



Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen

Méthodologie pour établir l'utilité des dosages de trafic

**Methodology for estimating the benefits of
traffic metering**

büro widmer ag
Paul Widmer
Thomas Buhl
Philippe Aemisegger

IVT ETH Zürich
Jeremy Hackney
Marcel Rieser

Dienstabteilung Verkehr, Stadt Zürich
Joos Bernhard

**Forschungsprojekt SVI 2007/020 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 «Projektabschluss», welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 «Clôture du projet», qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion: Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 «conclusione del progetto», che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 «Project Conclusion» which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen

Méthodologie pour établir l'utilité des dosages de trafic

**Methodology for estimating the benefits of
traffic metering**

büro widmer ag
Paul Widmer
Thomas Buhl
Philippe Aemisegger

IVT ETH Zürich
Jeremy Hackney
Marcel Rieser

Dienstabteilung Verkehr, Stadt Zürich
Joos Bernhard

**Forschungsprojekt SVI 2007/020 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Paul Widmer

Mitglieder

Dr. Jeremy Hackney

Dr. Marcel Rieser

Thomas Buhl

Philippe Aemisegger

Joos Bernhard

Begleitkommission

Präsident

Dr. Arnd König, Amt für Verkehr, Kanton Zürich

Mitglieder

Markus Büchler, Tiefbauamt Stadt Zürich

Simon Kettner, Bau- und Verkehrsdepartement, Basel

Marc Laube, Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon

Christoph Lieb, Ecoplan, Bern

Alain Maradan, Tiefbauamt des Kantons Bern

Werner Müri, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Aarau

Marcus Riedi, VBZ, Zürich

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Impressum | 4 |
| | Zusammenfassung | 7 |
| | Résumé | 9 |
| | Summary | 11 |
| 1 | Einleitung | 13 |
| 1.1 | Ausgangslage | 13 |
| 1.2 | Zielsetzung | 13 |
| 1.3 | Aufbau des Berichtes | 14 |
| 2 | Prinzip der Verkehrsdosierung..... | 15 |
| 2.1 | Zielsetzungen | 15 |
| 2.2 | Wirkungsweise | 15 |
| 2.2.1 | Einleitung..... | 15 |
| 2.2.2 | Wirkungsmodell..... | 16 |
| 2.3 | Einsatzgebiete der Verkehrsdosierung | 18 |
| 2.3.1 | Einleitung..... | 18 |
| 2.3.2 | Rampendosierung..... | 18 |
| 2.3.3 | Einfahrtdosierung in städtische Netze..... | 20 |
| 3 | Bewertungskonzept | 21 |
| 3.1 | Auswirkungen der Verkehrsdosierung | 21 |
| 3.1.1 | Auswirkungen auf den MIV | 21 |
| 3.1.2 | Auswirkungen auf den ÖV | 21 |
| 3.1.3 | Auswirkungen auf den LV | 22 |
| 3.1.4 | Auswirkungen auf die Umwelt..... | 22 |
| 3.2 | Grobbeurteilung anhand der Verkehrsmodell-Outputs | 22 |
| 3.3 | Umfassendere Bewertung..... | 23 |
| 3.3.1 | Bewertungsmethoden | 23 |
| 3.3.2 | Indikatorensystem | 23 |
| 3.3.3 | Vergleichszeitpunkt | 23 |
| 3.3.4 | Hinweise zum Wertgerüst | 25 |
| 3.3.5 | Hinweise zum Mengengerüst..... | 28 |
| 4 | Modellierungs-Tools | 33 |
| 4.1 | Einleitung..... | 33 |
| 4.2 | Typisierung nach einzusetzenden Modellierungs-Tools | 33 |
| 4.3 | Anforderungen an die Modellierungstools | 34 |
| 4.3.1 | Modellierung einer Dosierung vom Typ 1 (Rampendosierung) | 34 |
| 4.3.2 | Modellierung einer Dosierung vom Typ 2 (kleines Netz, Korridor) | 37 |
| 4.3.3 | Modellierung einer Dosierung vom Typ 3 (komplexe Situationen) | 39 |
| 5 | Fallbeispiele..... | 45 |
| 5.1 | Wahl der Fallbeispiele..... | 45 |
| 5.2 | Fallbeispiel Typ 1 einer Verkehrsdosierung (Rampendosierung)..... | 45 |
| 5.2.1 | Situation und Untersuchungsgegenstand | 45 |
| 5.2.2 | Modellerstellung | 46 |
| 5.2.3 | Modellergebnisse | 47 |
| 5.2.4 | Bewertung | 58 |
| 5.2.5 | Diskussion der Ergebnisse und der Methodik..... | 59 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Fallbeispiel Typ 2 einer Verkehrsdosierung (einfaches Netz) | 60 |
| 5.3.1 | Situation und Fragestellung | 60 |
| 5.3.2 | Modellkonzept | 62 |
| 5.3.3 | Modellanwendung und -ergebnisse | 64 |
| 5.3.4 | Bewertung | 66 |
| 5.3.5 | Diskussion der Methodik und der Ergebnisse | 71 |
| 5.4 | Fallbeispiel Typ 3 einer Verkehrsdosierung (städtisches Netz)..... | 72 |
| 5.4.1 | Situation und Fragestellung | 72 |
| 5.4.2 | Modellkonzept | 73 |
| 5.4.3 | Modellanwendung und -ergebnisse | 79 |
| 5.4.4 | Bewertung | 87 |
| 5.4.5 | Diskussion der Methodik und der Ergebnisse | 93 |
| 6 | Fazit und Empfehlungen | 95 |
| | Anhänge | 97 |
| | Abkürzungen | 105 |
| | Literaturverzeichnis | 106 |
| | Projektabschluss | 109 |
| | Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen | 112 |
| | SVI Publikationsliste | 122 |

Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit werden eine Methodik und das dazu notwendige Instrumentarium entwickelt, um den volkswirtschaftlichen Nutzen eines Verkehrsdosierungskonzeptes abzuschätzen.

Eine allgemeine Beurteilung des Nutzens von Verkehrsdosierungen ist ausdrücklich nicht Gegenstand der Forschungsarbeit. Eine solche wäre auch gar nicht möglich, da der Nutzen einer Verkehrsdosierung sehr stark von der jeweiligen Situation abhängt.

Die generelle Wirkungsweise einer Verkehrsdosierung wird anhand eines einfachen Wirkungsmodells dargestellt. An den Beispielen der Rampendosierung und der Einfahrtdosierung in ein städtisches Netz wird sie ausführlicher beschrieben.

Für die Bewertung der Auswirkungen einer Verkehrsdosierung wird ein Konzept auf der Basis von NISTRA und der VSS-Normen zum Themenbereich "Kosten-Nutzen-Analyse" vorgeschlagen und erläutert.

Den Kern der Forschungsarbeit bilden die Entwicklung und Beschreibung von Modellierungs-Tools für die Abbildung der Auswirkungen von Verkehrsdosierungen. Generell wird festgestellt, dass sich dazu herkömmliche statische Makro-Verkehrsmodelle nicht eignen. Es werden drei Typen von Dosierungssituationen unterschieden, für deren Behandlung unterschiedlich komplexe Modellierungs-Tools erforderlich sind:

Beim Typ 1 beschränken sich die Auswirkungen auf das Fahrverhalten (zum Beispiel bei Rampendosierung), für deren Abbildung ein Verkehrs-Mikrosimulationsmodell am besten geeignet ist.

Beim Typ 2 ist mit Routenwahlveränderungen, aber nicht mit Veränderungen der Verkehrsnachfrage resp. des Modal Split zu rechnen. Hier ist der Einsatz eines dynamischen mesoskopischen Verkehrsumlegungsmodells vorzusehen.

Beim Typ 3 handelt es sich um den generellen Fall einer Verkehrsdosierung (z.B. in einem städtischen Netz), durch welche das Mobilitätsverhalten der betroffenen Bevölkerung insgesamt beeinflusst wird. Für diesen Fall wurde in der Forschungsarbeit ein umfassendes Modellsystem entwickelt, in welchem ein agentenbasiertes Nachfragemodell (MATSim) mit einem dynamischen mesoskopischen Umlegungsmodell (DynusT) interagieren und in einem iterativen Simulationsprozess die verkehrlichen Auswirkungen der Verkehrsdosierung abbilden. Für die Auswertung der umfangreichen und detaillierten (z.T. fahrzeugfeinen) Modelloutputs wurden Auswerte-Tools entwickelt, welche die Arbeit erleichtern und z.B. Dateien schreiben, welche für die Analyse in übliche Statistikpakete eingelesen werden können.

Die Verkehrsmodelle und die Bewertungsmethodik werden an drei Fallbeispielen, je eines pro Dosierungs-Typ, angewendet. Dabei interessieren weniger die Resultate an sich¹ als vielmehr die Demonstration der Modellanwendungen, der Analyse der Modellergebnisse und des Bewertungsprozesses. Als wichtiges Ergebnis dieses Arbeitsschrittes können die Anwendbarkeit der Modellierungs-Tools und die Zweckmäßigkeit der Modelloutputs als Datengrundlage für die Bewertung bestätigt werden. Die Anwendung an den Fallbeispielen hat auch gezeigt, dass die Kalibration und Validation der Modellierungs-Tools anspruchsvoll und aufwändig sind. In der Praxis muss für diesen wichtigen Schritt ausreichend Zeit im Projektablauf eingeräumt werden.

¹ Der Nutzen aller drei Fallbeispiele hat sich als negativ erwiesen. Dieses Ergebnis darf aber auf keinen Fall verallgemeinert werden; es gilt nur für die drei Fallbeispiele und nicht generell für Verkehrsdosierungen.

Mit der Forschungsarbeit konnten der Praxis wertvolle Instrumente für die Analyse und Bewertung von Verkehrsdosierungen, aber auch anderer Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen, bereitgestellt werden. Alle entwickelten Programme sowie die Open Source Software von MATSim und DynusT sind auf dem Server der Firma Senozon AG unter dem folgenden Link abrufbar: <http://www.senozon.com/svi-2007-020>.

Résumé

Par cette recherche, ont été développés une méthodologie et les instruments nécessaires à évaluer l'utilité économique à court terme découlant d'une conception de dosage du trafic.

Une évaluation générale de l'utilité des dosages du trafic n'est explicitement pas partie de la recherche. Tel serait également impossible, parce que les avantages d'un dosage du trafic dépendent très fortement de la situation spécifique.

L'impact général d'un dosage du trafic est représenté à l'aide d'un modèle simple des effets. Cet impact est décrit plus en détail par des exemples de dosages de rampes et d'accès dans un réseau urbain.

Pour évaluer les effets d'un dosage du trafic, une conception basée sur les outils de NIS-TRA et les normes VSS du domaine des analyses coûts / avantages est proposée et expliquée.

Le cœur de la recherche est constitué par le développement et la description des outils de modélisation pour représenter les effets de dosages du trafic. D'une manière générale, il en ressort que les modèles de transport usuels et statiques ne sont pas appropriés. Trois types de situations de dosage sont distingués, pour le traitement desquels des outils de modélisation d'une complexité différente sont nécessaires:

Avec le type 1, les effets sont limités au comportement des conducteurs pendant le trajet (par exemple en cas de dosage de rampes), pour la représentation desquels un modèle de micro-simulation du trafic est le plus approprié.

Avec le type 2, il faut compter sur des changements dans le choix des itinéraires, mais pas dans la demande en déplacements ou dans la répartition entre les moyens de transport. Il faut ici prévoir le recours à un modèle dynamique et mésoscopique d'affectation du trafic.

Avec le type 3, c'est le cas général du dosage de trafic dont il est question (par exemple pour un réseau urbain), qui influence le comportement en matière de mobilité de toute la population concernée. Pour ce cas, la recherche a développé un système de modélisation dans lequel interagissent un modèle de demande basé sur des agents (MATSim) et un modèle d'affectation dynamique et mésoscopique (DynusT), ce qui permet par un processus itératif de simulation de représenter les effets du dosage du trafic sur les transports. Pour le dépouillement des nombreux résultats détaillés de la modélisation (en partie au niveau des véhicules), des outils spécifiques ont été développés afin de faciliter le travail et, par exemple, de générer des fichiers qui peuvent être directement repris pour des analyses avec les logiciels statistiques usuels.

Les modèles de transports et la méthodologie d'évaluation sont appliqués à un exemple pour chacun des trois types de dosage. La démonstration des applications de modèles, l'analyse de leurs résultats et les procédures d'évaluation sont plus intéressantes que les résultats eux-mêmes². A l'issue de cette étape du travail, l'important est la confirmation de l'application des outils de modélisation et de l'adéquation des résultats des modèles. L'application aux exemples a aussi montré que le calibrage et la validation des outils de modélisation sont exigeants et coûteux. En pratique, il faut prévoir pour cette importante étape suffisamment de temps lors du déroulement d'un projet.

Cette recherche a permis de préparer des instruments précieux pour analyser et évaluer en pratique non seulement les dosages de trafic mais aussi d'autres mesures de gestion de la circulation. Tous les programmes développés ainsi que les codes sources ouverts de MATSim et de DynusT peuvent être demandés au serveur de l'entreprise Senozon AG via le lien <http://www.senozon.com/svi-2007-020>.

² Les avantages de ces trois études de cas s'est avéré être négatif. Ce résultat ne peut pas être généralisé à tous les cas; elle s'applique seulement aux trois études de cas et non pour des dosage du trafic en générale.

Summary

This research develops a methodology and a corresponding toolkit to estimate the short-term economic utility resulting from a traffic metering strategy.

A general assessment of the usefulness of traffic metering is explicitly not part of the research. Such would be impossible, because the benefits of traffic metering depend very strongly on the specific situation.

The general principle and system dynamics of traffic metering are represented in a schematic model. This conceptual model is then illustrated using the examples of applications to ramp-metering and a metering cordon around an urban road network.

To evaluate the impacts of a traffic metering strategy, a method based on NISTRAs and the "Cost-Benefit-Analysis" norms of the VSS is suggested and elucidated.

The focus of the research consists of the development and description of modelling tools for the representation of the impacts of traffic metering. Generally, it is recognized that common static macroscopic traffic models are not suited to this purpose. Three types of metering situations are differentiated: In type 1 the impacts are limited to the effects on driving behavior (for example via ramp metering), the representation of which is best achieved in a traffic microsimulation model. In type 2, changes are expected to route choice, but not to the travel demand or to mode choice. In this case, a dynamic mesoscopic assignment model is preferred. Type 3 is concerned with the general case of traffic metering (for example, in an urban network), which influences the very mobility habits of the affected population. For this case a comprehensive modelling system was developed in which an agent-based demand model (MATSim) interacts with a dynamic mesoscopic assignment model (DynusT), and in an iterative simulation procedure represents the effects on traffic of the metering strategy. For the evaluation of the comprehensive and detailed (in part vehicle-specific) model output, special evaluation tools were developed which simplify the work and, for example, write files which can be read into common data analysis programs.

The traffic models and the evaluation methodology are applied to three case studies, one for each type of metering situation outlined above. Inasmuch, the focus lies less on the results³ as on the demonstration of the model applications, the analysis of the model results, and the evaluation process. An important result of this step of the work is the ability to confirm the applicability of the modelling tool and the suitability of the output datasets as a basis for the utility evaluations. The application to the case studies also showed that the calibration and validation of the modelling tools is complex and costly (time-consuming). In practice, sufficient time would need to be planned in the project for these important steps.

With this research, valuable tools have been made available for the analysis and evaluation of traffic metering systems, but also of other traffic-influencing measures. All developed programs and Open Source software from MATSim and DynusT can be downloaded from the server of Senozon AG under the following link: <http://www.senozon.com/svi-2007-020>.

³ The benefits of all three case studies turned out to be negative. This result may not be generalized to any case; it applies only to the three case studies and not for traffic metering in general.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Ein zu hoher Zufluss von motorisiertem Individualverkehr in ein gesättigtes Strassennetz führt zu Stau. Zuerst tritt dieser lokal an einzelnen Knoten resp. Engpässen auf, ohne dass die Leistungsfähigkeit des Netzes beeinträchtigt wird. Hält der zu grosse Zufluss an, bildet sich Rückstau, welcher stromaufwärtsliegende Knoten blockiert. In der Folge kann der Verkehr in ausgedehnten Netzteilen zum Erliegen kommen, was im Volksmund als "Verkehrskollaps" bezeichnet wird. Um diese Situation zu vermeiden – oder zumindest die Wahrscheinlichkeit von deren Auftreten zu reduzieren – wird, wenn ein Kapazitätsausbau nicht möglich oder nicht erwünscht ist, der in das überlastungsgefährdete Strassennetz einführende Verkehr dosiert.

Die Verkehrsdosierung ist in der Regel ein Element eines umfassenden Betriebs- und Steuerungskonzeptes (siehe z.B. Dönier et al., 2012 und Dönier et al., 2013) zur Gewährleistung eines flüssigen Verkehrsablaufes und eines störungsfreien Betriebes des öffentlichen Verkehrs innerhalb des Wirkungssperimeters, zur Vermeidung von Ausweichverkehr über das untergeordnete Strassennetz oder generell zur Entlastung empfindlicher Siedlungsgebiete von wiederkehrendem Verkehrsstau.

Der unmittelbare Nutzen von Verkehrsdosierungen besteht in der Verlagerung von Stau aus empfindlichen Gebieten an Orte, wo er weniger stört. An den Dosierstellen entstehen für die zurückgehaltenen Verkehrsteilnehmer Wartezeiten, während sich im Wirkungssperimeter reduzierte Reisezeiten und eine erhöhte Verlässlichkeit für den MIV, den ÖV und den Güterverkehr (Planbarkeit der Lieferzeiten, höhere Produktivität) ergeben können.

Diese Veränderungen wichtiger Angebotsvariablen im Verkehrssystem können das kurzfristige Verkehrs- und Mobilitätsverhalten, längerfristig auch Standortentscheide oder den Besitz von Mobilitätswerkzeugen beeinflussen. Dies kann Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch, die Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen, das Unfallgeschehen usw. haben. Ob aus volkswirtschaftlicher Sicht die Vorteile die Nachteile sowie die Kosten für Installation, Betrieb und Unterhalt einer Dosierung im Einzelfall aufwiegen, ist in der Regel nicht offensichtlich.

Diese offene Frage soll im Rahmen dieser vom SVI ausgeschriebenen Forschungsarbeit behandelt werden. Dabei kann es aber nicht darum gehen, eine allgemeingültige Antwort zu finden. Eine solche kann es auch nicht geben, weil die möglichen Auswirkungen einer Verkehrsdosierung in komplexer Weise von der jeweiligen Situation abhängen. Zur Abschätzung der Auswirkungen, welche den volkswirtschaftlichen Nutzen einer Verkehrsdosierung bestimmen, ist ein geeignetes methodisches Vorgehen und Instrumentarium erforderlich.

1.2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes ist es, eine für die Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nutzens eines geplanten (oder bestehenden) Verkehrsdosierungskonzeptes geeignete Methodik und das dazu notwendige Instrumentarium zu entwickeln. Dabei soll der Fokus auf den kurzfristigen Auswirkungen einer Dosierung liegen. Die längerfristigen Auswirkungen auf die Standortwahl, den Besitz von Mobilitätswerkzeugen usw. sind nicht Gegenstand der Arbeit.

Als Kernelement des Projektes ist ein geeignetes Instrumentarium zu erstellen, welches es erlaubt, die oben aufgeführten Veränderungen des Mobilitätsverhaltens und deren Einfluss auf das Verkehrsgeschehen modellmässig abzubilden. Dazu muss es u.a. folgende Anforderungen erfüllen:

- Modellierung der Abfahrtszeit
- Wegekettens-basiert
- Multimodal (MIV, ÖV, LV)
- dynamische Umlegung des MIV mit detaillierter Berücksichtigung der Zeitverluste an Knoten und Engpässen sowie der Überstauung von Knoten
- Output von Verkehrsbelastungen, Reisezeiten und Reisedistanzen, Verlässlichkeit (Variabilität der Reisezeiten), Verkehrsqualität (als Input für Emissions- und Energieverbrauchsrechnungen) usw.

Der praktische Einsatz des erstellten Instrumentariums soll an Fallbeispielen demonstriert werden.

1.3 Aufbau des Berichtes

Im folgenden zweiten Kapitel wird das Prinzip der Verkehrsdosierung beschrieben. Für die Darstellung der grundsätzlich zu erwartenden Auswirkungen einer Verkehrsdosierung wird ein generelles Wirkungsmodell erstellt und es werden typische Einsatzgebiete für Verkehrsdosierungen vorgestellt.

Das dritte Kapitel gibt Hinweise zu einem möglichen Vorgehen zur Bewertung der Kosten und Nutzen einer Verkehrsdosierungsanlage.

Den Kern des Forschungsberichtes bildet das vierte Kapitel, in welchem vorhandene Software-Produkte für die Modellierung einfacher Verkehrsdosierungen mit beschränkten Auswirkungen vorgestellt werden sowie ein neues, generell einsetzbares Modellierungstool entwickelt wird, welches für die Abschätzung der komplexen Auswirkungen von Verkehrsdosierungen auf das Mobilitätsverhalten eingesetzt werden kann.

Die praktische Anwendung der Modellierungstools und ein zweckmässiges Vorgehen zur Abschätzung des Nutzens von Verkehrsdosierungen werden im fünften Kapitel an drei Fallbeispielen demonstriert.

Im sechsten Kapitel schliesslich wird das Fazit aus den durchgeführten Arbeiten gezogen. Empfehlungen für die Modellierung der Auswirkungen von Verkehrsdosierungen und Hinweise zum weiteren Forschungsbedarf schliessen den Bericht ab.

2 Prinzip der Verkehrsdosierung

2.1 Zielsetzungen

Verkehrsstau entsteht, wenn zu viele Verkehrsteilnehmer gleichzeitig eine Verkehrsinfrastruktur mit beschränkter Kapazität benutzen möchten. Im besten Fall führt dies zu Rückstau und entsprechenden Wartezeiten, während die Kapazitäten noch weitgehend vollständig genutzt werden. Rückstau an einem Ort kann aber schnell zu Rückstau an andern Orten und einer Blockierung ganzer Netze führen. An sich vorhandene Kapazitäten können dann nicht mehr genutzt werden und übermässige Wartezeiten, reduzierte Verkehrssicherheit und erhöhte Umweltbelastungen sind die Folge (Papageorgiou. et al., 2003) Die Grundidee der Verkehrsdosierung (synonyme Begriffe sind Pfortnerung oder Tropfenzählersystem) besteht darin, Verkehrsstau, welcher nicht durch eine Kapazitätserweiterung oder eine Umfahrung vermieden werden kann oder soll, dorthin zu verlagern, wo er weniger störende Auswirkungen verursacht⁴. Im Vordergrund stehen dabei die folgenden Zielsetzungen:

- Möglichst störungsfreier und emissionsarmer Verkehrsablauf im Siedlungsgebiet, insb. z.B. in Zentrumsgebieten
- Vermeidung von Behinderungen des Bus- und Trambetriebes durch Stausituationen im MIV
- Vermeidung von Stau auf Hochleistungsstrassen mit seinen negativen Auswirkungen auf die Kapazität und die Verkehrssicherheit
- Vermeidung von Ausweichverkehr über das untergeordnete Strassennetz.

2.2 Wirkungsweise

2.2.1 Einleitung

In der Regel ist die Verkehrsdosierung ein Element eines umfassenden Betriebs- und Steuerungskonzeptes. Sie erfolgt nicht permanent, sondern abgestimmt auf die aktuelle Verkehrssituation. Diese wird laufend mit entsprechenden Detektionsmitteln erfasst. In Anlehnung an Dönier et al. (2013) lassen sich die drei in der folgend Abbildung dargestellten Perimeter unterscheiden:

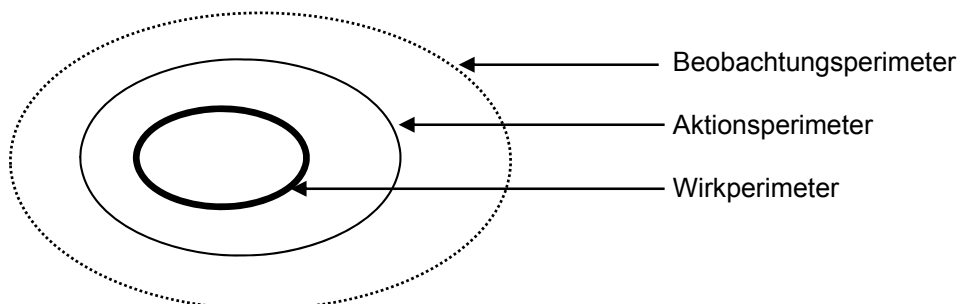


Abbildung 1: Prinzip der Perimeter-Anordnung eines Verkehrsdosierungskonzeptes

Innerhalb des Beobachtungsperimeters wird das Verkehrsaufkommen auf den Richtung Wirkperimeter führenden Strassenachsen beobachtet. Aufgrund der von Detektoren gelieferten Daten werden die Massnahmen zur Dosierung festgelegt, welche am Aktionspe-

⁴ Eine spezielle Anwendung der Verkehrsdosierung – welche im vorliegenden Bericht nicht behandelt wird – ist das z.B. am Gotthardtunnel zum Einsatz gelangende "Tropfenzählersystem", mit welchem der Anteil des Schwerverkehrs und die Zeitlücken im Verkehr gesteuert werden.

rimeter umgesetzt werden. Der Wirkperimeter ist jener Bereich, welcher von der Verkehrsdosierung am Aktionsperimeter profitiert.

In einem adaptiven System erfolgt die Dosierung resp. die Verkehrsnetzsteuerung so, dass bei der aktuellen Verkehrslage im Wirkperimeter ein störungs- und möglichst rückstaufreier Verkehrsablauf unter Berücksichtigung der Bedürfnisse des ÖV, der Radfahrer und der Fussgänger gewährleistet ist. Dazu gelangen Verkehrsmanagement-Systeme zum Einsatz, welche mit Hilfe von Online-Verkehrsmodellen und aktuellen Verkehrsdaten zeitgerecht die Verkehrssteuerung optimieren. Weniger ausgeklügelte Systeme beruhen auf der verkehrs- oder tageszeitabhängigen Wahl von festen Programmen zur Verkehrssteuerung.

Mit den steuerungstechnischen Eingriffen in den Verkehrsablauf ändern sich (innerhalb und ausserhalb des Wirkperimeters) im Tagesverlauf die Angebotsparameter des Verkehrssystems. Auf diese reagieren die Verkehrsteilnehmer durch Anpassung ihrer Aktivitäten und ihres Mobilitätsverhaltens, i.d.R. nach dem Prinzip der subjektiven persönlichen Nutzenmaximierung.

Kurzfristig können davon die folgenden Verkehrsentscheide betroffen sein:

- Wahl des Tagesplanes (Reihenfolge und Dauer der Aktivitäten)
- Bildung von Wegekettten
- Wahl der Abfahrtszeiten
- Wahl der Ziele
- Wahl der Verkehrsmittel
- Wahl der Routen

Längerfristig sind – wie einleitend erwähnt – auch Anpassungen des Wohn- und Arbeitsortes sowie des Besitzes von Mobilitätswerkzeugen denkbar. Auf die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsdosierung und Verkehrsverhalten wird eingehender im folgenden Kapitel eingegangen.

2.2.2 Wirkungsmodell

a) Komplexe Situationen

Generell bewirkt die Verkehrsdosierung durch das Zurückhalten von Fahrzeugen am Aktionsperimeter längere Wartezeiten für den MIV. Dafür sollen im Wirkperimeter die Verlustzeiten, sei es auf Strecken oder an Knoten, und die Variabilität der Reisezeiten sowohl für den MIV als auch den strassengebundenen ÖV abnehmen. Das Ausmass dieser Veränderungen der Verkehrsqualität hängt von der örtlichen Situation ab, insbesondere von der Ausprägung des Verkehrsangebotes (z.B. Kapazität der Knoten und Strecken des Strassennetzes) und der aktuellen Verkehrsnachfrage (Verkehrsbelastungen).

Auf die Veränderung der Verkehrsqualität der bisher durchgeführten Wege reagieren die Verkehrsteilnehmer durch Überprüfung und allenfalls Anpassung ihrer bisherigen Aktivitätenpläne (Art, Reihenfolge, Beginn und Dauer der Aktivitäten) und Mobilitätsentscheide (Wahl von Ziel, Verkehrsmittel, Route und Abfahrtszeit). Im Vordergrund stehen dabei sicher Anpassungen der Abfahrtszeit, der Route und des benutzten Verkehrsmittels (MIV, ÖV oder LV).

Die individuellen Mobilitätsentscheide verändern in der Summe die Verkehrsnachfrage und als Folge die Verkehrsqualitäten. Die Verkehrsteilnehmer lernen und passen wiederum ihre Aktivitätenpläne an. Dieser in der folgenden Abbildung dargestellte Lernprozess hält so lange an, bis ein neues dynamisches Gleichgewicht erreicht ist und kein Verkehrsteilnehmer mehr seine zeitabhängige Situation durch weitere Veränderungen des Aktivitätenplanes oder der Mobilitätsentscheide verbessern kann. Für die Abbildung dieser Mechanismen sind geeignete Simulationsmodelle, wie wir sie im Kapitel 4 beschreiben, erforderlich.

2.3 Einsatzgebiete der Verkehrsdosierung

2.3.1 Einleitung

Typische Einsatzgebiete von Dosierungsanlagen sind unten aufgelistet. Je nach Einsatzgebiet ist die Steuerung der Dosierung mehr oder weniger kompliziert und die dazu benötigten Sensordaten sind mehr oder weniger umfangreich. Beispiele von Einsatzgebieten sind:

- Dosierung einer einzelnen Autobahneinfahrt (Rampendosierung) zur Sicherstellung eines staufreien Verkehrsflusses auf der Hochleistungsstrasse
- Koordinierte Dosierung an mehreren Autobahneinfahrten zur Sicherstellung eines staufreien Verkehrsflusses auf einem längeren Abschnitt einer Hochleistungsstrasse oder in einem Netz von Hochleistungsstrassen
- Dosierung des von Hochleistungsstrassen ausfahrenden Verkehrs zur Vermeidung von Ausweichverkehr über das untergeordnete Strassennetz
- Dosierung in Verkehrskorridoren
- Dosierung des in städtische Netze einfahrenden Verkehrs
- Dosierung des aus grösseren Parkierungsanlagen und/oder aus untergeordneten Strassen auf die Hauptverkehrsstrasse einfahrenden Verkehrs.

In dieser Arbeit geht es nicht darum, die Funktionsweisen und die Steuerungsalgorithmen von Verkehrsdosierungen im Detail zu behandeln. Als Illustrationsbeispiele werden im Folgenden die Rampendosierung und die Dosierung der Einfahrten in ein städtisches Netz grob beschrieben.

2.3.2 Rampendosierung

Im Folgenden beschränken wir uns auf die Behandlung lokaler Rampendosierungen und deren Auswirkungen auf die lokale Verkehrssituation. Die koordinierte Dosierung mehrerer Rampen entlang einer Autobahn oder in einem Autobahnnetz hat weitergehende Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen, ähnlich denjenigen der Dosierung in einem städtischen Netz. Entsprechend ist für deren Ermittlung das gleiche Instrumentarium, welchem der Hauptfokus der vorliegenden Arbeit gilt, erforderlich.

a) Steuerungskonzept

Bei einer hohen Auslastung der Autobahn kann der auf einer Einfahrtsrampe zufließende Verkehr Fahrzeuglenker auf der Stammstrecke zu freiwilligem oder erzwungenem Abbremsen veranlassen, so dass es zu Stau kommen kann. Weil die Abflusskapazität am Kopf des Staus kleiner ist als die maximale Kapazität bei fließendem Verkehr sinkt die Leistungsfähigkeit der Autobahn und die Reisezeiten nehmen zu. Wenn sich der Rückstau über die stromaufwärts liegenden Ausfahrtsrampen erstreckt, wird auch der ausfahrende Verkehr behindert. Die Reisezeit auf der Autobahn nimmt zu und die Attraktivität, sie zu benutzen, ab. Auf dem untergeordneten Netz muss mit Mehrverkehr gerechnet werden. Mit der Rampendosierung wird versucht, den auf Einfahrtsrampen in die Autobahn einfahrenden Verkehr so zu steuern, dass er sicherer einfädelt und keinen Rückstau auf der Autobahn verursacht.

Bei der Festzeit-Rampendosierung erfolgt das Ein- und Ausschalten der Dosierung entweder tageszeitabhängig oder beim Erreichen festgelegter Schwellenwerte, z.B. beim Überschreiten einer bestimmten Fahrzeugdichte oder bei der Unterschreitung einer bestimmten Geschwindigkeit auf der Autobahn im Anschlussbereich. Die Dosierung des einfahrenden Verkehrs erfolgt dann mit einer Lichtsignalanlage, welche nach einem fixen Ablauf die Einfahrt in die Autobahn, in der Regel jeweils für ein einzelnes Fahrzeug, freigibt. Ein Beispiel dieser Steuerungsart ist die Rampendosierung an der Nordumfahrung Zürich.

Im Gegensatz dazu wird die Steuerung der Dosierung bei reaktiven Systemen aufgrund der im Bereich der Einfahrtsrampe aktuell gemessenen Verkehrsdaten (z.B. Verkehrsdichte oder Verkehrsstärke) laufend optimiert. Beispiele einer solchen Steuerungsart sind die in Kalifornien zum Einsatz gelangenden Systeme SATMS, SDRMS und TOS (CLR Analytics Inc., 2009). SATMS gehört zur Kategorie der Nachfrage-Kapazität-Strategien, bei denen die Dosierungsrate abhängig von der Differenz zwischen der Kapazität und der gemessenen Verkehrsstärke auf der Stammstrecke festgelegt wird. SDRMS und TOS sind Vertreter der Dichte-Strategie, bei der anstelle der Verkehrsstärke die Verkehrsdichte auf der Stammstrecke als Kriterium für die Rampendosierung benutzt wird.

Das wohl bekannteste und verbreitet eingesetzte lokale Rampendosier-System ist ALINEA, ein von Papageorgiou et al. (1991) entwickelter rekursiver Algorithmus. ALINEA maximiert den Durchfluss (Fahrzeuge/Zeiteinheit) auf der Autobahn, indem es versucht, die Verkehrsdichte auf der Autobahn unterhalb der Einfahrt auf einem optimalen Niveau zu halten. Dazu wird in jedem Zeitintervall k die Verkehrsdichte $O_{out}(k)$ auf der Autobahn unterhalb der Einfahrt gemessen und die Durchflussrate des im Zeitintervall k einfahrenden Verkehrs $r(k)$ nach der folgenden Formel bestimmt:

$$r(k) = r(k-1) + K_R [\hat{O} - O_{out}(k)]$$

K_R ist ein Parameter zur Regulierung der Steuerung. In der Regel wird $\hat{O} = O_{cr}$ gesetzt, wobei O_{cr} jene Verkehrsdichte bezeichnet, bei welcher die Verkehrsbelastung die Kapazität q_{cap} erreicht.

In modifizierten Versionen von ALINEA wird für die auf Rückkopplung basierende Rampendosierung die Verkehrssituation auf der Autobahn oberhalb der Einfahrt gemessen – entweder die Verkehrsstärke, die Verkehrsdichte oder beides – und als Input für die reaktive Steuerung verwendet (CLR Analytics Inc., 2010).

Dort, wo der Rückstau auf der Rampe wegen der Dosierung zu lang wird und das untergeordnete Netz blockieren könnte, muss eine Staukontrolle vorgesehen werden. Wenn diese anspricht, wird die Dosierung vorübergehend aus- oder in den "Ein Fahrzeug pro Grün-" resp. den "Zwei Fahrzeuge pro Grün"-Modus umgeschaltet. Im ersten Fall beträgt die Dosierungsrate 900 Fz/Std., im zweiten Fall unter Berücksichtigung einer üblichen Gelb-Phase von 3 Sekunden 1028 Fz/Std. (Smaragdis und Papageorgiou, 2003)

b) Berichtete Nutzen von Rampendosierungen

Papageorgiou et al. (1997) berichten über Feldversuche an einer einzelnen Einfahrtsrampe am Boulevard Périphérique in Paris und an der A10 West in Amsterdam, bei denen damals aktuelle Rampendosierungs-Methoden getestet wurden, nämlich die Nachfrage-Kapazitäts-Strategie, die Dichte-Strategie und ALINEA.

Im Fall der Périphérique zeigte sich, dass mit ALINEA die gesamte Reisezeit (Summe der Fahr- und Wartezeiten) im Betrachtungsperimeter gegenüber dem Zustand ohne Dosierung deutlich (um ca. 16%) reduziert und die mittlere Geschwindigkeit erhöht (um ca. 23%) werden konnte. Mit der Nachfrage-Kapazitäts-Strategie ergaben sich demgegenüber bei diesen Kenngrößen nur marginale Verbesserungen, mit der Dichtestrategie gar kleine Verschlechterungen.

Die Tests an der A10 West ergaben ähnliche Resultate. Gegenüber der Nachfrage-Kapazitäts-Strategie konnte mit ALINEA die gesamte Reisezeit um ca. 6% reduziert und die mittlere Geschwindigkeit um ca. 8% erhöht werden.

2.3.3 Einfahrtdosierung in städtische Netze

a) Steuerungskonzepte

Die Dosierung des in ein Stadtgebiet oder einen Korridor einfahrenden Verkehrs erfolgt mit Lichtsignalanlagen, welche am Aktionsperimeter (siehe Abbildung 1) angeordnet sind. Die Grünzeiten werden so gesteuert, dass nur eine festgelegte zulässige Menge an Fahrzeugen einfahren kann. Diese zulässige Menge hängt von den Zielvorgaben für die Verkehrsqualität (MIV und ÖV) im Wirkgebiet ab. Sie kann – abhängig von der Tageszeit – vorgegeben sein oder laufend aufgrund der aktuellen Verkehrssituation im Wirkperimeter mit modellbasierten Optimierungsmethoden berechnet werden (siehe z.B. Dönier et al., 2013).

Brilon et al. (2013) erwähnen als Beispiele aktuell in Deutschland eingesetzter adaptiver Steuerungssoftware MOTION und BALANCE. Im angelsächsischen Raum und andernorts sind, z.T. seit vielen Jahren, SCOOT⁵ und SCATS⁶ im Einsatz.

b) Berichtete Nutzen der Verkehrsdosierung

Im Metropolitanraum Twin Cities in Minnesota war im Jahr 2000 ein Verkehrsmanagement-System mit über 400 Rampendosierungs-Anlagen im Einsatz, welches zum Ziel hatte, das Einfahren in das Autobahnnetz (Gesamtlänge ca. 210 km) zu erleichtern und den Verkehr durch die Kapazitätsengpässe zu lenken. In diesem Jahr verabschiedete die Legislative von Minnesota ein Gesetz, welches das Verkehrsdepartement (Mn/DOT) verpflichtete, die Rampendosierungen auszuschalten und mit einer Vorher-/Nachherstudie die Effizienz der Rampendosierung zu untersuchen. Die erforderlichen umfangreichen Daten wurden während je 5 Wochen vor und nach der Ausschaltung gesammelt. Die Analyse ergab, dass das Ausschalten des Rampendosierungs-Systems die folgenden Auswirkungen hatte (Cambridge Systematics, Inc., 2001):

- Die Verkehrsbelastung auf den Autobahnen nahm im Durchschnitt um 9% ab, während der Spitzenstunde um 14%. Auf den parallel verlaufenden Strassen waren keine Veränderungen feststellbar.
- Auf der Autobahn sank die mittlere Geschwindigkeit. In der Summe überwogen die durch das Ausschalten der Rampendosierung entstandenen höheren Reisezeiten auf der Autobahn die reduzierten Wartezeiten auf den Rampen. Netto resultierte ein jährliche Zunahme der Summe der Reisezeiten um ca. 25'000 Stunden.
- Die Verlässlichkeit der Reisezeit verschlechterte sich um ca. 50%.
- Während der Spitzenstunde erhöhte sich die Zahl der Unfälle auf der Autobahn und den Rampen um ca. 26%.
- Die Luftschadstoff-Emissionen nahmen um über 1'000 Tonnen/Jahr, der Treibstoffverbrauch um ca.5.5 Mio. Gallonen/Jahr zu.

⁵ Siehe z.B. <http://www.scoot-utc.com/DetailedHowSCOOTWorks.php?menu=Technical> (besucht: 12.03.2014)

⁶ Siehe z.B. <http://www.scats.com.au/how-scats-works.html> (besucht: 12.03.2014)

3 Bewertungskonzept

3.1 Auswirkungen der Verkehrsdosierung

Die Einführung einer Verkehrsdosierung verursacht Kosten für die Planung, die Umsetzung (Installationskosten) und den Betrieb. Wie im Wirkungsmodell beschrieben, kann sich die Verkehrsdosierung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und damit auf den Modal Split sowie auf die Verkehrssituationen (Belastungen, Verkehrsqualität) auswirken. Das wiederum kann Auswirkungen auf die Umwelt und das Unfallgeschehen haben. Art und Umfang der zu erwartenden Auswirkungen hängen von der Ausgestaltung der Dosierung sowie von den örtlichen Gegebenheiten ab (verfügbare Alternativrouten, ÖV-Angebot usw.). Im allgemeinen Fall ist die Relevanz der im Folgenden beschriebenen Auswirkungen zu beurteilen.

Als Vergleichsbasis (Referenzfall) dient der Zustand ohne Verkehrsdosierung. In der Regel wird es darum gehen, die Auswirkungen eines Verkehrsdosierungskonzeptes gegenüber diesem Referenzfall zu bewerten.

3.1.1 Auswirkungen auf den MIV

Die Verkehrsdosierung kann sich auf die folgenden Kenngrößen des Verkehrsgeschehens auf den Strassen auswirken:

- Reisezeiten für den Stammverkehr, d.h. für Quell-Ziel-Beziehungen (Wege), welche sich infolge der Verkehrsdosierung zahlenmässig nicht verändert haben
- Reisezeiten für den Mehrverkehr, d.h. für Quell-Ziel-Beziehungen (Wege), welche sich infolge der Verkehrsdosierung zahlenmässig verändert haben
- Variabilität der Reisezeiten zwischen den Quellen i und den Zielen j (Verlässlichkeit)
- Stauzeiten⁷ an Dosierstellen und an Knoten
- Zurückgelegte Distanzen je Verkehrsregime (z.B. flüssiger Verkehr, stockender Verkehr, stop and go-Verkehr usw.)
- Verkehrsverlagerungen zwischen Strassenkategorien (Autobahn, innerorts, ausserorts)

3.1.2 Auswirkungen auf den ÖV

Bei den Dosierstellen ist sicherzustellen, dass die Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs unbehindert durchfahren können. In der Regel sind dazu Eigentrassees resp. Busspuren (physische oder elektronische) erforderlich. Bei tiefer Frequenz des ÖV, z.B. nur stündlichen Kursen, kann auch eine Räumung des Staus an der Dosierstelle ins Auge gefasst werden, damit der öffentliche Verkehr hier keine Wartezeiten erleidet. Eine Verkehrsdosierung kann Auswirkungen auf die folgenden Kenngrößen des ÖV haben:

- Mittlere Reisezeiten für den Stammverkehr, d.h. für Quell-Ziel-Beziehungen (Wege), welche sich infolge der Verkehrsdosierung zahlenmässig nicht verändert haben
- Mittlere Reisezeiten für den Mehrverkehr, d.h. für Quell-Ziel-Beziehungen (Wege), welche sich infolge der Verkehrsdosierung zahlenmässig verändert haben
- Verlässlichkeit des Betriebes (Sicherstellung der Anschlüsse)
- Einnahmen
- Betriebskosten, inkl. mögliche Einsparungen an Einsatzkursen, welche nicht mehr zur Gewährleistung der Anschlüsse nötig sind (vgl. Berg, 2004)

⁷ Stau wird hier als Stillstand ($v = 0$) definiert. Die Stauzeiten sind in den Reisezeiten enthalten. Sie werden aber separat nochmals aufgeführt, da sie möglicherweise von den Verkehrsteilnehmern anders bewertet werden als die reinen Fahrzeiten.

3.1.3 Auswirkungen auf den LV

Auch bei den Radfahrern und Fussgängern kann davon ausgegangen werden, dass für sie bei den Dosierstellen die notwendigen Vorkehrungen getroffen werden, damit sie hier keine Komforteinbusse erleiden.

Innerhalb und ausserhalb des Wirkperimeters kann sich der Komfort für Fussgänger und Radfahrer verändern, wenn die Verkehrsdosierung Belastungsänderungen auf Strassenabschnitten bewirkt, sei es infolge der dosierten Verkehrsmengen, Routenwahländerungen oder Modal Split-Veränderungen.

Für Radfahrer können sich kürzere Wartezeiten an LSA ergeben, wenn sie die gleiche Phase benutzen wie der MIV. Die Einsparung wird aber im Vergleich zu jener beim MIV deutlich kleiner sein, da bei den Radfahrern die Zeit für den Rückstau-Abbau in der Regel entfällt. Auch für die Fussgänger können sich etwas kürzere Wartezeiten an LSA ergeben, wenn z.B. die Umlaufzeiten verkürzt werden können. In der Regel werden sich aber die Wartezeiten der Fussgänger beim Überqueren von Strassen nicht spürbar verändern, da stockender Kolonnenverkehr im Vergleich zu flüssigem Verkehr kaum mehr Wartezeiten für Fussgänger zur Folge hat. Auch auf das Unfallgeschehen im Fussgänger- und Radverkehr wird sich eine Verkehrsdosierung kaum messbar auswirken.

Die Bewertung der Auswirkungen auf den Langsamverkehr kann damit auf die Qualitätsveränderungen beschränkt werden, während Reisezeiten (Mittelwerte und Verlässlichkeit) sowie Unfälle ausser Acht gelassen werden können.

3.1.4 Auswirkungen auf die Umwelt

Die veränderten Verkehrsbelastungen und -regimes haben Auswirkungen auf die Lärmbelastungen an den betroffenen Strecken sowie auf die Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen.

Der Bau von Busspuren oder Radwegen an den Dosierstellen kann sich auf die Bodenversiegelung und auf das Orts- und Landschaftsbild auswirken.

3.2 Grob beurteilung anhand der Verkehrsmodell-Outputs

Eines der Hauptziele der Verkehrsdosierung ist die Verbesserung des Verkehrsflusses, d.h. eine Reduktion der Wartezeiten und der Anzahl unfreiwilliger Halte im Untersuchungsgebiet.

Sollen die Wartezeiten und die Anzahl Halte nach Streckentypen und Fahrzeugarten gewichtet werden, hat sich der "Performance Index" (PI) (Brilon, 2013) als zweckmässig erwiesen. Dieser stellt einen gewichteten Mittelwert aller Wartezeiten und Halte dar und wird wie folgt berechnet:

$$PI = \left(G_w \cdot \sum_i \sum_z (W_{iz} \cdot g_i \cdot g_z) + G_H \cdot \sum_i \sum_z (H_{iz} \cdot g_i \cdot g_z) \right)$$

mit:

PI = Performance Index

G_w = Gewicht der Wartezeiten

G_H = Gewicht der Halte

W_{iz} = Summe der Wartezeiten pro Zeiteinheit für Fahrzeuge der Art z auf der Strecke i

g_i = Gewicht der Strecke i

g_z = Gewicht der Fahrzeuge der Art z

H_{iz} = Summe der Anzahl Halte pro Zeiteinheit für Fahrzeuge der Art z auf der Strecke i

Ein Hauptziel einer Verkehrsdosierung ist also erreicht, wenn mit der Dosierung der Performance Index PI gegenüber dem Zustand ohne Dosierung reduziert werden kann.

3.3 Umfassendere Bewertung

3.3.1 Bewertungsmethoden

Die wohl bekanntesten und am häufigsten angewandten Bewertungsmethoden sind die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), die Nutzwertanalyse (NWA) und die Vergleichswertanalyse (VWA). Alle drei Methoden benötigen als Input das Wert- und das Mengengerüst für die relevanten Indikatoren. Welche der Methoden schliesslich für die Bewertung verwendet wird, ist nicht zuletzt auch eine Frage der Präferenzen und Erfahrungen des Anwenders. Für die monetarisierbaren Indikatoren steht sicher die KNA im Vordergrund. Für die Bewertung der nicht-monetarisierbaren Indikatoren eignen sich sowohl die NWA als auch die VWA. Bei letzterer entfällt im Gegensatz zur NWA der Gewichtungprozess und es erfolgt keine Gesamttaggregation der Bewertungsergebnisse über alle Indikatoren. Sie ist deshalb in der Anwendung einfacher und sowohl das Vorgehen als auch das Ergebnis sind leichter nachvollziehbar. Wir geben ihr deshalb – in Kombination mit der KNA – für den Zweck der Bewertung von Verkehrsdosierungen den Vorzug. Hinweise zur Methodik der VWA finden sich z.B. in Raymann (1991) und in Gottardi und Greuter (1997). Für die Anwendung der KNA steht das VSS-Normenpaket SN 641 820ff zur Verfügung.

Die Bewertungsergebnisse dienen den zuständigen Stellen als Grundlagen für den politischen Abwägungsprozess. Sie sind entsprechend aufzuarbeiten und darzustellen. Zweckmässigerweise werden die Ergebnisse (Kosten resp. Nutzen bei der KNA, Noten bei der VWA) pro Indikator ausgewiesen. Bei der KNA erfolgt zusätzlich eine Aggregation über alle monetären Indikatoren in der Form eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses, des Nettobarwertes oder einer anderen Kenngrösse. Bei den nicht-monetarisierbaren Indikatoren wird auf eine Aggregation verzichtet.

Bei Verkehrsdosierungen wird es meist darum gehen, ein bestimmtes Projekt gegenüber dem Ausgangszustand (i.d.R. dem Ist-Zustand) zu beurteilen. Der Vergleich von Varianten der Verkehrsdosierung ist aber mit dem nachfolgend skizzierten Vorgehen ebenfalls möglich.

Die folgenden Hinweise zur Bewertungsmethode geben einen Überblick über das in dieser Arbeit gewählte Vorgehen. Für eine ausführliche Beschreibung sei auf das "Handbuch eNISTRA 2010" (Lieb et al., 2010) verwiesen sowie auf die Illustration des Vorgehens anhand der Fallbeispiele im Kapitel 5.

3.3.2 Indikatorensystem

Für die Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten steht ein umfassendes Ziel- und Indikatorensystem (NISTRA) zur Verfügung (Lieb et al., 2010). Die Prüfung anhand der oben aufgeführten zu erwartenden Auswirkungen zeigt, dass dieses Indikatorensystem sehr weitgehend auch für die Bewertung von Verkehrsdosierungen verwendet werden kann.

3.3.3 Vergleichszeitpunkt

Im Vergleich zu Infrastrukturprojekten haben Verkehrsdosierungs-Anlagen in der Regel eine kurze Planungs- und Realisierungsdauer. Als Vergleichszeitpunkt und Preisbasisjahr bietet sich damit "heute" an. Auf die Prognose der zukünftigen Verkehrsentwicklung kann in der Regel verzichtet und die Bewertung auf das heutige Verkehrsaufkommen bezogen werden. Referenzzustand ist also der Ist-Zustand und es sind die von der Verkehrsdosierung verursachten Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand zu bewerten. Auf Verkehrsprognosen (mit Ausnahme natürlich der Abschätzung der Auswirkungen der Verkehrsdosierung auf den Verkehr) kann verzichtet werden. Für die KNA bedeutet dies, dass z.B. der Nettobarwert zweckmässigerweise für das Jahr, in welchem die Bewertung durchgeführt wird, ermittelt wird. Für die Abdiskontierung zukünftiger Betriebs- und Unterhaltskosten kann, wenn keine anderen Angaben vorliegen, von einer Lebensdauer ei-

ner Verkehrsdosierungs-Anlage von 20 Jahren⁸ ausgegangen werden.

Bei verschiedenen NISTRA-Indikatoren bewirkt aber eine Verkehrsdosierung in den meisten Fällen keine oder höchstens unerhebliche Veränderungen. Diese sind für die Bewertung einer Verkehrsdosierung in der Regel nicht relevant und können weggelassen werden⁹. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Indikatoren sind bei der Bewertung von Verkehrsdosierungen bezüglich ihrer Relevanz zu prüfen und gegebenenfalls in die Bewertung einzubeziehen. Zu jedem Indikator ist angegeben, ob er in die KNA oder in die VWA einfließt.

Tabelle 1: Für die Bewertung von Dosierungskonzepten zu prüfende Indikatoren

| Bereich | Indikator nach NISTRA | KNA | VWA |
|--------------|---|-----|-----|
| Gesellschaft | Attraktivität des Fussverkehrs | | ✓ |
| | Attraktivität des Veloverkehrs | | ✓ |
| | Unfälle | ✓ | |
| Wirtschaft | Investitionskosten (Baukosten) | ✓ | |
| | Ersatzinvestitionen | ✓ | |
| | Landkosten | ✓ | |
| | Betriebs- und Unterhaltskosten | ✓ | |
| | Auswirkungen auf ÖV | ✓ | |
| | Reisezeitveränderungen Stammverkehr | ✓ | |
| | Veränderungen der Zuverlässigkeit | ✓ | |
| | Betriebskosten Fahrzeuge | ✓ | |
| | Nettonutzen des Mehrverkehrs | ✓ | |
| | Veränderung der MWST-Einnahmen im ÖV | ✓ | |
| Umwelt | Luftbelastung | ✓ | |
| | Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort | ✓ | |
| | Übermässig lärmbelastete Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten | | ✓ |
| | Bodenversiegelung | ✓ | |
| | Landschafts- und Ortsbild | ✓ | |
| | Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | ✓ | |

⁸ Angaben der Dienstabteilung Verkehr der Stadt Zürich.

⁹ Dies betrifft namentlich die folgenden Indikatoren:

- Erreichbarkeit der Regionalzentren für IHG-Regionen
- Wohnlichkeit (Umgestaltungen des öffentlichen Raumes sind nicht Teil eines Dosierungsprojektes)
- Räumliche Verteilungseffekte
- Gestaltung der Partizipation der Bevölkerung (nicht relevant für die Wirksamkeit der Dosierung)
- Grad der Abstimmung mit der Siedlungsplanung
- Finanzierungskosten (nur für die Bildung von Teilbilanzen relevant)
- Ausbaustandard/Fahrkomfort (wird kaum beeinflusst)
- Einnahmen aus Treibstoffsteuern und Maut (nur für die Bildung von Teilbilanzen relevant resp. vernachlässigbar klein)
- Realisierungszeit (ist nur beim Vergleich von Varianten relevant)
- Bautechnisches Risiko
- Etappierbarkeit (könnte evtl. beim Vergleich von Varianten relevant sein)
- Indikatoren zu indirekten wirtschaftlichen Effekten und zur Eigenwirtschaftlichkeit
- Zerschneidungseffekte ausserhalb des Siedlungsgebietes (keine neuen Strassen, höchstens geringe Belastungsänderungen)
- Beeinträchtigung von Gewässern (keine relevante Veränderung von Gefahrenguttransporten)
- Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur (der Stromverbrauch einer Dosieranlage ist in der Regel vergleichsweise klein)
- Verbrauch an Rundkies

3.3.4 Hinweise zum Wertgerüst

Für die meisten monetarisierbaren Indikatoren finden sich Kostensätze im VSS-Normenpaket SN 641 820ff sowie im Handbuch zu eNISTRA (Lieb et al., 2010). Für die nicht-monetarisierbaren Indikatoren, welche in die VWA einfließen, wird als Grundlage für die Benotung ebenfalls ein Wertgerüst benötigt. Die folgenden Ausführungen geben dazu Hinweise zu einem möglichen Vorgehen. Diese Wertgerüste sind aber nicht "normiert". Sie können von den subjektiven Wertvorstellungen des Bewertenden abhängen. Wichtig ist deshalb auch hier eine transparente Darstellung der getroffenen Annahmen.

a) Attraktivität des Fussverkehrs

Nicht monetarisierbar. Die Attraktivität für die Fussgänger steigt, wenn die übrigen Einflussfaktoren unverändert bleiben, wie es bei Verkehrsdosierungen meistens der Fall sein wird, mit abnehmender Verkehrsbelastung. In der Praxis hat sich ein Vorgehen bewährt, bei dem die von einer Massnahme verursachten Belastungsdifferenzen kategorisiert und den Kategorien Noten zugeordnet werden, welche dann mit dem Streckenlängen-Anteil der entsprechenden Kategorie (und evtl. mit der Fussgänger-Menge) gewichtet werden. Eine Illustration dieses Vorgehens findet sich in Kapitel 5.

b) Attraktivität des Veloverkehrs

Nicht monetarisierbar. Das Vorgehen ist analog zu dem oben beschriebenen für die Attraktivität des Fussverkehrs.

c) Unfälle

Eine Verkehrsdosierung kann die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer beeinflussen und Verkehrsverlagerungen bewirken zwischen den Strassenkategorien

- Autobahnen
- Autostrassen
- Haupt- und Nebenstrasse ausserorts
- Haupt- und Nebenstrassen innerorts

Die VSS-Norm SN 641 824 enthält für diese Strassenkategorien Unfallkostenraten (CHF pro 1'000 Fzkm), welche zur Abschätzung der Veränderung der Unfallkosten herangezogen werden. In diesen Unfallkostenraten sind auch die Unfälle an Knoten enthalten. Wenn das Dosierungskonzept auch Knotenumbauten und -steuerungen beinhaltet, muss das Unfallgeschehen an den Knoten evtl. gesondert betrachtet werden. Dazu enthält die genannte Norm auch Unfallkostenziffern (CHF pro 1'000 einfahrende Fahrzeuge), differenziert nach Knotentypen und Steuerungen (mit/ohne LSA).

Wenn – wie im Fallbeispiel 1 im Kapitel 5 – ein Mikrosimulationsmodell für die Abschätzung der Auswirkungen der Verkehrsdosierung auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer eingesetzt wird, bietet sich auch die Möglichkeit, mittels Konfliktanalysen die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit abzuschätzen.

d) Investitionskosten

Die Kosten für die Planung und den Bau der Dosierungsanlagen, inkl. allfälliger baulicher Massnahmen wie Busspuren bei den Dosierstellen etc., sind zu schätzen. Auf eine Aufteilung nach voraussichtlichen Fälligkeiten auf die einzelnen Jahre der Planungs- und Bauphase kann aufgrund der vergleichsweise kleinen Beträge in der Regel verzichtet werden. Vereinfachend werden allfällige Landerwerbskosten den Investitionskosten zugerechnet. Im Mittel können die Investitionskosten für eine einzelne Verkehrsregelungsanlage erfahrungsgemäss¹⁰ mit CHF 330'000 veranschlagt werden.

Die Lebensdauer eines Dosierungskonzeptes wird in der Praxis mit ca. 20 Jahren veranschlagt. Ob aufgrund der Entwicklung von Steuerungskonzepten und -technologien schon vorher Ersatzinvestitionen erforderlich sein werden, lässt sich kaum abschätzen. Als weitere Vereinfachung kann auf deren Berücksichtigung bei der Durchführung der

¹⁰ Angaben der Dienstabteilung Verkehr, Stadt Zürich

KNA verzichtet werden. Die Restwerte der Dosierungsanlage am Ende der Lebensdauer sind in der Regel vernachlässigbar klein.

e) Betriebs- und Unterhaltskosten

Die Kosten für die jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten eines Verkehrsdosierungskonzeptes sind zu schätzen. Sie hängen von dessen Komplexität ab. Ganz grob kann von CHF 15'000 pro Verkehrsregelungsanlage und Jahr ausgegangen werden.

f) Auswirkungen auf den ÖV

Dieser Indikator berücksichtigt allfällige Veränderungen der Einnahmen und der Betriebskosten im ÖV. Die Einnahmen können mit dem durchschnittlichen Ertragssatz (CHF pro Personen-Fahrt oder –Kilometer, ohne Abgeltungen) abgeschätzt werden. Betriebskostensätze für den ÖV liefert die VSS-Norm SN 641 827. Wenn das Dosierungskonzept betriebliche Änderungen beim ÖV zur Folge hat (z.B. die Einsparung von Fahrzeugen ermöglicht), sind die Kostenfolgen in Zusammenarbeit mit dem ÖV-Betreiber abzuschätzen.

g) Reisezeitveränderung Stammverkehr

Die Reisezeit zwischen der Quelle und dem Ziel eines Weges setzt sich aus der in Bewegung verbrachten Zeit (Fahrzeit) und allfälligen Wartezeiten im Stau zusammen. Aktuelle Ansätze für die Zeitkosten im Personenverkehr, differenziert nach Privatverkehr und öffentlichem Verkehr, sind in der VSS-Norm SN 641 822a enthalten. Zeitkosten für den Güterverkehr enthalten die VSS-Normen SN 641 823 und SN 641 827.

In der Literatur finden sich Hinweise, dass die Zahlungsbereitschaft für auf einer Einfahrtsrampe im Stau verbrachte Wartezeit höher ist als für die Fahrzeiten auf der Autobahn (Zhang, Xie und Levinson, 2009). Angaben zu diesem Unterschied in anderen Situationen als der Verkehrsdosierung, und insbesondere für die Verhältnisse in der Schweiz, konnten aber keine gefunden werden. Deshalb empfehlen wir, vorläufig nicht zwischen Fahr- und Wartezeit zu differenzieren und für die gesamte Reisezeit die Zeitkosten gemäss der Norm SN 641 822a für den Personenverkehr und SN 641 823 sowie SN 641 827¹¹ für den Güterverkehr zu verwenden.

h) Veränderung der Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit eines Verkehrsangebotes hängt von der zufälligen Variation der Reisezeiten für wiederholte Fahrten während verschiedener Tage zwischen einer Quelle i und einem Ziel j auf einer Route im gleichen Zeitfenster ab, welche durch zufällige Veränderungen der momentanen Verkehrsnachfrage (z.B. Verschiebungen der Abfahrtszeiten) oder das Verhalten einzelner Verkehrsteilnehmer (Bremsen, Beschleunigen, Spurwechsel) verursacht wird. Andere zufällige Ereignisse wie Unfälle, Wettereinflüsse, Baustellen usw. beeinträchtigen ebenfalls die Zuverlässigkeit, werden hier aber nicht berücksichtigt.

Für die Verbesserung der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems, d.h. für die Reduktion des Risikos, zu früh oder zu spät am Ziel anzukommen, besteht eine Zahlungsbereitschaft der Verkehrsteilnehmer (siehe z.B. Li et al., 2010; Brownstone und Small, 2005; König, 2004; König und Axhausen, 2002). Die Verbesserung der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems ist ein wichtiges Ziel von Verkehrsdosierungsanlagen. Die Veränderung der Zuverlässigkeit ist deshalb bei der Bewertung solcher Anlagen von zentraler Bedeutung.

König (2004) ermittelte in seiner Dissertation die folgenden Formeln für die Zahlungsbereitschaft zur Reduktion von Verspätungen und deren Wahrscheinlichkeit:

¹¹ Die Zeitkosten für den Fahrer im Güterverkehr sind entweder hier oder bei den Betriebskosten, aber nicht an beiden Orten, zu berücksichtigen.

- Kosten PW:

$$0.215 * \text{Verspätungsdauer} [\text{min.}] \left(\frac{\text{Verspätungswahrscheinlichkeit} [\%]}{40} \right)^{1.299}$$

- Kosten ÖV:

$$0.074 * \text{Verspätungsdauer} [\text{min.}] \left(\frac{\text{Verspätungswahrscheinlichkeit} [\%]}{40} \right)^{2.233}$$

Chaumet et al. (2007) haben ein Verfahren für die Berücksichtigung der Verlässlichkeit im Rahmen von Evaluationen homogener Netzteile (Autobahnen) entwickelt. Dieses ist in die VSS-Norm SN 641 825 "Kosten-Nutzen-Analysen: Bewertung und Abschätzung der Zuverlässigkeit" eingeflossen. Als Kostensätze werden folgende Werte empfohlen:

- Verfrühungen: 50% des mittleren Zeitkostenansatzes
- Verspätungen: 150% des mittleren Zeitkostenansatzes

Für die Messung der Zuverlässigkeit werden in der Literatur verschiedene Definitionen resp. Modelle verwendet. Einen Überblick dazu geben Li et al. (2010). Lam und Small (2001) stellten in einer Studie zur Wahl zwischen Routen mit und ohne Maut fest, dass die Differenz zwischen dem Median und dem 90. Perzentil der Reisezeit (der sog. Buffer-Index) als Mass der Zuverlässigkeit eine hohe Erklärungsgüte für die Routenwahl aufweist. Auch Rafferty (2009) empfiehlt dieses Modell für die Bewertung der Zuverlässigkeit. Die Einfachheit der Berechnung dieser Differenz ist ein weiteres Argument dafür, dieses Modell auch für die Bewertung von Dosierungsanlagen anzuwenden.

Der Schätzung des Wertes der Verlässlichkeit (Value of Reliability, VOR) und dessen Vergleich mit dem Wert der Zeit (Value of Time, VOT) sowie dem Verhältnis zwischen diesen beiden Werten, dem "Reliability Ratio" (r), sind mehrere Studien gewidmet. Je nach Definition der Verlässlichkeit werden dabei Werte für r zwischen 0.5 und 3.3 rapportiert, wobei der Wert von r für den ÖV generell höher ist als jener für den MIV (Li et al., 2010). Lam und Small (2001) stellten ausserdem fest, dass für Frauen ein ungefähr doppelt so hoher VOR gilt wie für Männer. Einen höheren VOR für Frauen stellten auch Brownstone und Small (2005) fest aufgrund der Tatsache, dass Frauen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als Männer gebührenpflichtige Strassen resp. Autobahnspuren benutzen, welche eine höhere Zuverlässigkeit versprechen.

Gestützt auf die Ergebnisse der Studien von Li et al. (2010) schlagen wir vor, für den Reliability Ratio $r = 1.3$ einzusetzen. Beim Vorliegen neuer Forschungsergebnisse kann resp. muss dieser Wert gegebenenfalls angepasst werden.

Der Wert der Zuverlässigkeit ergibt sich damit wie folgt:

$$VOR = 1.3 * VOT$$

mit:

VOR = Zuverlässigkeitskosten-Ansatz [CHF/h]

VOT = Zeitkosten-Ansatz [CHF/h]

i) Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr

Die Kostensätze der Betriebskostengrundwerte (ohne Treibstoff) und für Treibstoff (ohne Steuern) können der VSS-Norm SN 641 827 entnommen werden.

j) Nettonutzen des Mehrverkehrs

Die Kostenansätze für die Reisezeit und die Betriebskosten können gleich angenommen werden wie für den Stammverkehr. Bei den Treibstoffkosten sind aber die Steuern mit zu berücksichtigen (Lieb et al., 2010).

k) Veränderungen der MWST-Einnahmen ÖV

Der Pauschalsteuersatz für den öffentlichen Verkehr beträgt gemäss Lieb et al. (2010) 4.4%.

l) Luftbelastung

Die Betrachtung kann sich auf die Abschätzung der externen Kosten der Luftbelastung für Gesundheit und Gebäude beschränken. Als Leitschadstoff dient dazu PM₁₀. Kostensätze für PM₁₀-Emissionen (CHF/Tonne PM₁₀) finden sich für lokale Schäden (differenziert nach bebauten und unbebauten Gebieten) und regionale Schäden in der VSS-Norm SN 641 828.

m) Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort

Dieser Indikator ist dann relevant, wenn mit wahrnehmbaren Veränderungen der Lärmimmissionen zu rechnen ist. Als wahrnehmbar gelten in der Regel Schallpegelveränderungen um mehr als 1 dB(A), d.h. der DTV muss sich um mindestens 20% ab oder um 25% zunehmen. Solche Änderungen des DTV infolge einer Verkehrsdosierung werden in der Praxis kaum auftreten. Sollte dies trotzdem einmal der Fall sein, enthält die VSS-Norm SN 640 828 Kostensätze für die durchschnittlichen Lärmkosten (CHF pro Fzkm)¹².

n) Übermässig lärmbelastete Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten

Nicht monetarisierbar. Dieser Indikator ist nur relevant, wenn Schutz- und Erholungsgebiete von wahrnehmbar veränderten Lärmbelastungen betroffen sind, d.h. wenn der Verkehr im Bereich solcher Gebiete um mehr als 20% ab- oder um mehr als 25% zunimmt. Ist dies der Fall, erfolgt die Bewertung qualitativ (mit Noten) aufgrund der Intensität der Nutzung für Erholungszwecke und der von wahrnehmbar veränderten Lärmimmissionen betroffenen Fläche.

o) Bodenversiegelung

Die VSS-Norm 641 828 enthält Kostensätze pro Hektare versiegelter Fläche.

p) Landschafts- und Ortsbild

Nicht monetarisierbar. Die qualitative Einschätzung der Auswirkungen (z.B. die Beeinträchtigung des Ortsbildes durch Lichtsignalanlagen) wird in der VWA in eine Notenskala übertragen.

q) Klimaeffekt

Als Indikator für die durch den Verkehr verursachten externen Kosten infolge Klimaeffekten werden die Emissionen von CO₂-Äquivalenten verwendet. Die VSS-Norm 641 828 enthält dazu Kostensätze pro Tonne CO₂-Äquivalent.

3.3.5 Hinweise zum Mengengerüst

Die für die Bewertung benötigten Verkehrsdaten werden mit geeigneten Verkehrsmodellen ermittelt, wie sie im Kapitel 4 beschrieben werden. Die Grundlagen für die Abschätzung der Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten sowie der Auswirkungen auf die Versiegelung und das Landschafts- und Ortsbild liefern die entsprechenden Projektpläne.

a) Statistische Anforderungen an die Verkehrsdaten

Die mit Verkehrsmodellen berechneten Verkehrsdaten (Belastungen, Reisezeiten, Zuverlässigkeit usw.) müssen präzise und die Unterschiede zwischen den Zuständen mit und ohne Dosierung statistisch signifikant, also nicht zufällig, sein, damit eine aussagekräftige Bewertung der Nutzen von Dosierungsanlagen möglich ist.

Die Resultate eines Laufs einer Verkehrssimulation sind als stochastische Grössen zu verstehen. Jeder Simulationslauf entspricht der Ziehung einer Stichprobe, ähnlich einer

¹² Da die Projektkosten einer Verkehrsdosierung in der Regel deutlich unter CHF 500 Mio. liegen, kann die vereinfachte Methode der VSS-Norm SN 641 828 angewendet werden.

Verkehrserhebung an einem einzelnen Tag. An nachfolgenden Tagen werden die Verkehrserhebungen zwar ähnliche Muster ergeben, im Detail aber voneinander abweichende Resultate liefern. Die "Hintergrundgeräusche" der Simulationen begrenzen die Aussagekraft ihrer Resultate und diesem Umstand muss in der Analyse Rechnung getragen werden, wenn es um die Aufspürung von möglicherweise sehr kleinen Unterschieden zwischen Szenarien geht.

Bei Verkehrssimulationen sind daher immer mehrere Läufe durchzuführen, bis ein genügend kleiner Standardfehler des Mittelwertes erreicht ist oder eine genügend grosse Wahrscheinlichkeit, dass eine festgelegte Abweichung Δ vom wahren Mittelwert nicht überschritten ist.

Der Standardfehler eines Indikators v ist wie folgt definiert:

$$SE_v = s_v / \sqrt{N}$$

mit:

SE_v = Standardfehler

s_v = Standardabweichung des Indikators v

N = Stichprobenumfang

Die minimale Anzahl Simulationsläufe N , die nötig ist, damit der Mittelwert eines Indikators v mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% eine Abweichung Δ vom wahren Mittelwert nicht überschreitet, beträgt:

$$N = [1.96 * s_v / \Delta]^2$$

Für die Prüfung, ob sich die Mittelwerte \bar{x}_1 und \bar{x}_2 von zwei Stichproben signifikant unterscheiden, kann ein t-Test durchgeführt werden.

Die Teststatistik t ist wie folgt definiert:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad \text{mit der näherungsweise Anzahl Freiheitsgrade } df = \frac{N_1 + N_2 - 2}{2}$$

Wenn der Standardfehler der Differenz zwischen den Mittelwerten zweier Zufallsvariablen μ_1 und μ_2 mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit von z.B. 95% den Wert Δ nicht überschreiten soll, berechnet sich die erforderliche Grösse der Stichproben N_1 und N_2 wie folgt:

$$N = 2 \left[\left(1.96 \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \right) / \Delta \right]^2$$

Vereinfachend wird angenommen, dass $N = N_1 = N_2$

b) Attraktivität des Fussverkehrs

Die für die Bewertung dieses Indikators benötigten Unterschiede der Verkehrsbelastungen mit/ohne Verkehrsdosierung werden mit dem Verkehrsmodell ermittelt.

c) Attraktivität des Veloverkehrs

Das Vorgehen ist analog zu jenem für die Beurteilung der Auswirkungen auf die Attraktivität des Fussverkehrs.

d) Unfälle

Die Veränderungen der Verkehrsleistung (Fahrzeugkilometer) pro Strassenkategorie und der Anzahl einfahrender Fahrzeuge an den einzelnen Knoten werden mit dem Verkehrsmodell ermittelt.

Dort, wo ein Mikrosimulationsmodell eingesetzt wird, besteht die Möglichkeit, Konfliktanalysen durchzuführen, welche Rückschlüsse auf das zu erwartende Unfallgeschehen zulassen (siehe Kapitel 4.3.1).

e) Investitionskosten

Die Kosten werden aufgrund der vorliegenden Projektunterlagen für die folgenden Positionen abgeschätzt:

- Planungs- und Bauarbeiten, inkl. allfälligem Landerwerb
- Installationen
- Steuerungsgeräte
- Software, inkl. Einführung

usw.

Liegen die Projektunterlagen noch nicht in ausreichendem Detaillierungsgrad vor, wird mit groben Einheitskosten (z.B. Kosten pro Verkehrsregelungsanlage) gerechnet (siehe Kapitel 3.3.4).

f) Betriebs- und Unterhaltskosten

Für die Schätzung der Betriebs- und Unterhaltskosten steht zweckmässigerweise ein Betriebskonzept zur Verfügung, welches Auskunft über den vorgesehenen Personalaufwand, Kosten für Softwarelizenzen und -updates, Datenübertragungsgebühren usw. gibt. Die Betriebs- und Unterhaltskosten sind natürlich auch vom Umfang der Anlagen abhängig, welche zum Verkehrsdosierungskonzept gehören. Wenn keine detaillierten Grundlagen zur Verfügung stehen oder für eine grobe Abschätzung kann mit dem im Kapitel 3.3.4 angegebenen Richtwert gerechnet werden.

Die Veränderung der Betriebs- und Unterhaltskosten für die übrige Strasseninfrastruktur ist unbedeutend und kann vernachlässigt werden.

g) Auswirkungen auf den ÖV

Dieser Indikator berücksichtigt die Veränderung der Einnahmen und der Betriebskosten im ÖV. Letztere können durch die Verkehrsdosierung reduziert werden, wenn beispielsweise dank des verlässlicheren Betriebes auf Einsatzfahrzeuge verzichtet werden kann. Die Veränderung der Einnahmen ist eine direkte Folge allfälliger Auswirkungen der Dosierung auf den Modal Split; die entsprechenden Werte liefert das Verkehrsmodell.

h) Reisezeitveränderung Stammverkehr

Die Angaben zu den Reisezeitveränderungen liefert das Verkehrsmodell. Der Stammverkehr N_{ij} (Personen-Wege) resp. V_{ij} (Fahrzeug-Fahrten) zwischen der Quelle i und dem Ziel j ist wie folgt definiert:

$$N_{ij, \text{Stammverkehr}} = \min(N_{ij, \text{mit Dosierung}}, N_{ij, \text{ohne Dosierung}}) \quad \text{[Personen-Wege]}$$

$$V_{ij, \text{Stammverkehr}} = \min(V_{ij, \text{mit Dosierung}}, V_{ij, \text{ohne Dosierung}}) \quad \text{[Fahrzeug-Fahrten]}$$

Die Werte N_{ij} resp. V_{ij} umfassen die im Verkehrsmodell enthaltenen resp. berechneten Quelle-Ziel-Matrizen. Bei disaggregierten Modellen werden die Quellen und Ziele zweckmässigerweise in Verkehrszonen aggregiert. Dies ist ohnehin nötig, wenn mesoskopische Umlegungsmodelle zum Einsatz gelangen (siehe Kapitel 4).

Die Reisezeiten von i nach j werden mit einem dynamischen Umlegungsmodell (mesoskopisches Simulationsmodell) oder einem Mikrosimulationsmodell berechnet. Mit diesen Modellen werden die Fahrten von Einzelfahrzeugen oder von Fahrzeugpaketen zwischen einer Quellzone i und einer Zielzone j simuliert. Für jedes Fahrzeug resp. jedes Fahrzeugpaket steht somit die Reisezeit zwischen i und j zur Verfügung. Dabei handelt es sich um stochastische Größen. Um verlässliche Mittelwerte zu erhalten, sind mehrere Simulationsläufe erforderlich (siehe Kapitel 3.3.5). Die Summe der Reisezeitveränderungen ΔRZ im Stammverkehr errechnet sich dann wie folgt:

$$\Delta RZ_{\text{Stammverkehr}} = \sum_i^n \sum_j^n N_{ij, \text{Stammverkehr}} \left(\bar{t}_{ij, \text{mit Dosierung}} - \bar{t}_{ij, \text{ohne Dosierung}} \right)$$

i) Veränderung der Zuverlässigkeit im Stammverkehr

Aus den wie oben beschrieben über mehrere Simulationsläufe ermittelten Fahrzeiten t_{ij} pro Fahrzeug resp. Fahrzeugpaket lassen sich neben den Median-Werten auch die 90. Perzentile berechnen und die Differenzen bilden. Die Summe dieser Differenzen ist dann das Mass für die Zuverlässigkeit (VZ), welches in die Bewertung einfließt. Die Veränderung der Zuverlässigkeit ΔVZ berechnet sich damit wie folgt:

$$\Delta VZ_{\text{Stammverkehr}} = \sum_i^n \sum_j^n N_{ij, \text{Stammverkehr}} \left[\left(t_{90,ij} - t_{50,ij} \right)_{\text{mit Dosierung}} - \left(t_{90,ij} - t_{50,ij} \right)_{\text{ohne Dosierung}} \right]$$

j) Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr

In gleicher Weise wie die Reisezeiten liefern die für die Beurteilung von Verkehrsdosierungen einzusetzenden Simulationsmodelle auch die Reisedistanzen d_{ij} zwischen den Quellen i und den Zielen j , und zwar für die jeweils benutzte Route. Die Veränderung der Fahrzeugkilometer (Reisedistanz) ΔRD im Stammverkehr berechnet sich damit wie folgt:

$$\Delta RD_{\text{Stammverkehr}} = \sum_i^n \sum_j^n V_{ij, \text{Stammverkehr}} \left(d_{ij, \text{mit Dosierung}} - d_{ij, \text{ohne Dosierung}} \right)$$

Da die gewählten Routen für jedes Fahrzeug bekannt sind, ist die Ausweisung der Fahrleistungen nach Strassentypen möglich. Als Alternative bietet sich an, die Linkdaten mit den Mittelwerten der Verkehrsbelastungen und Reisezeiten in eine Datenbank zu schreiben und daraus die Verkehrsleistungen [Fz-km] pro Strassentyp sowie die Veränderung der Fahrzeugstunden [Fz-h] im Stammverkehr zu ermitteln.

k) Nettonutzen des Mehrverkehrs

Die Veränderungen der Reisezeiten, der Zuverlässigkeit und der Fahrleistungen berechnen sich analog zu jenen des Stammverkehrs anhand der Outputs der Verkehrsmodelle:

$$N_{ij, \text{Mehrverkehr}} = \max \left(N_{ij, \text{mit Dosierung}}, N_{ij, \text{ohne Dosierung}} \right) - N_{ij, \text{Stammverkehr}} \quad [\text{Personen-Wege}]$$

resp.

$$V_{ij, \text{Mehrverkehr}} = \max \left(V_{ij, \text{mit Dosierung}}, V_{ij, \text{ohne Dosierung}} \right) - V_{ij, \text{Stammverkehr}} \quad [\text{Fahrzeug-Fahrten}]$$

$$\Delta RZ_{\text{Mehrverkehr}} = 0.5 \sum_i^n \sum_j^n N_{ij, \text{Mehrverkehr}} \left(\bar{t}_{ij, \text{mit Dosierung}} - \bar{t}_{ij, \text{ohne Dosierung}} \right)$$

$$\Delta VZ_{\text{Mehrverkehr}} = 0.5 \sum_i^n \sum_j^n N_{ij, \text{Mehrverkehr}} \left[\left(t_{90,ij} - t_{50,ij} \right)_{\text{mit Dosierung}} - \left(t_{90,ij} - t_{50,ij} \right)_{\text{ohne Dosierung}} \right]$$

$$\Delta RD_{\text{Mehrverkehr}} = 0.5 * \sum_i^n \sum_j^n V_{ij, \text{Mehrverkehr}} (d_{ij, \text{mit Dosierung}} - d_{ij, \text{ohne Dosierung}})$$

l) Veränderung der MWST-Einnahmen im ÖV

Die Veränderung der Einnahmen im ÖV wird bereits beim Indikator "Auswirkungen auf den ÖV" abgeschätzt. Hier müssen zusätzlich die daraus resultierenden Veränderungen der MWST-Einnahmen im ÖV angegeben werden. Dazu kann ein Pauschalsteuersatz (Lieb et al, 2010) eingesetzt werden.

m) Luftbelastung

Die für die Berechnung der PM₁₀-Emissionen notwendigen Fahrleistungen, differenziert nach Strassentypen und Verkehrssituationen, liefert das Verkehrsmodell. Die Emissionsfaktoren können dem elektronischen "Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs"¹³ entnommen werden.

n) Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort

Die für die Abschätzung der externen Kosten infolge Lärmbelastungen notwendigen Angaben zur Veränderung der Verkehrsleistung lassen sich ebenfalls aufgrund der Verkehrsmodell-Outputs berechnen.

o) Übermässig lärmbelastete Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten

Die für die Abschätzung der veränderten Lärmimmissionen auf lärmbelasteten Flächen von Schutz- und Erholungsgebieten notwendigen Daten liefert das Verkehrsmodell.

p) Bodenversiegelung

Die zusätzlich versiegelten Flächen werden aus den Projektplänen für die notwendigen Busspuren, Radwege usw. ermittelt.

q) Landschafts- und Ortsbild

Grundlage für die qualitative Beurteilung bilden die oben genannten Projektpläne und Augenscheine vor Ort. Evtl. sind Fotomontagen hilfreich.

r) Klimaeffekt

Die für die Berechnung der CO₂-Emissionen notwendigen Fahrleistungen, differenziert nach Strassentypen und Verkehrssituationen, liefert das Verkehrsmodell. Die Emissionsfaktoren können dem elektronischen "Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs"¹ entnommen werden.

¹³ <http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00605/index.html?lang=de> (besucht: 12.03.2014)

4 Modellierungs-Tools

4.1 Einleitung

Für die ex ante Abschätzung der Auswirkungen einer Verkehrsdosierung sind geeignete Verkehrsmodelle erforderlich. Deren Einsatz kann auch für ex post Untersuchungen sinnvoll sein, z.B. für Wirkungsanalysen von Verkehrsdosierungen, da es mit auf Erhebungen basierenden Vorher-/Nachheruntersuchungen in der Regel schwierig ist, aus dem "Rauschen" der Erhebungsdaten die effektiv auf die Verkehrsdosierung zurückzuführenden Auswirkungen herauszufiltern. Die oben erwähnte Studie im Metropolitanraum Twin Cities bildet hier sicher eine Ausnahme, welche nur aufgrund ganz spezieller Umstände möglich war.

Die eingesetzten Verkehrsmodelle müssen einerseits in der Lage sein, alle relevanten Reaktionen der Verkehrsteilnehmer, wie sie im Wirkungsmodell beschrieben worden sind, sowie deren Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen realitätsgetreu abzubilden. Zudem müssen sie Outputs liefern, welche die Quantifizierung der für die Bewertung notwendigen verkehrsrelevanten Indikatoren in ausreichender Genauigkeit gestatten.

Für die in dieser Arbeit zu entwickelnde Methodik zur Ermittlung des Nutzens von Verkehrsdosierungen haben wir uns zudem entschieden, für die Verkehrsmodelle wenn möglich Open Source Software oder kommerzielle Software zu verwenden, welche in Büros und Verwaltungen verbreitet im Einsatz und zu verhältnismässigen Preisen erhältlich ist.

In der Praxis unterscheiden sich die zu untersuchenden Verkehrsdosierungskonzepte bezüglich Art und Umfang der Auswirkungen. Darauf ist die Wahl des geeigneten Modellinstrumentariums abzustimmen.

4.2 Typisierung nach einzusetzenden Modellierungs-Tools

Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, dass Verkehrsdosierungen je nach Art und Einsatzgebiet sehr unterschiedliche Auswirkungen haben können, für deren Abschätzung unterschiedliche Modellierungs-Tools erforderlich sind.

In einfachen Fällen wirkt sich die Verkehrsdosierung nur auf das individuelle Fahrverhalten aus, z.B. auf das Brems-, Beschleunigungs- und Spurwechselverhalten, während das Mobilitätsverhalten wie die Ziel-, Routen- oder Verkehrsmittelwahl unverändert bleiben, sei es, weil Alternativen fehlen oder weil die Auswirkungen der Dosierung zu klein sind, um Veränderungen des Mobilitätsverhaltens zu bewirken. Ein Beispiel für einen solchen "einfachen" Fall kann eine einzelne Rampendosierung sein. Für die Abschätzung der Auswirkungen von Veränderungen des individuellen Fahrverhaltens eignen sich Mikrosimulationsmodelle.

Am anderen Ende des Spektrums stehen Verkehrsdosierungen grösserer, insbesondere städtischer Gebiete mit ÖV-Angeboten als Alternative zum MIV, wo sich die Massnahmen auf die Mobilitätsentscheide (Wahl von Abfahrtszeit, Ziel, Verkehrsmittel, Route) und mithin auf die Verkehrsnachfrage auswirken. Die Auswirkungen auf das individuelle Fahrverhalten sind hier, weil von untergeordneter Bedeutung, kaum von Interesse. Die Behandlung dieser Art von Verkehrsdosierungen erfordert umfassende Verkehrsmodelle zur Abbildung der Verkehrsnachfrage- und Routenwahlveränderungen.

Entsprechend der Art der zu untersuchenden Auswirkungen und der daraus folgenden Anforderungen an die einzusetzenden Modellierungstools schlagen wir die folgende Typisierung von Dosierungskonzepten vor:

Tabelle 2: Typisierung der Dosierungskonzepte hinsichtlich Auswirkungen und erforderlichen Modellierungstools

| Typ | Auswirkungen | Geeignetes Modellierungstool | Beispiel |
|-----|--|---------------------------------------|---|
| 1 | Auswirkungen auf Fahrverhalten Kaum Auswirkungen auf Mobilitätsverhalten | Verkehrs-Mikrosimulationsmodell | Einzelne Rampendosierung |
| 2 | Stauverlagerung und Auswirkungen auf die Routenwahl Kaum Auswirkungen auf Verkehrsnachfrage Einfluss auf Fahrverhalten nicht von Interesse | Dynamisches Verkehrs-umlegungs-Modell | Kleines Netz oder Korridor Allfällige Verkehrsverlagerungen auf den ÖV oder auf den Langsamverkehr sind vernachlässigbar |
| 3 | Einfluss auf gesamtes Mobilitätsverhalten Einfluss auf Fahrverhalten nicht von Interesse | Dynamisches Gesamtverkehrsmodell | Städtisches Netz mit attraktiven Angeboten im ÖV und im Langsamverkehr |

4.3 Anforderungen an die Modellierungstools

4.3.1 Modellierung einer Dosierung vom Typ 1 (Rampendosierung)

Bei diesem Dosierungstyp wird mit Einflüssen auf das Fahr-, nicht aber mit solchen auf das Mobilitätsverhalten gerechnet. Sollte diese Voraussetzung nicht erfüllt sein, wäre die im Folgenden beschriebene Verkehrsmikrosimulation mit Modellen zu ergänzen, wie sie später für die Dosierungstypen 2 und 3 vorgeschlagen werden.

Während bei wenig Verkehr das Einfahren in eine Autobahn problemlos und ohne Behinderung des Verkehrs auf der Stammachse erfolgen kann, wird dieses Manöver bei dichtem Verkehr zunehmend schwieriger. Die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer im Bereich von Autobahneinfahrten sind in der Literatur ausführlich beschrieben und in mathematischen Modellen abgebildet (Choudry et al., 2009). Das individuelle Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer ist auch persönlichkeitsbedingt. Es wird unterschieden zwischen aggressivem, mittlerem und konservativem Verhalten (Kondyli und Elefteriadou, 2009).

Die möglichen Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Bereich einer Autobahneinfahrt haben Kondyli und Elefteriadou (2011) in der folgenden Abbildung dargestellt.

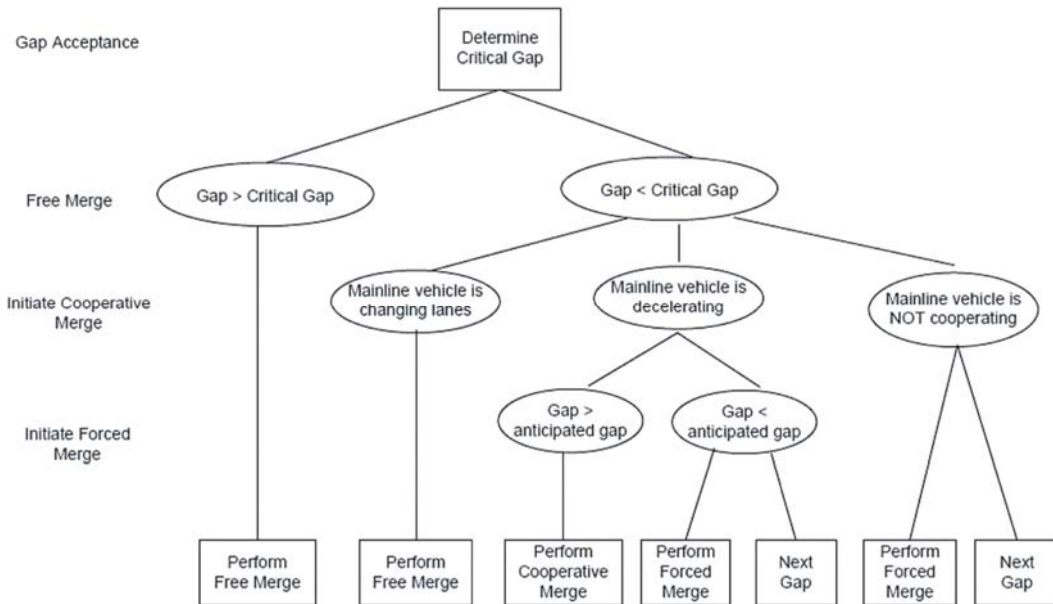


Abbildung 3: Konzeptionelle Beschreibung des Fahrverhaltens bei einer Autobahneinfahrt (Quelle: Kondyli und Elefteriadou, 2011)

In die Autobahn einfahrende Fahrzeuge veranlassen auf der Stammachse sich nähernde Fahrzeuglenker (Stammverkehr) abzubremsen oder von der rechten auf die linke Fahrspur zu wechseln. Das Abbremsen erfolgt entweder freiwillig oder zwangsweise, wenn das einfahrende Fahrzeug das Einfädeln erzwingt, weil im Hauptstrom keine ausreichenden Zeitlücken vorhanden sind. Durch das Bremsmanöver werden nachfolgende Fahrzeuglenker gezwungen, ebenfalls zu verlangsamen. Um nicht abbremsen zu müssen, kann ein auf der rechten Spur sich der Einfahrt näherndes Fahrzeug auf die linke Spur wechseln. Wenn dort eine ausreichend lange Zeitlücke vorhanden ist, kann dies ohne Behinderung des nachfolgenden Verkehrs erfolgen. Wird eine zu kurze Zeitlücke benutzt, sind Bremsmanöver des nachfolgenden Verkehrs die Folge. Diese Geschwindigkeitsreduktionen pflanzen sich in der bekannten Weise in einer Schockwelle stromaufwärts fort und es kann zu Stau auf der Autobahn kommen. Weil die Abflussrate beim Stauabbau in der Regel kleiner ist als die maximale Durchflussrate bei fließendem Verkehr, sinkt die Kapazität der Autobahn (Cassidy und Rudjanakanoknad, 2005).

Die Situation auf der Autobahn unterhalb einer Einfahrt ist nach Banks (2009) seltener Ursache von Verkehrszusammenbrüchen. In seiner Studie zu Verkehrszusammenbrüchen an Autobahn-Engpässen fand er keine Hinweise, dass es mit Rampendosierungen gelingt, die Zeitperiode mit hohem Verkehrsfluss, wie er unmittelbar vor dem Verkehrszusammenbruch beobachtet werden kann, spürbar zu verlängern. Einschränkend weist er aber daraufhin, dass in speziellen Fällen, namentlich bei in Pulks einfahrenden Fahrzeugen, eine Rampendosierung Vorteile bringen kann. Dies wird von Elefteriadou et al. (2011) bestätigt. Sie verweisen auf Forschungsergebnisse, welche eine Korrelation zwischen der Anzahl Fahrzeuge, welche in Pulks von der Rampe einfahren, und der Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs im Einfahrtbereich zeigen.

Für die Modellierung des oben beschriebenen Verkehrsablaufes im Bereich von Autobahneinfahrten sind Mikrosimulations-Modelle erforderlich. Diese müssen die folgenden individuellen Fahrverhaltensmuster und deren Einfluss auf den Verkehrsfluss für unterschiedliche Verkehrssituationen (Dichte, Schwerverkehrsanteil etc.) möglichst realitätsgetreu abbilden können:

- Verhalten beim Folgen eines vorausfahrenden Fahrzeuges (Fahrzeug-Folge-Modell)
- Akzeptanz von Zeitlücken beim Einfädeln
- Spurwechselerhalten

Ein Beispiel einer Open Source Software für Verkehrsmikrosimulationen ist MITSIMLab¹⁴. Bekannte Vertreter kommerzieller Software sind AIMSUN¹⁵, Cube Dynasim¹⁶, PARAMICS¹⁷, Transmodeller¹⁸ und VISSIM¹⁹.

Als Output liefern Mikrosimulationsmodelle üblicherweise für jeden Modelllauf Angaben zu den Geschwindigkeiten, Stauzeiten, Anzahl Halten usw. Bei jedem Modelllauf handelt es sich um die Realisation eines stochastischen Prozesses. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sind mehrere Simulationsläufe erforderlich, aus denen dann die für die Bewertung notwendigen Indikatoren ermittelt werden.

Zusätzlich zu aggregierten Kenngrößen speichern die Mikrosimulationsmodelle die Trajektorien der einzelnen Fahrzeuge, d.h. deren Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung usw. in festgelegten Zeitschritten, z.B. jede Sekunde. Diese Trajektorien enthalten auch die Informationen zu kritischen Annäherungen resp. Konflikten zwischen einzelnen Fahrzeugen. Die Analyse dieser Konfliktsituationen liefert Hinweise zum Unfallrisiko; die Häufigkeit und die Schwere der Konflikte können als Ersatzmasse (Surrogate Safety Measures) für die Beurteilung der Verkehrssicherheit verwendet werden. Details dazu finden sich in Gettman und Head (2003).

Das Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) ist eine frei verfügbare Software²⁰ für die Analyse der Fahrzeugtrajektorien aus Mikrosimulationsmodellen (Pu und Joshi, 2008). Sie wertet z.B. die Fahrzeugtrajektorien von VISSIM aus und liefert Angaben zur Häufigkeit und Schwere von Konflikten zwischen zwei Fahrzeugen, also nicht direkt zur Anzahl der zu erwartenden Anzahl Unfälle. Es werden u.a. die folgenden Masse zur Beschreibung der Konfliktschwere einer Situation verwendet:

- Zeit bis zur Kollision (Time to Collision, TTC): Zeit zwischen dem Verlassen des Konfliktpunktes durch das eine Fahrzeug und dem theoretischen Erreichen des Konfliktpunktes durch das andere (vortrittsberechtigte) Fahrzeug, wenn dieses nicht bremsen würde.
- Initiale Verzögerungsrate (Initial Deceleration Rate, DR): Intensität des Bremsmanövers, welches das betrachtete Fahrzeug zur Vermeidung einer Kollision durchführen muss.
- Maximale Geschwindigkeit der Fahrzeuge in einer Konfliktsituation (MaxS): Höhere der beiden Geschwindigkeiten von zwei sich auf Kollisionskurs befindenden Fahrzeugen
- Geschwindigkeitsdifferenz der Fahrzeuge in einer Konfliktsituation (deltaS): Höchste der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen zwei sich auf Kollisionskurs befindlichen Fahrzeugen für die Zeit zwischen dem Beginn und dem Ende der Konfliktsituation.

Je kritischer eine Konfliktsituation ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass daraus ein Unfall resultiert:

- Tiefere Werte für TTC weisen auf eine höhere Wahrscheinlichkeit eines Unfalles hin
- Höhere Werte von DR weisen auf eine höhere Wahrscheinlichkeit eines Unfalles hin

Die Werte von MaxS und deltaS können als Indikatoren für die zu erwartende Schwere einer (möglicherweise) resultierenden Kollision verwendet werden. Je höher diese Werte sind, desto gravierendere Folgen sind bei einer Kollision zu erwarten.

¹⁴ <http://its.mit.edu/software/mitsimlab>.

¹⁵ <http://www.aimsun.com/wp/>

¹⁶ <http://www.citilabs.com/cube-dynasim-4>

¹⁷ <http://www.paramics-online.com/>

¹⁸ <http://www.caliper.com/transmodeller/>

¹⁹ <http://vision-traffic.ptvgroup.com/de/produkte/ptv-vissim/>

²⁰ <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08049/>

Zudem werden die Konfliktsituationen nach den möglicherweise resultierenden Kollisionstypen unterschieden:

- Kollisionen beim Kreuzen (treten bei Autobahneinfahrten nicht auf)
- Auffahrkollisionen (rear-end conflicts)
- Kollisionen beim Spurwechsel (lane changing conflicts)

Zwischen den simulationsbasierten Konfliktdaten für Verkehrsknoten und der tatsächlich festgestellten Unfallzahlen bestehen signifikante Korrelationen (FHWA, 2008), für Verkehrskreisel z.B. der folgenden Form:

$$\frac{\text{Unfälle}}{\text{Jahr}} = 0.119 \left(\frac{\text{Konflikte}}{\text{Stunde}} \right)^{1.419}$$

Für Autobahneinfahrten fehlt eine entsprechende Regressionsgleichung, sie müsste empirisch noch ermittelt werden. Als ungefähre Grössenordnung (für die Verhältnisse in den USA) gibt die FHWA-Publikation (FHWA, 2008) einen Konflikt/Unfall-Quotienten von ca. 20'000 zu 1 an.

4.3.2 Modellierung einer Dosierung vom Typ 2 (kleines Netz, Korridor)

Wie in Tabelle 2 dargestellt, stehen bei diesem Typ einer Verkehrsdosierung die Verlagerung von Verkehrsstaus an weniger empfindliche Orte und die dadurch verursachten Routenwahländerungen (Verkehrsverlagerungen) im Vordergrund des Interesses, während die Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage (z.B. Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl) vernachlässigt werden können.

Verkehrsdosierungen werden in stark belasteten Netzen mit Stauproblematik als Alternative zu Kapazitätserweiterungen in Betracht gezogen. Die Dynamik der Staubildung, der Blockierung stromaufwärtsliegender Knoten und des Stauabbaus lässt sich mit statischen Verkehrsmodellen, wie sie in der Schweiz aktuell im Einsatz sind (z.B. nationales und verschiedene kantonale Personenverkehrsmodelle) nicht abbilden (Widmer und Klink, 2004). Dazu sind dynamische Modelle erforderlich.

Bei statischen Modellen (Static Assignment Models, STA) wird in jeder Iteration die Quell-Ziel-Matrix als Ganzes, z.B. bei einem Stundenmodell für die ganze Stunde zusammen, auf die Routen mit den niedrigsten generalisierten Reisekosten umgelegt. Mit den resultierenden Verkehrsbelastungen werden die generalisierten Kosten anhand kapazitätsabhängiger Belastungs-Geschwindigkeits-Funktionen, welche für jeden Linktyp definiert sind, neu berechnet und die nächste Iteration durchgeführt, bis ein Gleichgewicht erreicht ist, bei dem die generalisierten Kosten auf allen benutzten Pfaden zwischen einer Quelle i und einem Ziel j minimal oder gleich sind (Wardrop-Equilibrium). Weil bei statischen Modellen der Durchfluss (Propagation) des Verkehrs durch das Netz, d.h. dessen Dynamik z.B. in der Form von Staubildung und Stauabbau, nicht abgebildet wird, können die modellierten Verkehrsbelastungen auch grösser als die Kapazität sein. Bei statischen Modellen gilt für jeden Link: Zum Zeitpunkt t einfahrender Verkehr = zum Zeitpunkt t ausfahrender Verkehr. Gerade bei Verkehrsdosierungen ist dies jedoch ausgesprochen nicht der Fall. Für die Modellierung von Verkehrsdosierungen (oder anderen Verkehrsmanagement-Massnahmen) sind daher statische Modelle nicht brauchbar.

Für die Abbildung der Dynamik des Verkehrs sind Simulationsmodelle erforderlich. Grundsätzlich könnten dazu auch Mikrosimulations-Modelle eingesetzt werden. Für grössere Netze wären diese aber sehr aufwändig. Als Alternative stehen dynamische Umlenkungsmodelle, bekannt als DTA-Modelle (Dynamic Traffic Assignment, DTA), zur Verfügung.

Detaillierte Beschreibungen von DTA-Modellen finden sich in Chiu et al. (2011) und Sloboden et al. (2012). Kurz zusammengefasst können DTA-Modelle wie folgt beschrieben werden: Die Verkehrsnachfrage wird wie bei statischen Modellen in Quell-Ziel-Matrizen zusammengefasst, allerdings jeweils für kleine Zeitsegmente von beispielsweise 10 Minuten Dauer (eine Stundenmatrix besteht also z.B. aus 6 Teilmatrizen). Bei der Umlegung werden aus diesen Teilmatrizen für die einzelnen Quellzonen zufällig Abfahrten von Einzelfahrzeugen oder Fahrzeug-Paketen generiert und deren Fahrt durch das Netz zu ihrem Ziel simuliert. Die Geschwindigkeit auf den einzelnen Links wird mit kapazitäts-abhängigen Belastungs-Geschwindigkeits-Funktionen ermittelt (ähnlich wie bei statischen Modellen), evtl. ergänzt durch Modelle, bei denen die Geschwindigkeit durch vorausfahrende Fahrzeuge beeinflusst wird (Chiu, Zhou und Song, 2010). Im Gegensatz zu statischen Modellen, bei denen alle Fahrzeuge auf einem Link über die ganze Modellperiode (z.B. Stunde oder Tag) die gleiche Geschwindigkeit haben, gilt dies in einem dynamischen Modell nur für jene Fahrzeuge, welche zum gleichen Zeitpunkt (Sekunde) in den Link eingefahren sind. Zusätzlich werden die Wartezeiten und der Rückstau an den Knoten im Detail simuliert, welche durch die Routenwahl anderer Verkehrsteilnehmer beeinflusst werden. Weiter gilt, dass ein Fahrzeug nur dann in einen Link einfahren kann, wenn dieser nicht vollgestaut ist. Dies bedeutet insbesondere auch, dass die Belastung auf einem Link oder an einem Knoten nie grösser als die Kapazität sein kann.

In einem DTA-Modell "lernen" die Fahrzeuge bei jeder Iteration resp. sammeln "Erfahrung" bezüglich der Reisekosten. Die Iterationen werden so lange fortgeführt, bis ein Gleichgewicht erreicht ist, bei dem kein Verkehrsteilnehmer, welcher zum Zeitpunkt t losfährt, eine Route finden kann, welche zu einer Reduktion der Reisezeit führen würde. Es gibt also für jede Abfahrtszeit, und nicht für die ganze Modellperiode, einen Gleichgewichtszustand. Dieser wird als dynamisches Nutzer-Gleichgewicht (Dynamic User Equilibrium, DUE) bezeichnet.

Zur Verdeutlichung des Unterschiedes zwischen dem Gleichgewichtszustand in statischen Modellen (User Equilibrium, UE, nach Wardrop) und dem DUE seien im Folgenden nochmals die beiden Definitionen wiedergegeben (Sloboden et al., 2012):

STA: *In einem modellierten Netz mit mehreren möglichen Routen zwischen jedem Quelle-Ziel-Paar haben alle benutzten Routen die gleichen und niedrigsten generalisierten Kosten. Kein Verkehrsteilnehmer kann seine generalisierten Kosten durch die Wahl einer anderen Route senken → UE.*

DTA: *Zu einem gegebenen Zeitpunkt und einem gegebenen Abfahrtszeit-Intervall gilt für alle Quell-Ziel-Beziehungen, dass die benutzten Routen den gleichen und tiefsten Erfahrungswert für die generalisierten Kosten haben und dass kein Verkehrsteilnehmer seinen Erfahrungswert für die generalisierten Kosten durch eine einseitigen Aktion reduzieren kann → DUE.*

Weil die DTA-Modelle wie die Mikrosimulationsmodelle die Fahrten einzelner Fahrzeuge (oder Fahrzeugpakete) simulieren, aber anstelle von Fahrzeugfolge-Modellen Belastungs-Geschwindigkeits-Funktionen (wie die statischen Makromodelle) verwenden, werden sie mesoskopische Modelle genannt. Beispiele solcher mesoskopischer Modelle sind DYNASMART (Jayakrishnan, Mahmassani und Hu, 1994), DynaMIT (Ben-Akiva et al., 1998), DynusT²¹, Cube Avenue²² und DYNAMIQ²³.

Eingehendere Beschreibungen von zwei DTA-Modellen finden sich im folgenden Kapitel, in welchem im Rahmen des Fallbeispiels 2 die praktische Anwendung von Cube Avenue und des Fallbeispiels 3 jene von DynusT dargestellt werden. Cube ist eine weltweit verbreitet angewandte Suite kommerzieller Verkehrsmodellierungs-Software, während es sich bei DynusT um eine Open Source Software handelt.

²¹ <http://www.dynust.net/>

²² <http://www.citilabs.com/products/cube/cube-avenue>

²³ <http://www.inro.ca/en/products/dynameq/>

4.3.3 Modellierung einer Dosierung vom Typ 3 (komplexe Situationen)

In komplexen Situationen ist als Folge der Einführung einer Verkehrsdosierung mit vielfältigen Wechselwirkungen zwischen der Verkehrsnachfrage und dem Verkehrsangebot zu rechnen, wie dies im Wirkungsmodell im Kapitel 2.2.2 skizziert ist. Bei diesen Wechselwirkungen handelt es sich um dynamische Prozesse, für deren Abbildung Simulationsmodelle erforderlich sind. Auf der Nachfrageseite bietet sich dazu eine agentenbasierte Mikrosimulation an, auf der Angebotsseite ist wie bei Dosierungen vom Typ 2 ein DTA-Modell zweckmässig. Das agentenbasierte Mikrosimulationsmodell und das mesoskopische DTA-Modell wirken iterativ zusammen, wie dies in der folgenden Abbildung vereinfacht dargestellt ist.

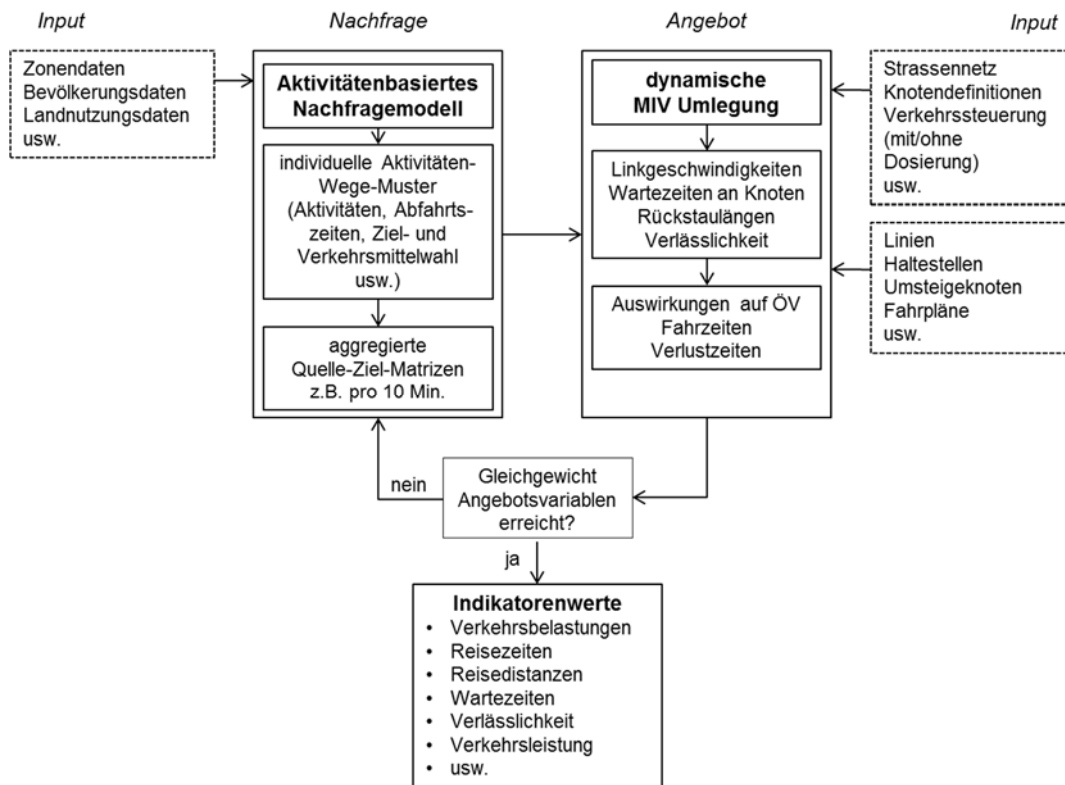


Abbildung 4: Zusammenwirkungs-Prinzip von agentenbasiertem Nachfragemodell und DTA-Modell (Quelle: eigene Darstellung)

Als wichtiges Ergebnis der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die notwendigen Schnittstellen und Programmteile entwickelt, welche das reibungslose Zusammenwirken zwischen einem agentenbasierten Mikrosimulationsmodell und einem DTA-Modell in einem Modell ermöglichen.

Für das agentenbasierte Nachfrage-Simulationsmodell wird MATSim, für die dynamische Verkehrsumlegung DynusT verwendet. Die folgenden Gründe sprachen für diese Wahl:

- Beides sind Open Source Programme, welche von Universitäten entwickelt und kostenfrei zur Verfügung gestellt werden.
- Für beide Programme bestehen schon grössere Anwendungen ausserhalb der Universitäten, was eine Eignung auch für Nicht-Forschungszwecke vermuten lässt.
- MATSim hat sich in verschiedenen Anwendungsfällen bewährt und die Forschungsstelle ist mit dieser Software bestens vertraut.
- DynusT wurde in den USA in verschiedenen Regionen angewendet. Aktuell wird es in einem Modellsystem eingesetzt, welches für die Region Sacramento in Kalifornien erstellt wird. Dieses Modellsystem kombiniert in ähnlicher Weise, wie wir dies hier beabsichtigen, ein Aktivitäten-basiertes Nachfragemodell (DaySim) mit einem DTA-Modell (Rossi und Xyrtarakis, 2013). Der öffentliche Verkehr wird separat modelliert.

MATSim ist eine agentenbasierte Verkehrssimulation, welche mittels eines iterativen Optimierungsverfahrens die Nachfrage auf simulierte Gegebenheiten reagieren lässt, um so einen dynamischen Gleichgewichtszustand zu erzeugen. Leider lässt zur Zeit der Detailgrad der Simulation des Verkehrsflusses durch Netze eine Untersuchung von Dosierungsmassnahmen nicht zu.

Dazu wird DynusT, ein mesoskopisches Verkehrssimulationsmodell, eingesetzt, welches eine gegebene Nachfrage dynamisch auf das Verkehrsnetz umlegt. DynusT beschränkt sich dabei jedoch auf die einmalige Simulation der Nachfrage, ohne die Nachfrage auf simulierte Gegebenheiten reagieren zu lassen.

Für die detaillierte Untersuchung der Auswirkungen eines Dosierungskonzeptes werden MATSim und DynusT miteinander gekoppelt: DynusT führt die detaillierte, mesoskopische Simulation einer gegebenen Nachfrage durch, während MATSim basierend auf den Simulationsergebnissen (Reisezeiten) von DynusT Nachfrageänderungen vornimmt. Dynamische Umlegung und Nachfrageanpassung werden mehrfach alternierend wiederholt, um auf diesem Weg ein dynamisches Gleichgewicht zu erreichen.

a) Nachfragemodellierung mit MATSim

Für die dynamische Umlegung wird die Verkehrsnachfrage im Untersuchungsgebiet benötigt. Da im vorliegenden Fall auch durch Dosierungsmassnahmen ausgelöste Wechsel des gewählten Verkehrsmittels erkannt werden sollen, ist eine komplett multimodale Nachfrage zu modellieren. Die Nachfrage wird agentenbasiert erzeugt; es werden also einzelne synthetische Personen inkl. deren Attribute und Verhaltensmuster modelliert. Da je nach Region die Datenverfügbarkeit stark unterschiedlich ist, gibt es zurzeit innerhalb MATSim keinen standardisierten Prozess zur Erzeugung der initialen Nachfrage. Dennoch gibt es typische Arbeitsschritte, die in den meisten Fällen ausgeführt werden, um eine initiale Nachfrage zu erstellen:

- Erstellung einer synthetischen Bevölkerung: Es werden so viele künstliche Personen generiert, wie im Untersuchungsgebiet leben. Den Personen werden Wohnort-Koordinaten so zugewiesen, dass die entsprechenden Randsummen (z.B. Anzahl Einwohner pro Gemeinde oder Hektare) möglichst gut stimmen. In der Schweiz werden für diesen Schritt in der Regel Volkszählungsdaten als Grundlage verwendet.
- Zuweisung von Personenattributen: Den erzeugten Personen werden, sofern die Daten verfügbar sind, sozio-demographische Attribute (Alter, Geschlecht, Fahrausweisbesitz, ÖV-Zeitkartenbesitz usw.) zugewiesen. Die Zuweisung der Attribute sollte nach Möglichkeit wiederum so erfolgen, dass vorgegebene Randsummen (z.B. Altersstruktur pro Region) möglichst gut erreicht werden.
- Zuweisung von Aktivitätenketten: Den synthetischen Personen werden Aktivitätenketten zugewiesen, die ihre Aktivitäten im Tagesverlauf beschreiben (z.B. zu Hause – Arbeiten – Einkaufen – zu Hause). Üblicherweise werden solche Aktivitätenketten mittels Personentagebüchern erhoben. In der Schweiz dient der Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) als eine übliche Datenquelle. Die Zuweisung der Aktivitätenketten kann dabei (je nach Datenverfügbarkeit) entsprechend den soziodemographischen Attributen der Wohnregion erfolgen. Dies erlaubt es, sehr spezifische Verhaltensmuster abzubilden, vorausgesetzt die zu Grunde liegenden Erhebungsdaten sind entsprechend umfangreich.
- Zuweisung von Aktivitätsdauern: Üblicherweise werden zusammen mit den Aktivitätenketten auch die Aktivitätsdauern aus den Erhebungsdaten übernommen und den Personen als Standardwert zugewiesen. Die Zeiten werden später während der Simulation weiter angepasst und optimiert.
- Zuweisung von Aktivitätsstandorten: Jeder Aktivität wird eine Koordinate zugewiesen, wo die Aktivität ausgeführt wird. Die Wahl der Koordinate ist dabei abhängig von anderen bereits gewählten Koordinaten, den Aktivitäten und der Verfügbarkeit entsprechender Infrastrukturen. So ist beispielsweise die Distanz zwischen vorheriger und nächster Aktivität oftmals abhängig von der Art des Aktivitätenpaars. Aus Erhebungen lassen sich typische Distanzverteilungen ermitteln, z.B. für Wohnen-Arbeit, Wohnen-Einkauf, Arbeit-Freizeit usw. Die Wahl des Standortes (Koordinate) für eine Aktivität

- sollte entsprechend der Distanzverteilung erfolgen, unter Berücksichtigung des effektiven Angebots (Arbeitsplätze, Schulplätze, Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten).
- Zuweisung von verwendeten Verkehrsmitteln: Die Verkehrsmittelwahl wird üblicherweise von MATSim während der Simulation optimiert. Entsprechend kann bei der Modellierung der Nachfrage ein Verkehrsmittel zufällig zugewiesen werden oder es wird das in der erhobenen Aktivitätenkette verwendete Verkehrsmittel übernommen.

Ist diese erste, initiale Nachfrage erzeugt, kann MATSim mittels eines iterativen Optimierungsprozesses die Nachfrage weiter optimieren. Dazu gehören verbesserte Wahlen der Abfahrtszeit, des Verkehrsmittels oder der Route. So können beispielsweise die Agenten in der Simulation auf kleinräumige Erreichbarkeitsunterschiede reagieren, die bei der initialen Modellierung nicht berücksichtigt werden konnten. Ebenfalls ist es den Agenten so möglich, auf das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer zu reagieren und z.B. bei Stau oder überfüllten Bussen Alternativen zu berücksichtigen.

Die Nachfrageoptimierung in MATSim beruht auf einem ko-evolutionären Algorithmus. Dabei versucht jeder Agent, seinen eigenen Tagesplan zu optimieren, wobei dies natürlich vom Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmer abhängig ist. Zur Definition, was ein „guter“ Tagesplan ist, wird eine generalisierte Nutzenfunktion verwendet: Das Ausüben von Aktivitäten bringt positiven Nutzen, Reisen bringt verkehrsmittelabhängigen negativen Nutzen. Weiterer negativer Nutzen kann entstehen, wenn zeitliche Randbedingungen nicht eingehalten werden (z.B. zu kurze Arbeitszeit, Ankunft zum Einkaufen nach Ladenschluss usw.).

Die Agenten modifizieren also ihre Pläne in der Hoffnung, einen besseren Tagesplan zu erhalten. Die neuen Pläne werden simultan simuliert und anschliessend bewertet. War der modifizierte Plan besser als der ursprüngliche, wird er behalten, andernfalls verworfen. Diese beiden Schritte, Planveränderung und Simulation, werden mehrmals wiederholt, bis sich ein gleichgewichtsähnlicher Zustand einstellt.

b) Dynamische Umlegung mit DynusT

DynusT ermöglicht die mesoskopische Simulation des MIV. Die zu simulierende Nachfrage wird mittels mehrerer Quell-Ziel-Matrizen festgelegt, wobei sich die Zeilen und Spalten der Matrizen auf eine Zoneneinteilung beziehen.

Dabei unterstützt DynusT eine hohe Anzahl an Matrizen, was es erlaubt, die Nachfrage sehr detailliert im Tagesverlauf zu beschreiben und Zeitscheiben zu verwenden, die deutlich kleiner als eine Stunde sind. Bei der Simulation verwendet DynusT einen stochastischen Ansatz, um die vorgegebene Anzahl Fahrzeuge innerhalb der Zeitscheibe zu verteilen: Sollen z.B. von A nach B innerhalb von 10 Minuten 20 Fahrzeuge fahren, so berechnet DynusT daraus eine Wahrscheinlichkeit von 2 Fahrzeugen pro Minute, oder eine Wahrscheinlichkeit von 0.2 Fahrzeugen pro 6 Sekunden (Grösse eines Simulationsschritts von DynusT). In jedem Simulationsschritt wird somit mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.2 ein Fahrzeug auf den Weg von A nach B geschickt. Dieses Vorgehen führt zu einer zufällig verteilten Nachfrage innerhalb einer Zeitscheibe. Dies hat aber den "Nachteil", dass nicht immer die exakt vorgegebene Anzahl Fahrzeuge erzeugt wird, wie man sich dies von den statischen Modellen her gewohnt ist. Je nach Verteilung der konkret gezogenen Zufallszahlen für die Umsetzung der Abfahrts-Wahrscheinlichkeit können einmal mehr, ein anderes Mal weniger Fahrzeuge pro Zeitscheibe erzeugt werden. Dies ist insbesondere bei der Auswertung und beim Vergleich von Simulationsläufen zu berücksichtigen.

DynusT verwendet eine modifizierte Greenshields-Funktion, um die Geschwindigkeitsanpassungen eines Fahrzeuges an die Verkehrsdichte zu simulieren. Dabei passt jedes Fahrzeug seine Geschwindigkeit an jene der sich stromabwärts innerhalb einer gewissen "Sichtweite" (Speed Influencing Region, SIR) befindenden Fahrzeuge resp. die dort herrschende Dichte k wie folgt an:

$$v = v_f \left[1 - \left(\frac{k - k_b}{k_{jam} - k_b} \right) \right]^\alpha, \quad k_b \leq k \leq k_{jam};$$

wobei $v = v_f$ wenn $k \leq k_b$

mit:

v = Fahrzeuggeschwindigkeit

v_f = Grundgeschwindigkeit (free flow speed)

k = Fahrzeugdichte im SIR (Fz/km/Fahrspur)

k_b = maximale Fahrzeugdichte, die die Grundgeschwindigkeit v_f zulässt

k_{jam} = Fahrzeugdichte bei Stau ($v = 0$); aus rechentechnischen Gründen wird ein sehr kleiner Wert $v > 0$ festgesetzt

α = Exponent, welcher die Geschwindigkeitsabnahme bei zunehmender Dichte beschreibt

Bis zur kritischen Fahrzeugdichte k_b innerhalb der SIR-Region wird für ein herannahendes Fahrzeug die Geschwindigkeit v_f angenommen. Bei zunehmender Verkehrsdichte reduziert das Fahrzeug seine Geschwindigkeit gemäss oben stehender Formel.

Die Dichte k für das Fahrzeug i innerhalb der Strecke SIR wird aus dem letzten Iterationsschritt übernommen, welche wie folgt berechnet wird:

$$k_i^{t-1} = \min \left[k_{jam}, \frac{N_i^{t-1}}{m x_i^{t-1} + n(l - x_i^{t-1})} \right]$$

mit:

l = Länge des SIR-Bereiches

t = Zeitintervall

x = Distanz zwischen dem Fahrzeug i und der nächsten Kapazitätsänderung (z.B. Fahrspuränderung) innerhalb des SIR-Bereiches l

N = Anzahl Fahrzeuge innerhalb des SIR-Bereiches

m = Anzahl Fahrspuren im SIR-Bereich vor der Kapazitätsveränderung

n = Anzahl Fahrspuren im SIR-Bereich nach der Kapazitätsveränderung

Die Geschwindigkeit v lässt sich aus der Dichte k in Abhängigkeit der Regelung für Überholvorgänge analytisch ableiten. Auf diese Weise reagiert jedes Fahrzeug mikroskopisch auf die mesoskopischen Verkehrsflüsse (Chiu, Zhou und Song, 2010).

c) Koppelung MATSim/DynusT

Da weder MATSim noch DynusT einzeln über vollen Funktionsumfang zur Untersuchung der Wirkungen von Dosierungsmassnahmen verfügen, werden die beiden Systeme miteinander gekoppelt. Konkret wird der Verkehrs-Simulationsteil von MATSim durch die mesoskopische Simulation von DynusT ersetzt. Der iterative Prozess der Nachfrageoptimierung besteht dann aus der Simulation in DynusT und der Nachfrageanpassung durch MATSim. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die angepasste Nachfrage von MATSim in DynusT zu übertragen und verkehrliche Kennzahlen der Simulation in DynusT wieder in MATSim für die Planbewertung zu übertragen. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den kombinierten Simulationsablauf von DynusT und MATSim.

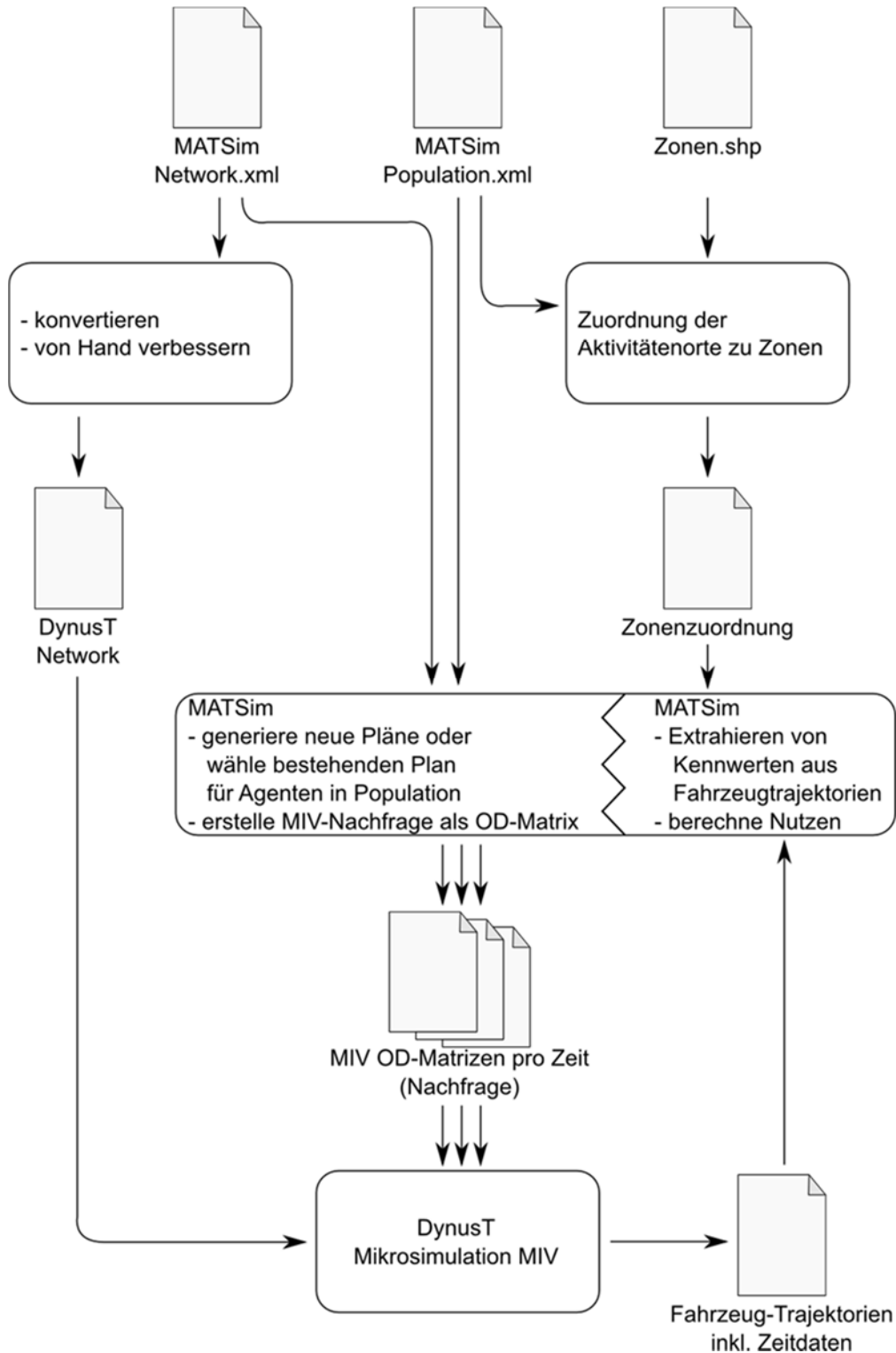


Abbildung 5: Kombiniertes Simulationsablauf von DynusT und MATSim (Quelle: eigene Darstellung)

MATSim kennt, wie erwähnt, keine Zonen. Stattdessen sind allen Aktivitäten Koordinaten zugewiesen. DynusT dagegen verwendet Zonen, um die Nachfrage zu beschreiben. Aus diesem Grund muss für alle Aktivitäten der MATSim-Nachfrage zuerst die zugehörige Zone berechnet werden. Dies ermöglicht es MATSim dann, die zu simulierenden MIV-Wege für DynusT in tageszeitabhängigen Quell-Ziel-Matrizen zu aggregieren. Die Quell-Ziel-Matrizen werden dazu von MATSim im DynusT-Format herausgeschrieben. Auf die-

sem Weg werden für den Tagesverkehr (24 Stunden) insgesamt 144 Matrizen, die jeweils die Nachfrage während 10 Minuten enthalten, exportiert.

Da die DynusT-Software das zu simulierende Modell im gleichen Verzeichnis erwartet, in welchem sich auch das Programm selbst befindet, werden in jeder Iteration für den Aufruf die kompletten DynusT-Modelldaten und alle anderen benötigten Dateien in ein eigenes Verzeichnis kopiert. Die zu simulierende Nachfrage wird von MATSim ebenfalls in dieses Verzeichnis exportiert. Danach kann MATSim per System-Call den DynusT-Prozess aufrufen und so die Verkehrssimulation starten. MATSim wartet, bis der DynusT-Prozess beendet ist, und schliesst die Simulation ab.

DynusT speichert während der Simulation für jedes simulierte Fahrzeug detaillierte Informationen zur gewählten Route, Abfahrtszeit, Zeitpunkte wann welche Knoten im Netz befahren wurden und welche Verlustzeiten aufgetreten sind. Diese Informationen werden in einer so genannten Fahrzeug-Trajektorien-Datei abgelegt. MATSim liest diese Datei ein und berechnet daraus zeitabhängige Reisezeiten pro Quell-Ziel-Beziehung.

Ein wichtiger Teil von MATSim ist die Bewertung von ausgeführten Tagesplänen. Üblicherweise bildet dabei die Reisezeit einen wesentlichen Bestandteil. Während MATSim im Normalfall diese Reisezeiten direkt pro Agent aus seiner integrierten Simulation ermitteln kann, muss es im vorliegenden Fall die Reisezeiten aus den von den Fahrzeug-Trajektorien ermittelten OD-Reisezeiten verwenden.

Wie in MATSim üblich, werden auch bei der kombinierten Anwendung von MATSim und DynusT die Freiheitsgrade zur Planveränderung der Agenten mit zunehmender Anzahl Iterationen eingeschränkt. Dies dient insbesondere dem Zweck, nach dem Aufbau eines Choice Sets von Plänen für die Agenten die Simulation zu stabilisieren, indem die Agenten nicht mehr gezwungen werden, regelmässig neue und zu diesem Zeitpunkt vermutlich suboptimale Pläne auszuprobieren. In unseren Untersuchungen hat sich eine Einschränkung der Verkehrsmittelwahl ab Iteration 30 und die Einschränkung der Abfahrtszeitenwahl ab Iteration 60 als zweckmässig erwiesen. Total werden 70 Iterationen durchgeführt. In den letzten 10 Iterationen können die Agenten also nur noch aus dem bestehenden Choice Set von Plänen wählen, und DynusT führt noch eine entsprechende Routenwahl durch.

5 Fallbeispiele

5.1 Wahl der Fallbeispiele

Für jeden der im Kapitel 4.2 definierten Dosierungstyp werden im Folgenden die in den beiden vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Methoden zur Modellierung und Bewertung von Verkehrsdosierungsanlagen an je einem Fallbeispiel angewendet. Ziel ist es, die praktische Anwendung dieser Methoden zu demonstrieren. Die Frage, was die effektiven Nutzen der Verkehrsdosierungsanlagen sind, steht dabei im Hintergrund. Um diese zu beantworten, müssten die Steuerungen analysiert und optimiert werden. Dies ist aber nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit. Die erarbeiteten Methoden zur Modellierung und Bewertung von Verkehrsdosierungen sind aber wichtige Instrumente, um eine solche Optimierung durchführen zu können.

Für den Typ 1 einer Verkehrsdosierung dient als Fallbeispiel eine Rampendosierung an einer Autobahn, wie sie z.B. bei der Einfahrt Richtung Gubristtunnel beim A20-Anschluss Zürich-Affoltern an der Nordumfahrung Zürich zum Einsatz gelangt. Dabei wird entsprechend der Definition des Typs 1 von Verkehrsdosierungen davon ausgegangen, dass sich die Auswirkungen der Rampendosierung im Wesentlichen auf den Verkehrsfluss auf der Autobahn im Anschlussbereich und auf jenen auf der Einfahrtsrampe beschränken und Routenwahländerungen oder andere Einflüsse auf die Mobilitätsentscheide vernachlässigbar sind.

Als Fallbeispiel für den Typ 2 einer Verkehrsdosierung dient eine geplante Dosierung des Zuflusses zu zwei kritischen Knoten im Zentrum einer Kleinstadt. Die geplante Dosierung betrifft nur einen kleinen Teil des Strassennetzes und es kann trotz des bestehenden ÖV-Angebotes davon ausgegangen werden, dass sich diese primär auf die Routenwahl und praktisch nicht auf die Verkehrsmittelwahl auswirken wird. Auch bei der Wahl der Abfahrtszeit ist nicht mit relevanten Änderungen zu rechnen.

Beim dritten Fallbeispiel handelt es sich um eine geplante Verkehrsdosierung vom Typ 3 für das Zentrum der mittelgrossen (grenzüberschreitenden) Agglomeration Konstanz/Kreuzlingen mit einem guten ÖV-Angebot. Die Grösse des im Agglomerationsprogramm ins Auge gefassten Wirkperimeters lässt neben Einflüssen auf die Routenwahl auch solche auf die Verkehrsmittelwahl und die Wahl der Abfahrtszeit erwarten.

5.2 Fallbeispiel Typ 1 einer Verkehrsdosierung (Rampendosierung)

Bei diesem Fallbeispiel wird das in den Kapiteln 3 und 4 vorgeschlagene Vorgehen zur Abschätzung der für die Beurteilung der Nutzen einer Rampendosierung dienlichen Indikatorenwerte vorgestellt. Aus der Vielzahl möglicher Steuerungskonzepte für Rampendosierungen wird ein möglichst einfaches ausgewählt, wie es auch in der Schweiz zum Einsatz gelangt. Ausserdem wird nur eine Einzelanlage, welche nicht mit Dosierungen an stromaufwärts liegenden Einfahrten koordiniert ist, betrachtet. Die Methodik zur Beurteilung komplexerer Situation wäre jedoch grundsätzlich die gleiche, müsste aber evtl. mit Elementen der Methodik für die Dosierungstypen 2 oder 3 ergänzt werden.

5.2.1 Situation und Untersuchungsgegenstand

Die Dosierung des in eine zweispurige Autobahn einfahrenden Verkehrs erfolgt wie beim A1-Anschluss Zürich-Affoltern (siehe die folgende Abbildung) mit einer verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung, welche bei einer fixen Umlaufzeit von 8 Sekunden abwechselnd jeweils für 1 Fahrzeug auf den beiden Zufahrtsspuren "Grün" anzeigt. Die Kapazität der Dosieranlage beträgt 900 Fz/h (alle 4 Sekunden ein Fahrzeug). Neben der

Limitierung der Anzahl Einfahrten ist die Auflösung von Fahrzeugpuls ein wichtiger Zweck dieser Art von Verkehrsdosierung.



Abbildung 6: Beispiel einer Autobahn-Einfahrt mit Rampendosierung

Die Rampendosierung wird bei grossem Verkehrsaufkommen auf der Autobahn resp. wenn die mittlere Geschwindigkeit auf der Autobahn einen gewissen Schwellenwert unterschreitet, eingeschaltet. Nimmt das Verkehrsaufkommen auf der Autobahn ab resp. überschreitet die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge auf der Autobahn wieder einen festgelegten Schwellenwert, wird die Dosierung wieder ausgeschaltet. Zur Vermeidung von Verkehrsstörungen durch kurzzeitiges Ein-/Ausschalten der Dosierung sind gewisse Mindestschaltzeiten festgelegt. In diesem Fallbeispiel nehmen wir an, die Dosieranlage sei während 30 Minuten in Betrieb.

Für verschiedene Verkehrsnachfrage-Situationen im Bereich der Kapazität der Autobahn und der Einfahrtsrampe sollen die Wirkungen der Rampendosierung auf die folgenden Indikatoren untersucht werden:

- mittlere Reisezeit der Fahrzeuge auf der Autobahn
- mittlere Reisezeit der einfahrenden Fahrzeuge
- Summe der Reisezeiten aller Fahrzeuge innerhalb des Wirkperimeters
- Veränderung der Zuverlässigkeit für die Fahrzeuge auf der Autobahn
- Veränderung der Zuverlässigkeit für die einfahrenden Fahrzeuge
- Schwere und Häufigkeit der Konfliktsituationen zwischen einzelnen Fahrzeugen

5.2.2 Modellerstellung

Die Mikrosimulation der Verkehrssituationen im Einfahrtsbereich erfolgt mit VISSIM, Version 5.4.

a) Netz

Das in der Mikrosimulation berücksichtigte Netz (Systemperimeter), bestehend aus dem Autobahnabschnitt und der Einfahrtsrampe, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

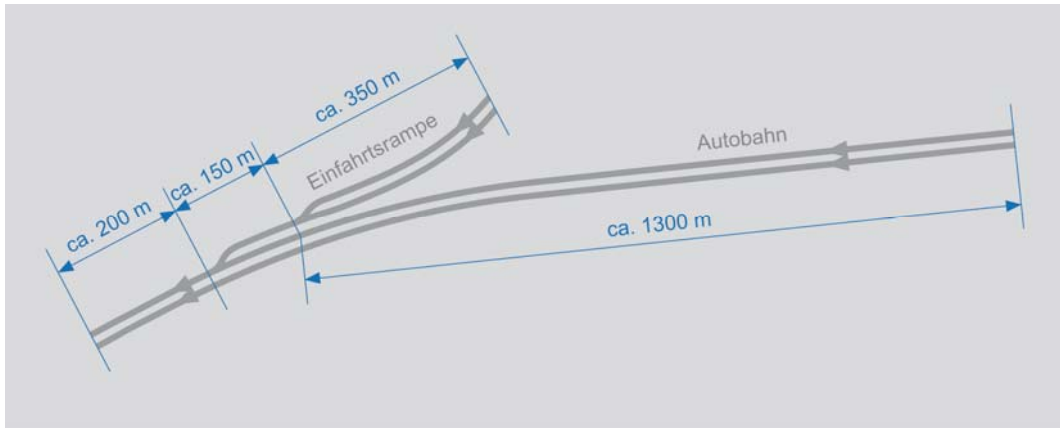


Abbildung 7: In der Mikrosimulation berücksichtigtes Strassennetz (Systemperimeter)

b) Nachfrage

Um die Wirkung der Rampendosierung zu ermitteln, werden die Mikrosimulationen für die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Kombinationen von Verkehrsnachfragen auf der Autobahn und auf der Einfahrtsrampe (Belastungsfälle), je für den Fall mit ausgeschalteter und mit eingeschalteter Rampendosierung, durchgeführt.

Die Einfahrt der Fahrzeuge in das simulierte System erfolgt nach der in VISSIM implementierten Zufallsverteilung. Die durch die Lichtsignalsteuerung am Sekundärknoten verursachte Pulkbildung auf der Einfahrtsrampe bleibt unberücksichtigt.

Tabelle 3: Untersuchte Kombinationen der Verkehrsnachfrage

| | | Nachfrage Einfahrtsrampe [Fz/h] | | |
|---------------------------------|------|---------------------------------|-----|------|
| | | 800 | 900 | 1000 |
| Nachfrage Autobahn [Fz/h] | 2600 | A1 | A2 | A3 |
| | 2800 | B1 | B2 | B3 |
| | 3000 | C1 | C2 | C3 |
| | 3200 | D1 | D2 | D3 |

Der Schwerverkehrsanteil wird bei allen Verkehrssituationen mit 5% angenommen.

c) Parametereinstellungen zur Abbildung des Verkehrsverhaltens

Von den vielen Parametern, welche VISSIM zur Abbildung des Verkehrsverhaltens zur Verfügung stellt, sind jene im Anhang I zusammengestellt, welche für die Simulation des Verkehrsverhaltens bei einer Autobahneinfahrt von besonderer Bedeutung sind. Mit diesen Parametereinstellungen konnten plausible Ergebnisse für das Fahrverhalten der Fahrzeuge, die Kapazität und die Rückstaubildung auf der Autobahn und auf der Einfahrtsrampe erzielt werden. Auf eine eigentliche Kalibration musste verzichtet werden, da die dazu notwendigen Detaildaten für die als Beispiel dienende Situation beim A1-Anschluss Zürich-Affoltern nicht vorhanden sind.

5.2.3 Modellergebnisse

Die Ergebnisse der Mikrosimulationen sind Zufallsvariablen, welche von der gewählten Start-Zufallszahl abhängen. Entsprechend wurden für jede der oben erwähnten Kombinationen der Verkehrsnachfrage, je ohne und mit Rampendosierung, 10 Simulationsläufe durchgeführt und aus diesen die im Folgenden zusammengestellten Indikatorenwerte ermittelt.

Screenshots typischer Verkehrssituationen ohne und mit Rampendosierung sind in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

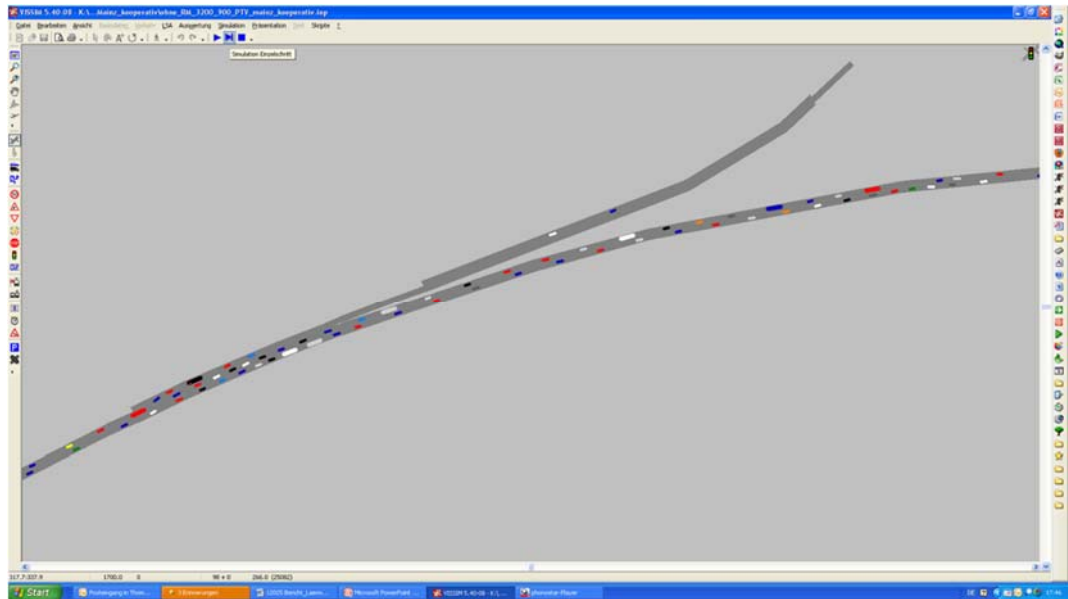


Abbildung 8: Typische Situation aus dem Mikrosimulationsmodell, ohne Dosierung

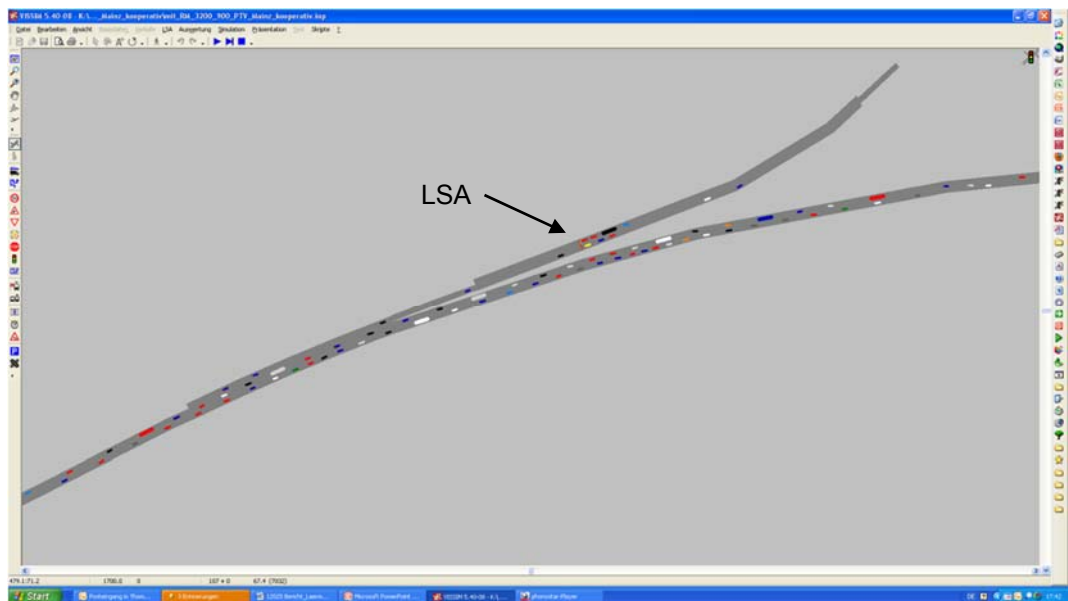


Abbildung 9: Typische Situation aus dem Mikrosimulationsmodell, mit Dosierung

Im Fall ohne Dosierung (Abbildung 8) ist eine erhöhte Verkehrsdichte im Einfädelungsbe-
reich erkennbar. Dies ist im Fall mit Dosierung (Abbildung 9) erwartungsgemäss weniger
der Fall. Hier ist dafür die Staubildung vor der Dosierungsstelle (LSA) erkennbar.

a) Mittlere Reisezeiten

Die mittleren Reisezeiten wurden für die sich bereits auf der Autobahn (Stammstrecke) befindenden Fahrzeuge und für die einfahrenden Fahrzeuge (Einfahrtsrampe) ermittelt, und zwar jeweils für die im Mikrosimulationsmodell berücksichtigten Streckenabschnitte (vgl. Abbildung 7).

Stammstrecke

Den Einfluss der Verkehrsmengen einerseits und der Rampendosierung andererseits auf die mit dem Mikrosimulationsmodell berechneten mittleren Reisezeiten der Fahrzeuge auf der Stammstrecke zeigen die folgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 4: Mittlere Reisezeiten [s] des Verkehrs auf der Stammstrecke

| Belastungsfall* | Mittlere Reisezeit [s] | | |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 43.2 | 43.4 | 0.2 |
| A2 (2600/900) | 43.4 | 43.6 | 0.2 |
| A3 (2600/1000) | 44.1 | 43.6 | -0.5 |
| B1 (2800/800) | 44.2 | 44.4 | 0.2 |
| B2 (2800/900) | 44.3 | 44.8 | 0.5 |
| B3 (2800/1000) | 45.2 | 44.6 | -0.6 |
| C1 (3000/800) | 45.8 | 45.7 | -0.1 |
| C2 (3000/900) | 47.3 | 48.2 | 0.5 |
| C3 (3000/1000) | 51.1 | 46.7 | -4.4 |
| D1 (3200/800) | 49.0 | 47.9 | -1.1 |
| D2 (3200/900) | 60.8 | 52.2 | -8.6 |
| D3 (3200/1000) | 81.8 | 52.5 | -29.3 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

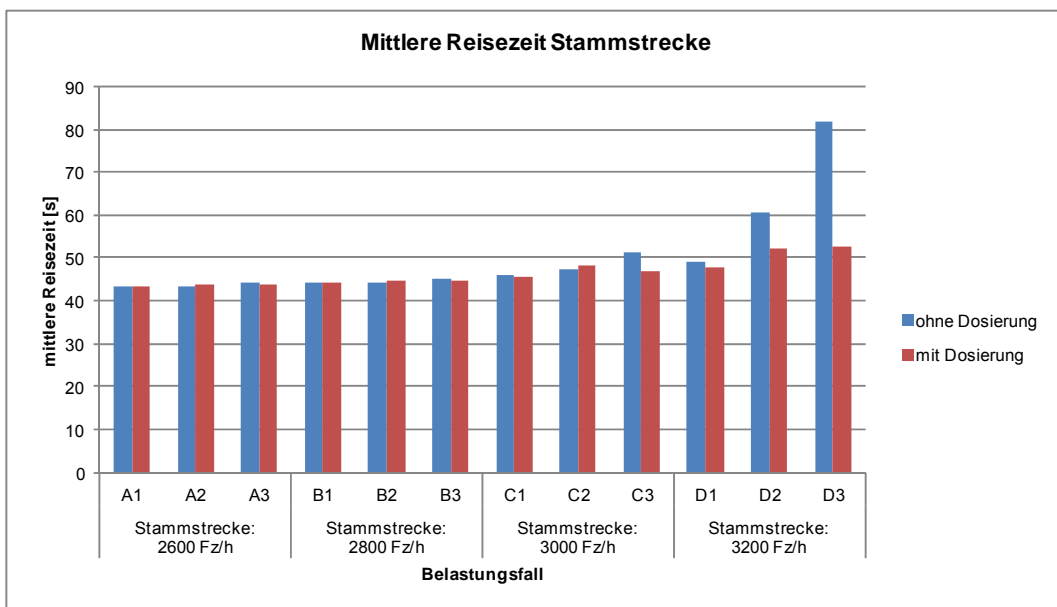


Abbildung 10: Mittlere Reisezeit [s] auf der Stammstrecke ohne/mit Rampendosierung

Wenn die Verkehrsstärke des einfahrenden Verkehrs gross (> 900 Fz/Std.) ist sowie generell in Fällen mit hoher Verkehrsnachfrage auf der Stammstrecke (> 3'000 Fz/Std.) bewirkt die Rampendosierung eine Reduktion der mittleren Reisezeiten auf der Stammstrecke. In den übrigen Fällen bleibt die mittlere Reisezeit auf der Stammstrecke durch die Rampendosierung praktisch unbeeinflusst.

Verkehr auf der Einfahrtsrampe

Die Veränderungen der mittleren Reisezeiten des einfahrenden Verkehrs zeigen die folgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 5: Mittlere Reisezeiten [s] des einfahrenden Verkehrs auf der Einfahrtsrampe

| Belastungsfall* | Mittlere Reisezeit [s] | | |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 25.8 | 55.3 | 29.5 |
| A2 (2600/900) | 26.1 | 82.4 | 56.3 |
| A3 (2600/1000) | 26.8 | 144.4 | 117.6 |
| B1 (2800/800) | 26.3 | 55.7 | 29.4 |
| B2 (2800/900) | 26.4 | 82.8 | 56.4 |
| B3 (2800/1000) | 27.3 | 144.7 | 117.4 |
| C1 (3000/800) | 27.1 | 56.3 | 29.2 |
| C2 (3000/900) | 28.1 | 84.2 | 56.1 |
| C3 (3000/1000) | 29.7 | 145.5 | 115.8 |
| D1 (3200/800) | 28.2 | 57 | 28.8 |
| D2 (3200/900) | 31.6 | 85.6 | 54 |
| D3 (3200/1000) | 33.9 | 147.1 | 113.2 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

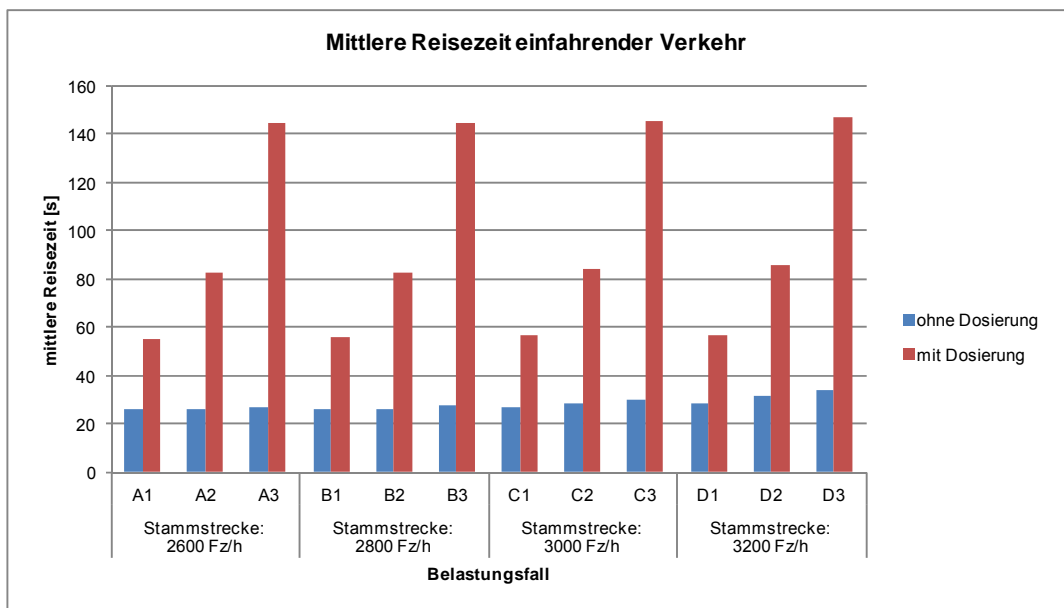


Abbildung 11: Mittlere Reisezeit [s] auf der Einfahrtsrampe ohne/mit Rampendosierung

Für die einfahrenden Fahrzeuge wirkt sich die angenommene Rampendosierung in jedem Fall deutlich negativ auf die mittleren Reisezeiten aus. Besonders gross ist die Zunahme der mittleren Reisezeit natürlich, wenn die Nachfrage auf der Einfahrtsrampe die Kapazität der Dosieranlage von 900 Fz/h übersteigt (Belastungsfälle A3, B3 C3 und D3).

Gesamtverkehr (Stammstrecke und Einfahrtsrampe)

Die mit den Verkehrsmengen der einzelnen Belastungsfälle gewichteten mittleren Reisezeiten des Verkehrs innerhalb des Untersuchungsperimeters (Abschnitte auf der Stammstrecke und auf der Einfahrtsrampe gemäss Abbildung 7) ohne und mit Dosierung zeigen die folgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 6: Gewichtetes Mittel der Reisezeiten [s] aller Fahrzeuge im modellierten Systemperimeter (Stammstrecke + Einfahrtsrampe)

| Belastungsfall* | Mittlere Reisezeit [s] | | |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 39.1 | 46.2 | 7.1 |
| A2 (2600/900) | 39.0 | 53.6 | 14.6 |
| A3 (2600/1000) | 39.3 | 71.6 | 32.3 |
| B1 (2800/800) | 40.2 | 46.9 | 6.7 |
| B2 (2800/900) | 39.9 | 54.0 | 14.1 |
| B3 (2800/1000) | 40.5 | 70.9 | 30.5 |
| C1 (3000/800) | 41.9 | 47.9 | 6.1 |
| C2 (3000/900) | 42.9 | 56.5 | 13.6 |
| C3 (3000/1000) | 45.8 | 71.4 | 25.7 |
| D1 (3200/800) | 44.8 | 49.7 | 4.9 |
| D2 (3200/900) | 54.4 | 59.5 | 5.1 |
| D3 (3200/1000) | 70.4 | 75.0 | 4.6 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

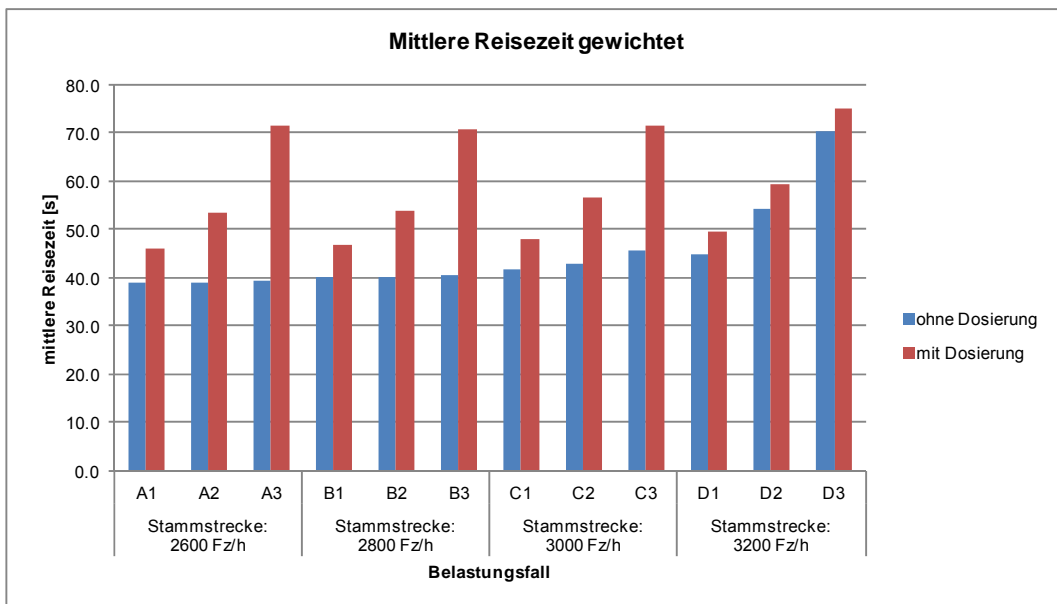


Abbildung 12: Gewichtetes Mittel der Reisezeiten [s] aller Fahrzeuge im modellierten Systemperimeter (Stammstrecke + Einfahrtsrampe)

Auf die mittlere Reisezeit aller Fahrzeuge (Stammverkehr und einfahrender Verkehr) wirkt sich die Rampendosierung bei allen untersuchten Nachfragekombinationen negativ aus. Dies, weil die Reisezeitgewinne des Stammverkehrs die Reisezeitverluste des einfahrenden Verkehrs in der Summe nicht zu kompensieren vermögen.

b) Zuverlässigkeit

Die Reisezeiten der einzelnen Fahrzeuge sind zufällig verteilt. Als Mass für die Zuverlässigkeit eines Verkehrsangebotes wird oft die Differenz zwischen dem 90. Perzentil und dem Median der Reisezeiten, welche in der Literatur als Buffer-Index bezeichnet wird, verwendet (siehe Kapitel 3.3.4). Die sich aus den Simulationsläufen ergebenden Buffer-Indices sind in den folgenden Tabellen für die Fälle ohne und mit Rampendosierung zusammengestellt, je für den Verkehr auf der Stammstrecke und für den einfahrenden Verkehr.

Tabelle 7: Zuverlässigkeitsmass [s] (Buffer-Index) für den Verkehr auf der Stammstrecke

| Belastungsfall* | Zuverlässigkeitsmass [s] | | |
|-----------------|--------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 5.6 | 6.0 | 0.4 |
| A2 (2600/900) | 5.7 | 5.6 | -0.1 |
| A3 (2600/1000) | 6.2 | 5.8 | -0.4 |
| B1 (2800/800) | 5.2 | 6.1 | 0.9 |
| B2 (2800/900) | 5.9 | 6.3 | 0.4 |
| B3 (2800/1000) | 6.5 | 6.0 | -0.5 |
| C1 (3000/800) | 6.9 | 6.4 | -0.5 |
| C2 (3000/900) | 9.8 | 8.3 | -1.5 |
| C3 (3000/1000) | 16.8 | 6.6 | -10.2 |
| D1 (3200/800) | 11.2 | 7.1 | -4.1 |
| D2 (3200/900) | 28.5 | 16.2 | -12.3 |
| D3 (3200/1000) | 57.7 | 18.5 | -39.2 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

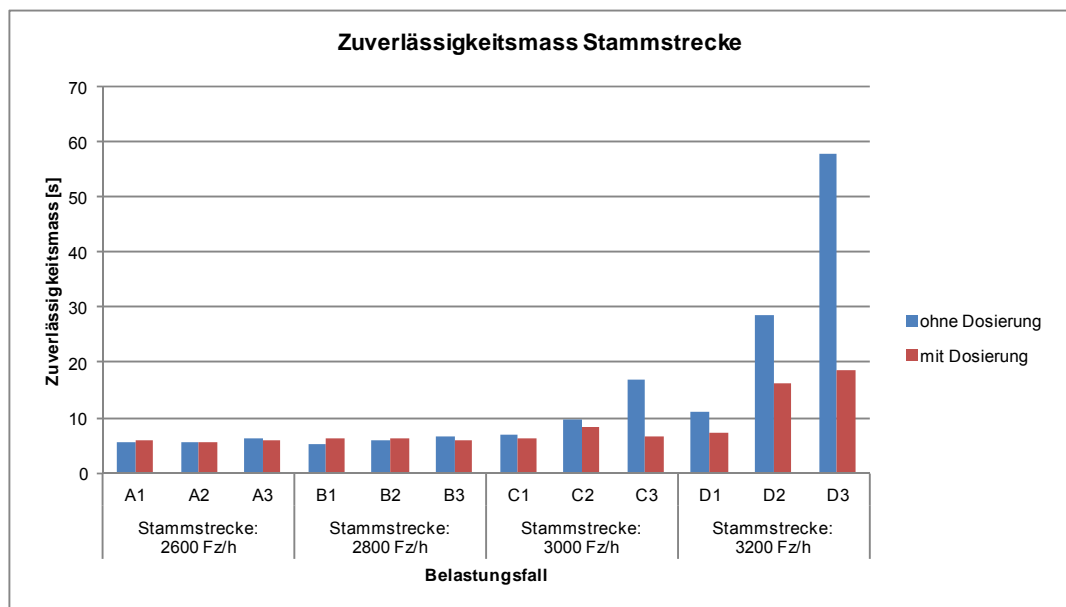


Abbildung 13: Zuverlässigkeitsmass [s] (Buffer-Index) für den Verkehr auf der Stammstrecke ohne/mit Rampendosierung

Tabelle 8: Zuverlässigkeitsmass [s] (Buffer-Index) für den einfahrenden Verkehr

| Belastungsfall* | Zuverlässigkeitsmass [s] | | |
|-----------------|--------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 4.7 | 18.5 | 13.8 |
| A2 (2600/900) | 4.9 | 38.5 | 33.6 |
| A3 (2600/1000) | 5.5 | 61.2 | 55.7 |
| B1 (2800/800) | 6.1 | 18.8 | 12.7 |
| B2 (2800/900) | 4.9 | 38.3 | 33.4 |
| B3 (2800/1000) | 6.2 | 61.5 | 55.3 |
| C1 (3000/800) | 5.8 | 19.1 | 13.3 |
| C2 (3000/900) | 6.8 | 38.2 | 31.4 |
| C3 (3000/1000) | 8.3 | 62.1 | 53.8 |
| D1 (3200/800) | 7.0 | 19.4 | 12.4 |
| D2 (3200/900) | 7.7 | 39.3 | 31.6 |
| D3 (3200/1000) | 8.3 | 62.9 | 54.6 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

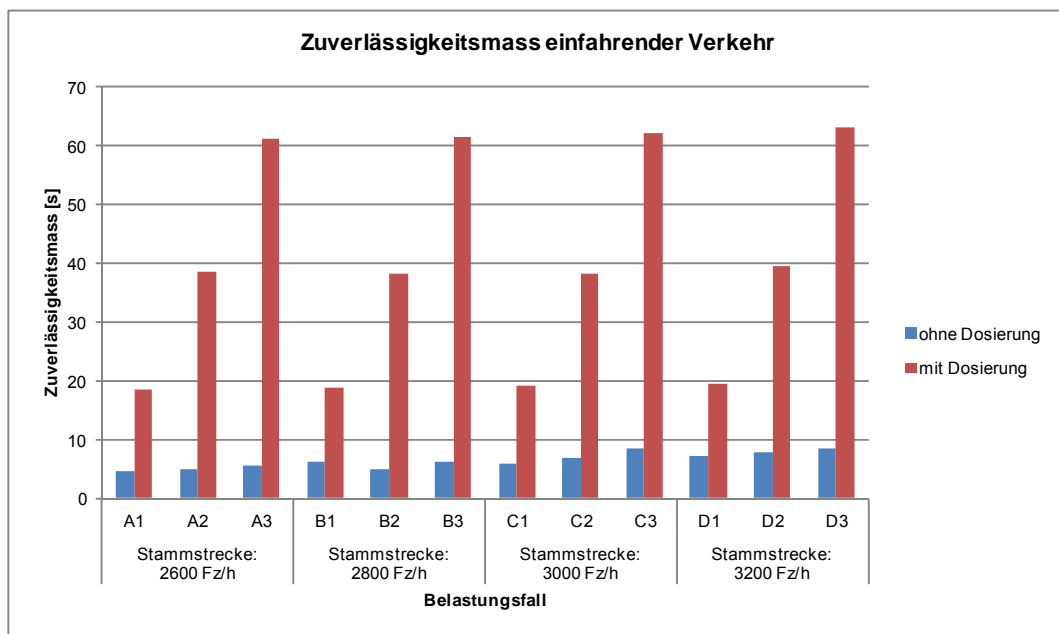


Abbildung 14: Zuverlässigkeitsmass [s] (Buffer-Index) für den einfahrenden Verkehr ohne/mit Rampendosierung

Während mit der Rampendosierung die Zuverlässigkeit für den Verkehr auf der Stammstrecke mit steigender Verkehrsmenge deutlich verbessert werden kann, sinkt die Zuverlässigkeit für die einfahrenden Fahrzeuge bei allen Nachfragestufen signifikant.

Die folgende Tabelle zeigt die mit den jeweiligen Verkehrsmengen gewichteten mittleren Buffer-Indices für den Gesamtverkehr (Verkehr auf der Stammstrecke und einfahrender Verkehr).

Tabelle 9: Gewichtetes Mittel des Zuverlässigkeitsmasses [s] (Buffer-Index) innerhalb des modellierten Systemperimeters (Stammstrecke + Einfahrtsrampe)

| Belastungsfall* | Zuverlässigkeitsmass [s] | | |
|-----------------|--------------------------|---------------|-----------|
| | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
| A1 (2600/800) | 5.4 | 8.9 | 3.6 |
| A2 (2600/900) | 5.5 | 14.1 | 8.6 |
| A3 (2600/1000) | 6.0 | 21.2 | 15.2 |
| B1 (2800/800) | 5.4 | 8.9 | 3.5 |
| B2 (2800/900) | 5.7 | 14.1 | 8.4 |
| B3 (2800/1000) | 6.4 | 20.6 | 14.2 |
| C1 (3000/800) | 6.7 | 9.1 | 2.4 |
| C2 (3000/900) | 9.1 | 15.2 | 6.1 |
| C3 (3000/1000) | 14.7 | 20.5 | 5.8 |
| D1 (3200/800) | 10.4 | 9.6 | -0.8 |
| D2 (3200/900) | 23.9 | 21.3 | -2.7 |
| D3 (3200/1000) | 45.9 | 29.1 | -16.9 |

* A1 (2600/800): Belastungsfall (Nachfrage Stammstrecke/Einfahrt [Fz/h])

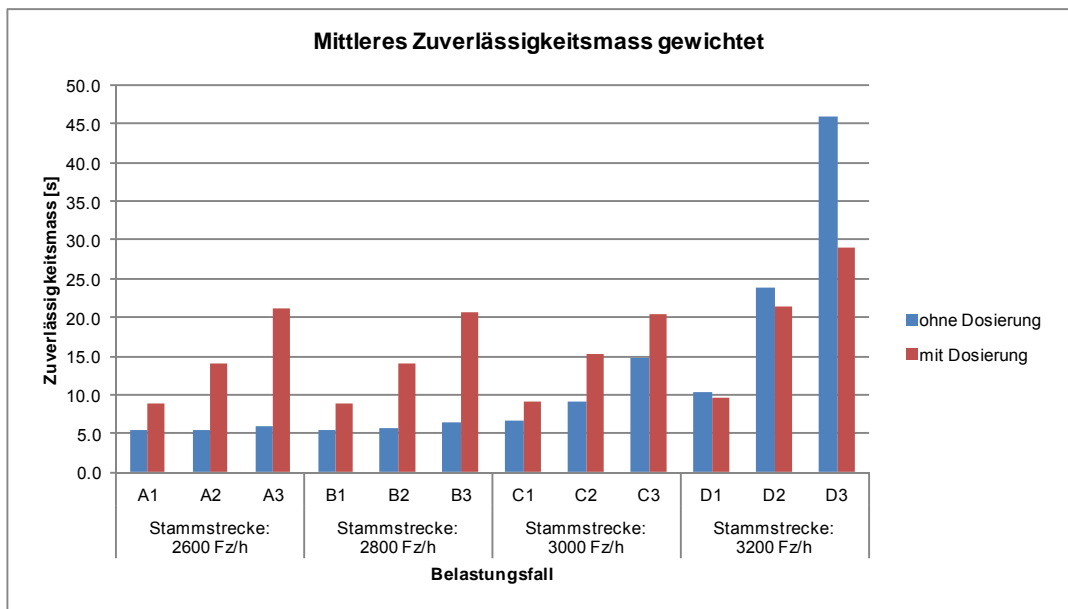


Abbildung 15: Gewichtetes Mittel des Zuverlässigkeitsmasses [s] (Buffer-Index) innerhalb des modellierten Systemperimeters (Stammstrecke + Einfahrtsrampe)

Erst bei einer hohen Verkehrsbelastung von 3'200 Fz/h auf der Stammstrecke führt die Rampendosierung zu einer Verbesserung der Verlässlichkeit für den Gesamtverkehr innerhalb des Betrachtungsperimeters (Abschnitte der Stammstrecke und der Einfahrtsrampe gemäss Abbildung 7: In der Mikrosimulation berücksichtigtes Strassennetz (Systemperimeter). Der Gewinn ist umso grösser, je grösser die einfahrende Verkehrsmenge ist.

c) Veränderung der Konfliktsituationen

Die Fahrzeugtrajektorien aller 10 Simulationsläufe für die Situationen mit einer Verkehrsnachfrage von 3'200 Fz/h auf der Stammstrecke und einer Verkehrsnachfrage von 800, 900 sowie 1'000 Fz/h auf der Einfahrtsrampe wurden mit der Software SSAM ausgewertet.

Als Masse für die Wahrscheinlichkeit von Unfällen sind in den beiden folgenden Abbildungen die Ergebnisse für die Kennwerte TTC (Zeit bis zur theoretischen Kollision) und DR (initiale Verzögerungsrate), je für den Fall ohne und mit Rampendosierung (RD) zusammengestellt (die Definitionen dieser Kennwerte finden sich im Kapitel 4.3.1).

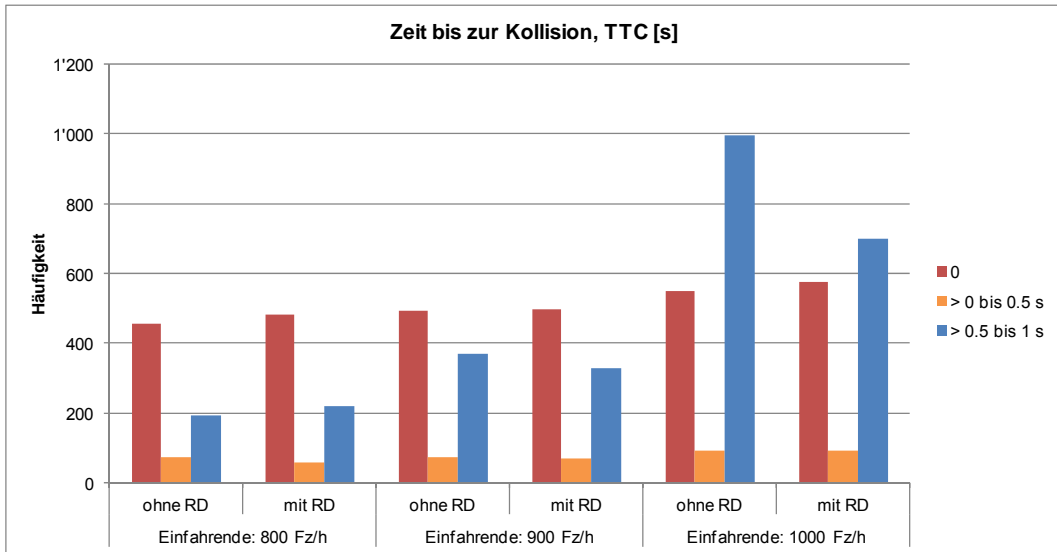


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilungen der TTC-Werte (Verkehr auf der Stammstrecke = 3'200 Fz/h)

Die Häufigkeit der besonders unfallträchtigen Konfliktsituationen mit TTC-Werten < 0.5 s wird durch die Rampendosierung kaum beeinflusst, im Fall mit 1'000 einfahrenden Fahrzeugen/Std. nimmt sie sogar leicht zu. Bei den TTC-Werten > 0.5 s ist bei 900 und besonders bei 1'000 einfahrenden Fahrzeugen/Std. eine Abnahme infolge der Rampendosierung festzustellen. Im letzteren Fall dürfte dies jedoch darauf zurückzuführen sein, dass die Nachfrage grösser als die Kapazität der Rampendosierung ist, also nicht alle Fahrzeuge in die Autobahn einfahren können. Der t-Test ergibt, dass die Unterschiede zwischen den Situationen ohne und mit Rampendosierung nur für diesen Fall statistisch signifikant sind.

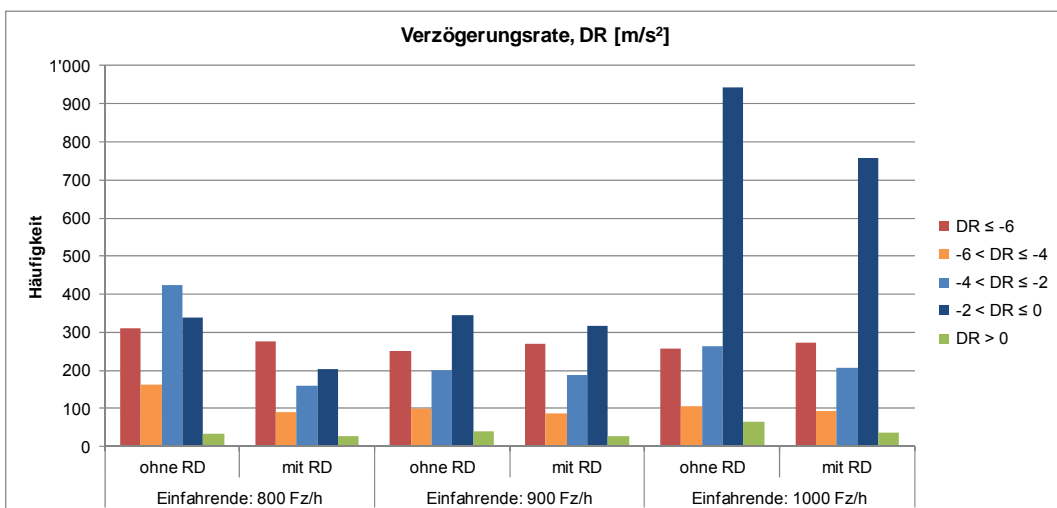


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilungen der DR-Werte (Verkehr auf der Stammstrecke = 3'200 Fz/h)

Bei den initialen Verzögerungsraten (DR) kann bei 800 einfahrenden Fahrzeugen/Std. eine Abnahme der Konflikthäufigkeit infolge der Rampendosierung festgestellt werden. Bei 900 einfahrenden Fahrzeugen/Std. bringt die Rampendosierung kaum eine Veränderung. Bei 1'000 einfahrenden Fahrzeugen/Std. ergibt sich eine Abnahme bei den Konflikten mit weniger ausgeprägten DR-Werten; dies dürfte aber wiederum darauf zurückzuführen

sein, dass mit der Rampendosierung nicht alle Fahrzeuge in die Autobahn einfahren können. Der t-Test ergibt, dass bei keiner der drei Einfahrtsbelastungen die Unterschiede zwischen den Situationen ohne und mit Rampendosierung statistisch signifikant sind. Der Indikator MaxS gibt einen Hinweis auf die potentielle Schwere möglicher Unfälle, welche aus den Konfliktsituationen entstehen können. Die Häufigkeitsverteilung dieses Indikators ist für die untersuchten Situationen mit einer Verkehrsnachfrage von 3'200 Fz/h auf der Autobahn und einer solchen von 800, 900 und 1'000 Fz/h auf der Einfahrtsrampe je für den Fall ohne und mit Rampendosierung (RD) in der folgenden Abbildung dargestellt.

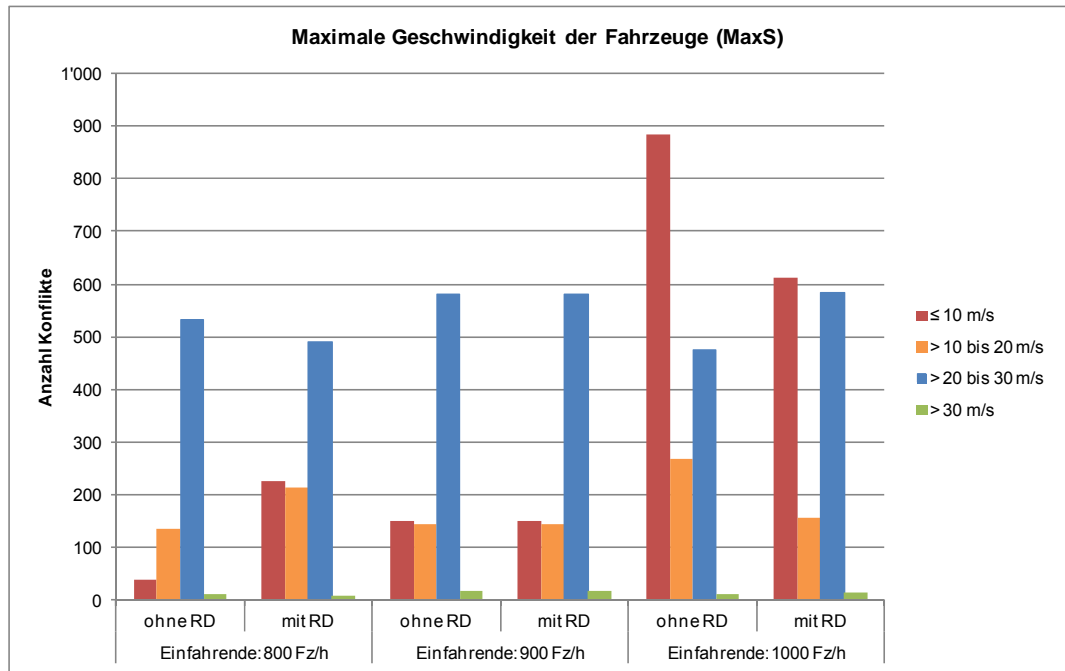


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilungen für die Werte von MaxS (Verkehr auf der Stammstrecke = 3'200 Fz/h)

Während bei der Situation mit 800 einfahrenden Fahrzeugen/Std. die Rampendosierung nicht zu signifikanten Unterschieden führt, sind diese bei den Situationen mit 900 und mit 1'000 einfahrenden Fahrzeugen/Std. statistisch signifikant: Die Konflikte mit niedrigen Werten für MaxS nehmen mit der Rampendosierung ab, während jene mit hohen Werten für MaxS zunehmen. Die Rampendosierung würde in diesem Fallbeispiel also in der Tendenz zu einer Verschiebung von eher leichten zu eher schweren Unfällen führen.

Wie die folgende Abbildung zeigt, sind die Auswirkungen der Rampendosierung auf die maximale Geschwindigkeitsdifferenz (deltaS) zwischen zwei Konfliktpartnern, einem weiteren Indikator für die potentielle Schwere eines möglichen Unfalls, nicht ausgeprägt und der Unterschied ist nur für den Fall mit 900 einfahrenden Fahrzeugen/Std. statistisch signifikant.

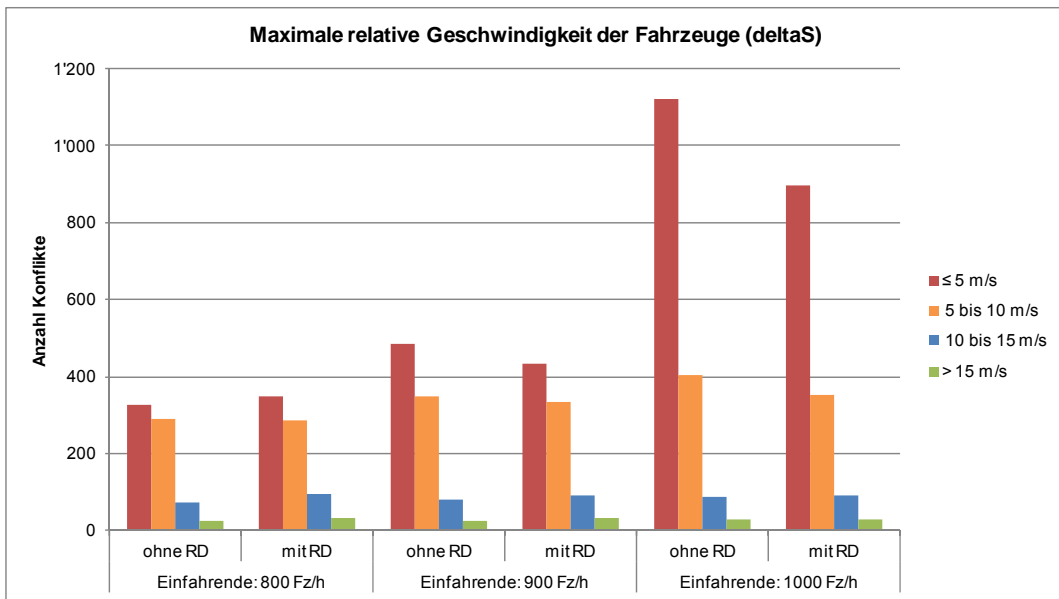


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilungen für die Werte von deltaS

Mit der Rampendosierung sinkt die Häufigkeit der Konflikte mit tieferen Werten für deltaS, während jene für die höheren Werte leicht zunimmt.

Die Häufigkeit der potentiellen Kollisionsarten ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Bei den Situationen mit 800 und 900 einfahrenden Fahrzeugen/Std. überwiegen die Konflikte bei Spurwechselvorgängen, bei der Situation mit 1'000 einfahrenden Fahrzeugen/Std. jene, welche zu Auffahrunfällen führen können. Tendenziell würde in diesem Fallbeispiel die Rampendosierung in allen drei Fällen zu einer leichten Zunahme der Spurwechsel-Unfälle führen, während die Auffahrunfälle vor allem bei hoher Verkehrsnachfrage auf der Einfahrtsrampe abnehmen würden.

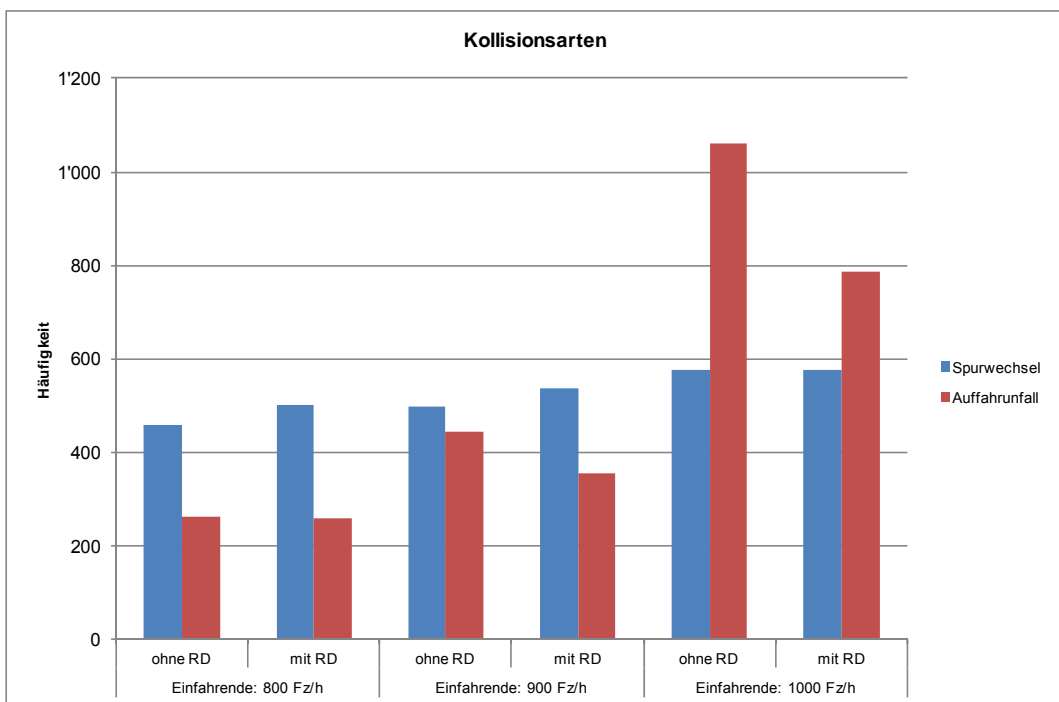


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilungen der Kollisionsarten

Am Beispiel der Situation mit einer Verkehrsnachfrage von 3'200 Fz/Std. auf der Autobahn und 900 Fz/Std. auf der Einfahrtsrampe zeigen die beiden folgenden Abbildungen (Screenshots aus dem SSAM-Modell) die geographische Verteilung der Auffahrunfälle

(rot) und der Spurwechselunfälle (blau) für die Situationen ohne resp. mit Rampendosierung. Deutlich erkennbar ist die Zunahme der Auffahrunfälle auf der Einfahrtsrampe bei eingeschalteter Rampendosierung.

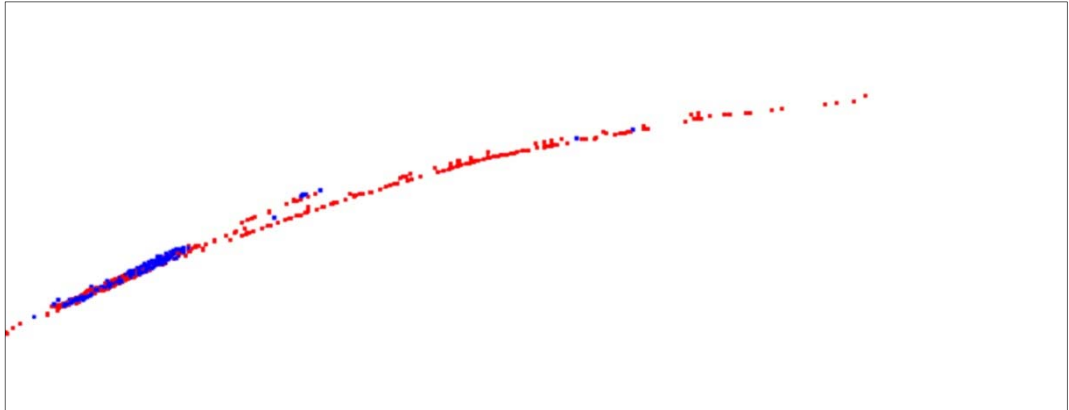


Abbildung 21: Konflikte mit Unfallpotential (rot: Auffahrunfälle, blau: Spurwechselunfälle), ohne Rampendosierung

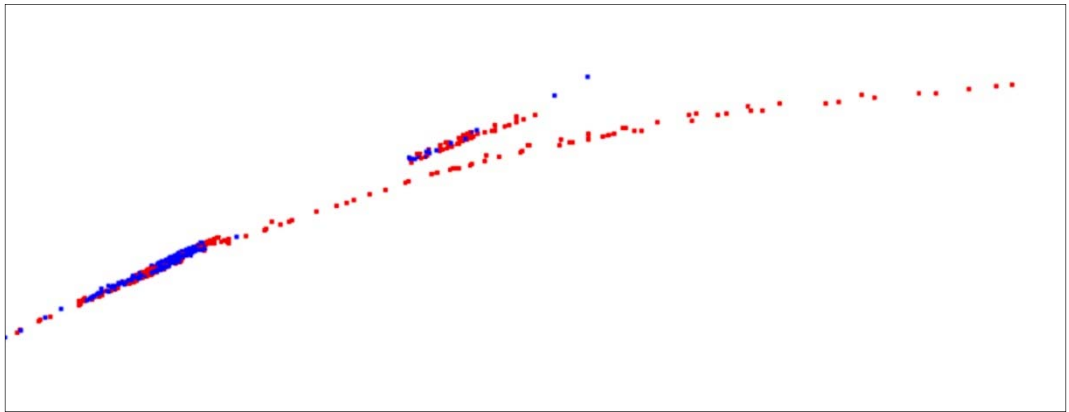


Abbildung 22: Konflikte mit Unfallpotential (rot: Auffahrunfälle, blau: Spurwechselunfälle), mit Rampendosierung

5.2.4 Bewertung

a) Massgebende Indikatoren

Mit der in diesem Fallbeispiel gewählten Systemabgrenzung für die Untersuchung der Rampendosierung sind allfällige Auswirkungen auf den Fuss- und Veloverkehr sowie den ÖV nicht relevant. Auch mit Mehrverkehr wird nicht gerechnet. Da für die Rampendosierung im vorliegenden Fall keine Strassenausbauten erforderlich sind, entfallen auch Landkosten und zusätzliche Bodenversiegelungen sowie Auswirkungen auf das Orts- und Landschaftsbild. Veränderungen der Lärmbelastungen können ausser Acht gelassen werden, da weder Wohnnutzungen noch Schutz- und Erholungsgebiete betroffen sind. Von den in der Tabelle 1 zusammengestellten Indikatoren verbleiben für die Bewertung dieses Fallbeispiels somit die folgenden:

Tabelle 10: Für die Bewertung in diesem Fallbeispiel relevante Indikatoren

| Bereich | Indikator nach NISTRA | KNA | VWA |
|--------------|--------------------------------------|-----|-----|
| Gesellschaft | Unfälle | ✓ | |
| Wirtschaft | Investitionskosten (Baukosten) | ✓ | |
| | Ersatzinvestitionen | ✓ | |
| | Betriebs- und Unterhaltskosten | ✓ | |
| | Reisezeitveränderungen Stammverkehr | ✓ | |
| | Veränderungen der Zuverlässigkeit | ✓ | |
| | Betriebskosten Fahrzeuge | ✓ | |
| Umwelt | Luftbelastung | ✓ | |
| | Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | ✓ | |

Alle in diesem Fallbeispiel relevanten Indikatoren sind monetarisierbar. Die Bewertung kann damit als reine KNA durchgeführt werden.

b) Kosten

Die Investitionskosten für eine Rampendosierung können mit rund CHF 330'000 veranschlagt werden. Innerhalb der angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren sind keine Ersatzinvestitionen nötig. Unter der Annahme eines Diskontsatzes von 2% ergibt sich damit eine Annuität von CHF 20'182.

Für Betrieb und Unterhalt der Anlage ist jährlich mit ca. CHF 15'000 zu rechnen.

c) Nutzen

In diesem Fallbeispiel bewirkt die Rampendosierung eine Zunahme der Summe der Reisezeiten aller Verkehrsteilnehmer. Entsprechend dürften auch die Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen höher ausfallen. Bei Verkehrsmengen auf der Stammstrecke unterhalb der Kapazitätsgrenze verschlechtert sich mit der Rampendosierung die Zuverlässigkeit. Beim Unfallgeschehen kann aufgrund der Ergebnisse der Konfliktanalysen insgesamt nicht mit einer Verbesserung gerechnet werden.

In diesem Fallbeispiel ergibt sich also mit der angenommenen Steuerung bei Verkehrsmengen unterhalb der Kapazitätsgrenze der Stammstrecke ein negativer Nutzen der Rampendosierung. Erst bei einer sehr starken Auslastung der Stammstrecke, wenn die Reisezeitgewinne des Stammverkehrs die Reisezeitverluste des einfahrenden Verkehrs mehr als kompensieren, könnte mit der Rampendosierung evtl. ein positiver Gesamtnutzen erreicht werden. Auf eine detaillierte Berechnung desselben wird an dieser Stelle aber verzichtet und auf die beiden folgenden Fallbeispiele verwiesen, bei welchen das dazu notwendige Vorgehen dargestellt wird.

5.2.5 Diskussion der Ergebnisse und der Methodik

Das Ergebnis, dass die Rampendosierung einen negativen Nutzen aufweist, gilt nur für dieses Fallbeispiel und darf nicht verallgemeinert werden. Berücksichtigt werden muss auch, dass in diesem Fallbeispiel für die Zeitlücken im Fahrzeugstrom auf der Einfahrtsrampe eine Zufallsverteilung angenommen wurde. Wäre von Fahrzeugpulk, welche z.B. durch eine stromaufwärts liegende Lichtsignalanlage gebildet werden, ausgegangen, hätten sich andere Ergebnisse ergeben. Die in der Literatur berichteten Untersuchungsergebnisse für ein System mit koordinierten Rampendosierungen zeigen jedenfalls, dass mit dieser Art der Verkehrssteuerung erhebliche Gesamtnutzen erzielbar sind (Cambridge Systematics, Inc., 2001).

Das Hauptziel dieses Fallbeispiels war die Demonstration des Einsatzes eines Verkehrs-Mikrosimulationsmodells für die Abbildung der komplexen Verkehrsabläufe im Einfahrtsbereich einer Autobahn ohne und mit Rampendosierung sowie die Ermittlung der für die

Bewertung benötigten Kennwerte aus den Simulationsergebnissen. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Die Hinweise auf die verwendeten Modellparameter, welche eine realitätsnahe Abbildung des Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmer auf der Stammstrecke und jener auf der Einfahrtsrampe erlaubten, sind für weitere Anwendungsfälle wertvoll. In der Praxis sollten sie aber anhand der Ergebnisse ausführlicher empirischer Untersuchungen vor Ort überprüft und für den konkreten Fall kalibriert werden. Dieser Arbeitsschritt konnte nicht Gegenstand der Forschungsarbeit sein.

Unseres Wissens wurde im Rahmen dieses Fallbeispiels erstmals in der Schweiz die Software SSAM für eine Konflikt-Analyse anhand der Ergebnisse der Verkehrsmikrosimulation im Einfahrtsbereich einer Autobahn-Einfahrt eingesetzt. Diese Methode liefert wertvolle Hinweise für die Abschätzung der Auswirkungen der Rampendosierung auf das Unfallgeschehen. Die Resultate scheinen plausibel; eine Überprüfung im Rahmen einer empirischen Studie, bei welcher auch der Zusammenhang zwischen den Konfliktdaten und den Unfalldaten untersucht würde, müsste aber Gegenstand einer weiteren Forschungsarbeit sein.

5.3 Fallbeispiel Typ 2 einer Verkehrsdosierung (einfaches Netz)

5.3.1 Situation und Fragestellung

Frauenfeld ist eine Kleinstadt mit ca. 24'000 Einwohnern. Die geographische Lage im Kanton Thurgau ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich.



Abbildung 23: Geographische Lage der Stadt Frauenfeld

Im Zentrumsbereich der Stadt treten an den in der folgenden Abbildung eingezeichneten Knoten (Rathausplatz mit den angrenzenden Verkehrskreiseln "Postplatz" und "Holderdor") während der Morgen- und insbesondere während der Abendspitzenstunde Verkehrsstaus auf, welche an diesem städtebaulich empfindlichen Ort stören und teilweise auch die Busse des öffentlichen Verkehrs behindern.

Die Stadt Frauenfeld prüfte Möglichkeiten, mit einem Verkehrsdosierungskonzept die Zufahrten zum Rathausplatz während der Abendspitzenstunde so zu reduzieren, dass auf diesem resp. auf den beiden angrenzenden Verkehrskreiseln mindestens die Verkehrs-

qualitätsstufe²⁴ D gewährleistet ist.

Vom beauftragten Büro wurden mehrere Varianten von Dosierungskonzepten ausgearbeitet, von denen die Auswirkungen auf die Verkehrsbelastung beim Rathausplatz und die zu erwartenden Verkehrsverlagerungen im städtischen Netz abzuschätzen waren. Mögliche Auswirkungen auf den Modal Split und die Abfahrtszeiten wurden als höchstens geringfügig beurteilt und waren nicht zu untersuchen.

Für die Abschätzung der Entlastungswirkungen und der Verkehrsverlagerungen wurde ein dynamisches mesoskopisches Verkehrsumlegungsmodell eingesetzt. Von den untersuchten Varianten erwies sich das in der folgenden Abbildung dargestellte Konzept als am vielversprechendsten.

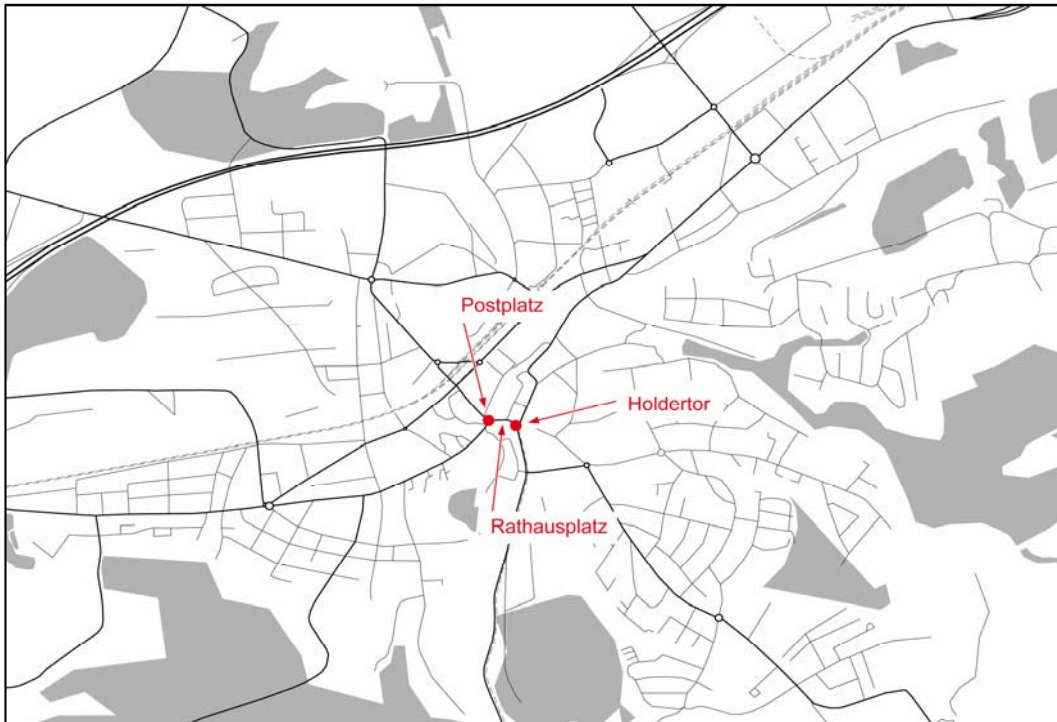


Abbildung 24: Knoten mit Rückstau während der Spitzenzeiten



Abbildung 25: Dosierstellen und Ausdehnung des Wirkperimeters

²⁴ Die Verkehrsqualitätsstufen für Verkehrskreisel sind in der VSS-Norm SN 640 024a definiert.

Das Dosierungskonzept sieht vor, an den in der Abbildung 25 eingezeichneten Dosierstellen Lichtsignalanlagen (bei der nördlichen Dosierstelle deren zwei hintereinander) zu installieren, an denen während der (hier massgebenden) Abendspitzenstunde der Richtung Zentrum fahrende Verkehr mit entsprechend reduzierten Grünzeit-Anteilen reduziert wird.

Im Folgenden soll gezeigt werden, wie unter der Annahme, die Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage (Modal Split und Wahl der Abfahrtszeiten) seien vernachlässigbar, mit dem dynamischen mesoskopischen Umlegungsmodell die Grundlagen für die Abschätzung des Nutzens dieses Dosierungskonzeptes erstellt werden können.

5.3.2 Modellkonzept

Es gelangt die Verkehrsmodell-Software Cube Avenue²⁵ zum Einsatz. Mit dieser werden die Quelle-Ziel-Matrizen der einzelnen Zeitintervalle (z.B. von 10 Minuten Dauer) dynamisch, wie im Kapitel 4.3.2 beschrieben, auf das Verkehrsnetz umgelegt. Es werden Fahrzeug-Pakete mit einem oder mehreren Fahrzeugen gebildet. Für jedes Paket wird zufällig eine Abfahrtszeit gewählt und der Weg durch das Strassennetz von der Quell- zur Zielzone unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation (Auslastung der Strassenabschnitte, Wartezeiten an Knoten, Rückstau usw.) simuliert. Bei jeder Simulation "lernen" die Pakete resp. sammeln "Erfahrung" bezüglich der Reisekosten und suchen sich in der folgenden Iteration einen günstigeren Weg, bis ein dynamisches Nutzergleichgewicht erreicht ist.

a) Netz

Ein Ausschnitt des im Modell berücksichtigten Strassennetzes ist zusammen mit den Vortrittsregelungen an den Knoten in der folgenden Abbildung dargestellt. Das Strassennetz wird relativ detailliert abgebildet. Die Linkdefinitionen, insbesondere die Belastungs-/Geschwindigkeitsfunktionen, sind analog jenen, wie sie üblicherweise in statischen Modellen verwendet werden.

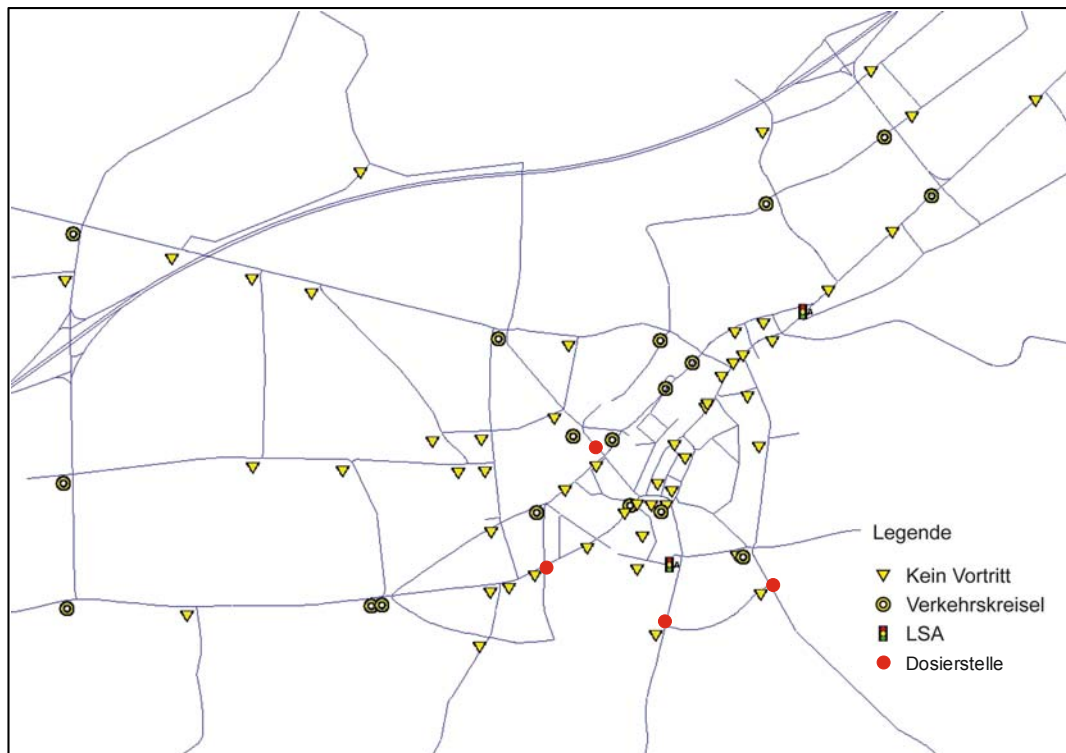


Abbildung 26: Ausschnitt aus dem modellierten Strassennetz

²⁵ <http://www.citilabs.com/products/cube/cube-avenue>

Da Wartezeiten und Rückstau vornehmlich an stark belasteten Knoten entstehen, müssen diese detailliert in das Modell eingegeben werden. Dazu gehören:

- Knotengeometrie
- Anzahl Spuren pro Zufahrt
- Vortrittsregelung
- bei Lichtsignalanlagen: Phasen, Minimal- und Maximalgrünzeiten (bei verkehrabhängig gesteuerten Anlagen) sowie Übergangszeiten

Die folgende Abbildung zeigt die Maske für die der Spuraufteilung jeder Knotenzufahrt, Abbildung 28 jene für die Eingabe des Phasenplanes und der Phasenzeiten bei einer verkehrabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage.

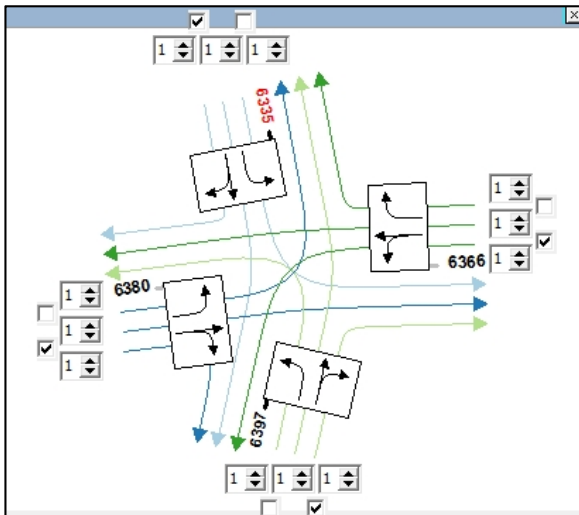


Abbildung 27: Eingabe der Spuraufteilung für eine Kreuzung

Intersection Data Editor : Node ID : 6402

Intersection Attributes: ?

Approach Nodes

First Arm

Phases

| Phase | Actual | Min | Max |
|-------|--------|-------|--------|
| 1 | 20.00 | 10.00 | 35.00 |
| 2 | 20.00 | 10.00 | 35.00 |
| 3 | 20.00 | 10.00 | 35.00 |
| 4 | 10.00 | 6.00 | 20.00 |
| 5 | 20.00 | 10.00 | 35.00 |
| 6 | 10.00 | 10.00 | 20.00 |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| Cycle | 101.00 | 50.00 | 165.00 |

Switch a movement on/off for a phase by clicking on the appropriate line on the diagram. Set times in the grid for each phase, and for the signal cycle [Seconds]. Right click on the grid to calculate the cycle length.

Enable Regular layout

Copy From Library... Save To Library... Calculate..

Delete Save OK Cancel

Adaptive Signal, Saturation Flows

Abbildung 28: Eingabe des Phasenablaufs und der Phasenzeiten für eine verkehrabhängige Lichtsignalsteuerung

b) Nachfrage

Der massgebende Belastungszustand ist die Situation während der regelmässig wiederkehrenden Abendspitzenstunde (17.00 Uhr bis 18.00 Uhr) an Werktagen. Für diese steht eine auf 155 Verkehrszonen basierende Quelle-Ziel-Matrix zur Verfügung. Für die dyna-

mische Verkehrsumlegung wurde diese in 6 Teilmatrizen (je für eine 10-Minuten Zeitscheibe) unterteilt. Da zur Ganglinie des Verkehrsaufkommens innerhalb der Abendspitzenstunde keine Informationen vorliegen, erfolgte diese Aufteilung gleichmässig.

c) Kalibration und Validation

Im Vergleich zu einem statischen Umlegungsmodell ist die Kalibration und Validation eines dynamischen Umlegungsmodells deutlich aufwändiger. Zum einen reagiert die dynamische Umlegung sensitiver auf Kapazitäten, welche auch bewirken können, dass nicht alle Fahrzeugpakete innerhalb der Modellperiode ihr Ziel erreichen. Zum anderen ist das Ergebnis jedes Simulationslaufes eine Zufallsgrösse (abhängig von den zufällig gewählten Abfahrtszeiten der einzelnen Fahrzeugpakete), d.h. es müssen mehrere Simulationläufe (im vorliegenden Fall waren es 10) durchgeführt und die Mittelwerte der berechneten Linkbelastungen mit den Zählwerten verglichen werden. Zusätzlich wird u.a. geprüft, ob die vom Modell berechneten Verkehrsqualitäten an den Knoten mit den in der Realität beobachteten übereinstimmen.

5.3.3 Modellanwendung und -ergebnisse

a) Belastungsänderungen

Die durch das Dosierungskonzept verursachten Belastungsänderungen während der werktäglichen Abendspitzenstunde sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

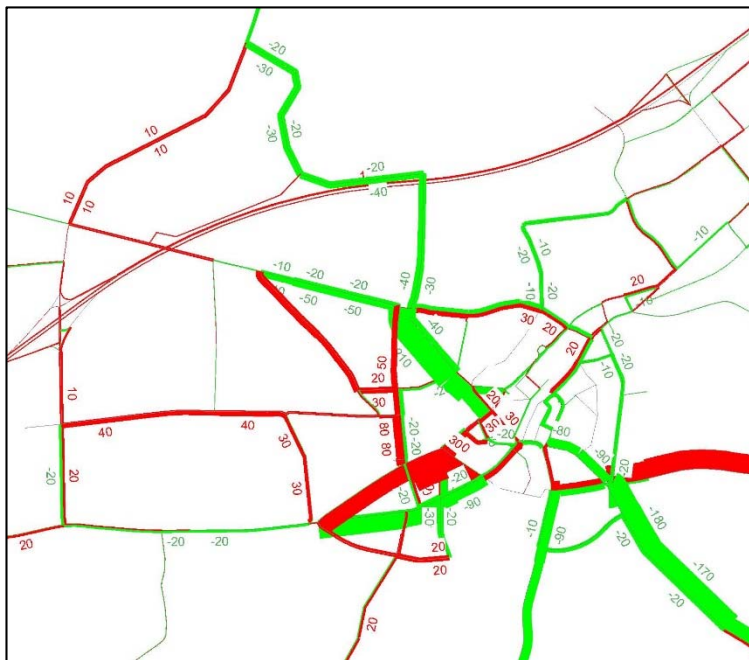


Abbildung 29: Belastungsänderungen infolge der Verkehrsdosierung während der Abendspitzenstunde [Fz/h]

Wie die Abbildung 29 zeigt, könnte mit diesem Dosierungskonzept das Ziel, den Rathausplatz während der Abendspitzenstunde zu entlasten und hier die Verkehrsqualität zu erhöhen, erreicht werden. Allerdings wäre auch mit Verkehrsverlagerungen an Orten zu rechnen, wo sie nicht unbedingt erwünscht sind. Wie sich dies auf die Bewertung des Dosierungskonzeptes auswirkt, wird nachfolgend gezeigt.

b) Veränderung der Reisezeiten

Für jedes Fahrzeugpaket (im vorliegenden Fall enthält jedes Paket ein einzelnes Fahrzeug) schreibt das Programm die Trajektorie (Quellzone, Startzeit, durchfahrene Knoten mit Zeiten, Zielzone, Ankunftszeit) in eine Datei. Daraus lässt sich u.a. auch die Reisezeit für jedes Fahrzeugpaket bestimmen.

Da bei diesem Fallbeispiel ein möglicher Einfluss auf die Verkehrsnachfrage als vernachlässigbar klein angenommen wird, muss nicht zwischen Stamm- und Mehrverkehr unterschieden werden.

Die aus den Fahrzeugpaket-Trajektorien der 10 Simulationsläufe mit der im Kapitel 3.3.5 angegebenen Formel unter Berücksichtigung eines Schwerverkehrsanteils von 5% und eines Fahrzeug-Besetzungsgrades von 1.6 im Personenverkehr ermittelten mittleren Summen der Reisezeiten während der Abendspitzenstunde (ASP) sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 11: Veränderung der Reisezeiten infolge der Verkehrsdosierung während der Abendspitzenstunde

| | Summe der Reisezeiten | |
|----------------|------------------------------|---------------------------|
| | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] |
| Ohne Dosierung | 5'674 | 186 |
| Mit Dosierung | 5'753 | 189 |
| Differenz | 79 | 3 |

Mit dem vorgeschlagenen Dosierungskonzept würden sich also während der Zeit der Dosierung etwas höhere Reisezeiten im Personen- und im Güterverkehr ergeben.

Geht man davon aus, die Verkehrsdosierung sei das ganze Jahr über an jedem Werktag (Montag – Freitag) in Betrieb, kann der jährliche Reisezeitverlust wie folgt veranschlagt werden:

- Personenverkehr: 19'750 Personen-h
- Güterverkehr: 500 Fahrzeug-h

c) Veränderung der Verlässlichkeit

Die oben erwähnte Datei mit den Fahrzeugpaket-Trajektorien der Fahrten aus allen 10 Simulationsläufen gestattet es, für die Reisezeiten zwischen den einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen den Median und das 90. Perzentil und daraus den Buffer-Index (Differenz zwischen dem 90. Perzentil und dem Median) als Mass der Verlässlichkeit zu ermitteln.

Wiederum unter der Annahme eines Güterverkehrsanteils von 5% und einem mittleren Fahrzeug-Besetzungsgrad von 1.6 im Personenverkehr ergeben sich aus den 10 Simulationsläufen die in der folgenden Tabelle zusammengestellten mit den Verkehrsmengen (Personen) der einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen gewichteten Buffer-Indices.

Tabelle 12: Veränderung Verlässlichkeit infolge der Verkehrsdosierung

| | Summe der gewichteten Buffer-Indices | |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] |
| Ohne Dosierung | 1'101 | 7 |
| Mit Dosierung | 1'175 | 8 |
| Differenz | 74 | 1 |

Mit dem vorgeschlagenen Dosierungskonzept würden sich also nicht nur die Summen der Reisezeiten, sondern auch deren Variabilität (Buffer-Indices) erhöhen, d.h. die Verlässlichkeit würde sich reduzieren.

Wiederum unter der Annahme, die Verkehrsdosierung sei das ganze Jahr über an jedem Werktag (Montag – Freitag) in Betrieb, kann der jährliche Verlust an Verlässlichkeit wie folgt veranschlagt werden:

- Personenverkehr: 18'500 Personen-h
- Güterverkehr: 250 Fahrzeug-h

5.3.4 Bewertung

a) Massgebende Indikatoren

In diesem Fallbeispiel wird davon ausgegangen, dass das Verkehrsdosierungskonzept keine Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen ausserhalb der Dosierzeiten hat und dass weder die Verkehrsnachfrage noch die Verkehrsmittelwahl beeinflusst werden. Die Auswirkungen der Verkehrsdosierung auf den Betrieb des öffentlichen Verkehrs sind vernachlässigbar klein.

Das Verkehrsdosierungskonzept kann ohne den Bau von Busspuren oder anderen Strassenausbauten realisiert werden. Es werden also keine Flächen zusätzlich versiegelt und es fallen keine Landerwerbskosten an. Auch mit Auswirkungen auf das Orts- und Landschaftsbild ist nicht zu rechnen. Schutz- und Erholungsgebiete werden keine tangiert.

Damit verbleiben die in der folgenden Tabelle aufgeführten Indikatoren als relevant für die Bewertung dieses Verkehrsdosierungskonzeptes.

Tabelle 13: Für die Bewertung in diesem Fallbeispiel relevante Indikatoren

| Bereich | Indikator nach NISTRA | KNA | VWA |
|--------------|--|-----|-----|
| Gesellschaft | Attraktivität des Fussverkehrs | | ✓ |
| | Attraktivität des Veloverkehrs | | ✓ |
| | Unfälle | ✓ | |
| Wirtschaft | Investitionskosten (Baukosten) | ✓ | |
| | Betriebs- und Unterhaltskosten | ✓ | |
| | Reisezeitveränderungen | ✓ | |
| | Veränderungen der Zuverlässigkeit | ✓ | |
| | Betriebskosten Fahrzeuge | ✓ | |
| Umwelt | Luftbelastung | ✓ | |
| | Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort | ✓ | |
| | Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | ✓ | |

Die Attraktivität des Fuss- und Veloverkehrs ist nicht monetarisierbar. Deren Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand wird mit einem Notensystem bewertet. Alle übrigen Indikatoren sind monetarisierbar und fliessen in die KNA ein. Dabei werden alle Kosten und Nutzen auf das heutige Jahr bezogen (ohne Ab- oder Aufdiskontierung der in den VSS-Normen angegebenen Kostensätze).

b) Linkdatenbank als Grundlage

Mit den von Cube Avenue ausgegebenen Trajektorien der Fahrzeugpakete lässt sich für jedes der beiden Szenarien (ohne/mit Verkehrsdosierung) eine Linkdatenbank erstellen, welche alle für die Bewertung der Link-basierten Auswirkungen (siehe Kapitel 3.3.5) benötigten Informationen enthält.

Die Links, für welche aus dem im Verkehrsmodell kodierten Strassennetz die Länge, die mittlere Belastung, die Geschwindigkeit bei der aktuellen Belastung und die Grundgeschwindigkeit (free flow speed V_f), der Linktyp sowie die Lage bezüglich innerorts/ausserorts übernommen werden können, werden mit den folgenden weiteren Attributen versehen:

- Klassifikation nach Strassenkategorien und Verkehrssituationen gemäss HBEFA (Infras, 2010). Die Verkehrssituationen werden anhand des Quotienten (ausgedrückt als Prozentsatz) zwischen der im Modell berechneten Geschwindigkeit bei der aktuellen Verkehrsbelastung ($V_{\text{simuliert}}$) und der Grundgeschwindigkeit (V_f) bestimmt (siehe Tabelle 14).

- Schwerverkehrs-Anteil, im HBEFA als SNF-Anteil bezeichnet: Da die Schwerverkehrs-Anteile in diesem Fallbeispiel nicht modelliert wurden, wird generell ein Wert von 5% angenommen.
- Zuteilung der Emissionsfaktoren für PM, CO₂ und Treibstoffverbrauch nach HBEFA Strassenkategorien und Verkehrssituationen für PW und SNF.
- Für jeden Link Berechnung der folgenden Werte für die Abendspitzenstunde: Fahrzeugkilometer (Fz-km), Fahrzeugstunden (Fz-Std.), PM10- und CO₂-Emissionen, Treibstoffverbrauch.

Tabelle 14: Definition der Verkehrssituationen nach HBEFA (Infras, 2010)

| Situation | Autobahn | HVS | Sammelstr. | Erschliessungsstr. |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| | Grundgeschwindigkeit V_f [km/h] | | | |
| | 120 / Zubringer: 70 | Ausserorts: 80 Innerorts: 50/60 | Ausserorts: 60/70 Innerorts: 50 | 30 |
| | Quotient $V_{\text{simuliert}} / V_f$ | | | |
| flüssig | > 87% | > 72% | > 72% | > 90% |
| dicht | > 64% ≤ 87% | > 57% ≤ 72% | > 57% ≤ 72% | > 73% ≤ 90% |
| gesättigt | > 18% ≤ 64% | > 21% ≤ 57% | > 25% ≤ 57% | > 42% ≤ 73% |

Aus den Linkdatenbanken können für die beiden Szenarien ohne/mit Verkehrsdosierung die folgenden Indikatoren ermittelt werden:

c) Attraktivität Fuss- und Veloverkehr

Die Attraktivität für den Fuss- und den Veloverkehr steigt mit abnehmender Verkehrsbelastung. Es werden Kategorien der Belastungsdifferenzen gebildet und jeder Kategorie eine Note zugeordnet. Diese wird mit der Streckenlänge der entsprechenden Kategorie gewichtet, was die "gewichtete Note" in der folgenden Tabelle ergibt.

Tabelle 15: Veränderung der Attraktivität für den Fuss- und Veloverkehr während der Abendspitzenstunde infolge der Verkehrsdosierung

| Differenz der Belastung [Fz/h] | Note | Länge [km] | gewichtete Note |
|--------------------------------|------|------------|-----------------|
| kleiner -50% | 3 | 7.6 | 22.8 |
| - 25% bis - 50% | 2 | 11.9 | 23.9 |
| - 10% bis -25% | 1 | 27.7 | 27.7 |
| 10% bis - 10% | 0 | 704.5 | 0.0 |
| 10% bis 25% | -1 | 16.4 | -16.4 |
| 25% bis 50% | -2 | 4.9 | -9.8 |
| grösser 50% | -3 | 0.7 | -2.1 |
| Total | | | 45.8 |

Die Auswertung zeigt, dass die von der Verkehrsdosierung verursachten Verkehrsverlagerungen insgesamt zu einer Verbesserung der Attraktivität für die Fussgänger und Radfahrer führen.

d) Unfälle

Wir beschränken uns auf die Abschätzung der Unfallkosten aufgrund der Fahrleistungen auf den verschiedenen Strassentypen (mit unterschiedlichen Unfallraten, in welche auch die Unfälle an Knoten eingerechnet sind) und verzichten auf die differenzierte Beurteilung der Unfallsituation an den Knoten.

Aus der oben erwähnten Linkdatenbank ergeben sich die in der Tabelle 16 angegebenen Differenzen der Fahrleistungen nach Strassentypen.

Tabelle 16: Fahrleistungen nach Strassentypen (während der Abendspitzenstunde)

| | ohne Dosierung [10 ³ Fz-km] | mit Dosierung [10 ³ Fz-km] | Differenz [10 ³ Fz-km] |
|--------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Autobahn | 104.08 | 104.44 | 0.36 |
| Ausserorts ²⁶ | 73.56 | 73.67 | 0.11 |
| Innerorts | 47.18 | 47.22 | 0.04 |

Unter der Annahme, die Verkehrsdosierung sei pro Jahr an 250 Werktagen jeweils während der Abendspitzenstunde in Betrieb, ergeben sich mit den Unfallkostenraten aus der VSS-Norm SN 641 824 die folgenden jährlichen Differenzen der Unfallkosten infolge der Verkehrsdosierung.

Tabelle 17: Differenz der jährlichen Unfallkosten (Kostenstand 2005) infolge der Verkehrsdosierung

| Strassentyp | Differenz Fahrleistung [10 ³ Fz-km] | Kostensatz [CHF pro 10 ³ Fz-km] | Kosten [CHF] (gerundet) |
|--------------------------|---|---|-------------------------------|
| Autobahn | 90 | 49.70 | 4'500 |
| Ausserorts ²⁷ | 27.5 | 221.20 | 6'100 |
| Innerorts | 10 | 482.50 | 4'800 |
| Total | | | 15'400 |

Die Auswirkungen der vorgeschlagenen Verkehrsdosierung auf die Unfallkosten sind mit CHF 15'400 pro Jahr vergleichsweise klein und fallen bei der Gesamtbewertung kaum ins Gewicht.

e) Investitionskosten

Vom beauftragten Ingenieurbüro werden die Investitionskosten für das vorgeschlagene Dosierungskonzept (5 neue Lichtsignalanlagen, Gebietsrechner, Stauschlaufen usw.) auf CHF 5.5 Mio. veranschlagt.

Unter der Annahme, dass während der 20-jährigen Lebensdauer der Anlagen keine Ersatzinvestitionen nötig sind, ergibt sich bei einem Diskontsatz von 2% eine Annuität von rund CHF 336'000.

f) Betriebs- und Unterhaltskosten

Die jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten können pro Verkehrsregelungsanlage mit CHF 15'000 veranschlagt werden. Mit den für das vorgeschlagene Dosierungskonzept benötigten 5 Anlagen ergeben sich damit jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten von CHF 75'000.

g) Kosten der Reisezeitveränderungen

Mit den im Kapitel 5.3.3 berechneten Reisezeitveränderungen und den mittleren Kostenansätzen gemäss der VSS-Norm SN 641 822a resp. SN 641 823 lassen sich die jährlichen Veränderungen der Reisezeitkosten infolge der Verkehrsdosierung wie folgt berechnen:

²⁶ Ohne Autobahn

²⁷ Ohne Autobahn

Tabelle 18: Veränderung der jährlichen Reisezeitkosten infolge Verkehrsdosierung

| Verkehrsart | Zeitkostenansatz [CHF/h] | Veränderung infolge Dosierung | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Reisezeit [h/a] | Zeitkosten [CHF/a] |
| Personenverkehr | 23.29 ²⁸ | 19'750 | 460'000 |
| Güterverkehr ²⁹ | 15.03 ³⁰ | 500 | 7'500 |
| Summe | | | 467'500 |

In diesem Fallbeispiel führt der durch das angenommene Verkehrsdosierungskonzept verursachte Zeit-Mehraufwand zu einem negativen Nutzen von rund CHF 0.47 Mio. pro Jahr.

h) Kosten der Zuverlässigkeits-Veränderung

Mit den im Kapitel 5.3.3 berechneten Veränderungen der Zuverlässigkeit (Summe der mit den Verkehrsmengen gewichteten Buffer-Indices), dem Zuverlässigkeitskostenansatz VOR gemäss Kapitel 3.3.4 und den mittleren Kostenansätzen gemäss der VSS-Norm SN 641 822a resp. SN 641 823 lassen sich die jährlichen Kosten für die Veränderung der Zuverlässigkeit wie folgt berechnen:

Tabelle 19: Jährlichen Kosten für die Veränderung der Zuverlässigkeit infolge Verkehrsdosierung

| Verkehrsart | VOR [CHF/h] | Veränderung infolge Dosierung | |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| | | Zuverlässigkeitsmass [h/a] | Kosten [CHF/a] |
| Personenverkehr | 30.28 ³¹ | 18'500 | 560'000 |
| Güterverkehr ³² | 69.84 ³³ | 250 | 17'500 |
| Summe | | | 577'500 |

In diesem Fallbeispiel führt die durch das angenommene Verkehrsdosierungskonzept verursachte Reduktion der Zuverlässigkeit zu einem negativen Nutzen von rund CHF 0.58 Mio. pro Jahr.

i) Betriebskosten Fahrzeuge

Die aus der Linkdatenbank ermittelten Werte für die jährlichen Verkehrsleistungen, differenziert nach Strassenkategorien, und für die jährlichen Fahrzeug-Stunden sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 20: Veränderung der jährlichen Verkehrsleistungen infolge Verkehrsdosierung [10³ Fz-km]

| Strassentyp | Ohne Dosierung | | Mit Dosierung | | Differenz | |
|-------------|----------------|-------|---------------|-------|-----------|-----|
| | PW | SNF | PW | SNF | PW | SNF |
| Autobahn | 24'719 | 1'301 | 24'804 | 1'305 | 85.8 | 4.5 |
| Ausserorts | 17'470 | 919 | 17'497 | 921 | 27 | 2.0 |
| Innerorts | 11'204 | 590 | 11'215 | 590 | 11 | 0 |

²⁸ Bezugsjahr 2007

²⁹ Ohne Fahrerkosten (werden bei den Betriebskosten berücksichtigt)

³⁰ Bezugsjahr 2005

³¹ Bezugsjahr 2007

³² Mit Fahrerkosten

³³ Annahme, der Faktor zwischen VOR und VOT betrage für den Güterverkehr ebenfalls 1.3, Bezugsjahr 2005

Tabelle 21: Veränderung der jährlichen Fahrzeug-Stunden infolge Verkehrsdosierung [10³ Fz-h]

| Ohne Dosierung | | Mit Dosierung | | Differenz | |
|----------------|------|---------------|-----|-----------|-----|
| PW | SNF | PW | SNF | PW | SNF |
| 846 | 44.6 | 854 | 45 | 8 | 0.4 |

Die Kostensätze der Betriebskostengrundwerte (ohne Treibstoff) und für Treibstoff (ohne Steuern) können der VSS-Norm SN 641 827 entnommen werden³⁴.

Tabelle 22: Veränderung der jährlichen Betriebskosten infolge Verkehrsdosierung mit Kostensätzen 2005 (ohne Steuern, Abgaben und LSVA) [Mio. CHF]

| Position | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
|---|----------------|---------------|-----------|
| Betriebskostengrundwerte | 11.30 | 11.34 | 0.04 |
| Treibstoffkosten (ohne Steuern/Abgaben) | 3.47 | 3.49 | 0.02 |
| Total | 14.77 | 14.83 | 0.06 |

Mit der Verkehrsdosierung ergeben sich um rund CHF 60'000 höhere jährliche Betriebskosten für Fahrzeuge.

j) Luftbelastung

Mit den aus der Linkdatenbank ermittelten Fahrleistungen nach Strassenkategorie und Verkehrssituation ermittelten Verkehrsleistungen und den Emissionsfaktoren aus dem HBEFA ergeben sich die folgenden Werte für die Emissionen von PM10 und CO₂ sowie für den Treibstoffverbrauch:

Tabelle 23: PM10- und CO₂-Emissionen sowie Treibstoffverbrauch

| Zustand | PM10-Emissionen [t/a] | CO ₂ -Emissionen [t/a] | Treibstoffverbrauch [t/a] |
|----------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Ohne Dosierung | 0.916 | 11'654 | 3'707 |
| Mit Dosierung | 0.920 | 11'712 | 3'726 |
| Differenz | 0.004 | 58 | 19 |

Die Differenz der Emissionen betrifft praktisch vornehmlich bebauten Gebiet. Mit den Kostensätzen für PM10-Emissionen aus der VSS-Norm SN 641 828 ergeben sich infolge der Verkehrsdosierung zusätzliche externe Kosten (Gesundheit und Gebäudeschäden) von ca. CHF 1'700 pro Jahr (Preisstand 2005).

k) Lärmbelastete Personen

Gemäss Tabelle 17 nimmt in diesem Fallbeispiel die jährliche Verkehrsleistung infolge der Verkehrsdosierung um ca. 128'000 Fz-km zu. Mit dem in der VSS-Norm SN 641 828 angegebenen durchschnittlichen Lärmkostenansatz von CHF 0.0183 pro Fz-km (Preisstand 2005) ergeben sich Lärmkosten von rund CHF 2'300 pro Jahr.

l) Klimaeffekt

Wie der Tabelle 23 zu entnehmen ist, verursacht die Verkehrsdosierung in diesem Fallbeispiel jährlich zusätzlich 58 Tonnen CO₂-Emissionen. Die zusätzlichen externen Kosten infolge des Klimaeffektes betragen somit ca. CHF 2'300.

³⁴ Die Norm unterscheidet zwischen verschiedenen Fahrzeugarten für den Personen- und für den Sachtransport. Das im vorliegenden Fall verwendete Modellinstrumentarium kann keine derart differenzierten Angaben liefern.

m) Zusammenstellung

In der folgenden Tabelle sind die oben ermittelten jährlichen Kosten und monetären Nutzen des vorgeschlagenen Dosierungskonzeptes zusammengestellt.

Tabelle 24: Jährliche Kosten und Nutzen des vorgeschlagenen Dosierungskonzeptes (gerundete Werte)

| Indikator | Kosten [CHF/Jahr] | Nutzen [CHF/Jahr] |
|--|----------------------|----------------------|
| Unfälle | | -15'000 |
| Investitionskosten (Baukosten) | 336'000 | |
| Betriebs- und Unterhaltskosten | 75'000 | |
| Reisezeitveränderungen | | -468'000 |
| Veränderungen der Zuverlässigkeit | | -578'000 |
| Betriebskosten Fahrzeuge | | -60'000 |
| Luftbelastung | | -2'000 |
| Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort | | -2'000 |
| Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | | -2'000 |
| Summe | 411'000 | -1'127'000 |
| Nettobarwert | -1'538'000 | |

5.3.5 Diskussion der Methodik und der Ergebnisse

An diesem Fallbeispiel wurde der Einsatz einer kommerziellen Software für die dynamische Verkehrsumlegung (DTA) demonstriert. Das Modell liefert plausible Ergebnisse und alle für die Bewertung des vorgeschlagenen Dosierungskonzeptes notwendigen Verkehrsgrundlagen.

Untersucht wurden in diesem Fallbeispiel nur die Auswirkungen auf den MIV. Dies, weil jene auf den ÖV im vorliegenden Fall als unbedeutend anzunehmen waren. Wäre dies nicht der Fall, könnten die für die Abschätzung der Auswirkungen auf den Betrieb des strassengebundenen ÖV erforderlichen Daten (Verteilung der Linkgeschwindigkeiten und Wartezeiten an Knoten, aus denen sich die Mittelwerte und Verlässlichkeiten berechnen lassen) den Modelloutputs entnommen werden.

Auch die gewählte Methodik zur Bewertung des Nutzens der vorgeschlagenen Verkehrsdosierung hat sich bewährt. Sie ist zwar aufwändig, liefert aber Ergebnisse, welche den Entscheidungsträgern gut kommuniziert werden können.

Die Ergebnisse zeigen, dass im vorliegenden Fallbeispiel mit dem vorgeschlagenen, mittels einer einfachen heuristischen Methode erstellten Dosierungskonzept das Ziel einer Entlastung des Stadtzentrums während der Abendspitzenstunde teilweise erreicht werden kann. Die Wirkung ist allerdings so klein, dass nicht mit messbaren Verbesserungen für den ÖV gerechnet werden kann. Mit der als Entwurf vorliegenden Ausgestaltung des Konzeptes (Standorte der Dosierungsstellen, Grünzeitenanteile usw.) hätte die Verkehrsdosierung aber insgesamt negative Auswirkungen, insbesondere auf die Summe der Reisezeiten und die Verlässlichkeit. Ein wesentlicher Grund für dieses negative Ergebnis dürften die durch das Dosierungskonzept verursachten umfangreichen Verkehrsverlagerungen (mit erhöhten Reisezeiten und Mehrdistanzen) sein. Das Dosierungskonzept müsste noch deutlich verbessert werden, damit ein positiver Gesamtnutzen erreicht werden kann. Dazu stehen mit den hier vorgestellten Methoden der Verkehrsmodellierung und der Bewertung die notwendigen Instrumente zur Verfügung.

5.4 Fallbeispiel Typ 3 einer Verkehrsdosierung (städtisches Netz)

5.4.1 Situation und Fragestellung

In der Agglomeration Kreuzlingen/Konstanz am Bodensee (siehe Abbildung 30) wohnen rund 120'000 Einwohner. Das Zentrumsgebiet dieser Agglomeration liegt südlich des Rheins und umfasst die Konstanzer Altstadt sowie den nördlichen Teil von Kreuzlingen. Die Verkehrsbelastungen sind generell hoch und während der Spitzenzeiten tritt an verschiedenen kritischen Knoten (siehe Abbildung 31) Stau auf. Als eine der Massnahmen, um diese Situation zu verbessern, schlägt das Agglomerationsprogramm ein Verkehrsdosierungs-Konzept vor³⁵.

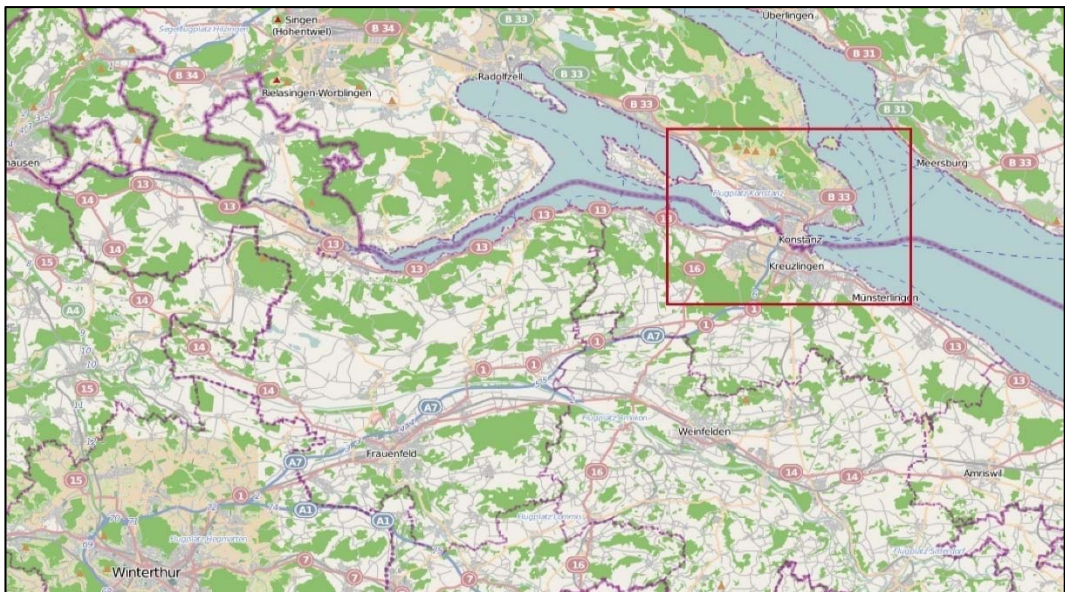


Abbildung 30: Geographische Lage der Agglomeration Kreuzlingen/Konstanz



Abbildung 31: Knoten mit Rückstau während der Spitzenzeiten

³⁵ <http://www.kreuzlingen.ch/verwaltung/bauverwaltung/stadtplanung/agglomerationsplanung.html>

Das ins Auge gefasste Verkehrsdosierungskonzept sieht grob vor, während der Spitzenzeiten den in das Zentrumsgebiet einfahrenden MIV an den in der folgenden Abbildung eingezeichneten Stellen zu dosieren. Bisher wurde dieses Konzept aber nicht konkretisiert oder hinsichtlich seiner Wirksamkeit untersucht.

Bei den vorgesehenen Dosierstellen handelt es sich z.T. um bestehende Lichtsignalanlagen, an welchen die Grünzeitanteile für die zu dosierenden Verkehrsströme entsprechend reduziert werden. Für die übrigen Dosierstellen sind neue Lichtsignalanlagen zu installieren, an welchen der in das Zentrumsgebiet einfahrende Verkehr während der Dosierzeiten zurückgehalten werden kann. An einzelnen Dosierstellen sind Busspuren zu erstellen. Die Lage der Dosierstellen ist so gewählt, dass eine möglichst hohe Effizienz der Dosierung erwartet und Ausweichverkehr innerhalb des Wirkperimeters möglichst vermieden werden kann.

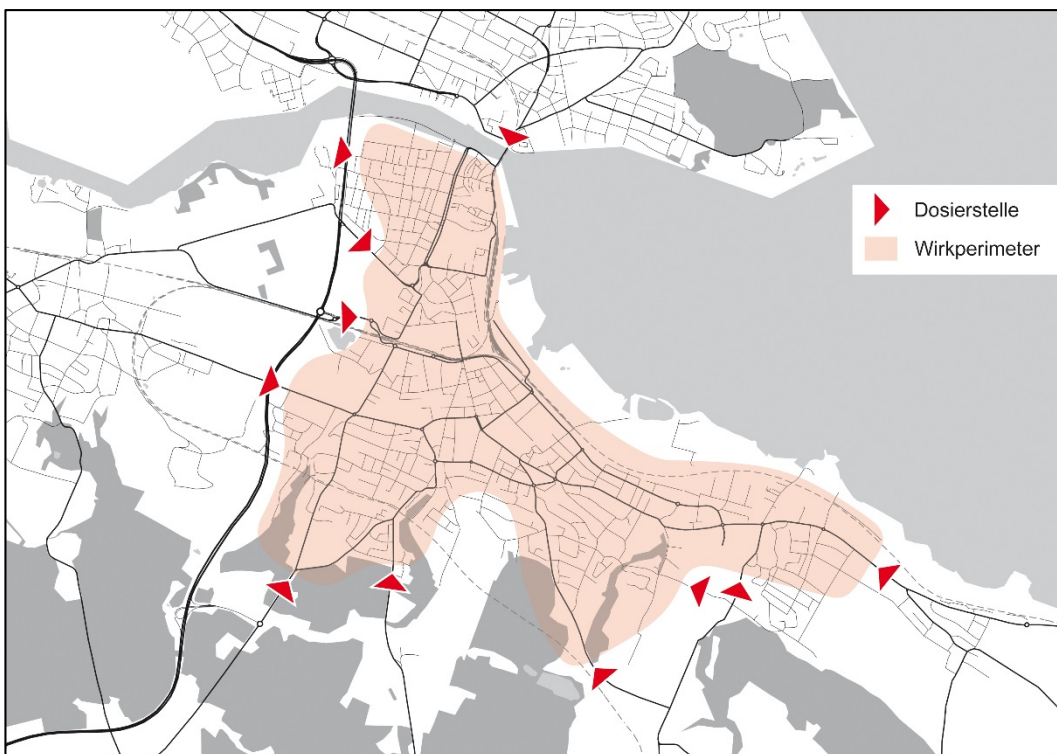


Abbildung 32: Dosierstellen und Ausdehnung des Wirkperimeters

Die Agglomeration verfügt über ein relativ gut ausgebautes ÖV-Angebot, bestehend aus Bahn und Bus. Es kann erwartet werden, dass die Verkehrsdosierung die Verkehrsteilnehmer zu Anpassungen ihrer Tagespläne mit Einflüssen auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl sowie die Abfahrtszeiten veranlassen wird. Für die Abschätzung der Nutzen des Verkehrsdosierungskonzeptes ist daher der Einsatz des im Kapitel 4.3.3 beschriebenen Modellsystems erforderlich. Dieser sowie das Vorgehen zur Bewertung der Nutzen und Kosten sollen an diesem Fallbeispiel demonstriert werden.

Die Optimierung des Verkehrsdosierungskonzeptes, d.h. die Maximierung seines Nutzens, sowie eine detaillierte Modellierung des ÖV-Angebotes würden den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen und sind daher nicht Gegenstand der folgenden Ausführungen. Diese Arbeitsschritte müssen in der Praxis selbstverständlich durchgeführt werden; dazu stellt die vorliegende Forschungsarbeit das erforderliche Instrumentarium zur Verfügung.

5.4.2 Modellkonzept

Es besteht ein länderübergreifendes konventionelles DWV-Modell, welches auch das hier interessierende Untersuchungsgebiet Kreuzlingen/Konstanz umfasst. Dieses statische

Verkehrsmodell kann zwar gewisse Grundlagen liefern, ist aber für die Behandlung der Auswirkungen einer Verkehrsdosierung nicht geeignet. Daher musste ein neues, agentenbasiertes und dynamisches Nachfragemodell erzeugt und ein dynamisches Umlenkungsmodell erstellt werden. Für das Nachfragemodell wurde MATSim, für das dynamische Umlenkungsmodell DynusT gewählt. Als Grundlagen konnten Infrastruktur- und Netzdaten aus dem bestehenden, statischen Modell verwendet werden. Diese Daten umfassten die Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze pro Gemeinde, Standorte von Bildungsstätten sowie das Strassennetz.

a) Kodierung des Strassennetzes

Das Strassennetz, gegeben als Shapefile (Knoten, Kanten), wurde zuerst in das entsprechende MATSim-Format konvertiert. Dieses Netz wurde dann während der Nachfragemodellierung verwendet, auch um die generierte Nachfrage in MATSim zu simulieren und zu testen. Anschliessend wurde das Netz in das DynusT-Format exportiert. Dabei musste insbesondere auf die Einheiten geachtet werden, da MATSim das metrische System verwendet, DynusT als US-Software jedoch die Längenangaben von Kanten in Meilen (resp. Fuss) erwartet. Geschwindigkeitsangaben mussten ebenso umgerechnet werden. Zusammen mit der ebenfalls in DynusT konvertierten Zoneneinteilung wurde das DynusT-Modell von Hand verbessert und an die Eigenheiten der mesoskopischen Simulation angepasst.

Die folgende Abbildung zeigt einen Screenshot des im Modell berücksichtigten Strassennetzes, wie es in NEXTA³⁶ dargestellt wird.

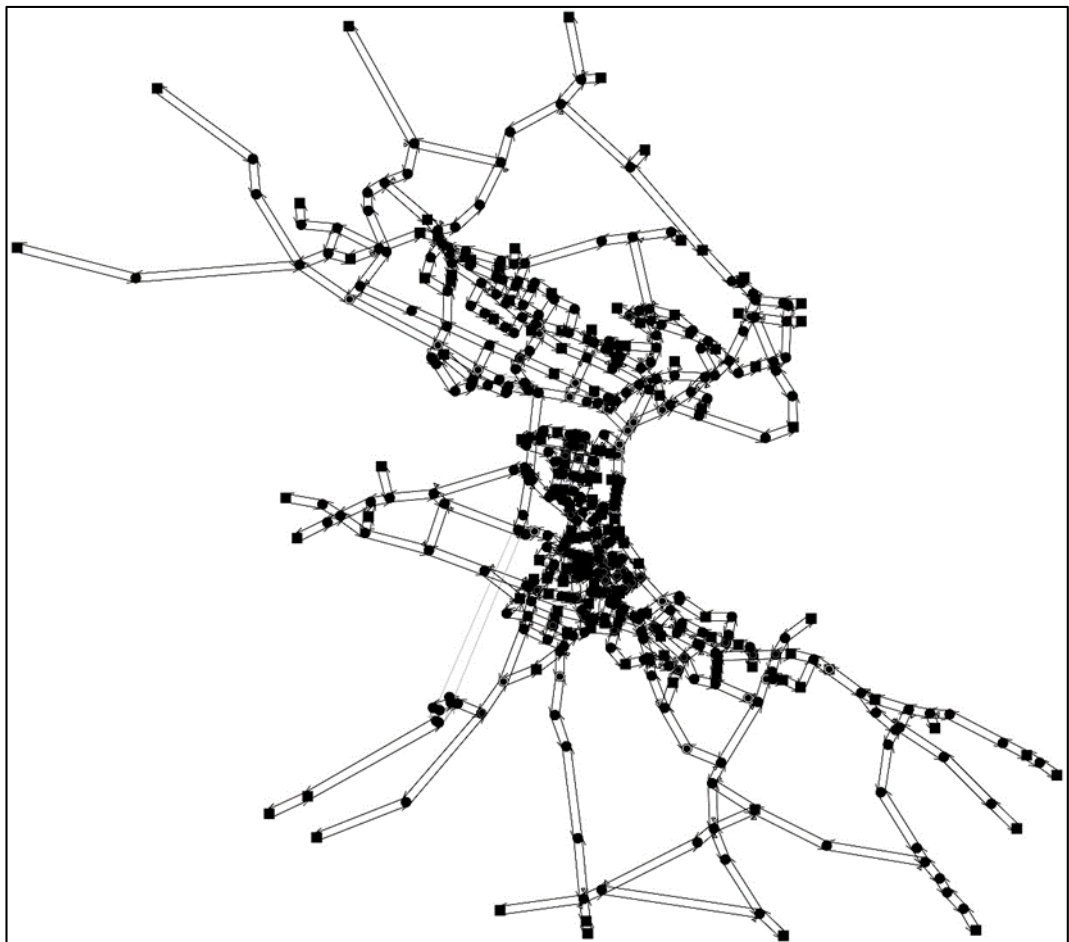


Abbildung 33: Im Modell DynusT berücksichtigtes Strassennetz

Das Strassennetz besteht aus Links (Kanten), welche durch Knoten begrenzt werden. Die Links sind gerichtet, d.h. jeder Streckenabschnitt mit Gegenverkehr besteht aus zwei

³⁶ NEXTA ist eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) zur Editierung von DynusT-Netzen

Links. Jeder Link wird durch mehrere Attribute (siehe die folgenden Abbildung) wie Länge, Anzahl Spuren und deren Kapazität, Höchstgeschwindigkeit und Belastungs-/Geschwindigkeitsfunktion (Traffic Flow Model) beschrieben. Zudem ist anzugeben, ob es sich um einen Generation Link handelt, bei welchem der Verkehr der zugehörigen Zone eingepiesen wird³⁷.

Abbildung 34: Attribute zur Beschreibung der Links (Screenshot aus NEXTA)

Für die Beschreibung der Knoten werden neben deren geographischen Koordinaten für jeden Knotenast die zulässigen Abbiegebeziehungen sowie die Art der Vortrittsregelung (Control Type) angegeben (siehe Abbildung 35). Eine Besonderheit ist, dass in der aktuellen Version von DynusT bei den verfügbaren Vortrittsregelungen Verkehrskreisel noch fehlen. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems ist die Auflösung eines Verkehrskreisels in Einzelknoten (ein Knoten pro Ast), bei denen der von links kommende Verkehr vortrittsberechtigt ist. Zur Vereinfachung des Kodierungsaufwandes haben wir uns entschieden, die Verkehrskreisel als 4-Way-Stops zu modellieren, wie sie in DynusT vorgehen und in den USA üblich sind.

Wenn es sich beim Knoten um einen Zonenanschluss (Destination Node) handelt, ist das entsprechende Kästchen (siehe Abbildung 35) zu aktivieren.

³⁷ Die Verkehrsgeneration und -attraktion erfolgt in DynusT in Verkehrszonen, also in aggregierter Form. Aus den Verkehrszonen gelangt der Verkehr über Links (Generation Links) auf das Netz und er verlässt dieses über Knoten (Destination Nodes).

The screenshot shows the 'Node Properties' dialog box with the following details:

- Node ID:** 1452
- Zone ID:** 67 (with a 'Properties' button next to it)
- Destination Node
- Location_**
 - X: 22901
 - Y: 22047
- Control Type:** Actuated Control (with a 'Properties' button next to it)
- Turn Movements**
 - Select Approach to Edit: 1444 (Upstream Node ID)
 - Left Turn: 1456
 - Through Movement: 4504
 - Right Turn: 4515
 - Other Turn 1: <none>
 - Other Turn 2: <none>
 - U-Turn Allowed from Approach
- Buttons: OK, Cancel

Abbildung 35: Attribute zur Beschreibung der Knoten (Screenshot aus NEXTA)

Ein Beispiel dafür, wie eine verkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlage kodiert wird, zeigt Abbildung 36. Für Lichtsignalanlagen können mehrere Signalpläne (Timing Plans) eingegeben werden, welche tageszeitabhängig aktiviert werden. Damit kann insbesondere die Zeitspanne festgelegt werden, während welcher der Verkehr dosiert wird. In diesem Fallbeispiel gehen wir davon aus, die Verkehrsdosierung sei während der Morgenspitze zwischen 07.00 und 08.00 Uhr in Betrieb.

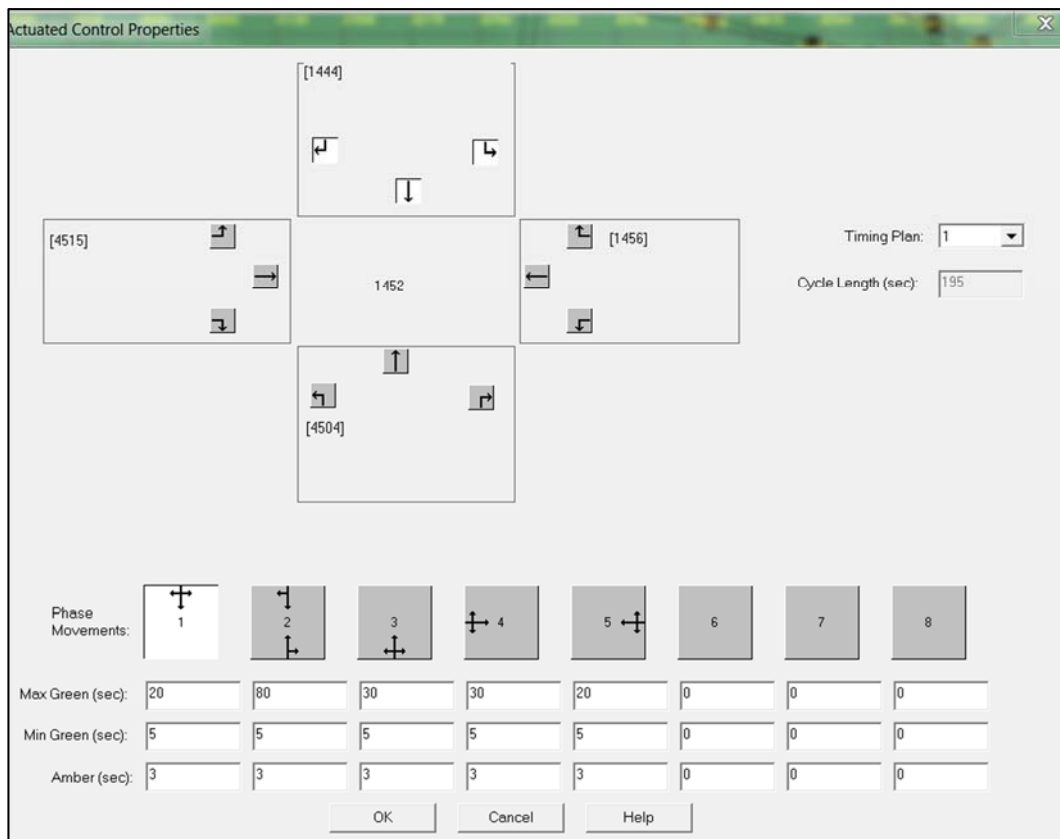


Abbildung 36: Beispiel für die Eingabe einer LSA-Steuerung in DynaST

Die Routen der Buslinien wurden in MATSim als Knotenreihenfolge ins Modell übernommen, um entsprechende Auswertungen der Reisezeiten entlang der Busrouten zu ermöglichen. Eine detaillierte, fahrplanfeine Berücksichtigung des ÖV-Angebotes ist in DynaST nicht möglich.

Die Erstellung, Austestung und Plausibilisierung des Strassennetzes nahm erheblich Zeit in Anspruch, auch wenn keine eigentliche Kalibration durchgeführt wurde. Wie bereits beim Fallbeispiel 2 erwähnt wurde, erfordert diese für ein dynamisches Umlenkmmodell im Vergleich zu einem statischen einen deutlich höheren Aufwand.

b) Nachfrage-Generierung mit MATSim

Zur Generierung der Nachfrage wurden mehrere Datensätze kombiniert:

- Gemeindegrenzen, inkl. Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze pro Gemeinde
- Bebaute Gebiete
- Mikrozensus Verkehr 2000
- OD-Matrix mit durchschnittlichen Tagesverkehrsmengen zwischen den Gemeinden

Wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, wurde zuerst die Anzahl Einwohner pro Gemeinde generiert. Als Wohn-Koordinaten wurden zufällige Koordinaten gewählt, welche sowohl innerhalb der entsprechenden Gemeindegrenzen als auch innerhalb eines bebauten Gebietes liegen. Die Fläche der bebauten Gebiete wurde von OpenStreetMap extrahiert, um eine bessere Koordinatenwahl zu ermöglichen, da ansonsten in ländlichen Gemeinden viele Koordinaten fernab von bewohnten Gebieten gezogen worden wären, was unpassende Verkehrsmuster erzeugt hätte.

Für die Zuweisung von Aktivitätenketten zu den generierten Personen wurde der Mikrozensus Verkehr 2000 verwendet. Aus den dort vorhandenen Werktags-Aktivitätenketten wurde für jede Person zufällig eine ausgewählt und zugewiesen. Die Aktivitätendauern wurden direkt aus den erhobenen Aktivitätenketten übernommen.

Für die Festlegung der Aktivitätenorte wurden alternative Vorgehen geprüft. Zuerst wurde ein sehr einfaches Gravitationsmodell angewendet, basierend auf den Arbeitsplätzen pro Gemeinde. Dies führte jedoch zu einem deutlich zu hohen Grenzverkehrsaufkommen, da im Modell die Landesgrenze nicht berücksichtigt wird. In Realität wird die Arbeitsplatzwahl durch die Landesgrenze aber beeinflusst. Eine Zuweisung der Staatsgebiete zu den Gemeinden zusammen mit einer reduzierten Wahlwahrscheinlichkeit für einen Arbeitsort im Nachbarland brachte auch nicht den erwünschten Erfolg, da auch die innerhalb der jeweiligen Gemeinden generierten Verkehrsaufkommen schlecht mit der Realität übereinstimmten.

Als weitere Alternative für die Abbildung des Verkehrsaufkommens zwischen den Gemeinden wurde anstelle eines Gravitationsmodells die aus dem bestehenden statischen DWV-Modell vorhandene OD-Matrix verwendet: Ausgehend von der Gemeinde der aktuellen Aktivität (zu Beginn die Wohngemeinde für die zu Hause-Aktivität) wurde aufgrund einer gemäss der vorhandenen OD-Matrix gewichteten Wahrscheinlichkeitsverteilung die Gemeinde der nachfolgenden Aktivität gezogen. Traten Arbeits- oder Ausbildungsaktivitäten mehrfach auf (z.B. vormittags und nachmittags mit Mittagspause dazwischen), wurde nur beim ersten Auftreten ein neuer Aktivitätenort festgelegt und dieser bei späteren Aktivitäten des gleichen Typs wiederverwendet. Für zu Hause-Aktivitäten wurde natürlich der Wohnort benutzt. So konnte die OD-Matrix recht gut nachgebildet werden. Trotzdem hatte auch dieser Ansatz Nachteile: Da die OD-Matrix den ganzen Tag abbildet und Wege nicht nach Aktivitätspaaren differenziert, wurden für viele Wege Aktivitätenorte im falschen Distanzbereich ausgewählt. So wurden z.B. für die Wege zum Mittagessen zwischen der Vormittags- und Nachmittags-Arbeitsaktivität oftmals zu grosse Distanzen ausgesucht, da die Morgen-/Abendpendelströme in der Matrixzeile ein entsprechend grosses Gewicht hatten. Dies führte generell zu einem zu grossen Verkehrsaufkommen während der Mittagszeit.

Schliesslich wurde die vorhandene DWV-OD-Matrix als reine Pendlermatrix interpretiert und nur zur Bestimmung der Zielgemeinde für Arbeits- und Ausbildungs-Aktivitäten verwendet. In dieser Zielgemeinde wurde dann eine Koordinate innerhalb des bebauten Gebiets gesucht. Für die übrigen Aktivitäten wurden Standorte im Umkreis der Wohn- oder der Arbeits-/Ausbildungskordinaten gewählt. So konnte es noch immer passieren, dass die Koordinaten in einer anderen Gemeinde als jene der zu Grunde liegende Koordinate (Wohn- oder Arbeitskoordinate) gewählt wurden und entsprechend Verkehr erzeugt wurde. Um zu lange Wege in der Mittagspause zu vermeiden, wurde für Wege von Arbeits- zu Freizeitaktivitäten nur Koordinaten im Umfeld des Arbeitsortes gewählt, nicht aber im Umfeld der Wohnkoordinate.

c) Kalibration und Validation

Nach der Konvertierung der Infrastrukturdaten und der Generierung der initialen Nachfrage wurden zuerst in MATSim 100 Simulationsläufe durchgeführt, um die synthetisch erzeugte Nachfrage ein erstes Mal zu optimieren. Dabei wurden Verkehrsmittelwahl, Abfahrtszeitenwahl und Routenwahl als mögliche Planänderungsmöglichkeiten zugelassen. Da im vorliegenden Fall das Modell lediglich den MIV detailliert simuliert, wurden für Fusswege, Fahrradwege und mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegte Strecken für die Bewertung der Pläne distanzabhängige Reisezeitabschätzungen benutzt. Durch diese Iterationen wurde eine verbesserte Abfahrtszeitenwahl erreicht, die in der initialen Nachfrage noch stark durch die oftmals auf 10 oder 15 Minuten gerundeten Werte im Mikrozensus geprägt war.

Da die Simulation nur mit MATSim bedeutend schneller abläuft als die kombinierte Simulation von MATSim und DynusT, ermöglichte dieser Zustand auch eine erste, grobe Parameterkalibration. Diese hatte vor allem zum Ziel, den Modal Split möglichst realitätsgetreu abzubilden. Zur Kalibration wurde eine Versuchsplanung durchgeführt, bei der unterschiedliche Parameterwerte getestet wurden. Auf diese Weise konnte ein optimaler Parametersatz ermittelt werden.

Anschliessend gelangte das kombinierte Modell mit MATSim und DynusT zum Einsatz, wie es im Kapitel 4.3.3 beschrieben ist. Dabei war erneut eine Parameterkalibration er-

forderlich, da sich die Verkehrssimulation mit DynusT in einigen Punkten von der Simulation mit MATSim unterscheidet:

- Das DynusT-Netz wurde nach der Konvertierung aus dem MATSim-Netz noch manuell nachbearbeitet.
- In DynusT gelangt der Verkehr pro Zone an einigen wenigen Kanten (sogenannten Generation Links) auf das Netz und verlässt dieses ebenfalls pro Zone an wenigen Knoten (Destination Nodes). MATSim hingegen basiert auf einer vollständig disaggregierten Nachfrage und verwendet im Normalfall die der Aktivität am nächsten liegende Kante für das Einfahren resp. Verlassen des Netzes.
- Das Routenwahlmodell von MATSim basiert auf dem in Kapitel 4.3.3 beschriebenen ko-evolutionären Algorithmus, während für die Simulation in DynusT ein eigenes, iteratives Routenwahlmodell implementiert ist.

Die Kalibration fand erneut mittels Versuchsplanung statt, wobei die Anzahl Simulationen und Parameterwerte im Vergleich zur Kalibration des reinen MATSim-Modells stark reduziert werden konnte, da nur noch kleinere modellabhängige Anpassungen notwendig waren.

Die Verkehrssimulation innerhalb DynusT wurde, wie oben erwähnt, nicht ausführlich kalibriert. Es wurden in der Regel die im Modell vorgegebenen Default-Werte verwendet. Dies betrifft vor allem die Flussfunktionsparameter (Belastungs-Geschwindigkeits-Funktionen) und die SIR-Distanzen. Diese Parameter sind wichtig, um zutreffende Beschleunigungs- und Bremsvorgänge simulieren zu können, welche eine realitätsnahe Staubbildung abbilden. Das Vorgehen wird in Chiu et al. (2010) geschildert und basiert auf Beobachtungen von Fahrzeugtrajektorien (X/Y-Position sowie Zeit) innerhalb von Netzkorridoren.

Der Zweck des Fallbeispiels ist die Demonstration des Einsatzes der Werkzeuge, eine möglichst realitätsnah kalibrierte Prognose steht nicht im Vordergrund. Deshalb wurde auf weitere Schritte zur Bestimmung der optimalen Parameter bzw. der optimalen Anzahl Iterationen in DynusT bis zur Erreichung des DUE (die sog. Gap Funktion) oder der optimalen Anzahl Iterationen zwischen MATSim und DynusT verzichtet, um die Tagesabläufe zu optimieren.

Die in DynusT vorgegebenen Default-Werte für den Abbruch der Iterationen ($\text{Gap} < 0.01$ als Konvergenzkriterium resp. maximal 10 Iterationen) wurden übernommen. Es zeigte sich, dass das Modell immer recht schnell konvergierte und ein Gap von 0.01 nie überschritten wurde. Die mittleren Reisezeiten wiesen auch nach 30 Iterationen keine deutlichen Unterschiede zu jenen nach 10 Iterationen auf. 10 Iterationen wurden deswegen für ausreichend relaxiert angenommen. Auch bei den aktuellen DynusT-Anwendungen im Rahmen der Arbeiten der regionalen Planungskonferenz in Sacramento (CA) wurden keine Unterschiede in den mittleren Reisezeiten zwischen 10 und 20 Iterationen festgestellt (Rossi und Xyntarakis, 2013).

5.4.3 Modellanwendung und -ergebnisse

Das Modell wird je für das Szenario "ohne Dosierung" und das Szenario "mit Dosierung" eingesetzt. Wie oben beschrieben, wird dabei in MATSim die Verkehrsnachfrage über 24 Stunden (Wege der Agenten, Abfahrtszeiten und Verkehrsmittelwahl) geschätzt. Für jedes Szenario wird zuerst das Modell iterativ eingesetzt, bis ein Nutzerequilibrium erreicht ist, bei dem die Abfahrtszeiten, die Dauer der Aktivitäten, die Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl stabile Tagesnutzen in MATSim erzeugen.

Die Quellen und die Ziele der MIV-Wege werden in 10-Minuten-Zeitscheiben zonenweise (125 Zonen) zu Quell-Ziel-Matrizen aggregiert, d.h. es werden für den ganzen Tag, je für den Fall ohne und mit Verkehrsdosierung 144 Quelle-Ziel-Matrizen gebildet. Diese Matrizen werden in DynusT dynamisch auf das Strassennetz umgelegt. Innerhalb der 10-Minuten-Scheiben weist DynusT den Abfahrten in den einzelnen Zonen eine zufällige Abfahrtszeit zu (siehe Kapitel 4.3.3). Jedes Umlegungsergebnis von DynusT ist daher als eine Ziehung aus der Verteilung aller möglichen Simulationsergebnisse unter dem Ein-

fluss von Zufallseffekten zu betrachten. Die Umlegungen müssen daher mehrmals durchgeführt werden, bis der Standardfehler der mittleren Reisezeiten aus allen Simulationsläufen einen akzeptablen Wert nicht mehr überschreitet. Die folgende Abbildung zeigt den Unterschied zwischen den Häufigkeitsverteilungen der Standardfehler der mittleren Linkbelastungen bei 10 und bei 25 Simulationsläufen.

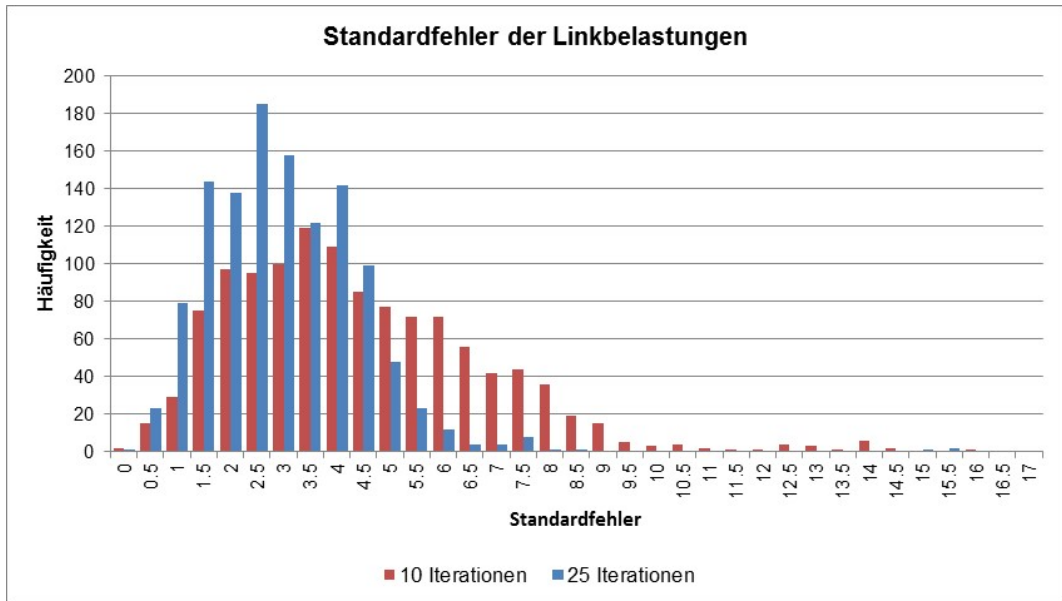


Abbildung 37: Standardfehler der mittleren Linkbelastungen bei 10 und bei 25 Simulationsläufen von DynusT.

Als Ergebnis der dynamischen Umlegung schreibt DynusT für jedes Fahrzeug dessen Trajektorie, d.h. die Quellzone, die Abfahrtszeit, die Route mit den Reisezeiten zwischen den einzelnen durchfahrenen Knoten, die Wartezeit an den Knoten, die Zielzone und die Ankunftszeit in eine txt-Datei. Für die Link-basierte Analyse dieser Datei wurde ein Java-Programm (CsvReformatter2.jar, siehe Anhang IV) geschrieben, welches die Daten in geeigneter Form in eine csv-Datei schreibt. Diese kann zur Auswertung bequem z.B. in SPSS eingelesen und analysiert werden. Daraus können alle für die Bewertung notwendigen linkbasierten Informationen gewonnen werden (z.B. auch die oben dargestellten Standardfehler der Linkbelastungen).

In diesem Fallbeispiel beinhaltet die Quell-Ziel-Matrix für den ganzen Tag für den Fall ohne und den Fall mit Dosierung je ca. 300'000 Fahrzeuge. Pro Simulationslauf enthält die Fahrzeug-Trajektorien-Datei für jedes Fahrzeug einen Datensatz. Bei 25 Simulationsläufen stehen insgesamt also rund 7.5 Mio. Datensätze zur Verfügung. Diese Datenbasis erlaubt die Berechnung von Mittelwerten, z.B. der oben dargestellten Linkbelastungen oder von Reisezeiten zwischen Knoten resp. Quell-Ziel-Paaren, sowie weiterer statistischer Kenngrößen wie Standardfehler, Median, 90. Perzentile usw. Sie bildet damit die Grundlage für die Ermittlung der zur Bewertung des Nutzens einer Verkehrsdosierung notwendigen verkehrsbezogenen Indikatorenwerte.

a) Performance Index

Für eine erste grobe Beurteilung der Wirkungen des Verkehrsdosierungskonzeptes kann der im Kapitel 3.2 vorgestellte Performance Index herangezogen werden. Wir haben diesen Index unter Vernachlässigung von Gewichtungen (alle Gewichte = 1) für die Zeitperiode von 07.00 Uhr – 08.00 Uhr als Mittelwert aus 25 Simulationsläufen, differenziert nach "innerhalb Wirkperimeter (WP)" und "ausserhalb Wirkperimeter (WP)" berechnet und daraus durch Division durch die Verkehrsmenge einen relativen Performance Index ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 25: Relative Performance Indices ohne/mit Dosierung für die Zeit von 07.00 – 08.00 Uhr

| Lage | ohne Dosierung | mit Dosierung | Differenz | t-Wert |
|--------------------------|----------------|---------------|-----------|--------|
| innerhalb Wirkperimeter | 1.381 | 1.590 | 0.290 | 0.804 |
| ausserhalb Wirkperimeter | 2.266 | 2.304 | 0.037 | 0.176 |

Während der Zeit mit aktiver Verkehrsdosierung verschlechtert sich also im vorliegenden Fall der relative Performance Index tendenziell, sowohl ausserhalb als auch innerhalb des Wirkperimeters. Die Differenzen sind aber statistisch nicht signifikant.

b) Verkehrsnachfrage und Modal Split

Die Veränderungen des Modal Split (über den ganzen Tag) infolge der Verkehrsdosierung während der Morgenspitze, welche mit MATSim berechnet worden sind, zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 26: Verkehrsnachfrage (Wege/24 h) und Modal Split ohne und mit Verkehrsdosierung

| Szenario | MIV (%) | ÖV(%) | LV(%) | Summe |
|----------------|----------------|--------------|----------------|---------|
| Ohne Dosierung | 339'764 (59.1) | 49'167 (8.6) | 185'227 (32.3) | 574'158 |
| Mit Dosierung | 339'361 (59.1) | 49'293 (8.6) | 185'504 (32.3) | 574'158 |

Auf die gesamte Zahl der Wege hat im vorliegenden Fall die Verkehrsdosierung keinen Einfluss. Die Veränderungen des Modal Split sind marginal. Der MIV-Anteil nimmt nur ganz geringfügig zu Gunsten des ÖV und des LV ab.

Die Verkehrsmittelwahl wird in diesem Fallbeispiel kaum von der Dosierung beeinflusst. Die Verkehrsmittelwahl in MATSim erfolgt Tour-basiert: Agenten können für unterschiedliche Touren unterschiedliche Verkehrsmittel wählen, sind aber innerhalb einer Tour auf das eine Verkehrsmittel fixiert. Dies erlaubt es den Agenten, jeweils ein möglichst sinnvolles Verkehrsmittel zu wählen. Auch wird sichergestellt, dass Agenten beispielsweise nicht jeden Tag mit dem Auto zur Arbeit fahren, aber mit dem ÖV nach Hause zurückkehren. Die praktisch unveränderte Verkehrsmittelwahl in der Simulation lässt darauf schliessen, dass im Fallbeispiel eine Verbesserung/Verschlechterung der Reisezeiten während der Morgenspitze die Wirkung der anderen Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl nicht zu überwiegen vermag.

c) Linkbelastungen

Die Auswirkungen der während der Zeit von 07.00 bis 08.00 Uhr aktivierten Verkehrsdosierung auf die Linkbelastungen (Mittelwerte aus 25 Simulationsläufen) während dieser Zeit zeigen die *Abbildung 38* für das gesamte Netz und die *Abbildung 39* für den Zentrumsbereich.

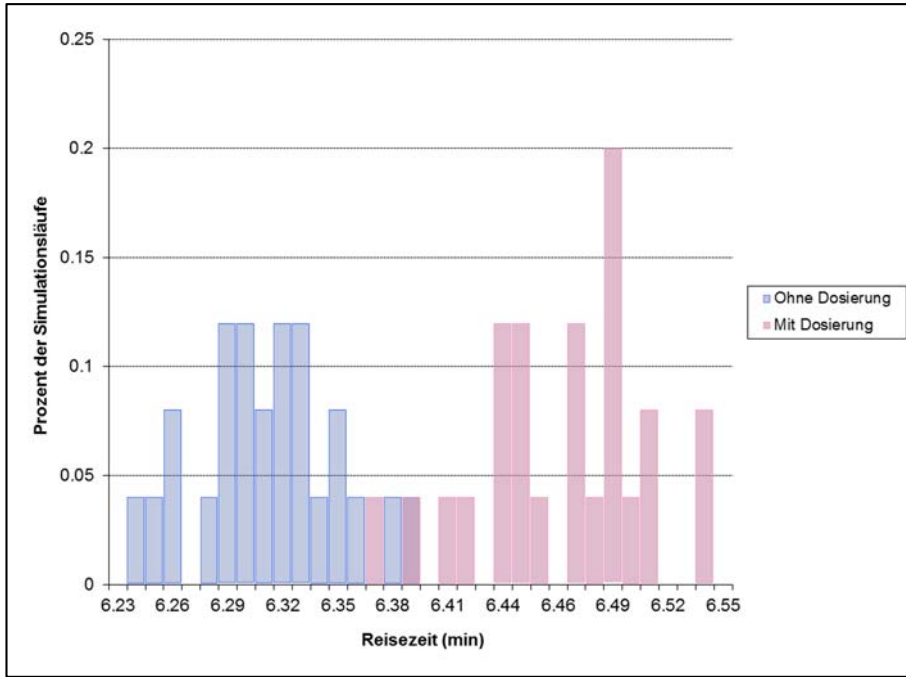


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilungen der mittleren Reisezeiten der MIV-Wege zwischen 06.30 – 08.30 Uhr

Die Reisezeit setzt sich aus den Komponenten Fahrt- und Warte- resp. Standzeit zusammen. Für das Fallbeispiel sind die aus 25 Simulationsläufen ermittelten Häufigkeitsverteilungen der mittleren Fahrzeiten in der Abbildung 41 und jene der mittleren Standzeiten in der Abbildung 42 dargestellt.

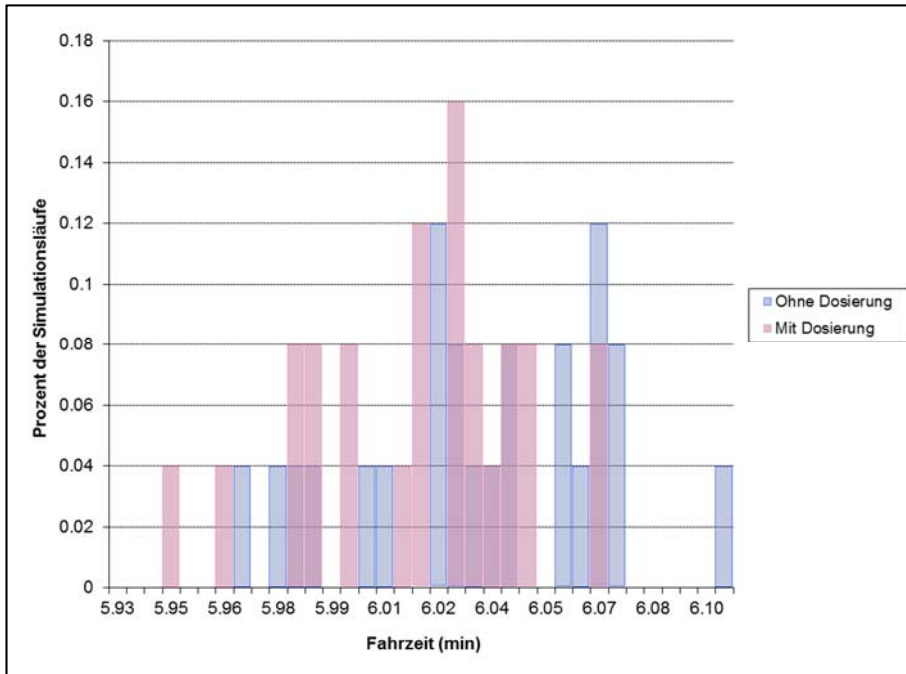


Abbildung 41: Häufigkeitsverteilungen der mittleren Fahrzeiten der MIV-Wege zwischen 06.30 – 08.30 Uhr

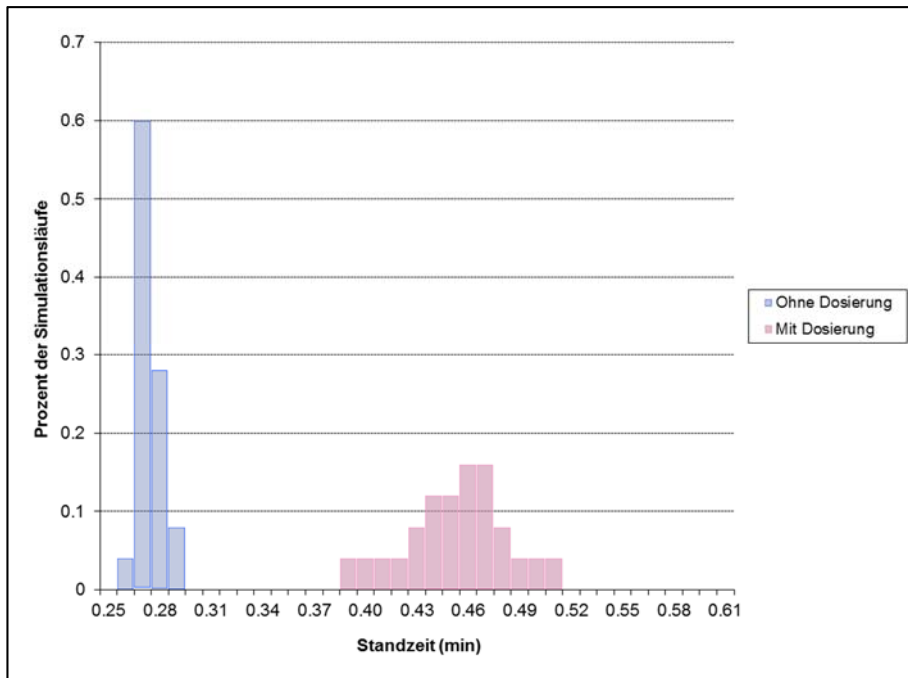


Abbildung 42: Häufigkeitsverteilungen der mittleren Standzeiten auf den MIV-Wegen zwischen 06.30 – 08.30 Uhr

Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Fahrzeiten verändert sich in diesem Fallbeispiel mit der Dosierung kaum, während sich bei den Standzeiten eine deutliche Verschiebung zu höheren Werten und eine grössere Streuung ergeben.

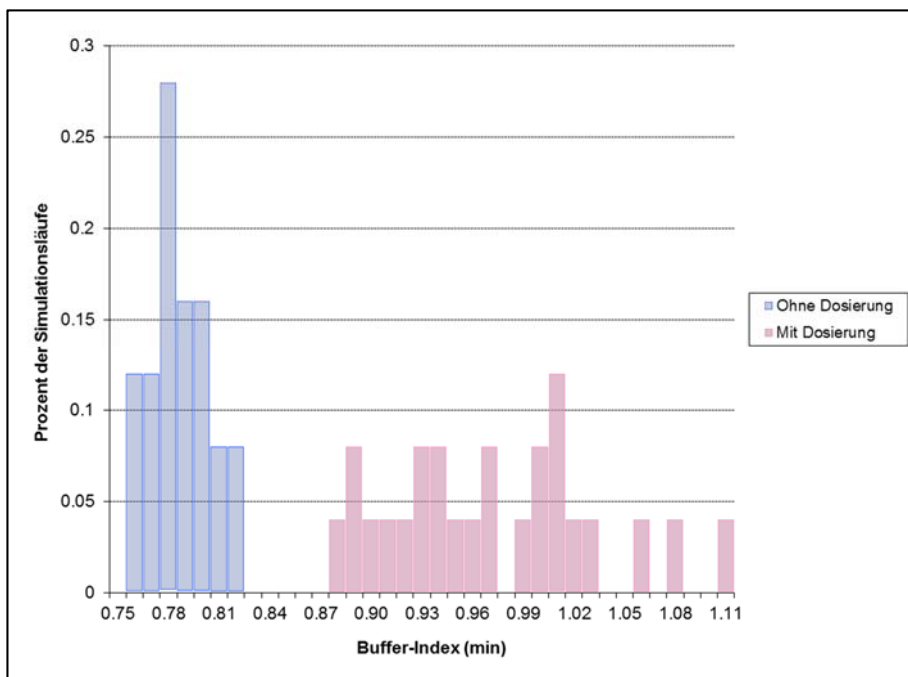


Abbildung 43: Häufigkeitsverteilungen der Buffer-Indices (Verlässlichkeit) auf den MIV-Wegen zwischen 06.30 – 08.30 Uhr

Wie die Abbildung 43 zeigt, steigt im vorliegenden Fall mit der Verkehrsdosierung auch die Differenzen zwischen dem 90. Perzentil und dem Median der Reisezeiten (Buffer-Index) auf den einzelnen Relationen; die Zuverlässigkeit des Angebotes im MIV wird also eher reduziert.

Summe der Reisezeiten und der Verlässlichkeitsmasse

In diesem Fallbeispiel wird damit gerechnet, dass sich die Verkehrsnachfrage verändert. Deshalb ist für die Bewertung der Reisezeit- und Verlässlichkeitsveränderungen zwischen Stamm- und Mehrverkehr zu unterscheiden.

Die mit den Fahrzeugtrajektorien aus 10 Simulationläufen³⁸ nach den im Kapitel 3.3.5 angegebenen Formeln berechneten Summen der Reisezeiten und Verlässlichkeitsmassen, getrennt nach Stamm- und Mehrverkehr, sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt. Die Berechnungen beruhen auf der Annahme eines Güterverkehrsanteils von 5% und eines mittleren Fahrzeugbesetzungsgrades von 1.6 Personen.

Tabelle 27: Summe der Reisezeiten (mittlerer Werktag, 24h-Periode)

| | Stammverkehr | | Mehrverkehr ³⁹ | |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] |
| Ohne Dosierung | 31'213 | 1'027 | 1'180 | 39 |
| Mit Dosierung | 31'510 | 1'037 | 1'192 | 39 |
| Differenz | 297 | 10 | 12 | 0 |

Geht man davon aus, die Verkehrsdosierung sei das ganze Jahr über an jedem Werktag (Montag – Freitag) in Betrieb, kann der jährliche Reisezeitzuwachs infolge der Dosierung wie folgt veranschlagt werden:

- Personenverkehr: 77'250 Personen-h
- Güterverkehr: 2'500 Fahrzeug-h

Tabelle 28: Summe der Verlässlichkeitsmasse (Buffer-Index, mittlerer Werktag, 24h-Periode)

| | Stammverkehr | | Mehrverkehr ⁴⁰ | |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] | Personenverkehr [Personen-h] | Güterverkehr [Fahrzeug-h] |
| Ohne Dosierung | 6'124 | 201 | 217 | 7 |
| Mit Dosierung | 6'612 | 218 | 243 | 8 |
| Differenz | 488 | 17 | 26 | 1 |

Auch in diesem Fallbeispiel würde sich mit der Verkehrsdosierung nicht nur die Summe der Reisezeiten, sondern auch deren Variabilität (Buffer-Index) erhöhen, d.h. die Verlässlichkeit würde sich reduzieren.

Wiederum unter der Annahme, die Verkehrsdosierung sei das ganze Jahr über an jedem Werktag (Montag – Freitag) in Betrieb, kann der jährliche Verlust an Verlässlichkeit wie folgt veranschlagt werden:

- Personenverkehr: 128'500 Personen-h
- Güterverkehr: 4'500 Fahrzeug-h

³⁸ Aus Gründen der Speicherkapazität wurden die Berechnungen nur für 10 und nicht für alle 25 Simulationläufe durchgeführt.

³⁹ Faktor 0.5 berücksichtigt

⁴⁰ Faktor 0.5 berücksichtigt

5.4.4 Bewertung

a) Massgebende Indikatoren

In diesem Fallbeispiel wurde davon ausgegangen, dass das Verkehrsdosierungskonzept das Mobilitätsverhalten der betroffenen Bevölkerung und damit die Verkehrsnachfrage über den ganzen Tag beeinflussen könnte. Wie die Tabelle 26 aber zeigt, sind die vom Modell berechneten Modal Split-Veränderungen vernachlässigbar klein.

Das Verkehrsdosierungskonzept bedingt die Erstellung von 9 neuen Lichtsignalanlagen und die Anpassung von zwei bestehenden Anlagen sowie den Bau von Busspuren. Es werden also Flächen zusätzlich versiegelt und es fallen Landerwerbskosten an. Hingegen fallen innerhalb der angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren der Anlagen keine Ersatzinvestitionen an.

Die Verkehrsregelungsanlagen und die Busspuren werden keine relevanten Auswirkungen auf das Orts- und Landschaftsbild haben. Durch die von der Verkehrsdosierung verursachten Veränderungen der Verkehrsbelastungen sind keine Schutz- und Erholungsgebiete betroffen.

Damit verbleiben die in der folgenden Tabelle aufgeführten Indikatoren als relevant für die Bewertung dieses Verkehrsdosierungskonzeptes.

Tabelle 29: Für die Bewertung in diesem Fallbeispiel relevante Indikatoren

| Bereich | Indikator nach NISTRA | KNA | VWA |
|--------------|--|-----|-----|
| Gesellschaft | Attraktivität des Fussverkehrs | | ✓ |
| | Attraktivität des Veloverkehrs | | ✓ |
| | Unfälle | ✓ | |
| Wirtschaft | Investitionskosten (Baukosten) | ✓ | |
| | Landkosten | ✓ | |
| | Betriebs- und Unterhaltskosten | ✓ | |
| | Reisezeitveränderungen Stammverkehr | ✓ | |
| | Veränderungen der Zuverlässigkeit | ✓ | |
| | Betriebskosten Fahrzeuge | ✓ | |
| | Nettonutzen des Mehrverkehrs | ✓ | |
| Umwelt | Luftbelastung | ✓ | |
| | Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort | ✓ | |
| | Bodenversiegelung | ✓ | |
| | Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | ✓ | |

Die Attraktivität des Fuss- und Veloverkehrs ist nicht monetarisierbar. Deren Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand wird mit einem Notensystem bewertet. Alle übrigen Indikatoren sind monetarisierbar und fliessen in die KNA ein. Dabei werden alle Kosten und Nutzen auf das heutige Jahr bezogen (ohne Ab- oder Aufdiskontierung der in den VSS-Normen angegebenen Kostensätze).

b) Linkdatenbank als Grundlage

Mit den von DynusT ausgegebenen Fahrzeugtrajektorien lässt sich für jede Variante resp. jedes Szenario mit den erwähnten Hilfsprogrammen eine Linkdatenbank erstellen, welche alle für die Bewertung der Link-basierten Auswirkungen (siehe Kapitel 3.3.5) benötigten Informationen enthält.

Die Links, für welche aus DynusT bereits die Länge, die mittlere Belastung, die mittlere Geschwindigkeit usw. vorliegen, werden (mit Hilfe von GIS) mit den folgenden weiteren Attributen versehen:

- Lage innerhalb/ausserhalb des Wirkperimeters
- Klassifikation der Links nach Strassenkategorien und Verkehrssituationen gemäss HBEFA (Infras, 2010). Die Verkehrssituationen werden anhand der durchschnittlichen Geschwindigkeit, differenziert nach Strassenkategorien, anhand festgelegter Schwellenwerte für die durchschnittliche Geschwindigkeit (siehe die folgende Tabelle) bestimmt.

Tabelle 30: Schwellenwerte der Geschwindigkeiten für die Zuordnung zu den Verkehrssituationen

| Strassenkategorie/Situation | Schwellenwerte [km/h] |
|---------------------------------|-----------------------|
| Agglo/AB-Nat./100/flüssig | 97 |
| Agglo/AB-Nat./100/dicht | 87 |
| Agglo/AB-Nat./100/gesättigt | 70 |
| Agglo/AB-Nat./100/stop+go | 19 |
| Agglo/FernStr-City/80/flüssig | 74 |
| Agglo/FernStr-City/80/dicht | 64 |
| Agglo/FernStr-City/80/gesättigt | 52 |
| Agglo/FernStr-City/80/stop+go | 16 |
| Agglo/FernStr-City/50/flüssig | 49 |
| Agglo/FernStr-City/50/dicht | 41 |
| Agglo/FernStr-City/50/gesättigt | 36 |
| Agglo/FernStr-City/50/stop+go | 13 |
| Agglo/Sammel/50/flüssig | 47 |
| Agglo/Sammel/50/dicht | 36 |
| Agglo/Sammel/50/gesättigt | 30 |
| Agglo/Sammel/50/stop+go | 13 |

- Schwerverkehrs-Anteil, in HBEFA als SNF-Anteil bezeichnet: Da die Schwerverkehrs-Anteile in diesem Fallbeispiel nicht mit-modelliert wurden, wird generell ein Wert von 5% angenommen.
- Zuteilung der Emissionsfaktoren für PM, CO₂ und Treibstoffverbrauch nach HBEFA Strassenkategorien und Verkehrssituationen für PW und SNF.
- Für jeden Link Berechnung der folgenden Werte für die Morgenspitzenstunde und für 24h: Fahrzeugkilometer (Fz-km), Fahrzeugstunden (Fz-h), PM10-Emissionen, CO₂-Emissionen, Treibstoffverbrauch.

c) Attraktivität Fuss- und Veloverkehr

Die Attraktivität für den Fuss- und den Veloverkehr steigt mit abnehmender Verkehrsbelastung. Für die Bewertung dieses Aspektes wird hier sowohl die Situation während der Morgenspitzenstunde (MSP), wenn die Dosierung in Betrieb ist, und der Situation über den ganzen Tag (24h) betrachtet. Es werden Kategorien der Belastungsdifferenzen gebildet und jeder Kategorie eine Note zugeordnet. Diese wird mit der Streckenlänge der entsprechenden Kategorie gewichtet, was die "gewichtete Note" in der folgenden Tabelle ergibt.

Tabelle 31: Veränderung der Attraktivität für den Fuss- und Veloverkehr während der Morgenspitze (MSP) und über den ganzen Tag (24 h)

| Differenz der Belastung [Fz] | Note | Länge [km] MSP | Gewichtete Note MSP | Länge [km] 24 h | Gewichtete Note 24 h |
|------------------------------|------|----------------|---------------------|-----------------|----------------------|
| kleiner -50% | 3 | 0.3 | 0.8 | 0.0 | 0.0 |
| - 25% bis - 50% | 2 | 1.8 | 3.6 | 0.0 | 0.0 |
| - 10% bis -25% | 1 | 18.0 | 18.0 | 3.7 | 3.7 |
| 10% bis - 10% | 0 | 74.4 | 0.0 | 97.7 | 0.0 |
| 10% bis 25% | -1 | 5.4 | -5.4 | 3.1 | -3.1 |
| 25% bis 50% | -2 | 1.3 | -2.6 | 0.3 | -0.7 |
| grösser 50% | -3 | 1.6 | -4.7 | 0.0 | |
| Total | | | 9.8 | | -0.1 |

Die Auswertung zeigt, dass mit der Verkehrsdosierung während der Morgenspitzenstunde im Wirkperimeter eine Erhöhung der Attraktivität für die Fussgänger und Radfahrer erzielt wird, während sich die Situation über den ganzen Tag betrachtet kaum verändert.

d) Unfälle

Wir beschränken uns auf die Abschätzung der Unfallkosten aufgrund der Fahrleistungen auf den verschiedenen Strassentypen (mit unterschiedlichen Unfallraten, in welche auch die Unfälle an Knoten eingerechnet sind) und verzichten auf die differenzierte Beurteilung der Unfallsituation an den Knoten.

Aus der oben erwähnten Linkdatenbank ergeben sich die in der Tabelle 32 angegebenen Differenzen der Verkehrsleistungen nach Strassentypen.

Tabelle 32: Fahrleistungen nach Strassentypen (pro Tag)

| Strassentyp | ohne Dosierung [10 ³ Fz-km] | mit Dosierung [10 ³ Fz-km] | Differenz [10 ³ Fz-km] |
|--------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Autobahn | 82.85 | 83.80 | 0.95 |
| Ausserorts ⁴¹ | 386.55 | 386.72 | 0.17 |
| Innerorts | 538.48 | 538.06 | -0.41 |

Unter der Annahme, die Verkehrsdosierung sei pro Jahr an 250 Werktagen in Betrieb, ergeben sich mit den Unfallkostenraten aus der VSS-Norm SN 640 824 die folgenden jährlichen Differenzen der Unfallkosten infolge der Verkehrsdosierung.

Tabelle 33: Unfallkostendifferenz (Kostenstand 2005) nach Strassentypen (pro Jahr)

| Strassentyp | Differenz Fahrleistung [10 ³ Fz-km] | Kostensatz ⁴² [CHF pro 10 ³ Fz-km] | Kosten [CHF] (gerundet) |
|--------------------------|--|--|-------------------------|
| Autobahn | 238 | 49.70 | 12'000 |
| Ausserorts ⁴³ | 42 | 221.20 | 9'000 |
| Innerorts | -104 | 482.50 | -50'000 |
| Total | | | -29'000 |

Die Auswirkungen der vorgeschlagenen Verkehrsdosierung auf die Unfallkosten sind mit CHF 29'000 pro Jahr vergleichsweise klein.

⁴¹ Ohne Autobahn

⁴² Stand 2005

⁴³ Ohne Autobahn

e) Investitionskosten

Für das Dosierungskonzept sind neun neue Verkehrsregelungsanlagen und die Anpassung von zwei bestehenden Verkehrsregelungsanlagen erforderlich. Bei drei Dosierstellen sind Busspuren zu erstellen. Unter Annahme der in der folgenden Tabelle angegebenen Einheitspreise ergeben sich Investitionskosten von rund CHF 6.6 Mio.

Tabelle 34: Schätzung der Investitionskosten für das Verkehrsdosierungskonzept

| Position | Anzahl [Stk.] | Einheitspreis [CHF] | Kosten [CHF] (gerundet) |
|----------------------------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| Verkehrsregelungsanlage, neu | 9 | 330'000.- | Mio. 3.00 |
| Verkehrsregelungsanlage anpassen | 2 | 50'000.- | Mio. 0.10 |
| Gebietsrechner | 1 | 2'000'000.- | Mio. 2.00 |
| Busspuren | 3 | 500'000.- | Mio. 1.50 |
| Total | | | Mio. 6.60 |

Bei einer Lebensdauer von 20 Jahren für die Verkehrsregelungsanlagen und unter Vernachlässigung von Restkosten für die Busspuren ergibt sich bei einem Diskontsatz von 2% eine Annuität für die Investitionskosten von rund CHF 404'000.

f) Betriebs- und Unterhaltskosten

Wenn die jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten sowohl der neuen als auch der angepassten Verkehrsregelungsanlagen dem Verkehrsdosierungskonzept angelastet werden, können die jährlichen Kosten grob wie folgt geschätzt werden:

Tabelle 35: Schätzung der jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten für das Verkehrsdosierungskonzept

| Position | Anzahl [Stk.] | Einheitspreis [Fr.] | Kosten [Fr.] |
|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| Verkehrsregelungsanlagen | 11 | 15'000.- | 165'000.- |
| Busspuren | 3 | 20'000.- | 60'000.- |
| Total | | | 225'000.- |

g) Kosten der Reisezeitveränderungen

Mit den im Kapitel 5.4.3 berechneten Reisezeitveränderungen für den Stamm- und Mehrverkehr und den mittleren Kostenansätzen gemäss der VSS-Norm SN 641 822a resp. SN 641 823 lassen sich die jährlichen Veränderungen der Reisezeitkosten infolge der Verkehrsdosierung wie folgt berechnen⁴⁴.

Tabelle 36: Veränderung der jährlichen Reisezeitkosten infolge der Verkehrsdosierung

| Verkehrsart | Zeitkostenansatz [CHF/h] | Veränderung infolge Dosierung | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Reisezeit [h/a] | Zeitkosten [CHF/a] |
| Personenverkehr | 23.29 ⁴⁵ | 77'250 | 1'800'000 |
| Güterverkehr ⁴⁶ | 15.03 ⁴⁷ | 2'500 | 38'000 |
| Summe | | | 1'838'000 |

⁴⁴ Unter der Annahme gleicher Kostenansätze für Deutschland wie für die Schweiz

⁴⁵ Bezugsjahr 2007

⁴⁶ Ohne Fahrerkosten (werden bei den Betriebskosten berücksichtigt)

⁴⁷ Bezugsjahr 2005

In diesem Fallbeispiel führt der durch das angenommene Verkehrsdosierungskonzept verursachte Zeit-Mehraufwand zu einem negativen Nutzen von rund CHF 1.8 Mio. pro Jahr.

h) Kosten der Zuverlässigkeits-Veränderung

Mit den im Kapitel 5.4.3 berechneten Veränderungen der Zuverlässigkeit (Summe der mit den Verkehrsmengen gewichteten Buffer-Indices des Stamm- und des Mehrverkehrs), dem Zuverlässigkeitskostenansatz VOR gemäss Kapitel 3.3.4 und den mittleren Kostenansätzen gemäss der VSS-Norm SN 641 822a resp. SN 641 823 lassen sich die jährlichen Kosten für die Veränderung der Zuverlässigkeit wie folgt berechnen:

Tabelle 37: Jährliche Kosten für die Veränderung der Zuverlässigkeit infolge Verkehrsdosierung

| Verkehrsart | VOR [CHF/h] | Veränderung infolge Dosierung | |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| | | Zuverlässigkeitsmass [h/a] | Kosten [CHF/a] |
| Personenverkehr | 30.28 ⁴⁸ | 128'500 | 3'890'000 |
| Güterverkehr ⁴⁹ | 69.84 ⁵⁰ | 4'500 | 314'000 |
| Summe | | | 4'204'000 |

In diesem Fallbeispiel führt die durch das angenommene Verkehrsdosierungskonzept verursachte Reduktion der Zuverlässigkeit zu einem negativen Nutzen von rund CHF 4.2 Mio. pro Jahr.

i) Betriebskosten Fahrzeuge Stamm- und Mehrverkehr

Die aus der Linkdatenbank ermittelten Werte für die jährlichen Verkehrsleistungen, differenziert nach Strassenkategorien, und für die jährlichen Fahrzeug-Stunden sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt. Auf eine differenzierte Berechnung dieser Werte für den Stamm- und für den Mehrverkehr wurde verzichtet. Dies dürfte auch in den weitaus meisten Praxisfällen möglich sein. Die separate Berücksichtigung des Mehrverkehrs wäre mit erheblichem Mehraufwand verbunden, welcher sich angesichts der geringen Differenzen und der im vorliegenden Fall kleinen Bedeutung des Mehrverkehrs nicht rechtfertigen liesse.

Tabelle 38: Veränderung der jährlichen Verkehrsleistungen infolge Verkehrsdosierung [Mio. Fz-km]

| Strassentyp | Ohne Dosierung | | Mit Dosierung | | Differenz | |
|-------------|----------------|------|---------------|------|-----------|-------|
| | PW | SNF | PW | SNF | PW | SNF |
| Autobahn | 19.68 | 1.04 | 19.90 | 1.05 | 0.22 | 0.01 |
| Ausserorts | 91.81 | 4.83 | 91.85 | 4.83 | 0.04 | 0.00 |
| Innerorts | 127.89 | 6.73 | 127.79 | 6.73 | -0.10 | -0.01 |

Tabelle 39: Veränderung der jährlichen Fahrzeug-Stunden infolge Verkehrsdosierung [Mio. Fz-h]

| Ohne Dosierung | | Mit Dosierung | | Differenz | |
|----------------|------|---------------|------|-----------|------|
| PW | SNF | PW | SNF | PW | SNF |
| 5.08 | 0.27 | 5.17 | 0.27 | 0.10 | 0.01 |

Die Kostensätze der Betriebskostengrundwerte (ohne Treibstoff) und für Treibstoff (ohne

⁴⁸ Bezugsjahr 2007

⁴⁹ Inkl. Fahrerkosten

⁵⁰ Annahme, der Faktor zwischen VOR und VOT betrage für den Güterverkehr ebenfalls 1.3, Bezugsjahr 2005

Steuern) können der VSS-Norm SN 641 827 entnommen werden⁵¹.

Tabelle 40: Veränderung der jährlichen Betriebskosten infolge Verkehrsdosierung mit Kostensätzen 2005 (ohne Steuern, Abgaben und LSVA) [Mio. CHF]

| Position | Ohne Dosierung | Mit Dosierung | Differenz |
|---|----------------|---------------|-----------|
| Betriebskostengrundwerte | 54.63 | 54.96 | 0.33 |
| Treibstoffkosten (ohne Steuern/Abgaben) | 43.13 | 43.26 | 0.13 |
| Total | 97.76 | 98.23 | 0.47 |

Die Verkehrsdosierung verursacht in diesem Fallbeispiel jährlich rund CHF 470'000 höhere Betriebskosten für die Fahrzeuge.

j) Luftbelastung

Mit den aus der Linkdatenbank ermittelten Fahrleistungen nach Strassenkategorie und Verkehrssituation ermittelten Verkehrsleistungen und den Emissionsfaktoren aus dem HBEFA ergeben sich die folgenden Werte für die Emissionen von PM10 und CO₂ sowie für den Treibstoffverbrauch:

Tabelle 41: PM10- und CO₂-Emissionen sowie Treibstoffverbrauch

| Zustand | PM10-Emissionen [t/a] | CO ₂ -Emissionen [t/a] | Treibstoffverbrauch [t/a] |
|----------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Ohne Dosierung | 3.483 | 49713 | 15813 |
| Mit Dosierung | 3.496 | 49873 | 15864 |
| Differenz | 0.013 | 160 | 51 |

Die Differenz der Emissionen betrifft praktisch ausschliesslich bebauten Gebiet. Mit den Kostensätzen für PM10-Emissionen aus der VSS-Norm SN 641 828 ergeben sich infolge der Verkehrsdosierung zusätzliche externe Kosten (Gesundheit und Gebäudeschäden) von ca. CHF 6'000 pro Jahr (Preisstand 2005).

k) Lärmbelastete Personen

Gemäss Tabelle 32 nimmt in diesem Fallbeispiel die jährliche Verkehrsleistung infolge der Verkehrsdosierung um ca. 177'500 Fz-km zu. Mit dem in der VSS-Norm SN 641 828 angegebenen durchschnittlichen Lärmkostenansatz von CHF 0.0183 pro Fz-km (Preisstand 2005) ergeben sich Lärmkosten von rund CHF 3'250 pro Jahr.

l) Bodenversiegelung

Unter der Annahme, die versiegelte Fläche pro neue Busspur betrage ca. eine Hektare, ergeben sich gem. VSS-Norm SN 641 828 externe Kosten von ca. CHF 9'000 pro Jahr.

m) Klimaeffekt

Wie der Tabelle 41 zu entnehmen ist, verursacht die Verkehrsdosierung in diesem Fallbeispiel jährlich zusätzlich 160 Tonnen CO₂-Emissionen. Die zusätzlichen externen Kosten infolge des Klimaeffektes betragen mit dem Kostenansatz von Fr. 40 pro Tonne CO₂-Äquivalent (VSS SN 641 828, Kostenstand 2010) Fr. 6'400 pro Jahr.

n) Zusammenstellung

Während der Betriebszeit der Verkehrsdosierung erhöht sich die Attraktivität für die Fussgänger und Radfahrer dank der Verkehrsabnahme innerhalb des Wirkperimeters. Über den ganzen Tag betrachtet bleibt die Attraktivität für den Langsamverkehr aber praktisch unverändert.

⁵¹ Die Norm unterscheidet zwischen verschiedenen Fahrzeugarten für den Personen- und für den Sachtransport. Das im vorliegenden Fall verwendete Modellinstrumentarium kann keine derart differenzierten Angaben liefern.

In der folgenden Tabelle sind die oben ermittelten jährlichen Kosten und monetären Nutzen des vorgeschlagenen Dosierungskonzeptes zusammengestellt.

Tabelle 42: Jährliche Kosten und Nutzen des vorgeschlagenen Dosierungskonzeptes (gerundete Werte)

| Indikator | Kosten [CHF/Jahr] | Nutzen [CHF/Jahr] |
|--|----------------------|----------------------|
| Unfälle | | -3'000 |
| Investitionskosten (Baukosten) | 404'000 | |
| Betriebs- und Unterhaltskosten | 225'000 | |
| Reisezeitveränderungen | | -1'840'000 |
| Veränderungen der Zuverlässigkeit | | -3'980'000 |
| Betriebskosten Fahrzeuge | | -470'000 |
| Luftbelastung | | -6'000 |
| Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort | | -3'000 |
| Klimaeffekt: Treibhausgas-Emissionen | | -6'000 |
| Bodenversiegelung | | -9'000 |
| Summe | 629'000 | -6'317'000 |
| Nettobarwert | -6'946'000 | |

5.4.5 Diskussion der Methodik und der Ergebnisse

An diesem Fallbeispiel wird die Anwendung des im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit entwickelten Verkehrsmodell-Systems, bestehend aus dem iterativen Zusammenwirken eines agenten-basierten Nachfragemodells (MATSim) und eines dynamischen Umlegungsmodells (DynusT), sowie der für die Auswertung der Modell-Outputs ebenfalls entwickelten speziellen Auswertetools demonstriert.

Untersucht wurden die Auswirkungen eines als Projektidee vorliegenden Verkehrsdosierungskonzeptes für ein Agglomerations-Zentrum auf die Verkehrsnachfrage im MIV, ÖV und Langsamverkehr sowie auf die Routenwahl im MIV.

Als Modelloutputs liegen für den MIV detaillierte Daten zu den Reisezeitverteilungen zwischen den Quell-Ziel-Zonen, zu den Fahr- und Wartezeiten auf den einzelnen Links resp. an Knoten sowie zu den Linkbelastungen vor.

Aus diesen Daten lassen sich auch die für die Abschätzung der Auswirkungen der Verkehrsdosierung auf den Betrieb des strassengebundenen ÖV erforderlichen Informationen ermitteln. Zu diesen gehören beispielsweise die Mittelwerte und die Streuungen der Reisezeiten (Verlässlichkeit) auf den einzelnen Buslinien. Da die Auswirkungen auf die ÖV-Nachfrage im vorliegenden Fall aber gemäss den Modellergebnissen marginal sind, wurde auf diesen Schritt verzichtet.

Die Erstellung des Modellsystems, insbesondere der automatisierte Ablauf der Iterationen zwischen dem Nachfrage und dem Umlegungsmodell erforderte einen sehr grossen, auch zeitlichen, Aufwand. Auf die Gründe wird im Schlusskapitel näher eingegangen. Nachdem dies schliesslich gelungen war, erwies sich das Modellsystem im Fallbeispiel 3 als sehr praxistauglich. Es liefert umfangreiche und sehr detaillierte (fahrzeugfeine) Outputs, aus welchen mit den ebenfalls als Teil der Forschungsarbeit erstellten Auswertetools alle für die Bewertung eines Verkehrsdosierungskonzeptes erforderlichen Verkehrsgrundlagen gewinnen lassen.

Für das Fallbeispiel wurde das Modellsystem nur grob kalibriert und validiert. In der Praxis wäre dazu ein wesentlich grösserer Aufwand nötig, welcher aber im Rahmen der

Forschungsarbeit nicht zu leisten war. Die nachfolgend zusammengefassten Ergebnisse dürfen daher nicht überinterpretiert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei diesem Fallbeispiel mit dem vorgeschlagenen Dosierungskonzept das Ziel einer Entlastung des Zentrumsgebietes der Agglomeration während der Morgenspitzenstunde voraussichtlich erreicht werden kann. Mit der als Entwurf vorliegenden Ausgestaltung des Konzeptes (Standorte der Dosierungsstellen, Grünzeitenanteile usw.) hätte die Verkehrsdosierung aber insgesamt negative Auswirkungen, insbesondere auf die Summe der Reisezeiten und die Verlässlichkeit.

In der Praxis müsste nun, neben der Modellkalibration und -validation, ein Optimierungsprozess folgen, in welchem die Standorte der Dosierstellen sowie deren Steuerungen iterativ angepasst werden, bis ein maximaler Gesamtnutzen erreicht ist. Für diesen Optimierungsprozess steht das in dieser Forschungsarbeit erstellte Modell- und Bewertungsinstrumentarium zur Verfügung.

6 Fazit und Empfehlungen

Mit einer Verkehrsdosierung werden die durchfahrende Verkehrsmenge (durch eine Reduktion der Kapazität) und/oder die Zeitlücken im Verkehrsstrom beeinflusst. Dies hat vielfältige zeitabhängige Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen, welche nur mit dynamischen mikro- oder mesoskopischen Modellen abgebildet werden können. Die bisher in der Schweiz eingesetzten makroskopischen Verkehrsmodelle sind dazu nicht geeignet.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde als Hauptergebnis ein einsatzfähiges und kostenlos verfügbares Modellsystem entwickelt, welches ein agentenbasiertes Nachfragemodell mit einem dynamischen, mesoskopischen Umlegungsmodell kombiniert. Dieses Modellsystem liefert als Output alle Grundlagen, welche für die Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen von Verkehrsdosierungen erforderlich sind. Dessen Etablierung (Kalibration und Validation) und Anwendung ist allerdings relativ aufwändig. Deshalb wird empfohlen, im konkreten Fall anhand des in der Forschungsarbeit vorgestellten generellen Wirkungsmodells zu prüfen, ob tatsächlich mit der ganzen Palette möglicher Auswirkungen gerechnet werden muss. Wenn nicht, genügt es unter Umständen, nur die Auswirkungen auf die Routenwahl oder sogar nur jene auf das Fahrverhalten zu betrachten. Dazu eignen sich dynamische Umlegungsmodelle resp. Mikrosimulationsmodelle, deren Einsatz in der vorliegenden Arbeit an Fallbeispielen ebenfalls demonstriert wird.

Für die Bewertung der Auswirkungen von Verkehrsdosierungskonzepten sind grundsätzlich verschiedene Methoden, Ziel- und Indikatorensysteme denkbar. Für die Schweiz wird eine Abstützung auf die Grundlagen von NISTRA und der VSS-Normen empfohlen. Damit ist gewährleistet, dass die Bewertung umfassend erfolgt und Mehrfachzählungen einzelner Auswirkungen vermieden werden. Die Anwendung dieser Bewertungsmethodik an den drei Fallbeispielen hat deren Praktikabilität bewiesen. Es muss an dieser Stelle nochmals unterstrichen werden, dass die Resultate nur für die hier untersuchten Fallbeispiele, welche hinsichtlich der Steuerung und der Standorte der Dosierung noch nicht optimiert worden sind, gelten und nicht verallgemeinert werden können.

Die bearbeiteten Fallbeispiele haben gezeigt, dass es nicht ausreichend ist, eine Verkehrsdosierung nur aufgrund von Auswirkungen innerhalb des Wirkperimeters zu beurteilen. In diesem können z.B. die Ziele einer Entlastung und Verflüssigung des Verkehrs sowie der Gewährleistung eines zuverlässigen ÖV-Betriebes sehr wohl erreicht werden, während in einer Gesamtbetrachtung aber die Bilanz – z.B. wegen insgesamt höheren Reisezeiten und verminderter Zuverlässigkeit – negativ ausfallen kann. Der Entscheid, ob in einem solchen Fall trotzdem eine Verkehrsdosierung eingeführt werden soll, ist ein politischer: Mit den hier erarbeiteten Modellierungs- und Bewertungskonzepten können die dazu notwendigen Grundlagen bereitgestellt werden.

Das im Rahmen dieser Forschungsarbeit entwickelte Modellsystem mit agentenbasierter Nachfragemodellierung und dynamischer Verkehrsumlegung kann selbstverständlich auch für andere Fragestellungen, nicht nur für Dosierungskonzepte, eingesetzt werden, bei welchen die herkömmlichen statischen Verkehrsmodelle (Makromodelle) weniger geeignet sind.

Das entwickelte Modellsystem beruht auf Simulationen, denen stochastische Prozesse (wie bei den bekannten Mikrosimulationsmodellen) zugrunde liegen. Entsprechend sind auch die Ergebnisse (Linkbelastungen, Wartezeiten an Knoten, Reisezeiten usw.) Zufallsgrößen. Wie in der Forschungsarbeit gezeigt wird, bedarf es einer bestimmbar Anzahl an Simulationsläufen, um einen ausreichend kleinen Standardfehler der Mittelwerte der Modellergebnisse zu erreichen. Es müsste Gegenstand einer weiteren Forschungsarbeit sein, die Variabilität der Linkbelastungen, Wartezeiten, Reisezeiten usw. in der Realität zu messen und mit jener der Simulationsergebnisse zu vergleichen sowie Hinweise zu liefern, wie die Simulationsprozesse allenfalls anzupassen wären.

Natürlich sind nicht nur die Verkehrsmodell-Ergebnisse (also ein grosser Teil des Mengengerüstes) mit Unsicherheiten behaftet. Ebenso sehr sind es viele der "normierten" Kennwerte des Wertgerüstes. Als weiteres Fazit dieses Forschungsprojektes ergibt sich die Erkenntnis, dass weiterer Forschungsbedarf besteht zur Entwicklung von Bewertungsmethoden, welche diese Unsicherheiten berücksichtigen und statt eines "exakten" Einzelwertes z.B. Erwartungswerte mit Vertrauensintervallen liefern.

Zum Schluss seien nochmals die zeitraubenden Schwierigkeiten erwähnt, welche bei der Koppelung von DynusT und MATSim zu überwinden waren, bis ein stabiler Ablauf einer beliebigen Anzahl von Iterationen möglich war. Das Problem lag bei DynusT, welches wegen eines Softwarefehlers nach einigen Iterationen Programmabstürze verursachte.

Den Beschreibungen von DynusT konnte entnommen werden, dass es ein innovatives und viel versprechendes Tool für dynamische Umlagen ist und verbreitet, auch in grösseren Städten, in den USA angewendet wird. Probleme im angetroffenen Umfang waren daher nicht zu erwarten. Da DynusT eine Open Source Software ist, kann von den Programmentwicklern nicht der gleiche Support erwartet werden wie bei einer kommerziellen Software. Unsere Kontakte mit den Programmentwicklern an der University of Arizona in den USA nahmen viel Zeit in Anspruch. Schliesslich konnte der Softwarefehler, welcher die genannten Probleme verursacht hatte, identifiziert und behoben werden. Als Fazit kann festgestellt werden, dass für den Einsatz von neuer Open Source Software für spezielle Anwendungen, wie die dynamische Verkehrsumlegung eine ist, im Projekt- ablauf grosse Zeitreserven eingeplant werden müssen.

Prinzipiell ist aber DynusT ein flexibel einsetzbares (kostenloses) Tool für dynamische Verkehrsumlegungen, welches verschieden Parameter für eine Anpassung an die örtlichen, z.B. schweizerischen, Gegebenheiten bereithält. Der strassengebundene ÖV kann im Moment nur mittels der Linkattribute (Geschwindigkeiten, Wartezeiten, Verlässlichkeit) und nicht auf der Basis von Quell-Ziel-Beziehungen behandelt werden. Wertvoll wäre, evtl. im Rahmen einer weiteren Forschungsarbeit, DynusT in dieser Hinsicht zu erweitern. Eher als Detail sei vermerkt, dass in der vorliegenden Version alle Knotenformen ausser Verkehrskreiseln berücksichtigt werden können. Verkehrskreiseln müssen vorläufig als aufgelöste Knoten (pro Ast ein Knoten) mit Vortritt für den von links kommenden Verkehr abgebildet werden. Für zukünftige Anwendungen in der Schweiz wäre eine Erweiterung der Software zur einfachen Modellierung auch von Verkehrskreiseln anzustreben.

Anhänge

| | | |
|------------|--|------------|
| I | VISSIM-Parameter | 99 |
| I.1 | Fahrzeugfolgemodell..... | 99 |
| I.2 | Fahrverhalten auf der Stammstrecke..... | 99 |
| II | Abschätzung der notwendigen Anzahl Simulationsläufe | 102 |
| III | Verfügbarkeit der verwendeten Software | 104 |

I VISSIM-Parameter

I.1 Fahrzeugfolgemodell

- Wiedemann 99
- Parameter CC1 = 1.1 s

I.2 Fahrverhalten auf der Stammstrecke

- Grundverhalten: Rechtsfahrgebot
- Parameter für einen notwendigen Spurwechsel (d.h. Spurwechsel aufgrund Routenwahl)

| Parameter | Führendes Fahrzeug | Folgefahrzeug |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Maximale Verzögerung | -4.0 m/s ² | -3.0 m/s ² |
| -1m/s ² | 300 m | 300 m |
| Akzeptierte Verzögerung | -1.0 m/s ² | -1.0 m/s ² |

- Minimale Nettoweglücke (vorne und hinten): 0.40 m
- Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand: 0.1
- Maximale Verzögerung für kooperatives Bremsen: -9.0 m/s²
- Intelligentes Einfädeln (d.h. die Fahrzeuglenker wechseln nach Möglichkeit frühzeitig die Spur)
- Kooperativer Spurwechsel (wenn sich ein Fahrzeug im Einfahrtsbereich befindet, wird ein kooperativer Spurwechsel nach links vollzogen)
 - Max. Geschwindigkeitsdifferenz: 10.8 km/h
 - Max. Kollisionszeit: 10.0 s

| Nr. | Name |
|-----|-------------------------------|
| 1 | Innerorts (motorisiert) |
| 2 | Rechtsfahrgebot (motorisiert) |
| 3 | Außerorts (freie Spurwahl) |
| 4 | Fußweg (interaktionsfrei) |
| 5 | Radweg (freies Überholen) |

Nr.: 2 Name: Rechtsfahrgebot (motorisiert)

Folgeverhalten Spurwechsel Querverhalten Lichtsignalanlagen

Vorausschauweite
min.: 0.00 m
max.: 250.00 m

Zurückschauweite
min.: 0.00 m
max.: 150.00 m

Vorübergehende Unaufmerksamkeit
Dauer: 0.00 s
Wahrscheinlichkeit: 0.00 %

Gleichmäßiges Aufrückverhalten
 Stillstandsabstand für statische Hindernisse: 0.50 m

Vorderfahrzeuge: 2

Fahrzeugfolgemodell
Wiedemann 99

Modellparameter

| | | |
|---|-------|------------------|
| CC0 (Stillstandsabstand): | 1.50 | m |
| CC1 (Folgeabstand): | 1.10 | s |
| CC2 (Längs-Oszillation): | 4.00 | m |
| CC3 (Wahrnehmungsschwelle für Folgen): | -8.00 | |
| CC4 (neg. Geschwindigkeitsdifferenz): | -0.35 | |
| CC5 (pos. Geschwindigkeitsdifferenz): | 0.35 | |
| CC6 (Einfluss Geschwindigkeit auf Oszillation): | 11.44 | |
| CC7 (Beschleunigung bei Oszillation): | 0.25 | m/s ² |
| CC8 (Beschleunigung aus Stillstand): | 3.50 | m/s ² |
| CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h): | 1.50 | m/s ² |

I.2.1 Fahrverhalten im Einfädelungsbereich (3 Fahrspuren)

- Grundverhalten: freie Spurwahl
- Parameter für einen notwendigen Spurwechsel (d.h. Spurwechsel aufgrund Routenwahl)

| Parameter | Führendes Fahrzeug | Folgefahrzeug |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Maximale Verzögerung | -4.0 m/s ² | -4.0 m/s ² |
| -1m/s ² | 200 m | 150 m |
| Akzeptierte Verzögerung | -1.0 m/s ² | -1.0 m/s ² |

- Minimale Nettoweglücke (vorne und hinten): 0.50 m
- Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand: 0.1
- Maximale Verzögerung für kooperatives Bremsen: -9.0 m/s²
- Intelligentes Einfädeln (d.h. die Fahrzeuglenker wechseln nach Möglichkeit frühzeitig die Spur)
- Kooperativer Spurwechsel (wenn sich ein Fahrzeug im Einfahrtbereich befindet, wird ein kooperativer Spurwechsel nach links vollzogen)
 - Max. Geschwindigkeitsdifferenz: 10.8 km/h
 - Max. Kollisionszeit: 10.0 s

Fahrverhaltensparametersätze

Nr.: 3 Name: Außerorts (freie Spurwahl)

Folgeverhalten | Spurwechsel | Querverhalten | Lichtsignalanlagen

Vorausschauweite
 min.: 0.00 m
 max.: 250.00 m
 2 Vorderfahrzeuge

Zurückschauweite
 min.: 0.00 m
 max.: 150.00 m

Vorübergehende Unaufmerksamkeit
 Dauer: 0.00 s
 Wahrscheinlichkeit: 0.00 %

Gleichmäßiges Aufrückverhalten
 Stillstandsabstand für statische Hindernisse: 0.50 m

Fahrzeugfolgemodell
 Wiedemann 99
 Modellparameter

| | | |
|---|-------|------------------|
| CC0 (Stillstandsabstand): | 1.50 | m |
| CC1 (Folgeabstand): | 1.10 | s |
| CC2 (Längs-Oszillation): | 4.00 | m |
| CC3 (Wahrnehmungsschwelle für Folgen): | -8.00 | |
| CC4 (neg. Geschwindigkeitsdifferenz): | -0.35 | |
| CC5 (pos. Geschwindigkeitsdifferenz): | 0.35 | |
| CC6 (Einfluss Geschwindigkeit auf Oszillation): | 11.44 | |
| CC7 (Beschleunigung bei Oszillation): | 0.25 | m/s ² |
| CC8 (Beschleunigung aus Stillstand): | 33.50 | m/s ² |
| CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h): | 1.50 | m/s ² |

Fahrverhaltensparametersätze

Nr.: 3 Name: Außerorts (freie Spurwahl)

Folgeverhalten | **Spurwechsel** | Querverhalten | Lichtsignalanlagen

Grundverhalten: freie Spurwahl

Notwendiger Spurwechsel (Route)

| | eigene | Folgefahrzeug |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Maximale Verzögerung: | -4.00 m/s ² | -4.00 m/s ² |
| - 1 m/s ² pro Entfernung: | 200.00 m | 150.00 m |
| Akzeptierte Verzögerung: | -1.00 m/s ² | -1.00 m/s ² |

Wartezeit bis zur Diffusion: 20.00 s
 Min. Nettoweglücke (vorne/hinten): 0.50 m
 Auf langsamere Spur bei freier Fahrt für mind.: 0.00 s
 Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand: 0.10
 Maximalverzögerung für kooperatives Bremsen: -9.00 m/s²

Langsamfahrbereiche überholen
 Intelligentes Einfädeln

Kooperativer Spurwechsel
 Max. Geschwindigkeitsdifferenz: 10.80 km/h
 Max. Kollisionszeit: 10.00 s

II Abschätzung der notwendigen Anzahl Simulationsläufe

Da die Simulationsresultate durch Zufall beeinflusst werden, muss die Repräsentativität einer einzelnen Simulation erkundet werden. Das Ergebnis eines einzelnen Simulationslaufes des Instrumentariums ist ein Einzelwert aus der Verteilung aller möglichen Resultate der Simulationen. Die Verteilung der Resultate aus vielen Simulationen umfasst und definiert diesen Erwartungswert für die gesuchte Kennzahl.

Die Verzerrung, Bias, oder die Abweichung des Stichprobenmittelwerts von dem (unbekannten) Erwartungswert des Instrumentariums nach unendlich vielen Simulationen ist

$$\Delta = t_{\alpha} s_v / \sqrt{N}$$

Dieser Wert kann durch die wiederholte Simulation mit verschiedenen Zufalls-Seeds geschätzt werden (ein Ensemble). Damit wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der ein Simulationsresultat innerhalb einer gewissen Abweichungsspanne Δ zum wahren (unbekannten) Erwartungswert aller möglichen Simulationsergebnisse liegt.

Die nötige Anzahl Simulationen N , um eine festgelegte Abweichung Δ vom Mittelwert einer sehr grossen Anzahl von Simulationen zu erreichen, ist eine Schätzung basierend auf der statistischen Stichprobenziehung von Simulationsergebnissen. Ensembles von immer mehr Läufen würden Mittelwerte ergeben, die zum Erwartungswert konvergieren (Central Limit Theorem).

$$N = 2 \left[\left((t_{\alpha} + t_{\beta}) \sqrt{(s_v^2 + s_u^2)} \right) / \Delta \right]^2$$

mit

N = Anzahl Simulationsläufe

s_u = Standardfehler der Stichprobe u

s_v = Standardfehler der Stichprobe v

Δ = Differenz des Mittelwertes der Stichprobe vom wahren Mittelwert

t_{α} = T-Statistik mit Signifikanzniveau α (Fehler Typ 1)

t_{β} = T-Statistik für Wahrscheinlichkeit β eines Fehlers vom Typ 2

Der Faktor 2 ist nötig, wenn zwei Stichproben verglichen werden. Letztlich kann die statistische Erklärungskraft (power, β) in der Berechnung der Mindeststichprobengrösse mit einbezogen werden, um die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, dass die Nullhypothese nicht verworfen wird, sollte sie falsch sein (Typ II Fehler). Eine Erklärungskraft von 80% ist üblich (AcaStat Handbook, 2013) ($\beta < 0.2$).

Eine durchaus akzeptable Konvergenz zum richtigen Mittelwert kann jedoch meistens schon mit wenigen Simulationen erreicht werden (Driels and Shin, 2004).

Die Mindestanzahl der Simulationsläufe unterscheidet sich je nachdem, welche Variable interessiert. Am sinnvollsten basiert die Definition (oder die Definitionen, falls mehrere Variablen interessieren) auf der zu behandelnden Fragestellung.

Im vorliegenden Fall eines Verkehrsdosierungskonzeptes ist die Grundmenge, die interessiert, der Gewinn bzw. der Verlust an Reisezeit, gewichtet mit den Fahrtenvolumen. Diese Menge wird in Stamm- und Mehrverkehr aufgeteilt.

Ein kurzes Beispiel erläutert die Berechnung. Bei Zeitkosten von 20 CHF/Std. bedeutet ein Reisezeitunterschied im gesamten Verkehrssystem über eine 24-Stunden Periode, r in Minuten pro Tag, hochgerechnet auf ein Jahr, Kosten von $83.33 r$ CHF/Jahr⁵². Umgekehrt, Jahreskosten von CHF 1/Jahr werden durch 0.012 Minuten Reisezeit/Jahr verursacht. Um Projektkosten im Modell mit einer Präzision von z.B. CHF 100 000 /Jahr zu schätzen benötigt man eine Präzision in der Gesamtreisezeit bei der Simulation von einer 24-Stunden Periode also $100\,000 * 0.012 = +/-1200$ Minuten für alle Fahrenden und alle Wege in 24 Stunden.

Als nächstes muss die Mindestsignifikanz festgelegt werden, mit der die Präzision gewünscht wird. Als Beispiel wird 95% gewählt ($p=5\%$), symmetrisch verteilt. Mit 24 Freiheitsgraden aus den verfügbaren 25 Testläufen, $t=2.06$.

Die entsprechende statistische Hypothese lautet: "Damit die Zeitkosten mit 95% Sicherheit weniger als 100,000 Fr/Jahr vom Erwartungswert aus einer unendlichen Anzahl Läufe der Simulation abweichen, müssen je N Simulationen mit und ohne Dosierung berechnet werden.

Zusätzlich kann ein Parameter für die Erklärungskraft (β -Wert = 0.8) miteinbezogen werden ($z_\beta = 0.857$ für 24 Freiheitsgrade).

Die Werte aus den Simulationen für 24 Stunden (siehe die folgende Tabelle) ergeben die in der Tabelle 44 angegebene notwendige Anzahl von Läufen zur Erreichung einer Präzision der Zeitkosten von CHF 100'000 pro Jahr.

Tabelle 43: Mittelwerte und Standardabweichungen aus 25 Simulationen

| Szenario | Reisezeit Stamm | Reisezeit Mehr* | Fahrzeit Stamm | Fahrzeit Mehr* | Stoppzeit Stamm | Stoppzeit Mehr* |
|------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Differenz mit/ohne Dosierung | 10979 (1823) | 2335 (454) | 1959 (1296) | 403 (332) | 9021 (1163) | 1931 (253) |

*Menge wird durch 2 dividiert.

Tabelle 44: Mindestanzahl Läufe für eine Präzision von 100 000 CHF./Jahr gegenüber dem Erwartungswert aus unendlich vielen Simulationen

| Zeitkostenbasis | t_1 | t_2 | N |
|---|-------|-------|-----|
| Reisezeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0 | 20 |
| Reisezeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0.857 | 40 |
| Stoppzeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0.857 | 17 |
| Fahrzeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0 | 11 |
| Fahrzeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0.857 | 21 |
| Fahrzeit und Stoppzeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0.857 | 36 |
| Fahrzeit und Stoppzeit Stamm- und Mehrverkehr | 2.06 | 0 | 19 |

Obwohl die Reisezeit = Fahrzeit + Wartezeit ist die erforderliche Mindestanzahl Läufe N wegen der Gewichtung des Zeitaufwandes beim Mehrverkehr mit dem Faktor 0.5 unterschiedlich in den zwei Fällen.

⁵² 1 Simulation/Tag * k Minuten/Simulation * 250 Tage/Jahr * 1 Stunde/60 Minuten * 20 CHF/Stunde

III Verfügbarkeit der verwendeten Software

Während des Forschungsprojekts wurden diverse Software-Tools erstellt. Dazu gehört einerseits das kombinierte Nachfrage- und Simulationsmodell von MATSim und DynusT, welches für die Untersuchung von Dosierungsmassnahmen vom Typ 3 erstellt und verwendet wurde. Andererseits wurden aber auch diverse kleinere Hilfsprogramme erstellt, welche für die Analyse der Resultate, sowohl für Dosierungen vom Typ 2 als auch vom Typ 3, verwendet werden können. Dazu gehören Programme zur Analyse von Fahrzeugtrajektorien oder der Auswertung der Linkdatenbank.

Das kombinierte Nachfrage- und Simulationsmodell benötigt Java 6 oder eine neuere Version zur Ausführung. DynusT selbst ist nur als Windows-Programm verfügbar, weshalb die Software nur auf Windows-Computern ausführbar ist. Die Auswertungsprogramme sind entweder in Java oder – in den meisten Fällen – in R geschrieben. R ist eine frei verfügbare Statistiksoftware, welche für alle üblichen Betriebssysteme verfügbar ist.

Das gesamte Software-Paket kann kostenlos von folgender Internet-Adresse bezogen werden: <http://www.senozon.com/svi-2007-020>.

Abkürzungen

| Begriff | Bedeutung |
|----------------|---|
| ALINEA | Asservissement Linéaire d'Entrée Autoroutière |
| ASP | Abendspitze |
| ASTRA | Bundesamt für Strassen |
| CHF | Schweizer Franken |
| deltaS | Geschwindigkeitsdifferenz der Fahrzeuge in einer Konfliktsituation |
| DTA | Dynamic Traffic Assignment |
| DTV | Durchschnittlicher täglicher Verkehr (über alle Tage des Jahres gemittelt) |
| DR | Decelaration Rate |
| DUE | Dynamic User Equilibrium |
| eNISTRA | Tool für zwei sich ergänzende Methoden zur Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten |
| Fzkm | Fahrzeug-Kilometer |
| GUI | Graphical User Interface |
| HBEFA | Handbuch Emissionsfaktoren |
| KNA | Kosten-Nutzen-Analyse |
| LSA | Lichtsignalanlage |
| LSVA | Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe |
| LV | Langsamverkehr |
| MaxS | Maximale Geschwindigkeit der Fahrzeuge in einer Konfliktsituation |
| MIV | Motorisierter Individualverkehr |
| MSP | Morgenspitze |
| NISTRA | Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte |
| NWA | Nutzwertanalyse |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| PI | Performance Index |
| SATMS | Semi-Actuated Traffic Management System |
| SDRMS | San Diego Ramp Metering System |
| SIR | Speed Influencing Region |
| SN | Schweizer Norm |
| SNF | Schwere Nutzfahrzeuge |
| SSAM | Surrogate Safety Assessment Model |
| STA | Static Traffic Assignment |
| SVI | Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten |
| TOS | Traffic Operating System |
| TTC | Time to Collision |
| v | Geschwindigkeit |
| VOT | Value of Time |
| VOR | Value of Reliability |
| VWA | Vergleichswertanalyse |
| VSS | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute |

Literaturverzeichnis

-
- Banks J.H. (2009); Flow Breakdown at Freeway Bottlenecks, Evidence from Automated Flow Analysis. Transportation Research Record, No. 2099, pp 14-21
-
- Ben-Akiva M., M. Bierlaire, H. Koutsopoulos und R.G. Mishalani (1998); DymaMIT: A Simulation-based System for Traffic Prediction. DACCORD Short Term Forecasting Workshop
-
- Berg W. (2004); Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze. Forschungsprojekt SVI 2001/538
-
- Brilon W., S. Hohmann und S. Giuliani (2013); Potenziale adaptiver Steuerungen. Strassenverkehrstechnik, 9.2013
-
- Brownstone D. und K.A. Small (2005); Valuing time and reliability: Assessing the evidence from road pricing demonstrations. Transportation Research Part A, 39, pp 279-293
-
- Cambridge Systematics, Inc. (2001); Twin Cities Ramp Meter Evaluation, Final Report. Minnesota Department of Transportation
-
- Cassidy J.M. und J. Rudjanakanoknad (2005); Increasing the capacity of an isolated merge by metering its on-ramp. Transportation Research Part B, 39, pp 896-913
-
- Chaumet R. et al. (2007); Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen. Forschungsprojekt SVI 2002/002
-
- Chiu Y.-C. et al. (2011); Dynamic Traffic Assignment, A Primer. Transportation Research Circular E-C153, Transportation Research Board
-
- Chiu Y.-C., L. Zhou und H. Song (2010); Development and calibration of the Anisotropic Mesoscopic Simulation model for uninterrupted flow facilities. Transportation Research Part B, 44, pp 152-174
-
- Choudhury C.F., V. Ramanujam und M.E. Ben-Akiva (2009); Modeling Acceleration Decisions for Freeway Merges. Transportation Research Record, No. 2124, pp 45-57
-
- CLR Analytics Inc. (2010); VISSIM Plugin User Manual – California ramp metering: ALINEA
-
- CLR Analytics Inc. (2009); VISSIM Plugin User Manual – California ramp metering: SDRMS
-
- Dönier G. et al. (2013); Die Adaptive Verkehrsnetzsteuerung. Stadt Zürich, Dienstabteilung Verkehr
-
- Dönier G. et al. (2012); Das Zürcher Modell. Stadt Zürich, Dienstabteilung Verkehr
-
- Eleferiadou L. et al. (2011); Ramp Metering Enhancements for Postponing Freeway-Flow Breakdown. TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers DVD
-
- FHWA (2008); Surrogate Safety Assessment Model (SSAM). FHWA Publication, FHWA-HRT_08-049
-
- Gettman D. und L. Head (2003); Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models. TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM
-
- Gottardi G. und B. Greuter (1997); Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen. Forschungsprojekt SVI 47/95
-
- Jayakrishnan R., H.S. Mahmassani und T.-Y. Hu (1994); An Evaluation Tool For Advanced Traffic Information and Management Systems in Urban Networks. Transportation Research Part C, 2(3), pp 579-604
-
- Infras (2010); HBEFA Handbook emissions factors for road transport
-
- König A. (2004); Messung und Modellierung der Verlässlichkeit des Verkehrsangebots – Experimente mit Schweizer Befragten. Dissertation ETH Nr. 15776
-
- König A. und K.W. Axhausen (2002); Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie. Forschungsprojekt SVI 2000/391
-
- Kondyli A. und L. Eleferiadou (2011); Modeling Driver Behavior at Freeway-Ramp Merges. Transportation Research Record No. 2249, pp. 29-37
-
- Kondyli A. und L. Eleferiadou (2009); Driver Behavior at Freeway-Ramp Merging Areas. Transportation Research Record, No. 2124, pp 157-166
-
- Lam T.C. und K.A. Small (2001); The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment. Transportation Research Part E, 37 (2–3), pp 231–251.
-
- Li Z., D.A. Hensher und J.M. Rose (2010); Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: A review and some new empirical evidence. Transportation Research Part E, 46, pp 384-403
-
- Lieb Chr., F. Walter und M. Amacher. (2010); Handbuch eNISTRA 2010, Schlussbericht 30. Dezember 2010. Ecoplan, Bern
-
- Loderer B. (2009); Das Zürcher Modell: Deshalb so wenig Stau. Beilage zu Hochparterre, No. 10/2009
-
- Papageorgiou M. et al. (2003) Review of Road Traffic Control Strategies. Proceedings of the IEEE, Vo. 91, No. 12
-
- Papageorgiou M. et al. (1991); ALINEA: A Local Feedback Control Law for On-Ramp Metering. Transportation Research Record, No. 1320, pp 58-64
-

Papageorgiou M. et al. (1997); ALINEA Local Ramp Metering, Summary of Field Results. Transportation Research Record, No. 1603, pp 90-98

Pu L. und R. Joshi (2008); Surrogate Safety Assessment Modell (SSAM) – Software User Manual Report No. FHWA-HRT-08_050

Rafferty P. (2009); Practical Benefits Analysis of Travel Time Reliability from Automated Detection. Transport Research Record, No. 2115, pp 119-126

Raymann L. (1991); Mögliche Methoden zur Gesamtbewertung bei Prüfverfahren. Forschungsprojekt VSS 23/89

Sloboden J., J. Lewis und V. Alexiadis (2012); Traffic Analysis Toolbox Volume XIV: Guidebook on the Utilization of Dynamic Traffic Assignment in Modeling. Publication No. FHWA-HOP-13-015

Smaragdis E. und M. Papageorgiou (2003); Series of New local Ramp Metering Strategies. Transportation Research Record, No. 1856, pp 74-86

Widmer P. und T. Klink (2004); Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze. Forschungsprojekt SVI 2001/541

Widmer P. und K.W. Axhausen (2001); Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle: Vorstudie. Forschungsprojekt SVI 46/99

Zhang L., F. Xie und D. Levinson (2009); Illusion of Motion, Variation in Value of Time under different Freeway Driving Conditions. Transportation Research Record, No. 2135, pp 34-42

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 22. Mai 2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2007/020
 Projekttitel: Methode zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen
 Enddatum: Mai 2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Den Kern der Forschungsarbeit bilden die Entwicklung und Beschreibung von Modellierungs-Tools für die Abbildung der Auswirkungen von Verkehrsdosierungen. Generell wird festgestellt, dass sich dazu herkömmliche statische Makro-Verkehrsmodelle nicht eignen. Es werden drei Typen von Dosierungssituationen unterschieden, für deren Behandlung unterschiedlich komplexe Modellierungs-Tools erforderlich sind: Beim Typ 1 beschränken sich die Auswirkungen auf das Fahrverhalten (zum Beispiel bei Rampendosierung), für deren Abbildung ein Verkehrs-Mikrosimulationsmodell am besten geeignet ist. Beim Typ 2 ist mit Routenwahlveränderungen, aber nicht mit Veränderungen der Verkehrsnachfrage resp. des Modal Split zu rechnen. Hier ist der Einsatz eines dynamischen mesoskopischen Verkehrsumlegungsmodells vorzusehen. Beim Typ 3 handelt es sich um den generellen Fall einer Verkehrsdosierung (z.B. in einem städtischen Netz), durch welche das Mobilitätsverhalten der betroffenen Bevölkerung insgesamt beeinflusst wird. Für diesen Fall wurde in der Forschungsarbeit ein umfassendes Modellsystem entwickelt, in welchem ein agentenbasiertes Nachfragemodell (MATSim) mit einem dynamischen mesoskopischen Umlenkmassnahmenmodell (DynusT) interagieren und in einem iterativen Simulationsprozess die verkehrlichen Auswirkungen der Verkehrsdosierung abbilden. Für die Auswertung der umfangreichen und detaillierten (z.T. fahrzeugfeinen) Modelloutputs wurden Auswertungs-Tools entwickelt, welche die Arbeit erleichtern und z.B. Dateien schreiben, welche für die Analyse in übliche Statistikpakete eingelesen werden können. Die Verkehrsmodelle und die Bewertungsmethodik werden an drei Fallbeispielen, je eines pro Dosierungs-Typ, angewendet. Dabei interessieren weniger die Resultate an sich als vielmehr die Demonstration der Modellanwendungen, der Analyse der Modellergebnisse und des Bewertungsprozesses. Als wichtiges Ergebnis dieses Arbeitsschrittes können die Anwendbarkeit der Modellierungs-Tools und die Zweckmässigkeit der Modelloutputs als Datengrundlage für die Bewertung bestätigt werden. Die Anwendung an den Fallbeispielen hat auch gezeigt, dass die Kalibration und Validation der Modellierungs-Tools anspruchsvoll und aufwändig ist. In der Praxis muss für diesen wichtigen Schritt ausreichend Zeit im Projektablauf eingeräumt werden. Mit der Forschungsarbeit konnten der Praxis wertvolle Instrumente für die Analyse und Bewertung von Verkehrsdosierungen, aber auch anderer Verkehrsbeeinflussungsmassnahmen, bereitgestellt werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel der Forschungsarbeit, eine für die Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nutzens eines Verkehrsdosierungskonzeptes geeignete Methodik und das dazu notwendige Instrumentarium zu entwickeln, wurde erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Eine Verkehrsdosierung hat vielfältige zeitabhängige Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen, welche nur mit dynamischen mikro- oder mesoskopischen Modellen abgebildet werden können. Die bisher in der Schweiz eingesetzten makroskopischen Verkehrsmodelle sind dazu nicht geeignet. Die Etablierung und Anwendung des im Rahmen der Forschungsarbeit erstellten Modellierungssystems, bestehend aus einem agentenbasierten Nachfragemodell und einem dynamischen Umlegungsmodell ist relativ aufwändig. Deshalb wird empfohlen, im konkreten Fall anhand des in der Forschungsarbeit vorgestellten generellen Wirkungsmodells zu prüfen, ob tatsächlich mit der ganzen Palette möglicher Auswirkungen gerechnet werden muss. Wenn nicht, genügt es unter Umständen, nur die Auswirkungen auf die Routenwahl oder sogar nur jene auf das Fahrverhalten zu betrachten. Dazu eignen sich dynamische Umlegungsmodelle resp. Mikrosimulationsmodelle, deren Einsatz in der vorliegenden Arbeit an Fallbeispielen ebenfalls demonstriert wird. Für die Bewertung der Auswirkungen von Verkehrsdosierungskonzepten wird eine Abstützung auf die Grundlagen von NISTRAS und der VSS-Normen empfohlen.

Publikationen:

Widmer, P., T. Buhl, J. Hackney und M. Rieser (2014) Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen, Bericht SVI 2007/020, Schriftenreihe, im Druck, UVEK, Bern

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Widmer

Vorname: Paul

Amt, Firma, Institut: büro widmer ag

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Anwendungen von Verkehrsdosierungen sind vielfältig und vom Siedlungstypus und dessen Strassennetz abhängig. Die Arbeit verfolgt das Ziel, eine Methodik zur Abschätzung des Nutzens der spezifischen Ausprägung bereit zustellen. Mit den drei erarbeiteten Grundtypen ist dies gelungen. Gleichzeitig zeigt aber die Arbeit an sich und auch deren Bearbeitung, mit welchen Problemen und Ungenauigkeiten die Nutzenermittlung komplexer Systeme behaftet ist.

Umsetzung:

Mit der Arbeit steht eine umfangreiche Dokumentation und Software zur Nutzenermittlung zur Verfügung, die mit den integrierten Beispielanwendungen getestet und veranschaulicht wurde.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die Arbeit zeigt, es bedarf einer bestimmbar Anzahl an Simulationsläufen, um einen ausreichend kleinen Standardfehler der Mittelwerte der Modellergebnisse zu erreichen. Gegenstand der weiteren Forschung muss nun sein, die Variabilität der Linkbelastungen, Wartezeiten, Reisezeiten usw. in der Realität zu messen und mit jener der Simulationsergebnisse zu vergleichen sowie Hinweise zu liefern, wie die Simulationsprozesse allenfalls anzupassen wären. Die Verkehrsmodell-Ergebnisse und der Einsatz angenommener Kennwerte sind mit Unsicherheiten behaftet. Hier besteht ebenso weiterer Forschungsbedarf zur Entwicklung von Bewertungsmethoden, welche diese Unsicherheiten berücksichtigen und statt eines "exakten" Einzelwertes Erwartungswerte mit Vertrauensintervallen liefern.

Einfluss auf Normenwerk:

keine direkter, vgl. Forschungsbedarf

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: König

Vorname: Arnd

Amt, Firma, Institut: Amt für Verkehr, Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich, Zürich

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 15.06.2014

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|----------------|---|------|
| 1465 | ASTRA 2000/417 | Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen | 2014 |
| 1462 | ASTRA 2011/004 | Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10 | 2014 |
| 1460 | SVI 2007/017 | Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit | 2014 |
| 1459 | VSS 2002/501 | Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Fundationsschichten | 2014 |
| 1458 | VSS 2010/703 | Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980 | 2014 |
| 1457 | SVI 2012/006 | Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens | 2014 |
| 1456 | SVI 2012/005 | Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen | 2014 |
| 1455 | SVI 2012/004 | Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen | 2014 |
| 1454 | SVI 2012/003 | Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1 | 2014 |
| 1453 | SVI 2012/002 | Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1 | 2014 |
| 1452 | SVI 2012/001 | Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1 | 2014 |
| 1451 | FGU 2010/006 | Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln | 2013 |
| 1450 | VSS 2002/401 | Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln | 2014 |
| 1449 | ASTRA 2010/024 | E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz | 2013 |
| 1448 | SVI 2009/008 | Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C | 2014 |
| 1447 | SVI 2009/005 | Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E | 2013 |
| 1446 | VSS 2005/454 | Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung | 2013 |
| 1445 | VSS 2009/301 | Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende | 2013 |
| 1444 | VSS 2007/306 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs | 2013 |
| 1443 | VSS 2007/305 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV | 2013 |
| 1442 | SVI 2010/004 | Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie | 2013 |
| 1441_2 | SVI 2009/010 | Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G | 2013 |
| 1441_1 | SVI 2009/010 | Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr | 2013 |
| 1440 | SVI 2009/006 | Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen | 2013 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|--------------------|--|------|
| 1439 | SVI 2009/002 | Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A | 2013 |
| 1438_2 | SVI 2009/011 | Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H | 2013 |
| 1438_1 | SVI 2009/011 | Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H | 2013 |
| 1437 | VSS 2008/203 | Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr | 2013 |
| 1436 | VSS 2010/401 | Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen | 2013 |
| 1435 | FGU 2008/007_OBF | Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln | 2013 |
| 1434 | VSS 2006/503 | Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures | 2013 |
| 1433 | ASTRA 2010/001 | Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3 | 2013 |
| 1432 | ASTRA 2007/011 | Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz | 2013 |
| 1431 | ASTRA 2011/015 | TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles | 2013 |
| 1430 | ASTRA 2009/004 | Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée | 2013 |
| 1429 | SVI 2009/009 | Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F | 2013 |
| 1428 | SVI 2010/005 | Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2 | 2013 |
| 1427 | SVI 2006/002 | Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung | 2013 |
| 1426 | ASTRA 2010/025_OBF | Luftströmungsmessung in Strassentunneln | 2013 |
| 1425 | VSS 2005/401 | Résistance à l'altération des granulats et des roches | 2013 |
| 1424 | ASTRA 2006/007 | Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen | 2013 |
| 1423 | ASTRA 2010/012 | Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge | 2013 |
| 1422 | ASTRA 2011/006_OBF | Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper | 2013 |
| 1421 | VSS 2009/901 | Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo) | 2013 |
| 1420 | SVI 2008/003 | Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen | 2013 |
| 1419 | VSS 2001/452 | Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen | 2013 |
| 1418 | VSS 2008/402 | Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen | 2012 |
| 1417 | FGU 2009/002 | Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels | 2013 |
| 1416 | FGU 2010/001 | Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D | 2013 |
| 1415 | VSS 2010/A01 | Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet | 2013 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|--------------------|---|------|
| 1414 | VSS 2010/201 | Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung | 2013 |
| 1413 | SVI 2009/003 | Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1 | 2013 |
| 1412 | ASTRA 2010/020 | Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm | 2013 |
| 1411 | VSS 2009/902 | Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen | 2013 |
| 1410 | VSS 2010/202_OBF | Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung | 2013 |
| 1409 | ASTRA 2010/017_OBF | Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall | 2013 |
| 1408 | VSS 2000/434 | Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire | 2012 |
| 1407 | ASTRA 2006/014 | Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN | 2012 |
| 1406 | ASTRA 2004/015 | Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation | 2012 |
| 1405 | ASTRA 2010/009 | Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen | 2012 |
| 1404 | VSS 2009/707 | Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen | 2012 |
| 1403 | SVI 2007/018 | Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen | 2012 |
| 1402 | VSS 2008/403 | Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen | 2012 |
| 1401 | SVI 2006/003 | Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie | 2012 |
| 1400 | VSS 2009/601 | Begrünte Stützgitterböschungssysteme | 2012 |
| 1399 | VSS 2011/901 | Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung | 2012 |
| 1398 | ASTRA 2010/019 | Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria | 2012 |
| 1397 | FGU 2008/003_OBF | Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik | 2012 |
| 1396 | VSS 1999/128 | Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut | 2012 |
| 1395 | FGU 2009/003 | KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau | 2012 |
| 1394 | VSS 2010/102 | Grundlagen Betriebskonzepte | 2012 |
| 1393 | VSS 2010/702 | Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement | 2012 |
| 1392 | ASTRA 2008/008_009 | FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi) | 2012 |
| 1391 | ASTRA 2011/003 | Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30 | 2012 |
| 1390 | FGU 2008/004_OBF | Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel | 2012 |
| 1389 | FGU 2003/002 | Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels | 2012 |
| 1388 | SVI 2007/022 | Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren | 2012 |
| 1387 | VSS 2010/205_OBF | Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen | 2012 |
| 1386 | VSS 2006/204 | Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich | 2012 |
| 1385 | VSS 2004/703 | Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées | 2012 |
| 1384 | VSS 1999/249 | Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB | 2012 |
| 1383 | FGU 2008/005 | Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel | 2012 |
| 1382 | VSS 2001/504 | Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten | 2012 |
| 1381 | SVI 2004/055 | Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr | 2012 |
| 1380 | ASTRA 2007/009 | Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität | 2012 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|--------------------|---|------|
| 1379 | VSS 2010/206_OBF | Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen | 2012 |
| 1378 | SVI 2004/053 | Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen? | 2012 |
| 1377 | VSS 2009/302 | Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection) | 2012 |
| 1376 | ASTRA 2011/008_004 | Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau | 2012 |
| 1375 | VSS 2008/304 | Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen | 2012 |
| 1374 | FGU 2004/003 | Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB | 2012 |
| 1373 | VSS 2008/204 | Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung | 2012 |
| 1372 | SVI 2011/001 | Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen | 2012 |
| 1371 | ASTRA 2008/017 | Potenzial von Fahrgemeinschaften | 2011 |
| 1370 | VSS 2008/404 | Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat | 2011 |
| 1369 | VSS 2003/204 | Rétention et traitement des eaux de chaussée | 2012 |
| 1368 | FGU 2008/002 | Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen? | 2011 |
| 1367 | VSS 2005/801 | Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen | 2011 |
| 1366 | VSS 2005/702 | Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit | 2010 |
| 1365 | SVI 2004/014 | Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining? | 2011 |
| 1364 | SVI 2009/004 | Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D | 2012 |
| 1363 | VSS 2007/905 | Verkehrsprognosen mit Online -Daten | 2011 |
| 1362 | SVI 2004/012 | Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs | 2012 |
| 1361 | SVI 2004/043 | Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung | 2012 |
| 1360 | VSS 2010/203 | Akustische Führung im Strassentunnel | 2012 |
| 1359 | SVI 2004/003 | Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich | 2012 |
| 1358 | SVI 2004/079 | Verkehrsbindung von Freizeitanlagen | 2012 |
| 1357 | SVI 2007/007 | Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer? | 2012 |
| 1356 | SVI 2007/014 | Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen | 2011 |
| 1355 | FGU 2007/002 | Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis | 2011 |
| 1354 | VSS 2003/203 | Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen | 2011 |
| 1353 | VSS 2000/368 | Grundlagen für den Fussverkehr | 2011 |
| 1352 | VSS 2008/302 | Fussgängerstreifen (Grundlagen) | 2011 |
| 1351 | ASTRA 2009/001 | Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels | 2011 |
| 1350 | VSS 2007/904 | IT-Security im Bereich Verkehrstelematik | 2011 |
| 1349 | VSS 2003/205 | In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen | 2011 |
| 1348 | VSS 2008/801 | Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene | 2011 |
| 1347 | VSS 2000/455 | Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen | 2010 |
| 1346 | ASTRA 2007/004 | Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung | 2010 |
| 1345 | SVI 2004/039 | Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen | 2011 |
| 1344 | VSS 2009/709 | Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS" | 2011 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|----------------|---|------|
| 1343 | VSS 2009/903 | Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr | 2011 |
| 1342 | FGU 2005/003 | Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren | 2010 |
| 1341 | FGU 2007/005 | Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground | 2011 |
| 1340 | SVI 2004/051 | Aggressionen im Verkehr | 2011 |
| 1339 | SVI 2005/001 | Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten | 2010 |
| 1338 | VSS 2006/902 | Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit | 2009 |
| 1337 | ASTRA 2006/015 | Development of urban network travel time estimation methodology | 2011 |
| 1336 | ASTRA 2007/006 | SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors | 2010 |
| 1335 | VSS 2007/502 | Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab | 2011 |
| 1334 | ASTRA 2009/009 | Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen | 2011 |
| 1333 | SVI 2007/001 | Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum | 2011 |
| 1332 | VSS 2006/905 | Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement | 2011 |
| 1331 | VSS 2005/501 | Rückrechnung im Strassenbau | 2011 |
| 1330 | FGU 2008/006 | Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation | 2010 |
| 1329 | SVI 2004/073 | Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen | 2010 |
| 1328 | VSS 2005/302 | Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten | 2011 |
| 1327 | VSS 2006/601 | Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen | 2010 |
| 1326 | VSS 2006/207 | Erfolgskontrolle Fahrzeurückhaltesysteme | 2011 |
| 1325 | SVI 2000/557 | Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes. | 2010 |
| 1324 | VSS 2004/702 | Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet | 2009 |
| 1323 | VSS 2008/205 | Ereignisdetektion im Strassentunnel | 2011 |
| 1322 | SVI 2005/007 | Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit | 2008 |
| 1321 | VSS 2008/501 | Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts | 2010 |
| 1320 | VSS 2007/303 | Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen | 2010 |
| 1319 | VSS 2000/467 | Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen | 2010 |
| 1318 | FGU 2006/001 | Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen | 2010 |
| 1317 | VSS 2000/469 | Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen | 2010 |
| 1316 | VSS 2001/701 | Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen | 2010 |
| 1315 | VSS 2006/904 | Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement | 2010 |
| 1314 | VSS 2005/203 | Datenbank für Verkehrsaufkommensraten | 2008 |
| 1313 | VSS 2001/201 | Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung | 2010 |
| 1312 | SVI 2004/006 | Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz | 2010 |
| 1311 | VSS 2000/543 | VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES | 2010 |
| 1310 | ASTRA 2007/002 | Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall | 2010 |
| 1309 | VSS 2008/303 | Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen | 2010 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|----------------|--|------|
| 1308 | VSS 2008/201 | Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung | 2010 |
| 1307 | ASTRA 2006/002 | Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt | 2008 |
| 1306 | ASTRA 2008/002 | Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS) | 2010 |
| 1305 | VSS 2000/457 | Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen | 2009 |
| 1304 | VSS 2004/716 | Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen | 2008 |
| 1303 | ASTRA 2009/010 | Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung | 2010 |
| 1302 | VSS 1999/131 | Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages? | 2010 |
| 1301 | SVI 2007/006 | Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen | 2009 |
| 1300 | VSS 2003/903 | SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route | 2010 |
| 1299 | VSS 2008/502 | Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques | 2009 |
| 1298 | ASTRA 2007/012 | Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen | 2010 |
| 1297 | VSS 2007/702 | Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement | 2009 |
| 1296 | ASTRA 2007/008 | Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP) | 2010 |
| 1295 | VSS 2005/305 | Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden | 2010 |
| 1294 | VSS 2007/405 | Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk | 2010 |
| 1293 | VSS 2005/402 | Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux | 2010 |
| 1292 | ASTRA 2006/004 | Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle | 2010 |
| 1291 | ASTRA 2009/005 | Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen | 2010 |
| 1290 | VSS 1999/209 | Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers | 2008 |
| 1289 | VSS 2005/505 | Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN | 2010 |
| 1288 | ASTRA 2006/020 | Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1 | 2010 |
| 1287 | VSS 2008/301 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren | 2009 |
| 1286 | VSS 2000/338 | Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung | 2010 |
| 1285 | VSS 2002/202 | In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen | 2009 |
| 1284 | VSS 2004/203 | Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés | 2010 |
| 1283 | VSS 2000/339 | Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen | 2008 |
| 1282 | VSS 2004/715 | Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen | 2010 |
| 1281 | SVI 2004/002 | Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben | 2009 |
| 1280 | ASTRA 2004/016 | Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrs-psychologischer Teilbericht | 2010 |
| 1279 | VSS 2005/301 | Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisell | 2009 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|----------------|--|------|
| 1278 | ASTRA 2004/016 | Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht | 2009 |
| 1277 | SVI 2007/005 | Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie | 2010 |
| 1276 | VSS 2006/201 | Überprüfung der schweizerischen Ganglinien | 2008 |
| 1275 | ASTRA 2006/016 | Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology | 2009 |
| 1274 | SVI 2004/088 | Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung | 2009 |
| 1273 | ASTRA 2008/006 | UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse | 2008 |
| 1272 | VSS 2007/304 | Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen | 2010 |
| 1271 | VSS 2004/201 | Unterhalt von Lärmschirmen | 2009 |
| 1270 | VSS 2005/502 | Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung | 2009 |
| 1269 | VSS 2005/201 | Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen | 2009 |
| 1268 | ASTRA 2005/007 | PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART) | 2009 |
| 1267 | VSS 2007/902 | MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik | 2009 |
| 1266 | VSS 2000/343 | Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr | 2009 |
| 1265 | VSS 2005/701 | Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung) | 2009 |
| 1264 | SVI 2004/004 | Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung | 2009 |
| 1263 | VSS 2001/503 | Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins | 2006 |
| 1262 | VSS 2003/503 | Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche | 2009 |
| 1261 | ASTRA 2004/018 | Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen | 2009 |
| 1260 | FGU 2005/001 | Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels | 2009 |
| 1259 | VSS 2004/710 | Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht | 2008 |
| 1258 | VSS 2005/802 | Kapitalstellen Anforderungen und Auswirkungen | 2009 |
| 1257 | SVI 2004/057 | Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen | 2009 |
| 1256 | VSS 2006/903 | Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung | 2009 |
| 1255 | VSS 2006/901 | Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit | 2009 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|-----------------------------|---|------|
| 1254 | VSS 2006/502 | Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols | 2009 |
| 1253 | VSS 2001/203 | Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation | 2009 |
| 1252 | SVI 2003/001 | Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE) | 2009 |
| 1251 | ASTRA 2002/405 | Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux | 2008 |
| 1250 | VSS 2005/202 | Strassenabwasser Filterschacht | 2007 |
| 1249 | FGU 2003/004 | Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen | 2009 |
| 1248 | VSS 2000/433 | Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt | 2008 |
| 1247 | VSS 2000/348 | Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen | 2009 |
| 1246 | VSS 2004/713 | Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert | 2009 |
| 1245 | VSS 2004/701 | Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen | 2009 |
| 1244 | VSS 2004/714 | Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen | 2008 |
| 1243 | VSS 2000/463 | Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen | 2008 |
| 1242 | VSS 2005/451 | Recycling von Ausbaupasphalt in Heissmischgut | 2007 |
| 1241 | ASTRA 2001/052 | Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests | 2009 |
| 1240 | ASTRA 2002/010 | L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse | 2009 |
| 1239 | VSS 2000/450 | Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen | 2009 |
| 1238 | VSS 2005/303 | Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen | 2008 |
| 1237 | VSS 2007/903 | Grundlagen für eCall in der Schweiz | 2009 |
| 1236 | ASTRA 2008/008_07 | Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR | 2008 |
| 1235 | VSS 2004/711 | Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen | 2008 |
| 1234 | VSS 2006/504 | Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen | 2008 |
| 1233 | ASTRA 2000/420 | Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten | 2009 |
| 660 | AGB 2008/002 | Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht | 2014 |
| 659 | AGB 2009/014 | Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up | 2014 |
| 658 | AGB 2006/015_OBF | Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung | 2014 |
| 657 | AGB 2003/012 | Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen | 2013 |
| 656 | AGB 2009/015 | Experimental verification of integral bridge abutments | 2013 |
| 655 | AGB 2007/004 | Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads | 2013 |
| 654 | AGB 2005-008 | Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction | 2013 |
| 653 | AGB 2007/002 | Poinçonnement des ponts dalles précontraints | 2013 |
| 652 | AGB 2009/006 | Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode | 2013 |
| 651 | AGB 2006/006_OBF | Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken | 2013 |
| 650 | AGB 2005/010 | Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen | 2012 |
| 649 | AGB 2008/012 | Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen | 2012 |
| 648 | AGB 2005/023 + AGB 2006/003 | Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung | 2011 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|-------------|-----------------------------|--|------|
| 647 | AGB 2004/010 | Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges | 2011 |
| 646 | AGB 2005/018 | Interactin sol-structure: ponts à culées intégrales | 2010 |
| 645 | AGB 2005/021 | Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat | 2010 |
| 644 | AGB 2005/004 | Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton | 2010 |
| 643 | AGB 2005/014 | Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch | 2010 |
| 642 | AGB 2002/006 | Verbund von Spanngliedern | 2009 |
| 641 | AGB 2007/007 | Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen | 2009 |
| 640 | AGB 2003/011 | Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine | 2010 |
| 639 | AGB 2008/003 | RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien | 2010 |
| 638 | AGB2003/003 | Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung | 2008 |
| 637 | AGB 2005/009 | Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar | 2009 |
| 636 | AGB 2002/028 | Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers | 2009 |
| 635 | AGB 2004/002 | Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales | 2008 |
| 634 | AGB 2002/007 | Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten | 2008 |
| 633 | AGB 2002/014 | Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke | 2008 |
| 632 | AGB 2008/201 | Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht | 2010 |
| 631 | AGB 2000/555 | Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts | 2008 |
| 630 | AGB 2002/016 | Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chlorid-verseuchter Stahlbetonbauten | 2010 |
| 629 | AGB 2003/001 + AGB 2005/019 | Integrale Brücken - Sachstandsbericht | 2008 |
| 628 | AGB 2005/026 | Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit | 2008 |
| 627 | AGB 2002/002 | Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung | 2008 |
| 626 | AGB 2005/110 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten | 2009 |
| 625 | AGB 2005/109 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten | 2009 |
| 624 | AGB 2005/108 | Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten | 2010 |
| 623 | AGB 2005/107 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten | 2009 |
| 622 | AGB 2005/106 | Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts | 2009 |
| 621 | AGB 2005/105 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung | 2009 |
| 620 | AGB 2005/104 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen | 2009 |
| 619 | AGB 2005/103 | Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos | 2010 |

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Jahr |
|--------------------|--------------------|--|-------------|
| 618 | AGB 2005/102 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung | 2009 |
| 617 | AGB 2005/100 | Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht | 2010 |
| 616 | AGB 2002/020 | Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten | 2009 |

SVI Publikationsliste

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)
- 1983 **Modèle Transyt 8: Traffic Network Study Tool; Programme Pretrans**
(...)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(Glaser + Saxer)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(Balzari & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(Weber Angehrn Meyer)
- 1986 **Transyt 8 / Pretrans; Modell Programmsystem für die Optimierung von Signalplänen von städtischen Strassennetzen**
(...)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und –technische Massnahmen ***
(Metron AG)
- 1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
- 1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(Rapp AG)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(P. Widmer)
- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaplan AG)

- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(Basler & Partner AG)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(Jud AG)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschieden auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(J. Dietiker)
- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen – Immissionen ***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmaphan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschieden als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/parus comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)
- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschieden als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmassigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)

- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **„Kernfahrbahnen“ Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten ***
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)
- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)
- 2000 **Dephi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)
- 2000 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable: Experimente mit verschiedenen Befragungssätzen**
(IVT - ETHZ)
- 2001 **Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)
- 2001 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(G. Abay und K.W. Axhausen)
- 2001 **Véhicules électriques et nouvelles formes de mobilité**
(Transitec Ingénieurs-Conseils SA)
- 2001 **Besetzungsgrad von Personenwagen: Analyse von Bestimmungsgrößen und Beurteilung von Massnahmen zu dessen Erhöhung**
(RAPP AG Ingenieure + Planer)
- 2001 **Grobkonzept zum Aufbau einer multimodalen Verkehrsdatenbank**
(INFRAS)
- 2001 **Ermittlung der Gesamtleistungsfähigkeit (MIV + OEV) bei lichtsignalgeregelten Knoten**
(büro S-ce Simon-consulting-engineering)
- 2001 **Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin**
(U. Schwegler Büro für Verkehrsplanung)
- 2001 **GIS als Hilfsmittel in der Verkehrsplanung**
(büro widmer)
- 2001 **Umgestaltung von Strassen im Zuge von Erneuerungen**
(Infraconsult AG + Zeltner + Maurer AG)
- 2001 **Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personenwagen**
(Prognos AG, Emch+Berger AG, IVU Traffic Technologies AG)
- 2002 **Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen - Auswirkungsanalyse**
(Metron AG, Neosys AG, Hochschule Rapperswil)
- 2002 **Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der im Transportwesen geltenden Umweltschutzbestimmungen; unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs beim Strassenverkehrslärm**
(B+S Ingenieur AG)
- 2002 **Nachhaltigkeit und Koexistenz in der Strassenraumplanung**
(Berz Hafner + Partner AG)
- 2002 **Warum steht P. Müller lieber im Stau als im Tram?**
(Planungsbüro Jürg Dietiker / MOVE RAUM P. Regli / Landert Farago Davatz & Partner / Dr. A. Zeyer)
- 2002 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2002 **Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken**
(Arbeitsgemeinschaft Büro für Mobilität / V. Häberli / A. Blumenstein / M. Wältli)
- 2002 **Carreiverkehr: Grundlagen und Perspektiven**
(B+S Ingenieur AG / Gare Routière de Genève))
- 2002 **Potentielle Gefahrenstellen**
(Basler & Hofmann / Psychologisches Institut der Universität Zürich)
- 2003 **Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen**
(Infras / M. Peter / N. Schmidt / M. Maibach)
- 2002 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2002 **Mischverkehr MIV / ÖV auf stark befahrenen Strassen**
(Verkehrsingenieurbüro TEAMverkehr)

- 2003 **Vorstudie zu den Wechselwirkungen Individualverkehr – öffentlicher Verkehr infolge von Verkehrstelematik-Systemen**
(Abay & Meier, Zürich)
- 2003 **Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**
(WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn)
- 2003 **Erfolgskontrolle von Umweltschutzmassnahmen bei Verkehrsvorhaben**
(Metron Landschaft AG, Brugg / Quadra GmbH, Zürich / Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2004 **Perspektiven für kurze Autos**
(Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon)
- 2004 **Lange Planungsprozesse im Verkehr**
(BINARIO TRE, Windisch)
- 2004 **Auswirkungen von Personal Travel Assistance (PTA) auf das Verkehrsverhalten**
(Ernst Basler und Partner AG, Zürich)
- 2004 **Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT / Rapp Trans AG, Zürich)
- 2004 **Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Verfahren von Technology Assessment im Verkehrswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich / IKAÖ, Bern / Interface, Luzern)
- 2004 **Mobilitätsdatenmanagement für lokale Bedürfnisse**
(SNZ, Zürich / TEAMverkehr, Cham / Büro für Verkehrsplanung, Fischeningen)
- 2004 **Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Verkehr - Vorstudie**
(INFRAS, Bern)
- 2004 **Standards für intermodale Schnittstellen im Verkehr**
(synergo, Zürich / ILS NRW, Dortmund)
- 2005 **Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze**
(büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Wirksamkeit und Nutzen der Verkehrsinformation**
(B+S Ingenieure AG, Bern / Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2005 **Spezialisierung und Vernetzung: Verkehrsangebot und Nachfrageentwicklung zwischen den Metropolitanräumen des Städtesystems Schweiz**
(synergo, Zürich)
- 2005 **Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft**
(ECOPLAN, Altdorf und Bern / büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Cleaner Drive**
- 2005 **Hindernisse für die Markteinführung von neuen Fahrzeug-Generationen**
(E'mobile, der Schweizerische Verband für elektrische und effiziente Strassenfahrzeuge, Urs Schwegler)
- 2005 **Spezifische Anforderungen an Autobahnen in städtischen Agglomerationen**
(Ingenieur- und Planungsbüro Dr. Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Instrumente für die Planung und Evaluation von Verkehrssystem-Management-Massnahmen**
(Jenni + Gottardi AG, Zürich / Universität Karlsruhe)
- 2005 **Trafic de support logistique de grandes manifestations (Betriebsverkehr von Grossanlässen)**
(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)
- 2005 **Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze**
(Ingenieurbüro Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Angebote und Erfolgskriterien im nächtlichen Freizeitverkehr**
(Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2005 **Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2005 **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge - Eine Wirkungsanalyse der Projekte VEL2 (Tessin) und NewRide in Basel und Zürich**
(Rapp Trans AG, Zürich / Interface, Luzern)
- 2006 **Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des MIV am Beispiel des Förderprogramms VEL2 im Kanton Tessin**
(Università della Svizzera Italiana, Lugano / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2006 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
- 2006 **Indikatoren im Bereich Gesellschaft**
(Ernst Basler + Partner AG, Zollikon / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2006 **Früherkennung von Entwicklungstrends zum Verkehrsangebot**
(Interface - Institut für Politikstudien, Luzern)
- 2006 **Publikumsintensive Einrichtungen PE: Planungsgrundlagen und Gesetzmässigkeiten**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg / Transitec Ingenieurs-Conseils SA, Lausanne / Fussverkehr Schweiz, Zürich)

- 2006 **Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs**
(IRAP, Hochschule für Technik, Rapperswil / Fussverkehr Schweiz, Zürich / Pestalozzi & Stäheli, Basel / Daniel Sauter, Urban Mobility Research, Zürich)
- 2006 **Verkehrstechnische Beurteilung multimodaler Betriebskonzepte auf Strassen innerorts**
(S-ce Simon consulting experts, Zürich)
- 2006 **Beurteilung von Busbevorzugungsmassnahmen**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2006 **Error Propagation in Macro Transport Models**
(Systems Consult, Monaco / B+S Ingenieur AG, Bern)
- 2007 **Fussgängerstreifenlose Ortszentren**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur / IAP, Zürich)
- 2007 **Kernfahrbahnen auf Ausserortsstrecken**
(Frossard GmbH, Zürich)
- 2007 **Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Basel)
- 2007 **Entkopplung zwischen Verkehrs- und Wirtschaftswachstum**
(INFRAS, Zürich / Università della Svizzera Italiana, Lugano)
- 2007 **Genderfragen in der Verkehrsplanung Vorstudie**
(SNZ Ingenieure und Planer AG, Zürich)
- 2007 **Konfliktanalyse beim Mischverkehr**
(Sigmaplan AG, Bern)
- 2007 **Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2007 **Überlegungen zu einem Marketingansatz im Fuss- und Veloverkehr**
(Büro für Mobilität AG, Bern/Burgdorf / büro für utopien, Burgdorf/Berlin / LP Ingenieure AG, Bern / Masciardi communication & design AG, Bern)
- 2008 **Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) ETH, Zürich / TRANSP-OR EPF Lausanne, Lausanne / IRE USI, Lugano)
- 2008 **Ausgestaltung von multimodalen Umsteigepunkten**
(Metron AG, Brugg / Universität Zürich Sozialforschungsstelle, Zürich)
- 2008 **Überbreite Fahrstreifen und zweistreifige Schmalfahrbahnen**
(IRAP HSR Hochschule für Technik, Rapperswil)
- 2008 **Fahrten- und Fahrleistungsmodelle: Erste Erfahrungen**
(Hesse+Schwarze+Partner, Zürich / büro widmer, Frauenfeld)
- 2008 **Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung**
(Verkehrsconsulting Fröhlich, Zürich / TransOptima GmbH, Olten / Ernst Basler + Partner AG, Zürich)
- 2008 **Organisatorische und rechtliche Aspekte des Mobility Pricing**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 2008 **Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets"**
(Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich - ETH / Università della Svizzera Italiana / Universität St. Gallen)
- 2008 **Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft, Luzern / ISOE, Frankfurt am Main / Interface Politikstudien, Luzern)
- 2008 **Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs**
(Sigmaplan AG / Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG)
- 2009 **Modal Split Funktionen im Güterverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich / IVT ETH, Zürich)
- 2009 **Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner: eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030?**
(büro widmer Frauenfeld / Institut für Psychologie, Universität Bern)
- 2008 **Mobilitätsmanagement in Berieben - Motive und Wirksamkeit**
(synergo, Zürich / Tensor Consulting AG, Bern)
- 2009 **Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen**
(Ecoplan, Altdorf und Bern / Ernst Basler + Partner, Zürich)
- 2009 **Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen**
(Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften zhaw, Winterthur / Jenni + Gottardi AG, Thalwil)
- 2009 **Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)**
(Berz Hafner + Partner AG, Bern / Hornung Wirtschafts- und Sozialstudien, Bern / Künzler Bossert + Partner GmbH, Bern / Roduner BSB + Partner AG, Schliern)
- 2009 **Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung**
(synergo, Mobilität - Politik - Raum, Zürich / Institut für Politikwissenschaft/Uni Bern, Bern / Büro Vatter, Bern / Büro für Mobilität AG, Bern)

- 2009 **Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung**
(Rapp Trans AG, Zürich / ZHAW, Wädenswil, IAS Institut für Angewandte Simulation)
- 2009 **Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2010 **Optimierung der Stassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2010 **Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben**
(B, S, S. Volkswirtschaftliche Beratung AG, Basel / Basler & Hofmann AG, Zürich)
- 2011 **Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2011 **Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung**
(Pestalozzi & Stäheli, Basel / Schweiz. Fachstelle für behindertengerechtes Bauen, Zürich)
- 2011 **Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz**
(Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie (IKAO), Bern / Interface Politikstudien Forschung und Beratung, Luzern / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Chur / Pestalozzi & Stäheli, Basel / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum**
(Ecoplan, Bern / Metron, Brugg)
- 2011 **Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten**
(büro widmer ag, Frauenfeld / Rudolf Keller & Partner AG, Muttenz)
- 2011 **Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes**
(ROLAND RIBI & ASSOCIES SA, Genève)
- 2011 **Aggressionen im Verkehr**
(Basler & Hofmann AG, Zürich / Psychologischer Dienst der Psychiatrischen Universitätsklinik PUK, Basel)
- 2011 **Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) GmbH, Berlin / ETH Zürich - Institut für Umweltentscheidungen, Zürich)
- 2012 **Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?**
(Universität Zürich, Zürich / Planungsbüro Jud AG, Zürich / Boss et Partenaires SA, Neuchâtel)
- 2012 **Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung**
(Rapp Trans AG)
- 2012 **Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?**
(Büro Widmer AG, Frauenfeld / Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (idp) Zürcher Hochschule, Winterthur)
- 2012 **Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft (HSLU), Luzern / Hochschule für Technik (HSR), Rapperswil)
- 2012 **Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich**
(Hochschule Luzern, Luzern / Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2012 **Regulierung des Güterverkehrs**
- Auswirkungen auf die Transportwirtschaft**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Zürich / Moll Advokatur, Bern)
- 2012 **Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen**
(regioConcept AG, Herisau)
- 2013 **Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr**
(Metron Verkehrsplanung AG / Sozialforschungsstelle Universität Zürich)
- 2013 **Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?**
(ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IAP Institut für Angewandte Psychologie, Winterthur / Frossard GmbH, Zürich / verkehrsteiner AG, Bern)
- 2013 **Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen**
(B+S AG, Bern)
- 2013 **Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen – Vorstudie**
(Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH / SNZ Ingenieure und Partner AG / Institut für Verkehrspsychologie Aachen)
- 2013 **Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz**
(Lehrstuhl für Logistikmanagement – Universität St Gallen / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme – ETH Zürich)

- 2013 **Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren**
(Rapp Trans AG, Basel)
- 2013 **Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen**
(ewp AG, Effretikon / Planungsbüro Jürg Dietiker)
- 2013 **Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends**
(ProgTrans AG, Basel)
- 2013 **Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs**
(ProgTrans AG, Basel / Neiger GmbH, Basel)
- 2014 **Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil 1**
(Infras AG, Zürich / SBB AG, Bern / PTV, Karlsruhe / Heinz Steven, Heinsberg)
- 2014 **Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil 2**
(Infras AG, Zürich / SBB AG, Bern / PTV, Karlsruhe / Heinz Steven, Heinsberg)
- 2014 **Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten**
(Rapp Trans AG, Zürich / Lehrstuhl für Logistikmanagement, Universität St. Gallen / Prog Trans AG, Basel)
- 2014 **Begegnungszonen – eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung**
(verkehrsteiner AG, Bern)
- 2014 **Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen**
(ProgTrans AG, Basel / IVM Institut für Verkehrswissenschaft der Universität Münster / Basler & Hofmann AG, Zürich)
- 2014 **Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr – Vorstudie**
(ProgTrans AG, Basel / HSLU, Luzern / ETH IVT, Zürich)
- 2014 **Zielsystem im Güterverkehr**
(Ecoplan, Bern / Kurt Moll Advokatur, Bern)
- 2014 **Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber**
(Ecoplan, Bern / Kurt Moll Advokatur, Bern)
- 2014 **Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft**
(Verkehrswissenschaftliches Institut an der Universität Stuttgart e. V. / Beratergruppe Verkehr und Umwelt, Freiburg / ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), Zürich)
- 2014 **Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens**
(AGU Zürich / Suva, Luzern / Transport Safety Research Centre (TSRC), Loughborough UK)
- 2014 **Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz**
(ETH Zürich (IVT), Zürich / Rapp Trans AG, Zürich / PTV AG, Karlsruhe)
- 2014 **Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1**
(PTV Transport Consult GmbH, Stuttgart / Ernst Basler + Partner AG, Zürich)
- 2014 **Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1**
(Hochschule Luzern – Wirtschaft, Luzern / Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Winterthur / Institut für Angewandte Psychologie und Akzeptanzforschung IAPA, Dresden)
- 2014 **Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1**
(regioConcept AG, Herisau)
- 2014 **Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen**
(INFRAS AG, Zürich / AXA Winterthur, Winterthur)
- 2014 **Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / PTV, Stuttgart / Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie)
- 2014 **Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit**
(Universität St. Gallen, St. Gallen / SNZ AG, Zürich / ZIV GmbH, Darmstadt)
- 2014 **Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten**
(TransSol GmbH, Wädenswil / TransOptima GmbH, Olten / büro widmer ag, Frauenfeld)

* vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden
*épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:
VSS, Sihlquai 255, 8005 Zürich,
Tel. 044 / 269 40 20, Fax. 044 / 252 31 30, info@vss.ch