden durch statistische Auswertungen ins Verhältnis, so bestätigt sich die innerhalb der wissenschaftlichen Diskussion gewonnene Tendenz (vgl. Abbildung 1). Demnach ist das Kriterium durchschnittliche Reisegeschwindigkeit, respektive Reisezeit, eindeutig derjenige Parameter, der für die Bewertung der Verkehrsqualität durch die Verkehrsteilnehmer auf planfreien Hauptverkehrsstraßen maßgebend ist, bzw. die Sichtweise der Verkehrsteilnehmer bezüglich des Verkehrszustands am besten wieder gibt. Es ist folglich anzunehmen, dass die Verwendung des Kriteriums Reisezeit beim ‚Kunden‘, respektive Verkehrsteilnehmer den Akzeptanzgrad der vermittelten Verkehrsinformation im Sinne einer Ergonomisierung der Information steigert. Dem entgegen scheinen die Parameter Verkehrsstärke, Wartezeit und Anzahl der Halte nur einen geringen Einfluss auf die Bewertungen der Probanden zu haben bzw. finden diese bereits implizit in der Reisezeit Berücksichtigung [7].

| Kriterium | Zahl der bestätigten Nullhypothesen pro Routensegment* | Mittlerer Rang** | Bewertung des Kriteriums |
|---|--|------------------|--------------------------|
| Durchschnittliche Geschwindigkeit (respektive Reisezeit) | 0,33 | 1,33 | sehr geeignet |
| Prozentualer Anteil der Fahrt über V_{zul} | 0,33 | 2 | geeignet |
| Verkehrsdichte | 1 | 3,5 | bedingt geeignet |
| Lokale Geschwindigkeit am Detektorstandort | 1,5 | 3 | bedingt geeignet |
| Anzahl der Halte | 2,5 | 4,33 | ungeeignet |
| Wartezeit | 3 | 5,33 | ungeeignet |
| Verkehrsstärke | 3 | 7 | sehr ungeeignet |
| * Nullhypothese: Zwischen den Rangsummen der getesteten Gruppen besteht kein signifikanter Unterschied. Pro Routensegment wurden vier statistische Tests durchgeführt (ein globaler, drei lokale) | | | |
| ** Der mittlere Rang ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der Rangfolge aus den einzelnen statistischen Tests | | | |

Abbildung 1: Bewertung des Einflusses der analysierten verkehrlichen Maßzahlen auf die Probandenwahrnehmung [7]

Hinsichtlich der Zahl und Lage der einer Messung von Verkehrsqualität zugrunde liegenden Anspruchsniveaus weist die Auswertung der Probandenbewertungen darauf hin, dass das ‚Konstrukt Verkehrsqualität‘ mit Hilfe einer sechsstufigen Skala des Level-of-Service (LOS) nicht ‚kundengerecht‘ wiedergegeben werden kann. Zu groß sind die Überschneidungen der Geschwindigkeitsintervalle, die den Einstufungen in LOS 1 und 2 sowie LOS 4 und 5 zugeordnet wurden (vgl. Abbildung 2). Dem entgegen ist anzunehmen, dass eine vierstufige Einteilung der Verkehrsqualität (LOS) die Verkehrswahrnehmung von Autofahrern als am besten geeignet wiedergibt und in einer höheren intersubjektiven Nachvollziehbarkeit der Verkehrslageinformation resultiert, ohne dabei zu sehr an Informationsgehalt einzubüßen [7].

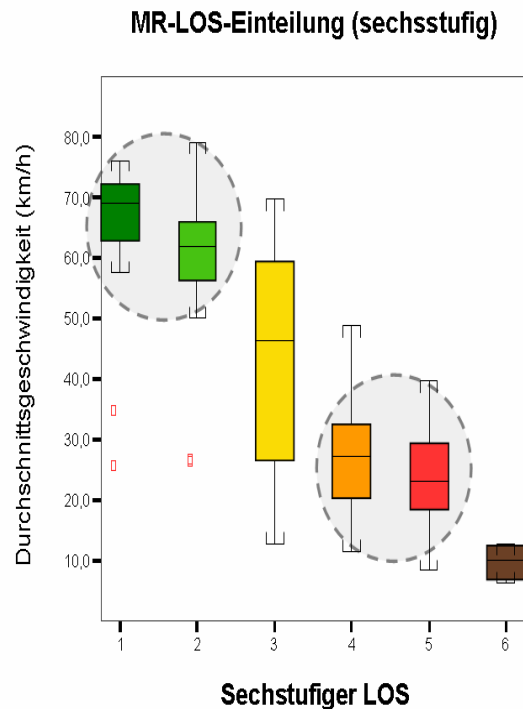


Abbildung 2: Mögliche Kategorisierung der LOS-Einteilung auf Basis der Probandenbewertungen [7]

Auch weitere Forschungsarbeiten sollten dazu beitragen geeignete Level-of-Service Konzepte zu entwickeln, die in die Diskussion über Standardansätze in die einschlägigen Fachgremien eingebracht werden können. Hierbei wurde die Betrachtung um den Aspekt der Erwartungshaltung bei der Interpretation von Verkehrslagedarstellungen durch Verkehrsteilnehmer erweitert. Dem liegt die Hypothese zugrunde, dass ein Fahrer die Verkehrsqualität auf den Strecken und zu den Zeiten, die ihm vertraut sind, anders beurteilt, da er eine andere auf seiner Erfahrung basierende Beurteilungsgrundlage heranzieht, als auf unbekannten Strecken, für die er eine ‚allgemeine‘, z. B. am Ausbauzustand festgemachte Bewertung, verwendet.

Die Level-of-Service-Bewertung wurde dabei anhand von Videobefragungen [2] und bei Fahrten im Fahrsimulator [4] durchgeführt. Diese Versuchsdesigns haben gegenüber der Befragung im Realverkehr den Vorteil, dass möglichst viele Probanden in exakt dieselbe Verkehrssituation versetzt und somit die interpersonellen Beurteilungsgrenzen und Streuungen besser beurteilt werden können. Nachteilig wirkt sich dabei die abstrahierte Versuchssituation aus. Durch Anwendung der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden konnte jedoch ein Ausgleich der jeweiligen methodischen Einschränkungen erreicht werden. Die Gegenüberstellung der drei Untersuchungen hat gezeigt, dass bei Verwendung einer dreistufigen LOS-Skala (grün, gelb, rot) die Probanden näherungsweise übereinstimmende Grenzwerte angegeben haben. Diese liegen für plangleiche Strecken ungefähr beim Zweifachen (Übergang grün-gelb) und dem Dreifachen (Übergang gelb-rot) der optimalen Reisezeit (frei fahrbare Reisezeit). Der Einfluss der Erwartungshaltung lieferte keine signifikanten Ergebnisse, so dass weitere Untersuchungen zur Klärung notwendig sind. Tendenziell scheint jedoch der Einfluss unterschiedlicher Erwartungshaltungen auf die Bewertung der Verkehrsqualität weitaus geringer zu sein, als der direkte Einfluss durch den jeweiligen Verkehrszustand.

Aufbauend auf den vorgestellten Untersuchungen zur Bewertung der Verkehrsqualität wurde in zwei weiteren Forschungsarbeiten geprüft, inwieweit die einzelnen Ansätze in ein Verkehrsmodell integriert werden können, um die Verkehrsqualität

- a) auf einzelnen Streckenabschnitten [8]
- b) in größeren (Teil-)Netzen [9]

zu analysieren und zukünftige Veränderungen zu prognostizieren. Auch hierbei erwies sich der Parameter Reisezeit als ein geeignetes Maß bei der Kalibrierung der Verkehrsmodelle sowie zur Beschreibung der Verkehrsqualität. Die Ergebnisse zeigen insbesondere für Netzbetrachtungen ein erhebliches Anwendungspotenzial, so etwa bei der Wirkungsabschätzung und Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen. Die modellgestützte Prognose eignet sich – unterfüttert mit den bisher erlangten theoretischen Ergebnissen zum Thema Verkehrsqualität – in besonderer Weise als Werkzeug, um zukünftige Qualitätsgewinne und –verluste abzuschätzen und gegebenenfalls erforderliche (Gegen-) Maßnahmen frühzeitig einzuleiten.

Literaturverzeichnis:

- [1] BRILON, W.; SCHNABEL, W. (2003): Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. Straßenverkehrstechnik, Heft 1/2003.
- [2] DIETRICH, J. (2009): Untersuchung der Fahrerbewertung von Verkehrslagedarstellungen unter Berücksichtigung der Erwartungshaltung. Diplomarbeit an der Leibniz Universität Hannover.
- [3] FGSV (2005): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Ausgabe 2001, Fassung 2005, Köln.
- [4] HOHMANN, S. (2009): Bewertung der Verkehrsqualität unter Berücksichtigung der Erwartungshaltung mit Hilfe von Fahrsimulationen. Diplomarbeit an der Ruhruniversität Bochum.
- [5] LHM (2006): Verkehrsentwicklungsplan. Landeshauptstadt München (Hrsg.), Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Hauptabteilung Stadtentwicklungsplanung, Abteilung Verkehrsplanung.
- [6] MAILER, M.; MUNK, T.; SPANGLER, M.; HABERER, T. (2008): Verkehrsqualität auf Hauptverkehrsstraßen. Empfindung, Messung, Bewertung. In: Internationales Verkehrswesen (60) 7 + 8/2008.
- [7] MUNK, T. (2007): Subjektive Bewertung von Verkehrsqualität – ein Feldexperiment auf städtischen Hauptverkehrsstraßen. Diplomarbeit an der LMU München.
- [8] OLBRICH, S. (2008): Die Entwicklung eines modellgestützten Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten. Diplomarbeit an der TU Dresden.
- [9] ROSE, F. (2008): Entwicklung eines modellgestützten Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität in großen Netzen. Diplomarbeit an der TU Dresden.
- [10] TRB (2000): Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board (Hrsg.), National Academy of Sciences, USA.

