

DISS. ETH NO. 21511

**SIMULATION OF  
SPATIAL LEARNING MECHANISMS**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Siegfried Otto Weinmann

Diplom-Informatiker, Universität Bremen

Date of birth: August 23<sup>rd</sup>, 1956

Resident of Stuttgart, Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr.-Ing. Kay W. Axhausen, examiner

Prof. Dr. Kai Nagel, co-examiner

2013

## ABSTRACT

The evolution of information technology brings an entirely new perspective to old issues of transportation and the problem of overloaded road traffic networks. At the forefront of progress in the field of information technology is the opportunity for the driver to acquire knowledge through media.

The present study is aimed at investigating effects of spatial orientation in typical situations. To this end, it starts out from the following exemplary scenario: Traffic in the Zurich metropolitan area is congested. Vehicles often move at walking pace. Traffic demand leads to an average volume of 118 vehicles per kilometer. Every driver has planned his itinerary with the help of an off-the-shelf navigation device and sticks to his shortest route. In view of this situation, the question investigated in this study is: How much will the traffic situation improve if part of the drivers use real-time navigation information (such as may be available via smartphone)? The research to answer this question proceeds on the assumption that a driver behaves either in a “conventional” or in a “progressive” manner. The conventional drivers move along on the route they perceived as the shortest one when they planned it before starting on their trip. The progressive drivers are informed about the current traffic situation and head for their destination dynamically by choosing the currently most advantageous link at each traffic node on their trip.

The decision processes of the informed drivers will be mapped in a simplified form and microscopically simulated using the MATSim software. A model postulated for the route choice describes the behavior of drivers guided by real-time navigation information, but not obstinately following it; their experience regarding the reliability of the traffic information also influences their route choice. The model analyzes how differing knowledge levels and modes of behavior of the drivers affect the state of the traffic system in the real-world setting of the Zurich metropolitan area.

The results of the experiments testify to the existence of great differences in respect of the load on the road network, the mean daily travel times and the consequential

properties of a trip up to the driver's arrival time at his destination. – A key result is that all drivers benefit even when only part of them navigate by using current traffic information. Further results show in detail the time savings that each of the two classes of drivers achieves, and also how the entirety of drivers benefits from certain shares of informed drivers. Especially interesting for the analyst is the finding that the effect of descriptive and normative behavior in respect of route choice varies significantly. The scenario's estimated mean saving potential of about 25 percent can be fully exploited if the informed drivers behave in a disciplined manner and follow the recommended links.

When 30 percent of the drivers in the Zurich metropolitan area are guided by real-time navigation system information and comply exactly with it, the traffic density will be reduced from 118 vehicles to 56 vehicles per kilometer, and traffic speed will increase from four to 22 kilometers per hour. Starting from a share of 50 percent of informed drivers, traffic density will diminish to just above 30 vehicles per kilometer, and a driver will reach his destination at an average speed of little more than 50 kilometers per hour. The better distribution of the traffic may triple the distance of an informed driver, it is true; and yet it amounts to an 84 percent time saving for all drivers. – However, if more than 70 percent of the drivers go by real-time navigation system information, the traffic situation will again deteriorate to as many as 43 vehicles per kilometer moving at a speed of 34 kilometers per hour.

This (probably unexpected) deterioration of the traffic situation at a high share of drivers being guided by real-time navigation system information asks for more research. Further analyses are required. Most likely they will show that to prevent this unwanted effect, the quality of the information must be improved. The hypothesis that suggests itself is that navigation system guidance must be based on marginal cost, which in turn requires that the traffic densities and the time-flow-capacity curves of the links are measured exactly, and that this information is made available in real time.

Notes: (1) The mentioned traffic data is self-consistent and serves the purpose of comprehensively expressing the relations within the system. (2) Every model of a real socio-economic system is inaccurate, on the one hand, due to irregularly occurring effects (stochastic effects) and, on the other hand, because not all system-related influences can be taken into account. The results of the simulation of concrete scenarios can also vary because they are differently configured and calibrated. (3) The purpose of the model is to demonstrate the interaction between the microscopic level (that of the driver's decision) and the macroscopic level (the state of the traffic).

## KURZFASSUNG

Die Entwicklung der Informationstechnologie rückt alte Fragen des Transports rund um das Problem der Überlastung von Verkehrsnetzen in ein neues Licht. Im Mittelpunkt dieses Fortschritts steht der mediale Wissenserwerb von Autofahrern. Die neue Art der räumlichen Orientierung wird an typischen Situationen untersucht. Die Arbeit geht aus von folgendem Beispielszenarium: Der Verkehrsraum Zürich ist überlastet. Die Fahrzeuge bewegen sich im Schrittempo. Die Verkehrsnachfrage erzeugt ein mittleres Volumen von 118 Fahrzeugen pro Kilometer. Jeder Fahrer hat seinen Weg mit Hilfe eines im Handel üblichen Routenplaners festgelegt und bleibt auf seiner kürzesten Route.

Die Fragestellung, der die Studie auf den Grund geht, lautet: Wie stark verbessert sich die Verkehrslage, wenn ein Teil der Fahrer eine (z. B. über Smart-Phones verfügbare) Echtzeitnavigation nutzt? Es gilt die Annahme, dass sich ein Fahrer entweder in „konventioneller“ Weise verhält oder „fortschrittlich“ agiert. Die konventionellen Fahrer bewegen sich auf den vor der Reise festgelegten kürzesten Routen. Die fortschrittlichen Fahrer sind über die Verkehrslage informiert und steuern ihre Ziele dynamisch an, indem sie an jedem Verkehrsknoten ihrer Reise die aktuell günstigste Verbindung wählen.

Die Entscheidungsprozesse der informierten Fahrer werden in vereinfachter Form abgebildet und mit der Software MATSim mikroskopisch simuliert. Ein für die Routenwahl postuliertes Modell beschreibt das Verhalten von Fahrern, die navigiert sind, aber der Information nicht immer stur folgen; ihre Erfahrung bezüglich der Zuverlässigkeit der Verkehrsinformation spielt bei der Wahl der Routen eine Rolle. Am realen Fall des Verkehrsbereichs Zürich analysiert das Modell die Wirkung unterschiedlicher Wissensstufen und Verhaltensweisen der Fahrer auf den Zustand des Verkehrssystems.

Die Ergebnisse der Versuche belegen große Unterschiede bezüglich der Belastung des Verkehrsnetzes, der mittleren täglichen Reisezeiten und der damit verbundenen Merkmalen einer Fahrt bis hin zur Ankunftszeit des Fahrers an seinem Ziel. – Ein

Schlüsselergebnis ist darin zu sehen, dass alle Fahrer profitieren, selbst wenn nur ein Teil davon navigiert ist. Weitere Ergebnisse zeigen detailliert auf, welche Zeitersparnisse die beiden Klassen von Fahrern jeweils für sich verbuchen; ferner, wie die Gesamtheit der Fahrer von gewissen Anteilen informierter Fahrer profitiert. Selbst die Wirkung von deskriptivem und normativem Verhalten bei der Wahl der Routen variiert signifikant. Diese Einsicht ist besonders für den Analytiker interessant. Das Ersparnispotenzial des Szenariums kann ausgeschöpft werden, wenn sich die dynamisch informierten Fahrer diszipliniert verhalten und den empfohlenen Verbindungen folgen.

Wenn 30 Prozent der Fahrer im Großraum Zürich navigiert sind und sich genau an die Information halten, reduziert sich das Verkehrsaufkommen von 118 Fahrzeugen auf 56 Fahrzeuge pro Kilometer, und das Tempo steigt von vier auf 22 Kilometer pro Stunde an. Ab einem Anteil von 50 Prozent informierter Fahrer sinkt die Dichte des Verkehrs auf knapp über 30 Fahrzeuge pro Kilometer, und ein Fahrer kommt durchschnittlich mit etwas mehr als Tempo 50 an sein Ziel. Die bessere Verteilung des Verkehrs mag die Wegstrecke eines informierten Fahrers verdreifachen, sie bringt jedoch eine Zeitersparnis von 84 Prozent für alle Fahrer. – Sind mehr als 70 Prozent der Fahrer navigiert, verschlechtert sich die Verkehrslage erneut auf bis zu 43 Fahrzeuge pro Kilometer bei einer Geschwindigkeit von 34 Kilometer pro Stunde.

Die (wohl unerwartete) Verschlechterung der Verkehrslage bei einem hohen Anteil navigierter Fahrer erfordert eine Klärung. Weitere Analysen sind nötig. Sie werden vermutlich ergeben, dass die Qualität der Information erhöht werden muss, um diese unerwünschte Wirkung verhindern zu können. Es liegt die Hypothese nahe, dass die Navigation auf der Basis von Grenzkosten erfolgen muss, was eine genaue Messung der Verkehrsdichten und der Leistungskurven der Verbindungen sowie die Verfügbarkeit dieser Information in Echtzeit voraussetzt.



Anmerkungen: (1) Die genannten Verkehrsdaten sind selbst-konsistent und dienen dem Zweck, die Beziehungen innerhalb des Systems verständlich auszudrücken. (2)

Jedes Modell eines realen, sozioökonomischen Systems ist ungenau, einesteils durch unregelmäßig auftretende Einflüsse (stochastische Effekte) und anderenteils, weil nicht alle systematisch bedingten Einflüsse berücksichtigt werden können. Die Ergebnisse der Simulation konkreter Szenarien können auch dadurch variieren, dass sie unterschiedlich konfiguriert und kalibriert sind. (3) Der Zweck des Modells ist, die Wechselwirkung zwischen der mikroskopischen Ebene (der Entscheidung des Fahrers) und der makroskopischen Ebene (dem Zustand des Verkehrs) aufzeigen zu können.