



# Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell

**A combined modal split and route choice model**

**Modèle du mode de transport et du  
choix d'itinéraire combinée**

**Emch+Berger AG Bern**  
**Guido Rindsfuser, Dipl.-Bauing. TH/SVI**

**Universität Würzburg / Örebro University**  
**Franziska Klügl, Prof. Dr.**

**Forschungsprojekt SVI 2004/029 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**

# **Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell**

**A combined modal split and route choice model**

**Modèle du mode de transport et du  
choix d'itinéraire combinée**

**Emch+Berger AG Bern**  
**Guido Rindsfuser, Dipl.-Bauing. TH/SVI**

**Universität Würzburg / Örebro University**  
**Franziska Klügl, Prof. Dr.**

**Forschungsprojekt SVI 2004/029 auf Antrag der Schweizerischen  
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

# Impressum

## **Forschungsstelle und Projektteam**

### **Projektleitung**

Guido Rindsfuser

### **Mitglieder**

Franziska Klügl

Gustavo Kuhn Andriotti

## **Begleitkommission**

### **Präsident**

Gustaaf Kooijman

### **Mitglieder**

Michel Bierlaire

Kai Nagel

Willi Dietrich

Michael Arendt

Casimir de Rham

## **Antragsteller**

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

## **Bezugsquelle**

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

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>13</b>
1.1	Forschungsthema / Auftrag .....	13
1.2	Zielsetzung .....	14
1.3	Vorgehensbeschreibung .....	14
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung und Technik</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>GPS-Erhebung</b> .....	<b>20</b>
3.1	Einleitung.....	20
3.2	Erhebungsdokumentation.....	20
3.2.1	Ziele der Erhebung des individuellen Verkehrsverhaltens .....	20
3.2.2	Design der Erhebungsinstrumente .....	20
3.2.3	Erhebungsdurchführung.....	21
3.2.4	Datenbearbeitung.....	21
3.3	Datenbeschrieb .....	22
3.3.1	Personen .....	22
3.3.2	Wege .....	22
<b>4</b>	<b>Agentenbasierte Modellierung</b> .....	<b>23</b>
4.1	Multiagentensystem .....	23
4.2	Grundlegendes Konzept.....	23
4.3	Umweltmodellierung.....	25
4.4	Verkehrsteilnehmermodell.....	25
4.4.1	Übersicht über das Verhaltensmodell .....	25
4.4.2	Generierung von multimodalen Routen .....	26
4.4.3	Abfahren einer Route und Bestimmung von Reisezeiten .....	27
4.4.4	Verarbeitung von Erfahrungen.....	27
4.4.5	Änderung einer Routenentscheidung.....	28
4.5	Modellalternativen.....	29
4.5.1	Agentenmodell mit Generierung, Bewertung und Auswahl von Routenoptionen.....	29
4.5.2	Grammatiken zur Beschreibung realistischer multimodaler Routen .....	29
4.6	Zukünftige Modellerweiterungen.....	29
4.6.1	Generalisierte Kosten statt Reisezeit .....	30
4.6.2	Heterogenität der Agenten .....	30
4.6.3	Fahrgemeinschaften .....	30
4.7	Zusammenfassung der Parameter des Agentenverhaltens mit ihren Standardwerten ....	31
4.8	Implementierung .....	31
<b>5</b>	<b>Analyse des Modells / Szenario Burgdorf</b> .....	<b>34</b>
5.1	Grundlagendaten Burgdorf .....	34
5.2	Basisfunktionalität des Modells.....	35
5.2.1	Belastung der Streckenelemente und Fehler .....	35
5.2.2	Entwicklung der Reisezeit .....	38
5.2.3	Netzkenntnis .....	39
5.2.4	Individualebene .....	40
5.2.5	Modalsplit .....	42
5.3	Sensitivität der Modellergebnisse .....	44
5.3.1	Abhängigkeit vom Trägheitsparameter bei der Routenentscheidung.....	44

5.3.2	Effekt von subjektiver Reisezeiterfahrungen .....	48
5.3.3	Abhängigkeit vom Gewicht neuer Information in Relation zu alter Information.....	50
5.3.4	Belastungsabhängige Reisezeit im Öffentlichen Verkehr .....	54
5.3.5	Alternative Werte für Modusübergänge.....	56
5.4	Simulation spontaner Routenänderungen .....	58
5.5	Zusammenfassung Burgdorf Szenario.....	59
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>60</b>
	<b>Anhänge .....</b>	<b>62</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>106</b>
	<b>Projektabschluss.....</b>	<b>109</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>112</b>
	<b>SVI Publikationsliste .....</b>	<b>125</b>

## Zusammenfassung

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden zwei Forschungsbeiträge erarbeitet:

- eine Erhebung, automatische Ergänzung und Auswertung detaillierter Daten zu Modus- und Routenwahlverhalten im individuellen Kontext eines Verkehrsteilnehmers mittels Eintrag in ein übliches Wegetagebuch und einer parallelen GPS-basierten 1wöchigen automatischen Erfassung der ausserhäusigen Wege sowie
- ein agentenbasiertes kombiniertes Modus- und Routenwahlmodell, das prototypisch die Leistungsfähigkeit eines derartigen Ansatzes illustriert.

### Erhebung

Mit der Erhebung individueller Verhaltensdaten im Kontext der Verkehrsmittel- und Routenwahl parallel mit einem üblichen Wegetagebuch (und Personenfragebogen) sowie einer automatischen Erfassung der zurückgelegten Wege mittels einer GPS-dataloggers (Global Positioning System) wurden einerseits die für die Modellierung notwendigen Daten erzeugt, andererseits innovative Wege der Datenerfassung besprochen. Die GPS-Daten wurden mit zur damaligen Zeit noch in der Forschung befindlichen Algorithmen zu automatischen Ableitung von Merkmalen der Wege (Einteilung in Etappen und Zuweisung des mutmasslich verwendeten Verkehrsmittels) bearbeitet und die Machbarkeit solcher Datenergänzungen nachgewiesen.

### Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell

Mit der erfolgreichen Konzeption, Modellierung und Implementation eines kombinierten Routenwahl- und Umlegungsmodell als agentenbasierte Simulation (Multi-Agenten-System) und der Anwendung an einem Beispiel auf der Basis eines praktischen Projektes konnte die Abhängigkeit der Routenwahl von unterschiedlichen Faktoren und die Wirkung kombinierter Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheidungen in einem agentenbasierten Ansatz gezeigt werden. Neben der Reproduzierbarkeit der Modellergebnisse aus der klassischen Verkehrsmodellierung erscheint der Ansatz, dass diese Ergebnisse allein aus der Steuerung der Agentenentscheidungen resultieren als ein wesentlicher Vorteil der gewählten Methodik.

Die Simulation des Verkehrsverhaltens wurde als eine Multiagentensimulation aufgesetzt. Mit diesem Ansatz wurden Entscheidungen über Verkehrsmittelnutzung und Routenwahl zu jedem Zeitpunkt der Simulation auf der Basis der bisher gemachten individuellen Erfahrungen der Verkehrsteilnehmer ermöglicht, so dass ein realistisches Abbild der Entscheidungssituation entstand. Die simulierten Verkehrsteilnehmer durchlaufen dabei in der Simulation mehrfach die Aktivitäten einer kombinierten Verkehrsmittel- und Routenwahl, die Ausführung der so spezifizierten Fahrt und die Evaluation der dabei gemachten Erfahrungen, die wiederum die nächste Wahl beeinflussen. Die simulierten Verkehrsteilnehmer erkunden dabei ein durch explizite Modusrepräsentation erweitertes Netz. Zudem sind die Entscheidungen rückgekoppelt. Dadurch wird ein re-routing während der Fahrt realisierbar und damit die Beurteilung von neuen Fragestellungen, z.B. zu den systemweiten Effekten von lokalisierter Information, ermöglicht.

Mit dem erzeugten Modell steht ein „Forschungswerkzeug“ zur Verfügung, mit dessen Hilfe weitere Forschungsfragen rund um die individuelle Entscheidungsabbildung im Verkehrsverhalten untersucht werden können.





## Résumé

Principalement deux contributions à la recherche ont été élaborées dans le projet de recherche présent :

- une enquête, complément automatique et évaluation des données détaillées concernant le comportement du mode et du choix de l'itinéraire dans le contexte individuel d'un usager de la route au moyen d'une entrée dans un journal des chemins usuel et parallèlement d'une saisie automatique d'une semaine des chemins hors domicile basée sur GPS ainsi qu'
- un modèle du mode et du choix d'itinéraire combiné et basé sur agent, qui illustre la performance d'une telle approche sous forme de prototypes.

### Enquête

Avec l'enquête des données de comportement individuelles dans le contexte du choix de mode de transport et d'itinéraire parallèlement d'une saisie automatique des trajets parcourus au moyen d'un enregistreur GPS (Global Positioning System) on a produit d'une part les données nécessaires pour la modélisation et d'autre part (à l'époque) on a emprunté des méthodes innovantes de la saisie des données. Les données GPS ont été traitées avec les algorithmes se trouvent dans la recherche à l'époque pour la déduction automatique des critères des trajets (classification en étapes et attribution de mode de transport utilisé présomptif) et la faisabilité de telles compléments de données a été justifiée.

### Modèle du mode de transport et du choix d'itinéraire combinée

Avec la conception à succès, la modélisation et l'implémentation d'une modèle du choix d'itinéraire et de transfert comme simulation basé sur agent (système multi-agent) et l'exemple d'application sur la base d'un projet pratique la dépendance du choix d'itinéraire des facteurs différents et l'impact des décisions du mode de transport et du choix d'itinéraire combinées a permis de démontrer. A côté de la reproductibilité des résultats de modèle de la modélisation de transport classique l'approche que ces résultats s'ensuivent seulement des décisions des agents apparaît comme avantage essentielle de la méthodologie choisie.

La simulation du comportement en matière de transport a été définie comme simulation multi-agent. Avec cette approche des décisions concernant l'utilisation du mode de transport et du choix d'itinéraire ont été permises à tout moment de la simulation sur la base des expériences individuelles des usagers de la route en sorte qu'une image réaliste de la situation de décision se produisait. Les usagers de la route simulés passent à plusieurs les activités d'un choix du mode de transport et d'itinéraire combiné, l'exécution du trajet spécifié de cette manière et l'évaluation des expériences faites dans ce contexte qui, à leur tour, influencent le prochain choix. Les usagers de la route simulés explorent un réseau étendu par représentation du mode explicite. En outre les décisions sont couplées d'une manière rétroactive. Ce faisant un re-routing pendant le trajet est réalisable et permet donc l'évaluation des nouvelles questions, par exemple concernant les effets de l'ensemble de système d'information localisé.text

Un outils pour la recherche est à disposition avec le modèle produit. Avec l'aide de ce dernier, d'autres demandes de recherche dans le domaine de la représentation des décisions individuelles en ce qui concerne le comportement en matière de transports peuvent être explorées.



## Summary

In the presented research project contributions in two main research areas have been achieved:

- The first was a traffic survey that included an automated completion and evaluation of detailed transport mode and route choice data for selected individuals. Data was collected using both, a conventional trip diary which the individual filled out, and a parallel GPS based automated tracking of trips undertaken.
- An agent-based combined mode and route choice model illustrating the capability level of the studied approach.

### Survey

The survey addressed the individual's travel behaviour, focusing on mode and route choices. It combined a conventional personal trip diary (including personal data questionnaire) with an automated collection of the distances travelled using a GPS data logger. The information was used as a basis for the model development.

At the time of survey automated data collection and derivation of transport mode based on GPS was a relatively innovative process. The GPS data was processed using then newly developed algorithms (contributed by international research partners). Those algorithms automatically derive trip characteristics (for example trip stages and assumed transport mode). The collected GPS- and model derived data was crosschecked with the information recorded in the personal trip diaries. It was found that the ge positioning aspects of the GPS data were very helpful (for example travel time und length) while the automatic determination of the trip mode was accurate to a lesser extent.

### Combined transport mode and route choice model

An simulation model for agent decision making about multimodal routes was developed. Existing data from earlier projects was used to test for model robustness and validity. It was shown that by comparing the model results with surveyed and analysed data from other models that the developed agent-based simulation forms in deed a successful approach for showing the dependency of route choice decisions on different individual factors as well as illustrating the effect of combined mode and route choice decisions on the overall dynamic system.

In addition to the more reproduction of model results from traditional transport modeling approaches, a significant advantage of a Multi Agent System appears to be that – because the simulated agents are able to directly control their travel mode/path -, there is a greater degree of flexibility during iterative analysis. In each iteration an agent makes a route/mode choice based on past experiences of the trip time on a particular route and adapts its choice accordingly. Simulation results are only based on those individual choices. It would also be possible to incorporate decision aspects such as travel cost, passenger comfort and 'personal' preference.

This approach paints a realistic portrait of our everyday experiences with trip time and delays on certain routes as well as of the impact that these experiences have on our willingness to take the same route again. It is also possible to capture the system-wide effects of localised information (for example a construction site or mandatory detour) in an iterative and time dependant manner.

The developed model can be seen as a „research tool“. It is possible to use this tool for further research concerning the individual decisionmaking in travel behaviour.



# 1 Einführung

## 1.1 Forschungsthema / Auftrag

Zur Abschätzung möglicher Veränderungen von Verkehrsbelastungen aufgrund geplanter Massnahmen werden in der Planungspraxis vorwiegend sequentielle Modelle der Verkehrsnachfrage, also der Verkehrserzeugung, der Verkehrsverteilung und der Verkehrsaufteilung mit einer anschliessenden Routensuche und Umlegung verwendet. Zwei wesentliche, durch verkehrspolitische und infrastrukturelle Massnahmen beeinflussbare individuelle Entscheidungsbereiche von Verkehrsteilnehmern sind die Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl.

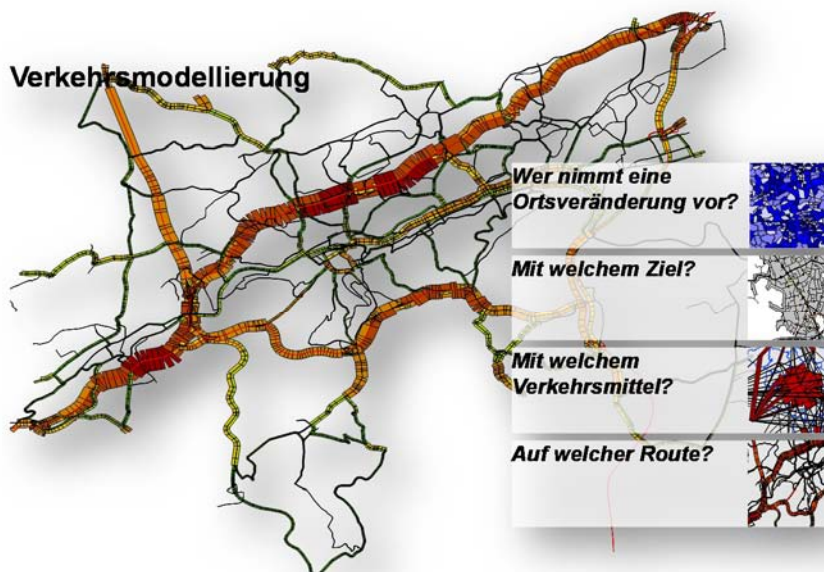


Abbildung 1: sequentielle Verkehrsmodellierung

Für die Modellierung individueller Entscheidungen werden vermehrt Nutzenmaximierungsmodelle verwendet. Die Entscheidung des Verkehrsteilnehmers wird dabei als diskrete Wahl zwischen einzelnen zur Verfügung stehenden Alternativen (z.B. Verkehrsmittel) in Abhängigkeit der Nutzendifferenzen interpretiert. Einige (massgebende) Nutzenkomponenten wie z.B. die Reisezeit werden dabei häufig aus einer Umlegungsrechnung abgeleitet. Die Anwendung der Verkehrsmittelwahl wie auch der Routenwahl und Umlegung ergibt daraufhin veränderte Nutzenkomponenten. Somit sind Rückkopplungen notwendig, die bei Anwendung der sequentiellen Modelle häufig nicht vorgenommen werden. Die (bekannten) Nachteile des sequentiellen Vorgehens sind im Wesentlichen die Inkonsistenz im Gesamtsystem. Abhängigkeiten einzelner Entscheidungen, wie sie in der Realität zu beobachten sind, werden aufgrund der Komplexität rückgekoppelter Modellstrukturen vernachlässigt.

Zur Überwindung der skizzierten Nachteile ist es möglich, die Verkehrsmittel- und die Routenwahl simultan und unter Berücksichtigung der sich gegenseitig beeinflussenden Veränderung von Nachfrage- und Angebotsparametern zu modellieren.

Der Auftrag des Projektes war es, ein kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell prototypisch als Multiagentensystem zu entwickeln und dafür notwendige, nicht vorhandene Daten zu erheben.

Mit einer beispielhaften Anwendung war das Konzept und die prototypische Entwicklung bezüglich der Praxistauglichkeit (Datenanforderungen, Operationalisierung, Komplexität und Rechenbedarf) zu beurteilen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeiten war die Entwicklung eines kombinierten Verkehrsmittel- und Routenwahlmodells im Rahmen einer Multiagentensimulation.

Für die Erreichung des Ziels wurden folgenden Teilaufgaben vorgesehen:

- Erhebung und Analyse individuellen Verhaltens, resultierend aus der Verkehrsmittel und Routenwahl
- Entwicklung eines simultanen personenbezogenen Wahlmodells
- Entwicklung eines Multiagentensystems zur Simulation von Wahlentscheidungen
- Demonstration der Machbarkeit des gewählten Ansatzes
- Ableitung von Forschungsfragen

Prinzipiell dient das Gesamtprojekt der Grundlagenerforschung des Mobilitätsverhaltens und soll in erster Linie zu einem weiteren Erkenntnisgewinn sowie zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Verkehrsmodellierung beitragen.

Der engere Forschungsbereich des Projektes fokussiert auf die individuelle Wahl des Verkehrsmittels und der benutzten Routen (Wege/Strecken) durch den Verkehrsteilnehmer.

Die gleichzeitige (kombinierte) Modellierung des Entscheidungsverhaltens bezüglich der Verkehrsmittel- und Routenwahl soll in einem agentenbasierten Modellansatz im Rahmen eines Multi-Agenten-Systems konzipiert werden. Durch einen beispielhaften Einsatz sollen erste Erfahrungen mit dem Modell (Vorgehen) gesammelt werden.

## 1.3 Vorgehensbeschreibung

### Vorgehen

#### GPS-gestützte Erhebung der Routenwahl

#### Datenanalyse

#### Verhaltensmodellierung

#### Agentensimulationssystem

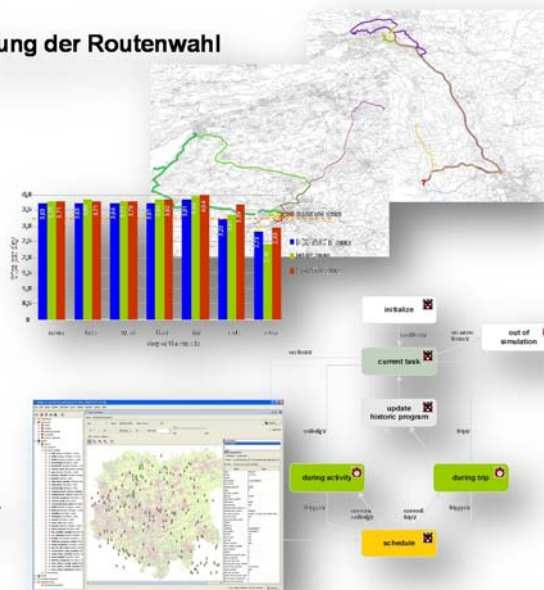


Abbildung 2: schematische Darstellung des Projekttablaufs

## Stand der Forschung

Im Rahmen des Projektes wurde zunächst auf der Basis einer Literaturrecherche (inkl. Projekt- und Forschungsarbeiten) der Stand der Forschung und Technik aufbereitet und ein geeigneter Grundansatz als Rahmenkonzept gewählt.

## Modellkonzeption und Modellentwicklung

Gleichzeitig wurde die theoretische Konzeption der agentenbasierten Simulation und der zu entwickelnden Verhaltensmodelle erarbeitet und im Wechselspiel mit den Erkenntnissen aus der Datenanalyse verfeinert und implementiert.

## Grundlegendes Modellkonzept (Agentensimulation, Multi-Agenten-System)

Jeder Agent, d.h. jeder simulierte Verkehrsteilnehmer, entscheidet auf der Basis seiner individuellen Erfahrungen und seines aktuellen Kontextes, bzw. der ihm aktuell verfügbaren Information. Auf der Basis der Erfahrungen, die der Agent bei der simulierten Verkehrsteilnahme macht, kann er das Wissen, auf dem seine Entscheidung gründet, modifizieren. Diese Vorgehensweise unterscheidet sich signifikant sowohl von Gleichgewichtsmodellen, die nicht von den individuellen Entscheidungen ausgehen, als auch von den „iterierten“ Modellen, bei denen die Annahme der vollständigen Information als Basis für individuelle Entscheidungen durch mehrfaches Durchrechnen der Effekte der (erneuten) Entscheidungen auf das Gesamtsystem realisiert wird. Bei den agentenbasierten Modellen versucht man ausgehend von realistischen Modellen des Entscheidungsverhaltens unter der bounded-rationality Annahme valide Mikromodelle zu erzeugen.

Für die kombinierte Verkehrsmittel- und Routenentscheidung stehen im Prinzip verschiedene Formen von Entscheidungsparadigmen aus der Künstlichen Intelligenz und Agententechnologie zur Verfügung, deren Eignung hier zunächst untersucht und getestet wurde. Auf der Basis von prototypischer Implementierung verschiedener agentenbasierter Entscheidungsmodelle - auch im Vergleich mit traditionellen Rational-Choice-basierten Modellen - wurde der geeignetste Ansatz ausgewählt, modifiziert und erweitert mit dem Ziel, ein möglichst valides, agentenbasiertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell zu erarbeiten.

Aufbauend auf der Auswertung vorhandener und im Rahmen des Projektes erhobener Daten wurden die Verkehrsmittel- und Routenwahl als kombiniertes Verhaltensmodell in einer mikroskopische Agentensimulation implementiert. Ein Agent repräsentiert dabei eine reale Person. Die Unterschiedlichkeit individueller Entscheidungen wird durch die den Agenten zugewiesenen eigenen Attribute, Quell- und Zielposition und Verhaltensmerkmale abgebildet. Im Rahmen der Erhebung wurden Daten zu ca. 1'500 Fahrten im MIV und im Fahrradverkehr teils technisch unterstützt (durch Verwendung von GPS) erhoben.

Der letztlich ausgewählte Ansatz wurde in der Entwicklungs- und Experimentierumgebung für Multiagentensysteme SeSAM (Shell for Simulated Agent Systems) als Verhaltensmodelle umgesetzt. SeSAM ermöglicht relativ schnelles, interaktives Prototyping und durch diverse Funktionalitäten wie z.B. Visualisierungen und Analysen der ablaufenden Prozesse eine zielgerichtete und effiziente Entwicklung und Verbesserung von Modellen. Eine prototypische Repräsentation von Strassennetzen, steht dabei ebenso zur Verfügung, wie eine Datenbank-Kopplung und die Möglichkeit höhere Datenstrukturen einfach zu organisieren. In der folgenden Abbildung 3 ist der Aufbau von SeSAM schematisch dargestellt.

Das Prototyping wurde für eine Beispielanwendung durchgeführt. Eine Anwendung für ein städtisches (Teil-)Gebiet wurde anschliessend auf vorhandenen Grundlagendaten (z.B. Verkehrsnetz, Strukturdaten und Verhaltensdaten), welche speziell zusammengestellt und entsprechend der Anforderungen einer Agentensimulation als Multiagentensystem implementiert wurden, aufgebaut. Das erzeugte Modellsystem umfasst folgerichtig dann eine sogenannte „Welt“, Ressourcen und die „handelnden“ Agenten. Die Welt ist vorstellbar als eine Umgebung mit entsprechenden Eigenschaften, die ebenfalls simuliert werden können und in der die Agenten agieren. Die Agenten selber sind autonom handelnde Objekte, die

über „Sensoren“ die Eigenschaften der Welt, der Ressourcen und anderer Agenten erfahren können und entsprechend ihrer Verhaltensmodellierung und ihrer individuellen Erfahrungen auf Änderungen (re-)agieren können.

Bei der Erstellung des Agentensystems wurde von einer konstanten Verkehrsnachfrage ausgegangen. D.h., es wird von bekannten Quelle-Zielbeziehungen (Fahrtenwünschen) ausgegangen, die mit Agenten assoziiert wurden.

### Datengrundlage / Erhebung

Eine Zusammenstellung möglicher relevanter Datensätze und die Analyse dieser bezüglich des Forschungsansatzes wurde ergänzt durch eine eigene GPS-Erhebung (Global Positioning System) und Befragung der Verkehrsmittel- und Routenwahl, sowie eine entsprechende Analyse der gewonnenen Daten.

Grundlage der Verhaltensmodelle ist die empirische Datenbasis. Soweit vorhanden wurden realisierte Entscheidungen bezüglich der Verkehrsmittel- und Routenwahl aus vorhandenen Daten (z.B. Mikrozensus) aufbereitet und für die Modellierung verwendet. Weitere nicht vorhandene Daten zur Routenwahl im MIV und für längere Fahrradwege wurden im Projekt eigens mittels einer GPS-gestützten Erfassung und einer Interviewgeführte Erhebung von rund 1'500 Fahrten im MIV und im Fahrradverkehr erhoben.

### Modellanwendung

Das entwickelte Simulationssystem wurde zunächst prototypisch und anschliessend praktisch getestet und beurteilt.

### Beurteilung und Ableitung Forschungsbedarf

Aufbauend auf den Erkenntnissen wurde die Praxistauglichkeit beurteilt und weiterer Forschungsbedarf formuliert.

### SeSAm – Komponenten (schematische Darstellung)

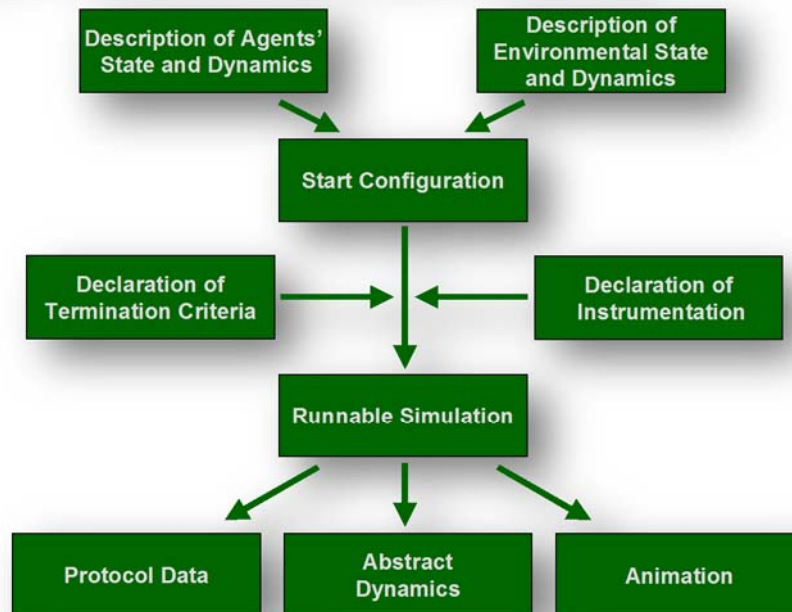


Abbildung 3: einfache schematische Darstellung der Komponenten von SeSAm



## 2 Stand der Forschung und Technik

Die Verkehrsmodellierung dient der Vorausschätzung der Verkehrsnachfrage und der Verkehrsbelastung. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren in der Verkehrsmodellierung werden benötigt, um Wirkungen von geplanten Massnahmen abzuschätzen. Damit stehen dann Beurteilungsgrundlagen für Entscheidungen über die Einführung und Umsetzung von Massnahmen zur Verfügung.

Zur Abschätzung möglicher Veränderungen von Verkehrsbelastungen aufgrund geplanter Massnahmen werden in der Planungspraxis noch häufig sequentielle Modelle der Verkehrsnachfrage, also der Verkehrserzeugung, der Verkehrsverteilung und der Verkehrsaufteilung mit einer anschliessenden Routensuche und Umlegung verwendet. Zwei wesentliche, durch verkehrspolitische und infrastrukturelle Massnahmen beeinflussbare individuelle Entscheidungsbereiche von Verkehrsteilnehmern sind die Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl.

Für die Modellierung individueller Entscheidungen werden vermehrt Nutzenmaximierungsmodelle verwendet. Die Entscheidung des Verkehrsteilnehmers wird dabei als diskrete Wahl zwischen einzelnen zur Verfügung stehenden Alternativen (z.B. Verkehrsmittel) in Abhängigkeit der Nutzendifferenzen interpretiert. Einige (massgebende) der Nutzenkomponenten wie z.B. die Reisezeit werden dabei häufig aus einer Umlegungsrechnung abgeleitet. Die Anwendung der Verkehrsmittelwahl wie auch der Routenwahl und Umlegung ergibt daraufhin veränderte Nutzenkomponenten. Somit sind Rückkopplungen notwendig, die bei Anwendung der sequentiellen Modelle häufig nicht vorgenommen werden.

Die (bekanntesten) Nachteile des sequentiellen Vorgehens sind im Wesentlichen die Inkonsistenz im Gesamtsystem. Abhängigkeiten einzelner Entscheidungen, wie sie in der Realität zu beobachten sind, werden aufgrund der Komplexität rückgekoppelter Modellstrukturen vernachlässigt (weitere Nachteile der sequentiellen Modelle sind z.B. bei Recker, McNally and Root 1986, Kitamura 1996, Wermuth et al. 2001, nachzulesen). Zur Überwindung eines Teils der skizzierten Nachteile ist es notwendig die Verkehrsmittel- und die Routenwahl simultan und unter Berücksichtigung der sich gegenseitig beeinflussenden Veränderung von Nachfrage- und Angebotsparametern zu modellieren.

Simultane Modellansätze sind seit längerer Zeit Gegenstand der Verkehrsforschung. Ein erster Ansatz der simultanen Modellierung von Quelle-Ziel-Beziehungen und nutzeroptimaler Routenwahl findet sich bei Beckmann, McGuire and Winsten 1956. Evans 1976 erweiterte den Ansatz um die Verkehrsverteilung unter der Annahme konstanter Verkehrserzeugung und eines Entropiemodells für die Verkehrsverteilung. Die Einbeziehung der Verkehrsaufteilung formulierten Florian and Nygen 1978. Safwat and T.L.Magnanti 1988 schliesslich stellten ein alle vier Stufen kombinierendes Modell vor. Weitere Darstellungen relevanter Ansätze finden sich in Boyce (2002) und Boyce and Bar-Gera (2004).

Aktuelle Ansätze der simultanen Modellierung individueller Entscheidungen basieren meist auf dem Konzept der Nutzenmaximierung. Modelle der diskreten Wahl (discrete choice) sind hoch entwickelt und ihre Anwendung wurde in vielen Forschungsbeiträgen demonstriert (siehe z.B. Ben-Akiva and Lerman 1985 und Ben-Akiva and Bierlaire 1999). Arbeiten wie z.B. Bobinger 2001 und besonders Vrtic 2003 belegen die Eignung ökonometrischer Modelle für eine gemeinsame Modellierung unterschiedlicher Wahlentscheidungen. Grundlegende Entscheidungsansätze sind z.B. das Nested-Logit Modell (McFadden 1981), das Cross-Nested-Logit Modell (Vovsha 1997), das C-Logit Modell (Caschetta et al. 1996) und das Path-Size-Logit Modell (Ben-Akiva and Bierlaire 1999). Als Vorteil von diskreten Wahlmodellen ist zu sehen, dass begründbare Verhaltensannahmen auf der Basis von Erhebungsdaten, in denen Reisende nach ihrer Wahl befragt wurden, kalibriert werden und so Aussagen über effektive Entscheidungen von grossen Personenzahlen getroffen werden können. Allerdings sind die mathematisch notwendigen Annahmen nicht immer trivial, Erhebung passender Daten, die eine Verbindung von Verhaltensannahmen und Wahl ermöglichen, sind aufwändig.

Vrtic (2003) entwickelt das Nested-C-Logit Modell um Nachteile der oben genannten Ansätze zu vermeiden. Er konstatiert, dass das Nested-Logit Modell aufgrund seiner fehlenden Berücksichtigung von Überlappungen zwischen Alternativen bzw. Routen für eine gemeinsame Modellierung der Verkehrsmittel- und Routenwahl nicht geeignet ist. Das Cross-Nested und das C-Logit Modell sind in der Lage, Überlappungen von Routen zu berücksichtigen, bieten aber nicht die Möglichkeit einer verkehrsmittelspezifischen Abbildung von Nestern (Untergruppen). In einer vergleichenden Studie, basierend auf Berechnungen für einfache Beispiele, zeigt er die Vor- und Nachteile der oben genannten Ansätze auf. Mit dem von ihm entwickelten Ansatz ist es möglich, verkehrsmittelspezifische „Nester“ und Routenüberlappungen adäquat zu modellieren und somit die Nachteile der oben genannten Ansätze zu umgehen.

Seit mehr als 10 Jahren werden in der Forschung im Bereich der aktivitätenbasierten Ansätze zur Verkehrsnachfragemodellierung, basierend auf theoretischen Konzepten (vgl. z.B. Doherty et al. 2002) und empirischen Befunden der Aktivitätenplanung (vgl. z.B. Rindsfuser et al. 2003 oder Roorda and Miller 2004), Modelle unter Verwendung des Agentenparadigmas entwickelt. Ein Agent entspricht einem Reisenden, der einen individuellen Tagesplan verwaltet und adaptiert. Abhängig von verschiedenen Konkretisierungen werden Routen- und Moduswahl in den Tagesplänen direkt mit festgehalten oder nachrangig erzeugt:

Im MATSIM System (Balmer et al., 2009) verwaltet jeder Agent mehrere komplett spezifizierte Tagespläne – inklusive Routen- und Moduswahl. Mittels mesoskopischer Simulation werden diese Pläne evaluiert und mit evolutionären Algorithmen optimiert. Mögliche Adaptionen betreffen Routenwahl, Moduswahl oder eine Kombination aus beiden. Rindsfuser et al. (2004) beschreiben eine erste einfache regelbasierte Umsetzung individueller Verhaltensmodellierung als ein Multi-Agenten-System. Das Albatross Modell (Arentze and Timmermans, 2008) basiert auf Heuristiken, ursprünglich formuliert in Entscheidungsbäumen (Regeln), in neueren Version als Bayesche Netze um statistische Information geeignet zu integrieren. In einer Erweiterung (Han et al. 2009) wird basierend auf einer Form des kognitiven Lernens die Verwendung von statischen, adhoc formulierten Optionsmengen vermieden und entsprechend dynamisiert. Auch dies betrifft nicht nur die Wahl der Aktivitäten und deren Verortung, sondern auch nachfolgende Auswahl von Modus und Routen.

Der Bereich der Künstlichen Intelligenz (Distributed Artificial Intelligence oder Multi-Agenten System Technology) wird als besonders wichtige Ergänzung zur Verkehrsverhaltensforschung und –modellierung angesehen. Anwendungsgebiete von Verfahren der künstlichen Intelligenz im Bereich Verkehr sind z.B. Kontrollsysteme auf Flughäfen, Steuerungssysteme im Strassenverkehr aber auch agentenbasierte Verkehrssimulationen (für neuere Übersichtsartikel siehe Chen and Cheng 2010, oder Bazzan und Klügl, 2013).

Agentenbasierte Simulation wird auch für die Analyse von individueller Routenwahl und deren Effekte auf ein Gesamtverkehrssystem eingesetzt. Erste Ideen auf der Basis von BDI-Logiken (Belief-Desire-Intention) (siehe Bazzan et al., 1999) stellten sich dabei als nicht operationalisierbar und somit nicht praktisch einsetzbar heraus. Auf der Basis eines einfachen Reinforcement Lernverfahrens und rein lokaler Erfahrung der Agenten konnten dagegen experimentelle Ergebnisse der Gruppe um Prof. R. Selten (Selten et al., 2003) reproduziert werden. Im Modell von (Klügl und Bazzan, 2004) nutzt jede simulierte Versuchsperson alleine die eigene Erfahrung bei der nächsten Routenentscheidung. Durch eine geeignete, individuelle Anpassung konnten auch die im Experiment erreichten Gleichgewichtszustände nachgebildet werden. Andere Untersuchungen im Bereich der agentenbasierten Routenwahl unter Einbeziehung von verschiedenen Formen von Information findet man in (Wahle et al. 2002). Interessant ist dabei auch eine Arbeit, die eine individuell adaptive Routenwahl um eine Meta-Lernkomponente über die Nützlichkeit und Auswahl von Information erweitert (Klügl et al. 2003). Die dabei verwendeten Szenarien beinhalten zumeist zwei Routenalternativen. Durch eine solche Konzeptionalisierung als Minority Game (als Verallgemeinerung des El-Farol Bar Problems) stehen Analysemittel der Spieltheorie zur Verfügung, um stabile systemzustände, z.B. ein Nash Equilibrium zu bestimmen. Eine Übertragung dieser stark abstrahierten Entscheidungsmodelle auf allgemeine Netze mit mehr als zwei Optionen ist schwierig (siehe Bazzan und Klügl (2008) für

eine Anpassung an ein Grid mit heterogenen Linkkapazitäten und en-route Neuberechnung von Routen).

Mittlerweile stehen mächtige Werkzeuge zur Entwicklung von Multi-Agenten-Simulationen, die eine Zeit-, Raum- und Verhaltensrepräsentation beinhalten zur Verfügung. Möglichkeiten reichen von generischen Werkzeugen wie NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>), Repast (<http://repast.sourceforge.net/>) oder SeSAm ([www.simsesam.org](http://www.simsesam.org)) als vollständig visuelles Programmiersystem. Alternativ finden sich Simulationsrahmenwerke wie MATSIM (siehe oben), die umfassende mikroskopische Verkehrssimulation ermöglichen und dabei immer zugänglicher für Nicht-Programmierer werden. Daher erscheint es sinnvoll, auch für die komplexe Simulation von Verkehrsentscheidungen die Agentenmetapher zu verwenden. Die Hürde einer zu komplexen Implementierung scheint nur noch bedingt relevant zu sein. Die Vorteile werden in den Eigenschaften der Agententechnologie gesehen, die eine Abbildung individueller Entscheidungen, eine flexible Interaktion zwischen Agenten und der sie umgebenden Umwelt ermöglicht.

Forschungsbedarf besteht dennoch einerseits in der Verhaltensmodellierung und andererseits in der Umsetzung in eine agentenbasierte Simulation über die eigentliche Implementierung hinaus. Wird eine Einzelpersonensimulation angestrebt, sind die Verhaltensmodelle bezüglich inter- und intrapersoneller Verhaltensvariabilitäten zu modifizieren/ergänzen. Es ist zu prüfen, inwieweit vorhandene Verfahren (Ergänzung stochastischer Nutzenanteile) ergänzt werden können (müssen), um die auch in der Realität vorkommenden Verhaltensvariationen (vgl. z.B. Axhausen et al. 2002) abzubilden. Auch Verfahren zur Berücksichtigung der Wechselwirkungen (Rückkopplungen) von Verkehrsmittel- und Routenwahl (Veränderung der Reisezeiten durch Belastungsumlegung z.B.) in einem agentenbasierten System sind zu entwickeln (Gleichgewicht, Stabilität und Konvergenz des Verfahrens).

Des Weiteren sind die Datenanforderungen zu spezifizieren und die Verfügbarkeit zu prüfen. Kalibrierung ist kaum mehr manuell möglich, sondern muss automatisch geschehen – was zum einen wiederum Anforderungen an die Datenverfügbarkeit stellt., Zum anderen sind hierbei geeignete Algorithmen zu finden, die unter Anwendung von individuellem Lernen (darunter fallen sowohl die evolutionäre Anpassung der vollständigen Tagespläne bei Matsim, als auch Learning-Automata basierte Adaption der Wahl wie in den unten gegebenen Verhaltensmodellen) einen relevanten realistischen Globaleinstellung identifizieren kann. Die Umsetzung in ein praxistaugliches, skalierendes Instrument bedarf deshalb effizienter Algorithmen, da eine hohe Anzahl an Rechenvorgängen durchgeführt werden muss.

## 3 GPS-Erhebung

### 3.1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Kombiniertes Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell“ (SVI 200/029) wurde eine GPS-gestützte Erfassung von Routen durchgeführt. Neben der automatischen und kontinuierlichen Erfassung von Standorten von Personen wurden durch die Befragten Wegetagebücher erstellt.

Nachfolgend werden die Erhebung in den wesentlichen Details (vgl. Stopher 2004, Schönfelder et al. 2002, Richardson, Ampt und Meyburg 1995) beschrieben. Die Beschreibung der erfassten Variablen nebst Häufigkeit und zusammenfassender Statistik (zusammengestellt in den Anhängen) komplettiert die Erhebungsbeschreibung.

### 3.2 Erhebungsdokumentation

#### 3.2.1 Ziele der Erhebung des individuellen Verkehrsverhaltens

Die Erfassung und Befragung sowie die Analyse des Verkehrsverhaltens sind wesentliche Bestandteile des Gesamtprojektes. Das generelle Ziel der Erhebung ist die Erfassung individueller Routen und möglicher Kriterien, welche zur Entscheidung der jeweiligen Routen beigetragen haben könnten. Dafür wurde die Erhebung in zwei Teile gegliedert:

- eine passive GPS-gestützte Erfassung der zurückgelegten Wege und
- eine Wegetagebuchehebung.

Die Wegetagebuchehebung diente dabei zur Ergänzung der GPS-Datensätze bezüglich der durch das GPS nicht erfassbaren oder nicht (bzw. nur schwer) ableitbaren Kennwerte (wie z.B. der gewählten Verkehrsmittels) sowie der Plausibilisierung der erfassten GPS-Datensätze.

Die aus der Erhebung generierten Daten wurden für die Simulation ergänzt durch Daten des Mikrozensus. Ziel war es, eine möglichst umfassende Datenbasis für die Modellierung zu schaffen.

#### 3.2.2 Design der Erhebungsinstrumente

##### GPS-Erfassung

Die GPS-gestützte Erhebung erfolgte passiv. D.h. die Befragten bekamen Infomaterial über das Projekt, die Befragung und die Handhabung der Geräte wie auch die zusätzlichen Fragebögen (vgl. Anhang I.2). Das Gerät wurde den Personen für Dauern zwischen 1 und 6 Tagen ausgehändigt. Nach einer einmaligen Aktivierung wurden alle ausserhäusigen Bewegungen der Personen automatisch aufgezeichnet. Dafür wurden durch das Gerät im 1-Sekundenintervall die jeweilige Position und weitere Kennwerte aufgezeichnet.



Abbildung 4: Abbildung datalogger und erfasste Wege sowie Wegetagebuch

### Fragebögen

Gleichzeitig zur GPS-Erfassung erhielten die Befragten einen Personen- und Haushaltsfragebogen wie auch ein Wegetagebuch. Die Ausfüllung des Wegetagebuchs geschah parallel zur GPS-Erfassung. (Die Fragebögen sind in Anhang I.1.1.11.2, Personenfragebogen und Anhang I.1.1.11.3 Wegefragebogen abgebildet).

### 3.2.3 Erhebungsdurchführung

Die für die Erhebung notwendigen GPS-Datenlogger wurden von einem Forschungsinstitut der Universität Sydney (Australien) ausgeliehen. Eine zuvor gestartete eigene Erhebung des australischen Instituts verlief nicht wie geplant, was zu einer etwa 3monatigen Verzögerung der Erhebung in Bern führte.

Das durchgeführte Telefonscreening zur Rekrutierung der Testpersonen führte nicht zum gewünschten Erfolg, so dass das letzte benötigte Drittel der Testpersonen per Schneeballverfahren rekrutiert wurde.

Zur Erfüllung der benötigten Anzahl Fahrradfahrer als Testpersonen wurde zusätzlich zum Telefonscreening eine Anfrage und Rekrutierung über die IG Velo vorgenommen.

Vor, während und nach der Erhebung wurden die Testpersonen umfangreich informiert (Anruf, Anschreiben, Versand der Fragebögen, der Geräte, Servicetelefon, Informationsblatt) und betreut, was zu einem sehr hohen Anteil verwertbarer Datensätze und kaum Totalausfällen führte.

### 3.2.4 Datenbearbeitung

- Die erhaltenen Daten aus den Fragebögen wurden in eine Access-Datenbank eingegeben und währenddessen gleichzeitig manuell bzw. teilweise automatisiert plausibilisiert. Auffälligkeiten (z.B. offensichtliche Fehlangaben) wurden manuell nach Rückfrage bereinigt, teils wurden Nacherfassungen notwendig und durchgeführt.
- Die erfassten GPS-Datensätze (NMEA-Protokoll) wurden „roh“ an das Forschungsinstitut der australischen Universität versandt und dort mit zum damaligen Zeitpunkt noch in der Forschung befindlichen Algorithmen ausgewertet und so die einzelnen Variablen erzeugt (z.B. einzelne Etappen und die verwendeten Verkehrsmittel).

- Eine einfache deskriptive Analyse aller einzelnen abgefragten Attribute aller Variablen aus den Fragebögen findet sich im Anhang I.1.1.1II
- Einzelne für das Modell notwendige Kennwerte wurden gesondert bzgl. der Verwendung im Modell ausgewertet.
- Alle Etappen wurden mit den entsprechenden Kennwerten als ASCII-Datei zusammengestellt.

### 3.3 Datenbeschrieb

In den Anhängen I.1.1.1II sind die einzelnen in der Erhebung erfassten und erzeugten Variablen beschrieben und die jeweilige Häufigkeiten der Variablen dargestellt. Die Daten wurden nach der Erfassung und Aufbereitung bereits dem IVT an der ETH Zürich zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden in den nachfolgend genannten Dateien abgegeben (Erhebung des Projektes „Kombiniertes Verkehrsmittel und Routenwahl Modell“):

**Tab. 1** Liste der erzeugten Datendateien

Dateiname	Inhalt	Kurzbeschreibung
Person.txt	Personenfragebogen	Soziodemographische und sozioökonomische Daten sowie weitere Merkmale zur jeweiligen Person und zum Haushalt der Person
Wege.txt	Wegetagebuch	Daten aus dem Wegetagebuch über die berichteten Wege
Routen.txt	GPS-Wegetagebuch	Aus den GPS-Rohdaten abgeleitete Daten über die automatisch erfassten Wege
xx 000xxx ddmmyy.txt	GPS-Rohdaten	Unbehandelte Daten der GPS-Erfassung als sekundliche Ortsbestimmung per Satelliten

#### 3.3.1 Personen

Die Datei Personen (Personen.txt) enthält die soziodemographischen und sozioökonomischen Variablen der 107 Personen, die erfolgreich (kompletter Datensatz) an der Befragung teilgenommen haben. Zusätzlich wurden jedem Datensatz eine eindeutige ID sowie ein eindeutiger Name des GPS-Datenfiles zugewiesen, damit die aus den GPS-Rohdaten erzeugten Daten den persönlichen Merkmalen zugeordnet werden können. Ein Rückschluss auf persönliche Daten die zur Identifizierung der in der realen Welt lebenden Person führen könnten ist in dem Datensatz nicht enthalten und können auch über die ID nicht zugewiesen werden.

Die Struktur der Datendatei ist im Anhang II.1 abgebildet.

#### 3.3.2 Wege

Die Datei Wege (Wege.txt) enthält die wegebezogenen Variablen der 107 Personen, die erfolgreich (kompletter Datensatz) an der Befragung teilgenommen haben. Zusätzlich wurden jedem Datensatz eine eindeutige ID sowie ein eindeutiger Name des GPS-Datenfiles zugewiesen, damit die aus den GPS-Rohdaten erzeugten Daten den entsprechenden Datensätzen zugewiesen werden können. Ein Rückschluss auf persönliche Daten die zur Identifizierung der in der realen Welt lebenden Person führen könnten, ist in dem Datensatz nicht enthalten.

Die Struktur der Datendatei ist im Anhang II.2 beschrieben.

## 4 Agentenbasierte Modellierung

### 4.1 Multiagentensystem

Agentenbasierte Modellierung hat sich in den letzten Jahren bei sozialwissenschaftlichen Simulationen als Methode der Wahl etabliert (Gilbert and Troitzsch 2005, Klügl und Bazzan, 2012). Auch in anderen Anwendungsgebieten findet man immer mehr erfolgreiche Multiagentensimulationen (siehe z. Bsp.: Biologie, Ökologie, Marktsimulationen, Simulation von Landnutzung). Dies gilt auch für Anwendungen bei der Modellierung des Verhaltens von Verkehrsteilnehmern: Dabei wird ein Verkehrsteilnehmer durch einen Agenten beschrieben, d.h. als autonomer Entscheider, der auf Grund seiner Erfahrungen und seiner mehr oder weniger lokalen Wahrnehmung Verhalten generiert. Ein simulierter Agent „lebt“ (reagiert und je nach Ansatz agiert und interagiert) in einer simulierten Umwelt und in virtueller Zeit. Die simulierte Umwelt stellt dabei den Rahmen für Wahrnehmung und Aktion eines Agenten dar und ist deshalb ein zentraler Punkt eines agentenbasierten Modells. Üblicherweise existieren und interagieren mehrere Agenten in dieser simulierten Umwelt. Diese Interaktionen untereinander und mit der Umwelt produzieren das resultierende Gesamtverhalten der Simulation.

Ein wichtiges Konzept der agentenbasierten Modellierung ist dabei das der „bounded rationality“ (Simon 1996): Ein Agent verhält sich nur innerhalb der Grenzen seines verfügbaren Wissens und seines möglichen Aktionsradius rational. Auch nicht-rationales Verhalten kann gut in einen agentenbasierten Ansatz integriert werden (Andriotti 2009). Ein weiterer Vorteil der agentenbasierten Simulation liegt in der möglichen Heterogenität der Agenten, die mit eigener "Persönlichkeit", individuellen Präferenzen, etc. ausgestattet werden können. Im Anwendungsbereich dieses Projekts bilden zwei Vorteile die Hauptmotivation für die Wahl eines Agentenbasierten Ansatzes:

- Flexibles Verhalten auf Individuen Ebene ermöglicht eine Darstellung von Verhalten, das an eine dynamische Umwelt mit variablen Strukturen angepasst ist.
- Der Detaillierungsgrad wird nur durch Wissen des Modellierers und die verfügbaren Daten bestimmt, nicht durch grundlegende Beschränkungen der Modellrepräsentationssprache. Dies ermöglicht eine integrative Sicht auf das Verhalten eines Verkehrsteilnehmers, bei der verschiedene Phasen der Entscheidung in einem Agentenmodell verzahnt werden können.

### 4.2 Grundlegendes Konzept

Das Konzept des Forschungsprojektes sieht vor, dass die Simulation des Verkehrsverhaltens als eine Multiagentensimulation aufgesetzt wird. Mit diesem Ansatz sollen Entscheidungen über Verkehrsmittelnutzung und Routenwahl zu jedem Zeitpunkt der Simulation auf der Basis der bisher gemachten individuellen Erfahrungen der Verkehrsteilnehmer ermöglicht werden, so dass ein realistisches Abbild der Entscheidungssituation entsteht.

Abbildung 5 zeigt die Grundstruktur des Modells. Die simulierten Verkehrsteilnehmer durchlaufen dabei in der Simulation mehrfach die Aktivitäten einer kombinierten Verkehrsmittel- und Routenwahl, die Ausführung der so spezifizierten Fahrt und die Evaluation der dabei gemachten Erfahrungen, die wiederum die nächste Wahl beeinflussen. Die simulierten Verkehrsteilnehmer erkunden dabei ein durch explizite Modusrepräsentation erweitertes Netz.

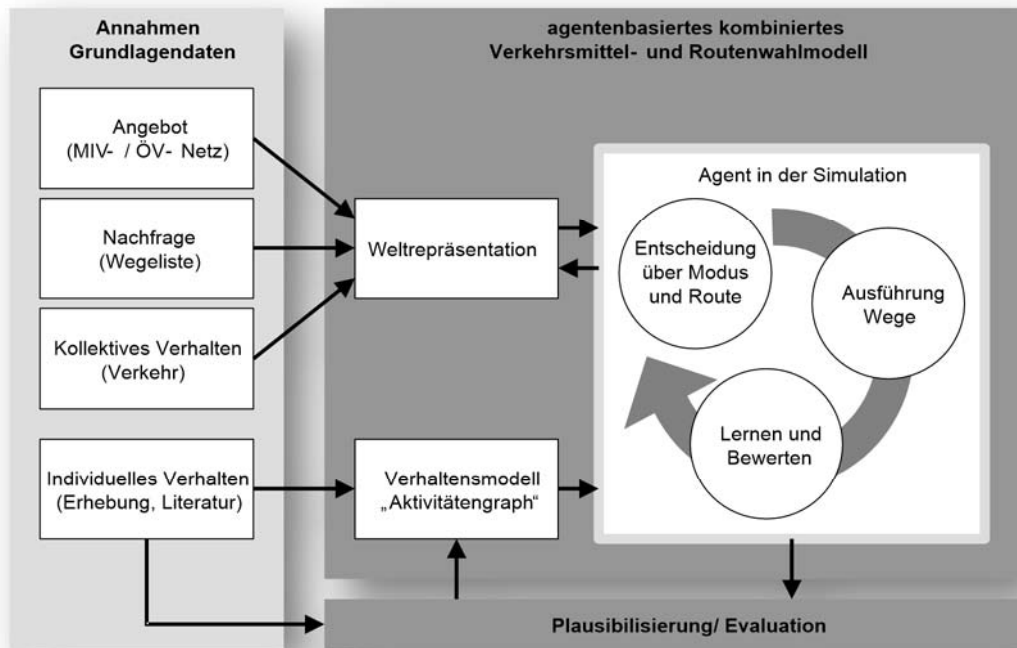


Abbildung 5: Grundstruktur des Simulationssystems

Als Grundlagendaten werden dabei vorhandene Daten verwendet. Als erstes Test-szenario für die Basiseigenschaften des Modells wurde das Szenario Burgdorf verwendet. Burgdorf ist eine Kleinstadt ca. 20 km östlich von Bern gelegen. Aus einem anderen Projekt der Emch&Berger AG Bern sind ein Netz mit Messdaten und simulierten IV-Lastungen, sowie eine passende OD-Matrix vorhanden. ÖV-Routen wurden in das Netz integriert und die Zahl der Agenten auf der Basis eines angenommenen Modalsplits um 20% erhöht. In der agentenbasierten Simulation entscheiden knapp 9600 Agenten wiederholt über ihre beste Routen-Modus-Kombination. Es sollte getestet werden, ob, und durch welche Parameter-einstellung, das Agentensystem in der Lage ist, die gegebenen Belastungen zu reproduzieren.

Um zu zeigen, dass das grundlegende Agentenverhalten unabhängig von einem konkreten Netz ist, war zu Beginn der Arbeiten eventuell an einen Test an einem zweiten, größeren Szenario Bern gedacht worden. Dabei war zu erwarten, dass das Szenario zu groß ist, um die Rückkopplung Belastung-Routen/Moduswahl in vertretbaren Programmier- und Rechenzeitaufwand innerhalb des Budgets des vorliegenden Projektes zu realisieren. Das heißt, es war nicht zu erwarten, dass ausreichend Agenten simuliert werden können, um realistische Belastungen durch ihre Entscheidungen zu erzeugen. Beim umfangreicheren Bernszenario hätte die in das Projekt eingebettete Erfassung der Routenwahl die mit dem Mikrozensus vorliegenden Routenwahldaten im ÖV um Verhaltensdaten im MIV und im Radverkehr ergänzt. Das Szenario Bern war innerhalb des Projektes letztendlich nicht umzusetzen.

Weitere Vorteile des agentenbasierten Ansatzes, welche in anderen Forschungsprojekten bearbeitet werden, sind nicht Gegenstand dieses Projektes und können im Projekt nur oberflächlich betrachtet werden:

- Keine Integration in komplexere Tagesablaufmodelle, Wahl der Abfahrtszeit, etc.
- Keine Verkehrsflussmodellierung: Ohne ausreichende Daten zu den Abfahrtszeiten der einzelnen Agenten macht es keinen Sinn, Reisezeiten auf den individuellen Routen über eine Verkehrsflusssimulation zu berechnen. Aus den Entscheidungen der Agenten wird die Belastung der Strecken berechnet, aus denen wiederum mittlere Reisezeiten ermittelt werden.



## 4.3 Umweltmodellierung

Bevor das Verhalten der Agenten näher ausgeführt wird, soll die Struktur der Umwelt näher beschrieben werden, auf der die Agenten operieren. Aus dem gegebenen Netz mit Modus-Annotation wird ein so genanntes Supernetz (Carlier et al. 2003) generiert. Dazu wird für jeden betrachteten Modus ein separates Netz erzeugt, welches die Kanten, auf denen der jeweilige Modus verwendet werden kann, zusammenfasst. Die so erzeugten Teilnetze werden durch Übergangskanten verknüpft. Dadurch werden Modusübergänge explizit behandelt und können mit entsprechenden - auch individuellen, knoten- und modusabhängigen Kosten versehen werden. Vorteil einer solchen Supernetz-Struktur ist es, dass bekannte Wegsuche-Algorithmen für multimodale Routen erweitert und verwendet werden können. Der Hauptnachteil liegt in der Größe des Supernetzes: Die Anzahl der Kanten und Knoten vervielfacht sich mit der Anzahl der betrachteten Modi. Abbildung 6 illustriert dies.

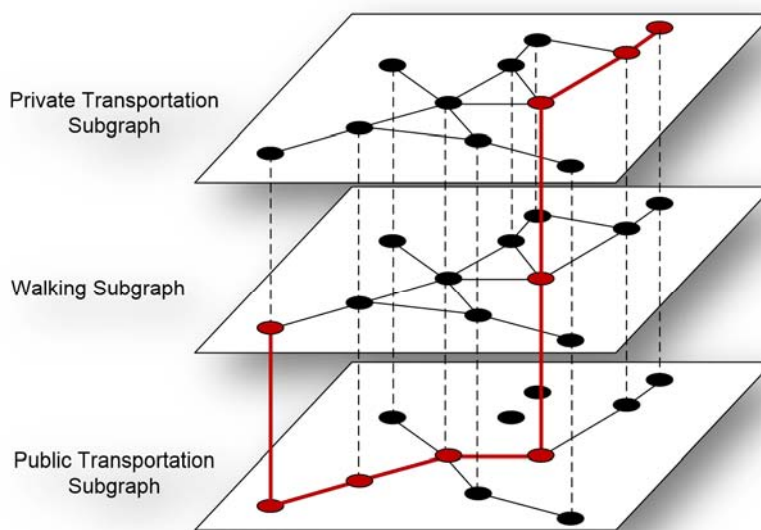


Abbildung 6: Supernetz aus verschiedenen verknüpften Netzebenen für MIV, Fußgänger und ÖV Netze. Eine multimodale Route ist angedeutet.

## 4.4 Verkehrsteilnehmermodell

Als nächstes soll nun das Modell eines Verkehrsteilnehmers genauer dargestellt werden. Dieses Verhaltensmodell hat die Aufgabe, die individuelle simultane Entscheidung von Verkehrsteilnehmern über das zu benutzende Verkehrsmittel und die zurückzulegende Reiseroute nachzubilden.

Ein Agent muss im Modell von einer gegebenen Quelle (O) zu einem Ziel (D) reisen. Der Agent erzeugt dabei eine mentale Repräsentation des ihm bekannten Netzes, in dem er seine eigenen Erfahrungen speichert und bei der Routenwahl benutzt.

### 4.4.1 Übersicht über das Verhaltensmodell

Das Verhalten eines Agenten ist eine Sequenz von Aktivitäten und Entscheidungen, die die Auswahl einer Route im Supernetz und das Fahren auf dieser Route nachzubilden. Die

Darstellung enthält die nachfolgenden Abläufe für die gleichzeitige Auswahl des Verkehrsmittels und der Route für einen zurückzulegenden Weg (zu erfüllende Aufgabe) zwischen Quelle (O) und Ziel (D) unter Berücksichtigung von dynamischer Information.

Das Verhaltensmodell der Agenten wird in Abbildung 7 grafisch, als Verhaltensgraph dargestellt und im Folgenden genauer beschrieben.

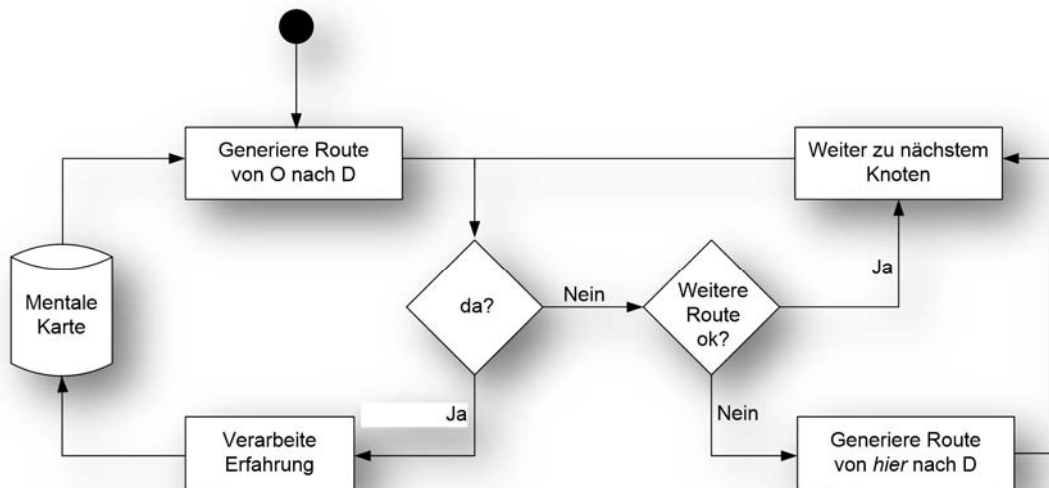


Abbildung 7: Abstrakter Verhaltensgraph eines Agenten

#### 4.4.2 Generierung von multimodalen Routen

Am Anfang eines simulierten Zyklus' generiert jeder Agent eine Route im multimodalen Netz, die ihn von seiner Quelle zum Ziel führt. Mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit, benutzt der Agent die von ihm zuletzt gefahrene Route nochmals, um mehr Erfahrung auf dieser Route zu sammeln, bevor der Agent das gesammelte Wissen für die Berechnung einer neuen Route benutzt. Dies führt dazu, dass das Modell stabiler wird, weil "Übersprungshandlungen" der Agenten, bei der alle Agenten eine neue Route berechnen, vermieden werden.

Für die Berechnung einer kürzesten Route wird ein eingeschränktes Dijkstra-Verfahren verwendet. Die Änderungen betreffen zwei Aspekte:

- Der Dijkstra-Algorithmus benötigt positive Kosten für die einzelnen Strecken, um daraus die optimale Route zu berechnen. Die Agenten verwenden dabei ihre individuelle Erfahrung auf den entsprechenden Strecken ("mentale Belastungskarte"), wie sie sie in vorherigen Iterationen erfahren haben. Hat ein Agent noch keine eigenen Erfahrungen auf einer Strecke gemacht, werden minimale Kosten angenommen (Reisezeiten bei freiem Fluss im Individualverkehr). Damit wird nachgebildet, dass der Agent auf einer Karte eine Route planen kann, die Belastung aber in jedem Fall zu optimistisch einschätzt.
- Nicht jede multimodale Route ist sinnvoll. Zu häufige Moduswechsel sind nicht realistisch. Wir haben den Dijkstra dahin gehend beschränkt, dass nicht nur der aktuelle Link bewertet wird, sondern die Route bis dahin. Die Kosten des nächsten Streckenabschnittes sind maximal, wenn die sich dadurch ergebene Route bestimmte Nebenbedingungen verletzt. Diese Constraints betreffen die maximalen Distanzen für Fußgänger, eine minimale Distanz für das Auto und keine Wechsel zurück zum Auto, wenn der Agent bereits einmal vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr gewechselt hat. Die Werte für Maximal- und Minimaldistanzen sind einstellbar. Mit der Bedingung zum Wechseln wollen wir verhindern, dass ein Fahrer, der einmal die Entscheidung getroffen

hat, das Auto stehen zu lassen und auf einen anderen Modus umzusteigen, nicht auf magische Weise wieder zu seinem Auto kommt. Mit dieser Einschränkung ist allerdings nicht mehr garantiert, dass die optimale Route gefunden wird, da es durchaus sein kann, dass ein Knoten, der wegen der Constraints als Sackgasse erkannt wurde, auf einem Weg erreicht werden kann, bei dem eine weitere Betrachtung in Frage kommt. Der Algorithmus wird also nicht in jedem Fall die kürzeste Route finden. Wir nehmen allerdings an, dass das im realen Netz nicht in allzu vielen Fällen der Fall sein wird.

Muss eine neue Route berechnet werden, während sich der Agent entsprechend einer vorherigen Routenentscheidung bewegt, wird die aktuelle Position als Ausgangspunkt für die Routensuche verwendet. Für die Bewertung der nächsten Kanten wird allerdings weiterhin auch die bisher zurückgelegte Route berücksichtigt, d.h. die Constraints werden immer für die Gesamtroute behandelt. Die Motivation liegt in der Konsistenz der Modus-Entscheidungen: Wenn der Agent sein Auto bereits an einem Park&Ride Parkplatz abgestellt hat, um mit ÖV weiterzufahren, dann hat er das Auto auch nicht zur Verfügung, wenn eine neue Route von der aktuellen Position zum Ziel bestimmt werden muss.

#### 4.4.3 Abfahren einer Route und Bestimmung von Reisezeiten

Nachdem jeder Agent eine Entscheidung über die zu fahrende Route getroffen hat, "fahren" die Agenten die Routen ab. Dabei wird an jedem Streckenabschnitt, den sie passieren, ein Zähler hochgezählt. Nachdem alle Agenten ihre Reise beendet haben, steht die dadurch erzeugte Belastung fest und mit Formeln aus der belastungsabhängigen Umlenkung (BPR-Formeln auf der Basis der gegebenen Streckentypen) werden mittlere Geschwindigkeiten und daraus Reisezeiten berechnet. Die Agenten bekommen ein Signal vom Netz, und bestimmen ihre persönlichen Reisezeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten. In einer Modellvariante wurde ein Rauschen auf die individuellen Reisezeiten gelegt, um etwas mehr Heterogenität bei den Agentenentscheidungen nachzubilden und so die Robustheit des Modells zu erhöhen.

Dabei wird zwischen tatsächlicher Reisezeit  $t$  und wahrgenommener Reisezeit  $u$  unterschieden, um eine einfache mögliche Verzerrung der Wahrnehmung zu modellieren:

$u = w_{modus} \cdot t$  Dabei ist  $w_{modus}$  ein Gewicht, das vom gewählten Modus abhängig ist. Dieser Gewichtungsfaktor kann in zukünftigen Versionen des Modells individualisiert werden, auch andere Funktionen statt der einfachen Multiplikation mit einem Gewichtswert sind denkbar.

#### 4.4.4 Verarbeitung von Erfahrungen

Nachdem die Agenten ihre Reise beendet haben und ihre tatsächlichen Reisezeiten auf den einzelnen Strecken erfahren haben, müssen diese Informationen in das individuelle Netzgedächtnis der Agenten - ihre individuelle mentale Belastungskarte - integriert werden. Sei  $s$  ein Streckenelement,  $u_{map}(s)$  die erfahrene Reisezeit, die in der mentalen Belastungskarte gespeichert ist und  $u_{neu}(s)$  die neue Information zu  $s$ , dann kann folgende Funktion für die Aktualisierung der Einträge benutzt werden.

$$u_{map}(s) = \begin{cases} u_{neu}(s), & \text{wenn } u_{map}(s) = 0 \\ \alpha \cdot u_{map}(s) + (1 - \alpha) \cdot u_{neu}(s), & \text{sonst} \end{cases} \quad (1)$$

Wenn der Agent bisher keine Erfahrung auf einem Streckenelement gemacht hat, wird die neue Information eingetragen. Ist bereits Information verfügbar, wird alte und neue Erfahrung miteinander verrechnet.  $\alpha$  ist dabei ein Faktor, der alte und neue Information gewichtet. Ist  $\alpha$  gleich 1 entscheidet das erste Befahren des Streckenelements bei allen zukünftigen Routenberechnungen, ist  $\alpha$  gleich 0 besitzt der Agent nur ein Gedächtnis für die letzte Fahrt über das jeweilige Streckenelement. In Simulationen wurde  $\alpha$  gleich 0,5 verwendet.

#### 4.4.5 Änderung einer Routenentscheidung

Eine Besonderheit des agentenbasierten Ansatzes, der im Projekt verfolgt wurde, ist, dass die Agenten nicht nach dem Erzeugen einer Route diese stupide abfahren, sondern immer als Agenten in Ihrer Umwelt präsent sind, wahrnehmen und ihre Pläne entsprechend verändern können. Damit ergeben sich folgende Fragen:

- Was muss ein Agent wahrnehmen, um seine Routenplanung zu ändern?
- Wie wird die Route von der aktuellen Position zum Ziel berechnet?

#### Trigger für Routenänderung

Unter normalen Umständen muss ein Agent seine Planung nicht ändern, er folgt seiner gewählten Route. Ein zufälliges Abweichen von der Route würde zwar die Informationen des Agenten über erfahrbare Belastungen erhöhen, wäre aber unrealistisch. In speziellen Experimenten wurde ein ausgewählter Streckenabschnitt für alle oder ausgewählte Modi blockiert und diese Blockierung in einem gegebenen Abstand  $d$  vom blockierten Element den simulierten Verkehrsteilnehmern signalisiert. Blockierung bedeutet hier, dass für Autos und Öffentlichem Verkehr der Link nicht benutzbar ist, Fußgänger können ihn mit doppelter Reisezeit benutzen. Die Entfernung  $d$  wird dabei in Streckenabschnitten gemessen - wir nehmen an, dass nicht die metrische Entfernung sondern die Anzahl von Kreuzungen mit alternativen Strecken entscheidend ist. Nimmt ein Agent ein Signal wahr, überprüft er, ob das blockierte Element Teil seiner noch geplanten Route ist oder nicht. Ist dies der Fall wird ein Umplanen ohne die blockierte Strecke angestossen.

#### Generierung der neuen Route

Das „Re-routing“, also Umplanen, wird wiederum mit dem modifizierten Dijkstra-Algorithmus durchgeführt. Der blockierte Streckenabschnitt erhält dabei maximale Kosten. Das Routing wird im Prinzip unabhängig von der bisherigen Route durchgeführt, allerdings werden die Modus-Constraints wie oben beschrieben beachtet. Demzufolge können Agenten bisher befahrene Streckenelemente auch wieder zurückfahren.

Abbildung 4 illustriert den Gesamtprozess. Ein Agent erhält eine Verkehrsinformation und plant seine Route um - die zur Verfügung stehenden Routen hängen von seiner aktuellen Position und dem Modus-Beschränkungen ab.

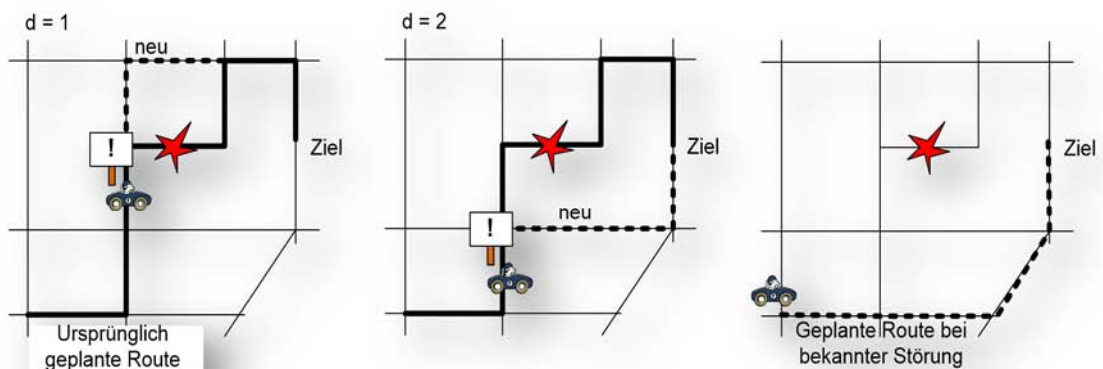


Abbildung 8: On-Route Replanen der Agenten abhängig von Information über ein gebrochenes Streckenelement.

## 4.5 Modellalternativen

### 4.5.1 Agentenmodell mit Generierung, Bewertung und Auswahl von Routenoptionen

Ein alternatives Verhaltensmodell der Agenten könnte eines in Analogie zu Ökonometrischen Ansätzen sein. Im Gegensatz zum tatsächlich untersuchten Modell würde dieses der Idee des Modus- und Routenwahlproblems als Discrete Choice Problem folgen, bei dem ein Agent eine Menge von Optionen - mögliche Modus + Routenalternativen - generiert, diese durch Ausprobieren bewertet und seine Auswahl entsprechend des Nutzenmaximierungsparadigmas anpasst, bis unter Berücksichtigung der Auswahl der anderen Agenten die aktuelle Wahl optimal oder zumindest stabil ist. Wir haben diese Modellalternative verworfen, da sie einerseits die Flexibilität der Agentenentscheidungen nicht ausnutzt. Andererseits wirft die Generierung der Optionen Probleme auf, deren Lösung weiterer Forschung unabhängig von Agentenansätzen bedarf. In (Andriotti 2009) wurde die Performanz eines solchen Modells im Vergleich zu klassischen ökonometrischen Ansätzen untersucht. Obwohl die Ergebnisse vielversprechend waren, haben wir diesen Ansatz nicht weiterverfolgt, weil dieser Modellierungsansatz die Vorteile eines echt agentenbasierten Modells nicht klar darstellen kann.

### 4.5.2 Grammatiken zur Beschreibung realistischer multimodaler Routen

Während der Projektlaufzeit wurde eine grammatikbasierte Generierung zulässiger Moduskombinationen getestet. Mit einer Grammatik werden Regeln beschrieben, mit denen Worte generiert bzw. akzeptiert werden. Ein Wort wäre in diesem Fall eine Abfolge von Modi. "PIIIÖÖÖÖP" würde z.B. bedeuten, dass der Agent eine Strecke als Fußgänger zurücklegt, dann 3 Kanten mit seinem Auto, 4 mit öffentlichem Verkehr und danach nochmals eine als Fußgänger. Eine Grammatik ist ein eleganter Weg solche realistische Kombinationen kompakt zu beschreiben (Barrett et al., 2000)

Dadurch dass es sich bei den eingesetzten Grammatiken um rein qualitative Strukturen handelt, kann die Länge eines Links allerdings nicht berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass lange und kurze Kanten im Netz gleich behandelt werden. Man hätte zwar davon ausgehen können, dass daraus entstehende schlechte Kombinationen entsprechend bewertet werden und bei der Alternativenauswahl nicht weiter berücksichtigt werden. Dennoch haben wir den Grammatikansatz vor allem aus obigen Gründen wieder fallengelassen und einfachere heuristische Regeln verwendet, um sinnvolle Modus-Routen-Kombinationen zu filtern.

## 4.6 Zukünftige Modellerweiterungen

Das aktuelle Modell weist noch einige Schwächen auf, die in zukünftigen Versionen korrigiert werden sollten. Darunter fällt insbesondere die Verwendung von Widerständen an den Kreuzungen bei der Berechnung der Routen und Reisezeiten. Aus technischen Gründen wurde eine rein streckenbasierte Implementierung des Dijkstraverfahrens gewählt. Durch die modulare Struktur des Modells sollte sich diese Einschränkung leicht beheben lassen.

Ein Detail betrifft das Umplanen der multimodalen Routen bei blockierten Streckenabschnitten: Die bisher gefahrene Route wird zwar bei den Routen-Constraints berücksichtigt, dies könnte aber intelligenter erfolgen: Ein Agent hat z.B. nicht die Möglichkeit zu seinem geparkten Auto zurück zu gehen und dort wieder einzusteigen und mit dem Auto weiterzufahren. Das Constraint, dass der Modus des Individualverkehrs nur einmal verwendet werden darf, verhindert dies.

In den getesteten Netzen wurde der ÖV nur vereinfacht eingebunden: Das gesamte ÖV Netz ist eine zusätzliche Schicht unabhängig von den einzelnen Linien. Das hat zur Folge,

dass Wartezeiten auf "den" Bus nur im Mittel angegeben werden können, für alle Übergänge zwischen Fußgänger oder Individual- und Öffentlichen Verkehr. Bei entsprechender Datenlage hätte man für jede Linie des Öffentlichen Verkehrs eine extra Schicht in das Multimodale Netz modellieren können und die Wartezeiten entsprechend anpassen können.

Im kleinen Netz von Burgdorf haben wir keinen expliziten Durchgangsverkehr modelliert - alle Agenten haben ihre Start und Zielkoordinaten im Netz und würden so potentiell alle Routen und Verkehrsmittel innerhalb des Netzes nutzen. Im agentenbasierten Modell könnte man Durchgangsverkehr durch Agenten modellieren, die eine Präferenz für bestimmte Strassentypen und ein Verbot von Moduswechseln darstellen.

Folgende Erweiterungen sind denkbar:

#### 4.6.1 Generalisierte Kosten statt Reisezeit

Die Agenten benutzen alleine Reisezeiten aus ihrem Kartengedächtnis, Annahmen über Freeflow Reisezeit oder tatsächliche Reisezeiten. Dies ist an sich ein überholter Ansatz, die Integration weiterer Faktoren oder Modifikationen zum Wert der Reisezeit sind notwendig. Auf der Basis des Agentenansatzes lassen sich solche Faktoren bzw. Funktionen leicht einfügen, da jeder einzelne Agent individuell über seine Route entscheidet. Im Projekt wurden Experimente mit modusabhängigen Reisezeitgewichten durchgeführt, die Gewichte waren - wegen fehlender Daten - weitgehend willkürlich gewählt und boten keine überraschenden Ergebnisse. Durch Erhöhen der Kosten eines Modus vermeiden die Agenten - die Alternativen haben - diesen Modus. Es wurden deswegen Experimente mit Variationen der Übergangskosten zwischen den Modi durchgeführt, die ebenfalls die Effekte modifizierter Kosten darstellen ohne die Effekte der Agentenentscheidungen zu verschleiern. Es ist aber klar, dass die Entscheidungsgrundlage für die Agenten einfach erweitert werden kann, um Reisezeiten durch generalisierte Kosten zu ersetzen. Somit wurde zumindest die Tauglichkeit des Ansatzes für die Verwendung generalisierter Kosten gezeigt.

#### 4.6.2 Heterogenität der Agenten

In dem aktuellen Modell sind alle Agenten identisch bis auf ihre Quelle-Ziel Kombination. Die Möglichkeit heterogene Verkehrsteilnehmer simulieren zu können, wird oft als wichtiger Vorteil einer agentenbasierten Simulation gesehen. Durch Einbeziehung weiterer Datensätze aus dem Mikrozensus kann das Modell sinnvoll zu mehr Heterogenität bei den Agenten weiterentwickelt werden:

Dies betrifft zunächst die Verfügbarkeit eines Autos. So kann man modellieren, dass nur ein gegebener Anteil der Agenten ein Auto zur Verfügung hat, und so individuell festlegen, welche Modi für einen Agenten zur Wahl stehen. Ebenso können Parameter für die Moduswahl-Constraints individualisiert werden: Ein Agent kann eine maximale Fußgängerdistanz von 500m akzeptabel finden, während ein anderer multimodale Routen mit mehr als 200m Fußgängerdistanz verwirft. Ein Agent würde für eine kurze Fahrt das Auto wählen, während ein anderer nur 1 Umsteigevorgang im ÖV akzeptabel findet. Über individualisierte Modus Bedingungen lassen sich so auf transparente Art und Weise detaillierte Präferenzen einstellen.

#### 4.6.3 Fahrgemeinschaften

Agenten können nicht nur die Belastung der Strecke erfahren, sondern auch erkennen, welche anderen Agenten dieselben Streckenelemente zurückgelegt haben. Man könnte das Modell so erweitern, dass bei häufigerer gleichzeitiger Benutzung der Strecke, manche Agenten miteinander in Kontakt treten und die Bildung einer Fahrgemeinschaft verhandeln könnten. Auch hier müssen zusätzliche Bedingungen angegeben werden, z.B. eine Mindestdistanz. Auch die Modifikation der rein reisezeitbasierten Kosten-funktion ist dazu notwendig.

## 4.7 Zusammenfassung der Parameter des Agentenverhaltens mit ihren Standardwerten

**Tab. 2** Parameter des Agentenverhaltens

Name	Erklärung	Wert / Wertebereich
<b>P_keepoldroute</b>	Trägheitsparameter. Wahrscheinlichkeit, dass ein Agent die zuletzt gewählte Route nochmal auswählt. Wertebereich ist 0..1	Pkor=0.5
<b>Gewicht für alte Daten im Gedächtnis</b>	Siehe Abschnitt 4.4.4	a=0.5
<b>Geschwindigkeiten</b>		
Auto	Spezifisch für Streckenelement, belastungsabhängig	
ÖV	Gleich IV oder FreeFlow Wenn ÖVPrioritär auf wahr gesetzt ist, wird die FreeFlow-Geschwindigkeit benutzt, ansonsten fährt auch der ÖV mit belastungsabhängiger Geschwindigkeit	
Fussgänger	unabhängig vom räumlichen Kontext	5,76 km/h
<b>„value of time“ Faktoren</b>		
Wauto	Gewicht als Modifikation, um den "value of travel time" für Fahrten mit dem Auto auszudrücken. Wird mit der Reisezeit multipliziert.	1
Wöv	Gewicht für Reisezeit mit dem Öffentlichen Verkehr	1
Wped	Gewicht für die Reisezeit zu Fuss	1
<b>Text</b>	Text	
<b>IV Einsteigezeit</b>	Zeitliche Kosten, die beim Übergang zum Auto entstehen: Einsteigen, Anschnallen, Starten, in den Verkehr einfügen	10 Sek.
<b>IV Parkplatzsuche</b>	Zeitliche Kosten, die beim Übergang vom Auto zu einem anderen Modus entstehen: Parkplatzsuche, Einparken, Aussteigen	60 Sek.
<b>ÖV Wartezeit</b>	Wartezeit beim Übergang zum Öffentlichen Verkehr. Mittlere Wartezeit auf den nächsten Bus.	90 Sek.

## 4.8 Implementierung

Das beschriebene Modell wurde in SeSAm (Shell für Simulierte Multi-Agenten Systeme, [www.simsesam.de](http://www.simsesam.de)) implementiert. SeSAm bietet eine visuelle Modellierungs- und Simulationsumgebung, die sich für das schnelle und bequeme Erstellen eines Modells eignet, da es auf einer abstrakten Sprache beruht. Man kann so quasi auf Spezifikationsebene das Modell erstellen. Abbildung 9 zeigt einen Screenshot des umgesetzten Agentenverhaltens. In Abbildung 10 ist das Verhalten des globalen Weltagenten, mit dem das Verhalten der Agenten koordiniert wird, dargestellt. Abbildung 11 fasst die Koordination des Weltagenten und der simulierten Verkehrsteilnehmer zusammen.



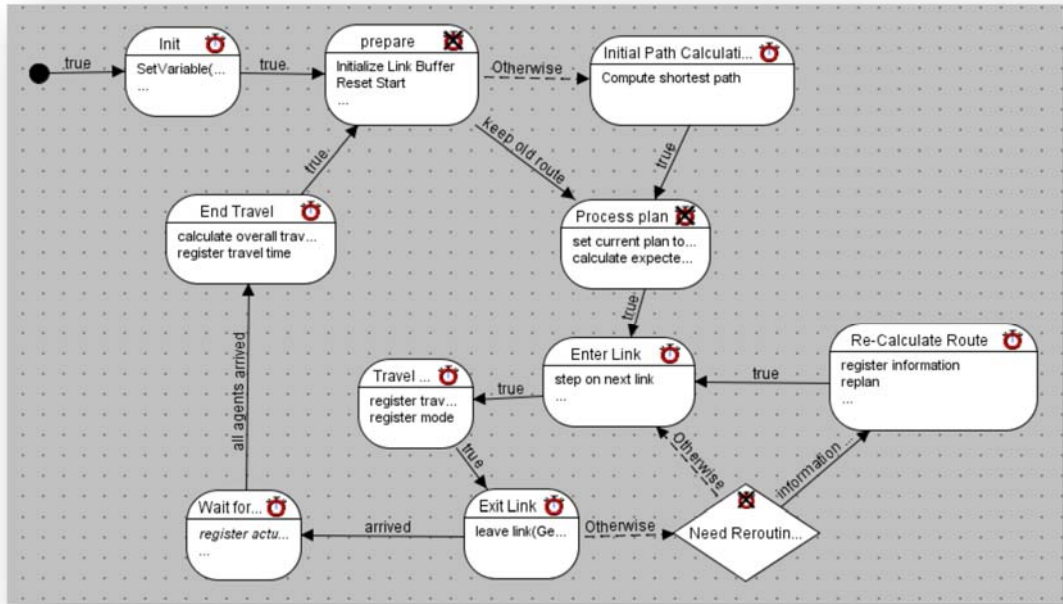


Abbildung 9: SeSAM Screenshot des Verhaltens eines Agenten

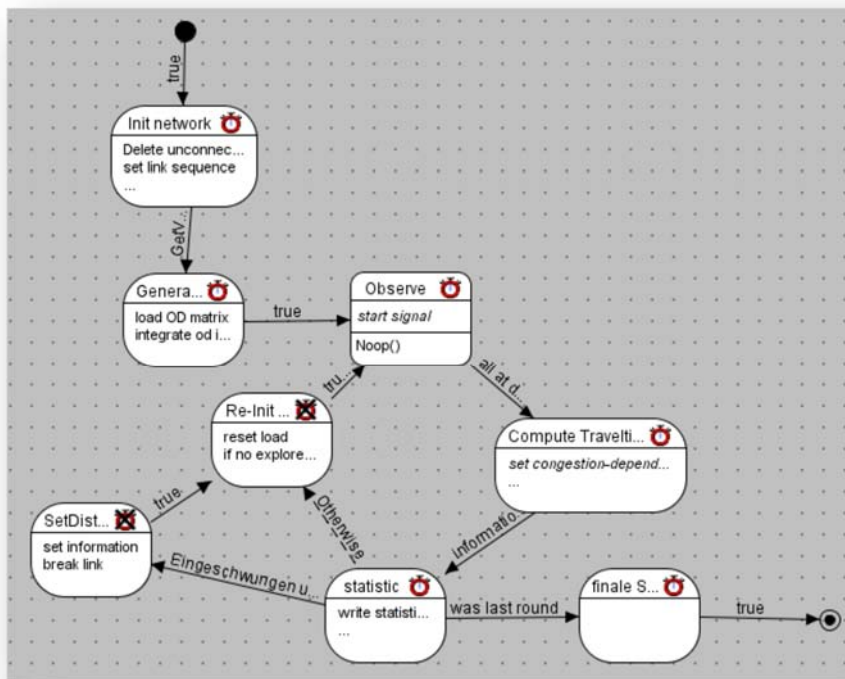


Abbildung 10: SeSAM-Screenshot des globalen Weltagenten

Das Verhalten der Agenten wird über den globalen Weltagenten koordiniert. Alle Agenten berechnen gleichzeitig ihre Route entsprechend ihrer Erfahrungen oder verfügbaren Information. Mit der Wahrscheinlichkeit  $p_{kor}$  führt jeder Agent einen Dijkstra-Algorithmus aus, der den subjektiv schnellsten Weg zwischen Start und Ziel des Agenten berechnet, ansonsten verwendet der Agent die zuletzt gewählte Route wieder. Wenn Agenten unterschiedliche Erfahrungen gemacht haben, kann auch das Routenergebnis unterschiedlich



sein, da Erfahrungen zur Bewertung der einzelnen Kanten verwendet werden. Danach fahren die Agenten die von Ihnen gewählte Route ab und zählen dabei einen Belastungszähler bei jedem Link hoch, den sie passieren. Sind Sie am Ziel angekommen, warten die Agenten, bis alle anderen Agenten ebenfalls angekommen sind. Der Weltagent berechnet dann aus den Kantenbelastungen die Reisezeiten auf den Kanten und teilt diese den Agenten mit, die Ihr Gedächtnis mit dieser Information aktualisieren. Danach beginnt die nächste Runde.

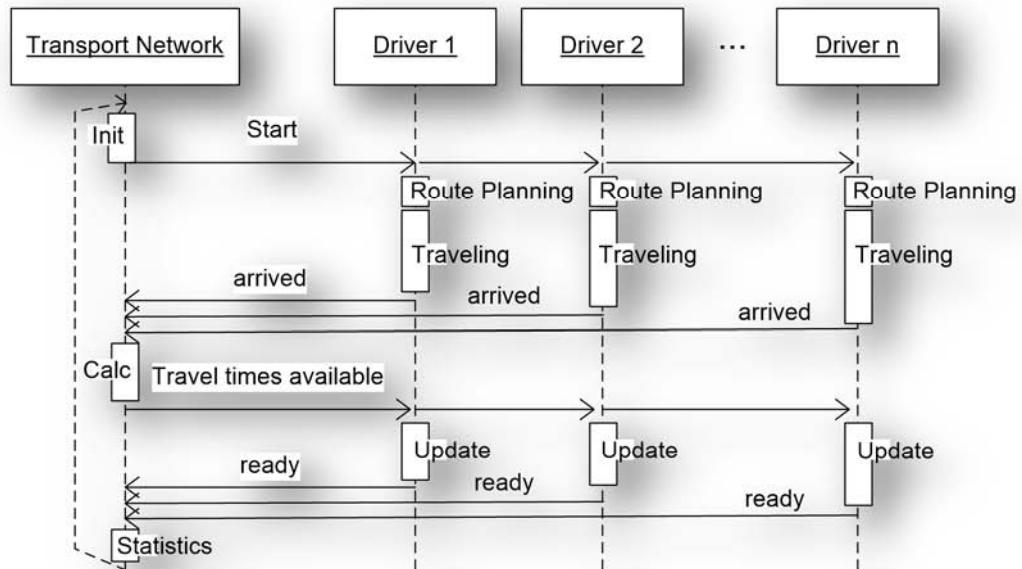


Abbildung 11: Interaktionen zwischen globalem Weltagenten und den simulierten Verkehrsteilnehmern.

SeSAM ist nicht auf Effizienz, sondern auf Benutzbarkeit optimiert, eine entsprechende Implementierung in Java könnte sicher Effizienzgewinne erzielen und damit grössere Szenarien behandeln. Trotz anfänglicher Skalierungsprobleme wurde SeSAM verwendet. Das Skalierungsproblem wurde im Laufe der Projektarbeit durch schnellere Hardware gelöst.

## 5 Analyse des Modells / Szenario Burgdorf

Ziel der durchgeführten Experimente war es, Belege für folgende Hypothesen zu finden:

- Das einfache agentenbasierte Modell ist auf ein realistisches Szenario anwendbar: Die Modus- und Routenwahl der individuellen Agenten sind plausibel. Gleichzeitig sind die sich daraus ergebenden Belastungen nicht schlechter als die, die über ein klassisches Umlagemodell berechnet wurden
- Die agentenbasierte Simulation der Modus- und Routenwahl macht einen Unterschied zur klassischen nicht agentenbasierten Verkehrsmodellierung: Verschiedene individuelle Entscheidungen können nachgebildet werden und haben einen Effekt auf die Ergebnisse, die das Modell produzieren kann.
- Durch agentenbasierte Simulation sind Fragen beantwortbar, die mit traditionellen Modellen nicht adressierbar sind. Das betrachtete Beispiel betrifft die Behandlung von spontanen Netzblockaden und die resultierenden Belastungen abhängig von der Positionierung von Information.

### 5.1 Grundlagendaten Burgdorf

Aus einem früheren Projekt wurden folgende Daten zur Verfügung gestellt:

- Das Strassennetz der Gemeinde Burgdorf (ca. 20 km östlich von Bern) besteht aus 535 Kanten, die alle für den IV und den Fussgängerverkehr zur Verfügung stehen.
- In das Strassennetz wurden 6 Buslinien integriert.
- Das aus den Teilnetzen kombinierte Netz besitzt 3460 Kanten und 755 Knoten.
- Aus der original zellbasierten OD Matrix wurde entsprechend des ebenfalls gegebenen Bifurcation Splits eine knotenbasierte Matrix verfeinert, die nicht nur Wege zwischen Zellen, sondern Wege zwischen Knoten annimmt. Sie bestand aus 2704 OD-Paaren, aus denen insgesamt 7511 Agenten erzeugt wurden. Aus dem Projekt waren Relationen auf der Zellebene bekannt. Zu den Ein- und Ausgängen der Zellen konnten OD-Paare auf Knotenebene erzeugt werden. Da die Originaldaten nur Individualverkehr beinhalteten, wurde bei einem angenommenen Modalsplit von 10% Fussgänger und 18% ÖV die Gesamtanzahl um 28% erhöht und somit 9592 Agenten simuliert. Der Modalsplit ist im Modell eine abgeleitete Grösse. Allerdings wurden dabei für alle OD-Paare gleichermassen die Anzahl der Agenten erhöht, nicht nur für OD-Paare, für die ein gutes öffentliches Angebot existiert. Es ist deshalb zu erwarten, dass sich automatisch ein etwas geringerer Anteil von Nutzern anderer Modi einstellt.

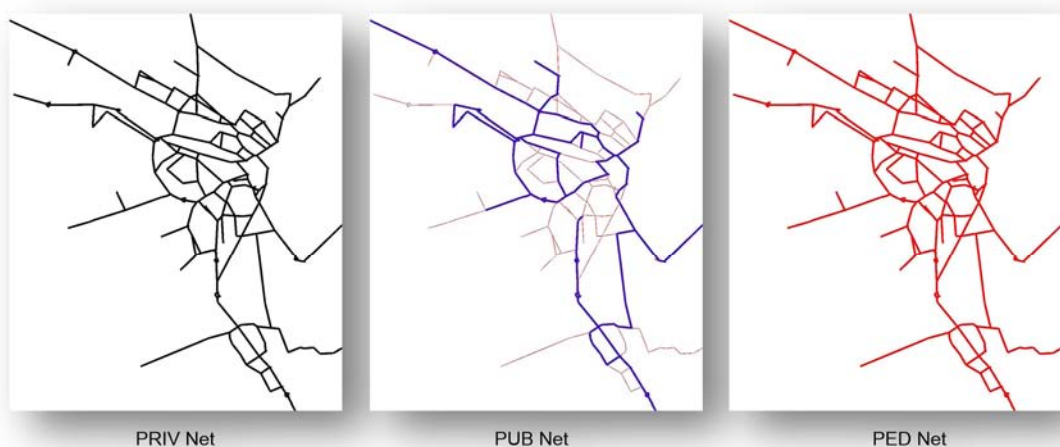


Abbildung 12: Die Netze der verschiedenen Modi in Burgdorf. "PRIV" stellt das Strassennetz für den Individualverkehr dar, das "PED" Netz rechts ist identisch damit. Die blauen Kanten im "PUB"-Netz in der Mitte zeigen das Netz der Buslinien in Burgdorf

## 5.2 Basisfunktionalität des Modells

Zunächst soll die Basisfunktionalität des Modells dargestellt werden. Mit den oben angegebenen Basiseinstellungen können folgende Ergebnisse erzielt werden:

### 5.2.1 Belastung der Streckenelemente und Fehler

Abbildung 13 zeigt, wie sich die Verteilung der Belastungen über die Iterationen verändert. In der ersten Iteration wählen fast alle Agenten den Modus PRIV, das heisst den privaten Individualverkehr. Dadurch, dass alle Agenten durch ihre letztendliche Reisezeit enttäuscht werden, wählen diejenigen, die eine neue Route wählen, einen anderen Modus oder eine andere Route. Die Darstellung in Iteration 1 zeigt, dass es vor allem der Modus des öffentlichen Verkehrs (in blau) ist. Von Iteration zu Iteration wird der Anteil des Öffentlichen Verkehrs geringer, die Änderungen sind nicht mehr so einfach auf den abgebildeten Karten zu erkennen.

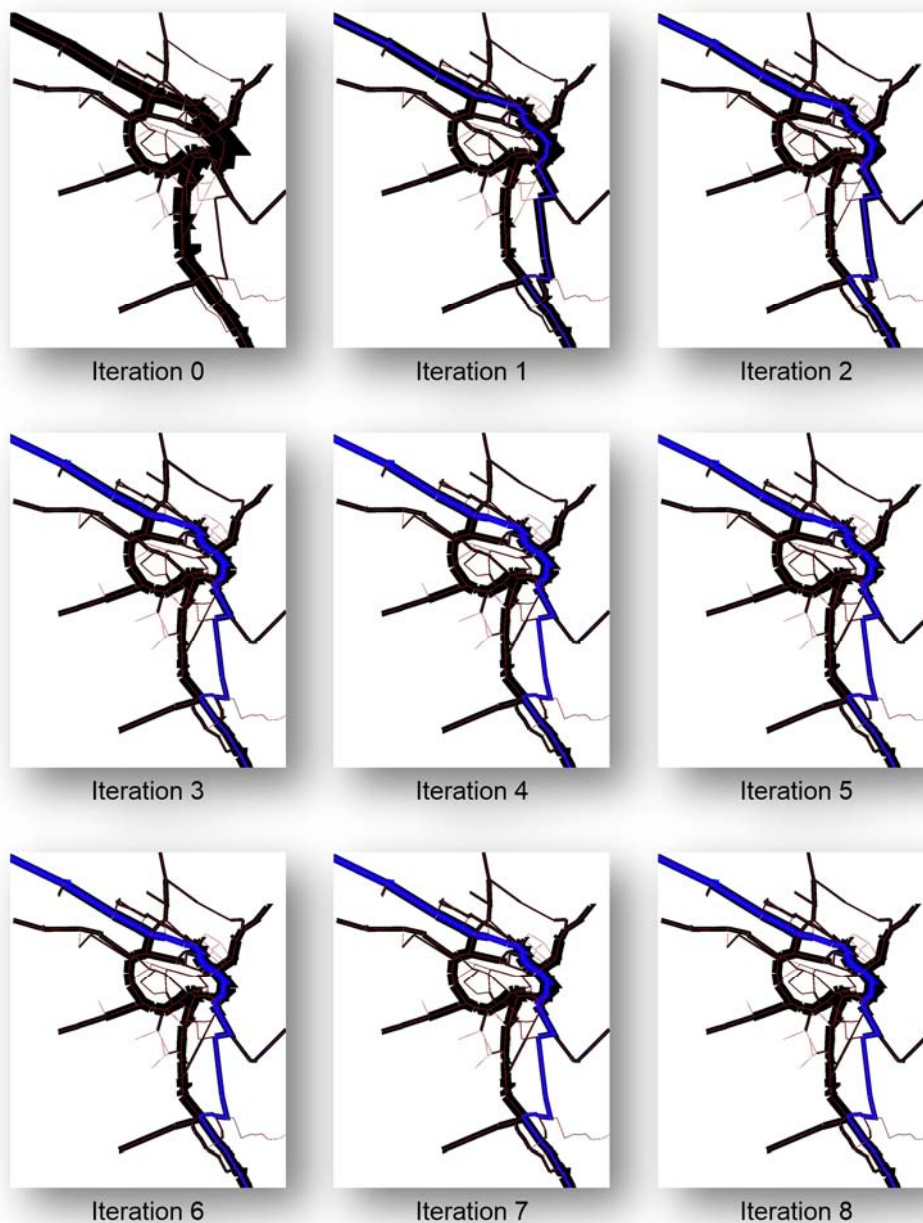


Abbildung 13: Belastungsänderungen über die verschiedenen Iterationen. Iteration 9 und 10 zeigt keinen Unterschied zu Iteration 8 mehr.

Abbildung 14 zeigt Belastung der Streckenelemente im Vergleich der verschiedenen Methoden. Sie zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der VISUM Umlegung und denen der Multiagentensimulation kein grosser Unterschied besteht. Im Netz der Multiagentensimulation sind ÖV-Fahrten blau dargestellt, in den anderen Netzen werden ÖV-Fahrten nicht erfasst. Fahrten des Individualverkehrs werden schwarz dargestellt. Im Netz der Multiagentensimulation überdeckt die Darstellung des ÖV die des IV. Man sieht darüber hinaus, dass nur für wenige Strecken Zähldaten verfügbar waren.

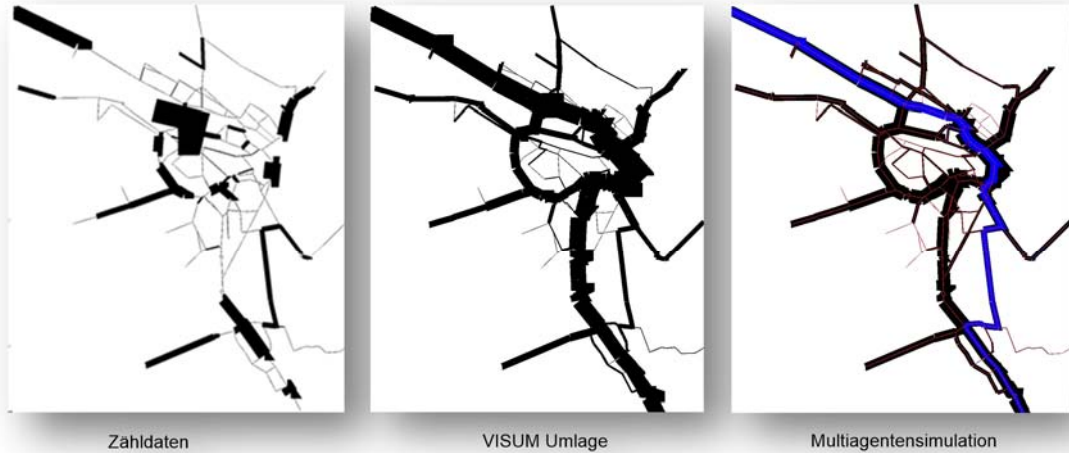


Abbildung 14: Vergleich der Belastungsdaten. Links die Zähldaten, mittig die Belastungen aus der VISUM-Simulation und rechts die Ergebnisse der Multiagentensimulation nach 10 Iterationen (Schwarz=Individual, Blau=Öffentlicher Verkehr). Die Dicke der Linien stellt die Belastung dar. Es sind massive Unterschiede zu bemerken: Segmente, die in den Zähldaten als sehr stark belastet dargestellt werden, sind in den Simulationsdaten kaum zu erkennen (werden nur als einfache Linie dargestellt).

Die angedeuteten Ergebnisse aus Abbildung 14 werden bestätigt, wenn man die Unterschiede konkret betrachtet. Wir benutzen den wie folgt berechneten absoluten Fehler:

$$absFehler_{data-sim} = \sum_{l \in Travellinks} \begin{cases} |dat_l - sim_l|, & \text{wenn } dat_l \neq 0 \\ 0, & \text{wenn } dat_l = 0 \end{cases}$$

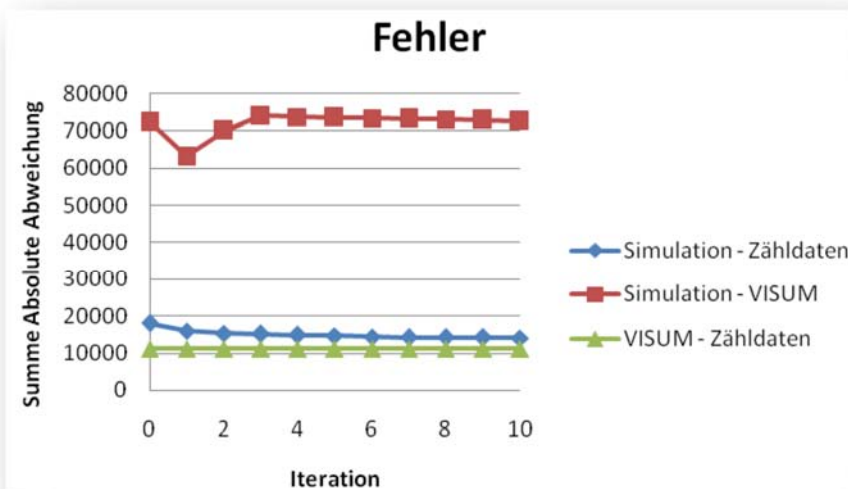


Abbildung 15: Abweichungen bei Standardeinstellungen - Summe der Abweichungen über alle Links.



Abbildung 15 zeigt die Entwicklung der Abweichungen über die Iterationen der Multiagentensimulation. Die Multiagentensimulation kann nicht so gut wie die VISUM Simulation die Zählraten reproduzieren. Bei der ersten Iteration ist die Abweichung doppelt so groß, im Laufe der Iterationen wird sie geringer. In Iteration 10 ist die Abweichung zwischen VISUM und den Zählraten etwa 80% der Abweichung zwischen Multiagentensimulations- und Zählraten. Es ist allerdings zu beachten, dass die Agenten nur ihre individuelle Reisezeit optimieren - also alleine auf ihr Nutzeroptimum hin ihre Routen berechnen. Die Relation zu Referenzdaten spielt bei den Iterationen keine Rolle.

Interessant ist zudem, dass die Abweichung zwischen VISUM-Daten und Daten aus der Multiagentensimulation dann am geringsten ist, wenn die Agenten auf der Basis der Freeflow-Geschwindigkeiten die kürzesten Wege berechnen. Die Werte der Abweichungen müssen hier höher sein als in Bezug auf die Zählraten, weil sehr viel mehr Kanten in die Abweichungsberechnung miteinbezogen werden können. Betrachtet man nur die Kanten, die auch für die Berechnung der Abweichung zu den Zählraten verwendet werden, liegt die Kurve deutlich unter den Abweichungen zwischen VISUM-Zählraten.

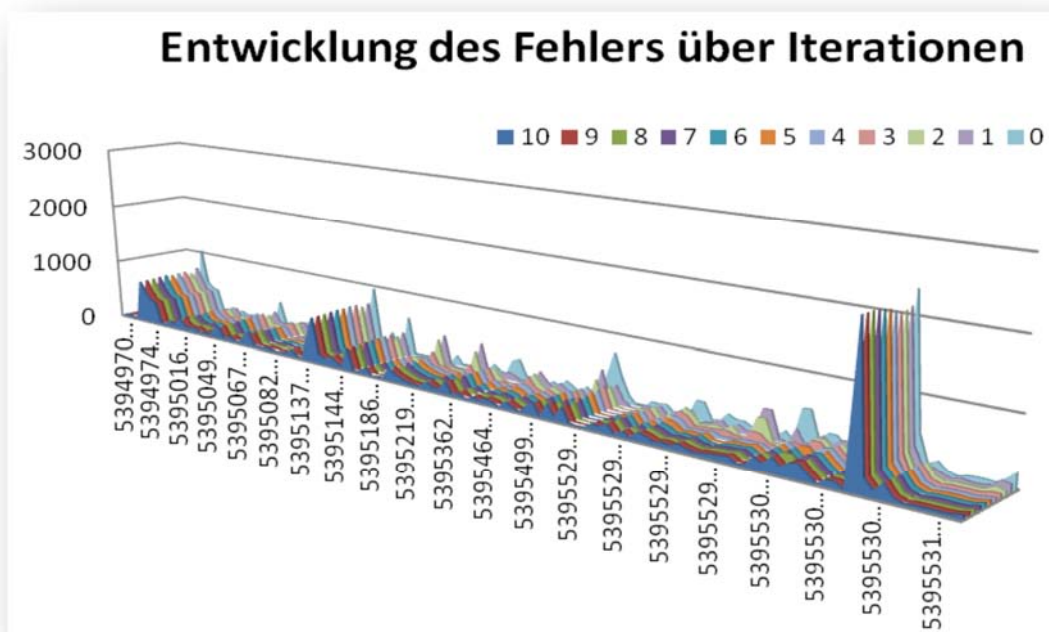


Abbildung 16: Entwicklung der Abweichung zwischen Zählraten und Multiagentensimulation für die Iterationen der Multiagentensimulation. Die Iterationsachse ist verkehrt dargestellt: die letzte Iteration ist vorne, die erste Iteration ganz hinten. Unter der Annahme dass die ersten Iterationen eine höhere Abweichung als spätere haben, sollte diese Einstellung die Darstellung besser übersehbar machen.

Betrachtet man die Abweichungen der verschiedenen Kanten genauer, stellt man fest, dass die hohen Abweichungen vor allem von wenigen Links verursacht werden. Dies kann man gut auf Abbildung 16 erkennen. Dort werden die absoluten Fehler zwischen Zählwerten und Belastungen aus der Multiagentensimulation in den unterschiedlichen Iterationen für die Kanten dargestellt, für die Zählraten existieren. Daneben sieht man auch, dass nur bei den ersten Iterationen Verbesserungen des Fehlers geschehen, was auf grundsätzliche Probleme bei der Berechnung der multimodalen Routen durch den Dijkstra, der Kostenfunktion oder der Eingangsdaten hinweist.

Zum direkten Vergleich haben wir eine einfache Umlegung implementiert, die exakt die gleichen Agentendaten im multimodalen Netz benutzt. Dabei berechnet ein Teil der Agenten den für sie schnellsten Weg, danach werden belastungsabhängige Daten berechnet, die ein weiterer Teil von Agenten als Basis für seine Routenzuordnung benutzt. Die Anteile werden entsprechend folgendem Schema gesetzt: 50%-20%-10%-10%-10%

### 5.2.2 Entwicklung der Reisezeit

Betrachtet man die Entwicklung der Reisezeiten, so kann man in der folgenden Abbildung sehen, dass sich in den Iterationen die Gesamtreisezeit verringert. In der Abbildung ist ebenfalls die Summe der erwarteten Reisezeit dargestellt. In der ersten Iteration erwarten die Agenten eine unbelastete Reisezeit, in späteren Iterationen sind die Agenten in der Summe pessimistisch und erwarten eine höhere Reisezeit als die, die sie dann tatsächlich erfahren. In Kapitel 5.3.2 werden alternative Konfigurationen des Updates untersucht.

Abbildung 17 gibt mehr Details zum Unterschied zwischen der Reisezeit, die der Agent auf Basis seines Gedächtnisses auf der geplanten Route erwartet hätte und der Reisezeit, die er tatsächlich erfahren hat. Das Bild von Abbildung 18 bestätigt sich: Am Anfang erwarten die Agenten eine zu geringe Reisezeit, da sie damit rechnen, mit der unbelasteten Geschwindigkeit zu reisen. Es ist dabei zu beachten, dass bei den Standardeinstellungen nur die Reisezeiten im Modus "Individualverkehr" belastungs-abhängig sind, bei Öffentlichem Verkehr und für Fußgänger wird Freeflow-Geschwindigkeit angenommen; In Kapitel 5.3.3 wird gezeigt, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn diese Annahme relaxiert wird.

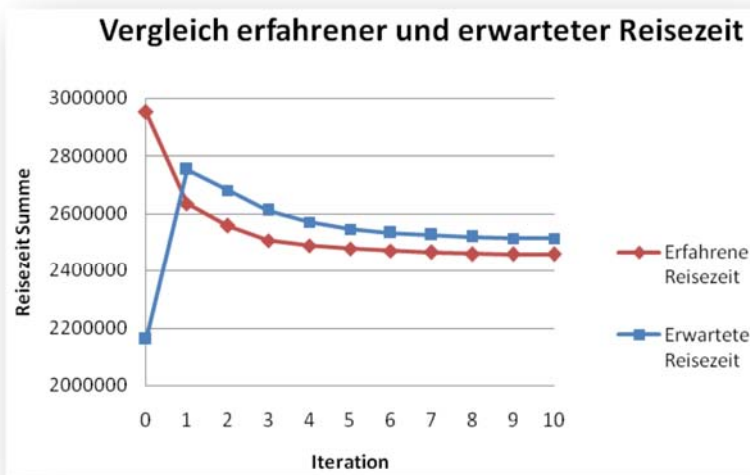


Abbildung 17: Entwicklung der Gesamtreisezeit - d.h. der Summe aller Reisezeiten über alle Agenten (Standardeinstellungen)

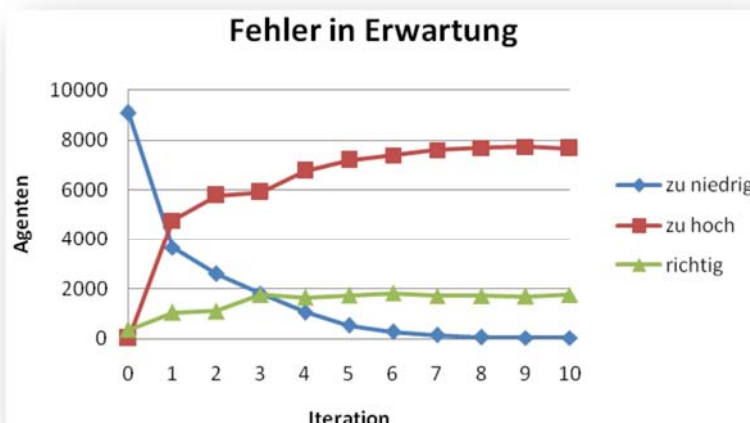


Abbildung 18: Anzahl der Agenten, bei denen die erwartete Reisezeit niedriger ("zu niedrig"), höher ("zu hoch") oder richtig eingeschätzt war (Standardeinstellungen).

Allerdings muss man bemerken, dass das Burgdorf Netz nur bedingt geeignet ist, die Fähigkeiten von Agenten bei der Reisezeitoptimierung zu zeigen - Es gibt nur wenige Agenten, die über mehrere echte Alternativrouten verfügen. Die Spanne der Reisezeiten - minimal und maximal erfahrene bei allen Agenten - die ja jeweils genau ein OD-Paar besitzen - liegt zwar bei maximal 405 Sekunden, allerdings tritt dieser Wert nur einmal auf. Abbildung 19 zeigt die Häufigkeitsverteilung der maximalen Unterschiede bei den individuellen Reisezeiten - berechnet als die maximale Reisezeit minus die minimale Reisezeit eines Agenten während der Iterationen. Man beachte auch, dass es Agenten gibt, die mangels Alternativroute und wegen ihres gewählten Modus keinerlei Änderung in den Reisezeiten erfahren und so auch keinen Anlass haben von dem von ihnen gewählten kürzesten Weg abzuweichen, bzw. auch Alternativrouten keine Verbesserung bringen.

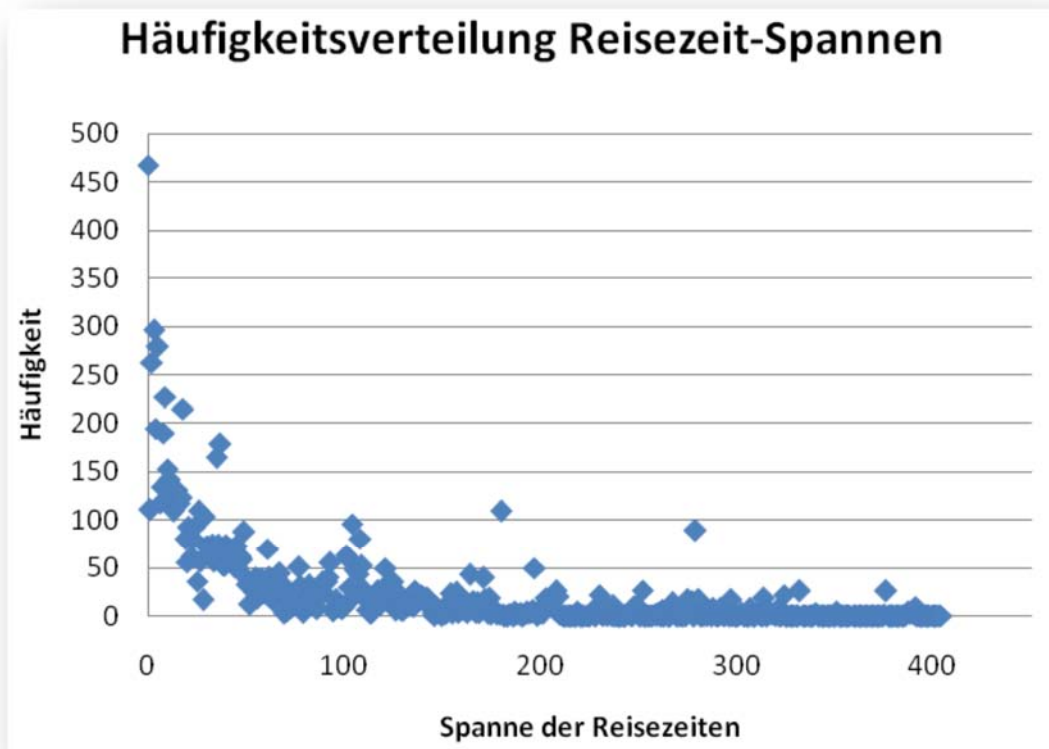


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der Reisezeiten-Unterschiede der individuellen Agenten. Man muss dabei beachten, dass die Anzahl der Agenten mit bestimmten OD-Kombinationen sehr unterschiedlich sein kann.

### 5.2.3 Netzkenntnis

Die Erfahrung der Reisezeiten kann auch unterschiedlich sein, wenn der Agent niemals seine gewählte Route ändert, weil er keine echte Alternativroute identifizieren kann. Demzufolge ist es interessant, zu analysieren, wie sich die Kenntnis des Netzes über die Iterationen verändert.

Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der Netzkenntnis über die Iterationen. Die Erweiterung entsteht nur dadurch, dass Agenten Routen über bisher unbekannte Kanten planen, von denen sie annehmen, dass es schneller als die bisher gefahrene Route ist. Die Graphik zeigt wieviel Prozent aller Agenten ihre Netzkenntnis nicht verbessert haben, bis hin zu Agenten, die mehr als doppelt so viele Links kennen im Vergleich zur initialen Route.

Man sieht, dass es einen relativ hohen Anteil von Agenten gibt - 2971 Agenten, die in keiner der Iterationen eine neue Route ausprobieren, da es - trotz mehr oder weniger guter Erfahrungen - keine Alternative gibt. Nur etwa 14 Prozent der Agenten können ihre Netz-

kenntnis mehr als verdoppeln. Dies zeigt, dass das Netz insgesamt eher begrenzte Alternativen bereitstellt. Dies zeigt auch, dass eine klassische Herangehensweise auf der Basis einer Menge von vordefinierten Routenoptionen, die die Agenten wiederholt bewerten und auswählen, nur begrenzt sinnvolle Ergebnisse liefern kann.

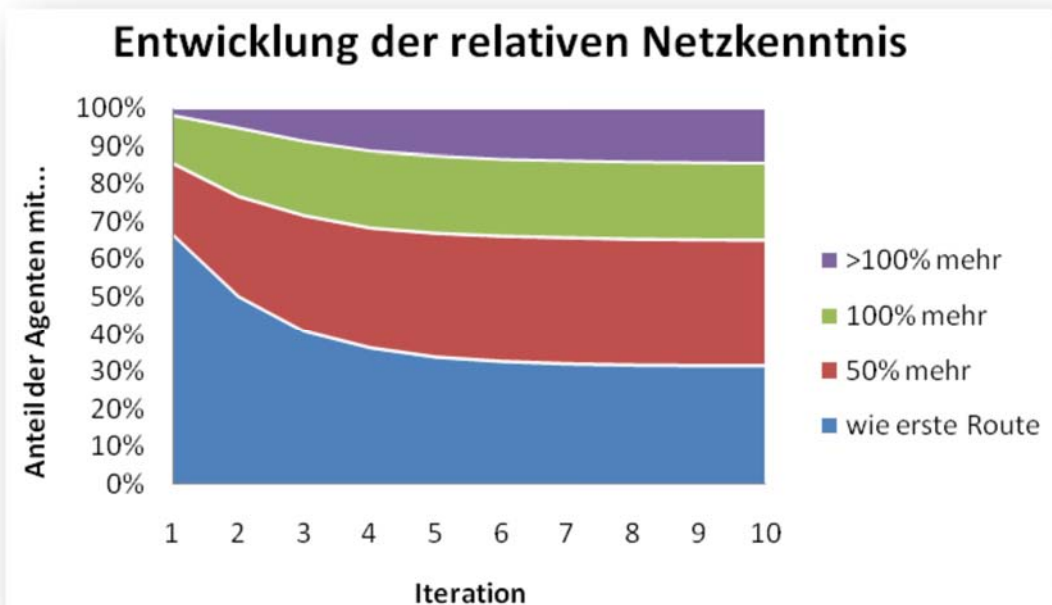


Abbildung 20: Entwicklung der Anteile von Agenten mit gegebenem Verhältnis: „Anzahl bekannter Links / durch Routenlänge der ersten Route“. Keine Veränderung bedeutet, dass die Agenten immer die initiale Route benutzen. „>100% mehr“ bedeutet, dass die Agenten in der jeweiligen Iteration mehr als doppelt so viele Streckenabschnitte ausprobiert haben als sie initial kennengelernt haben.

#### 5.2.4 Individualebene

Die Multiagentensimulation hat den Vorteil, dass die Simulationsergebnisse nicht nur auf Makroebene, sondern auch auf der individuellen Ebene analysiert werden können.

Auf Individualebene verbessern die Agenten nicht bei jedem Versuch ihre Reisezeiten - obwohl sie in jeder Iteration den entsprechend ihres Wissensstandes die beste/ schnellste Route berechnen. Dies wird in Abbildung 20 und Abbildung 21 illustriert. Es wird für jeweils einen ausgewählten Agenten die pro Iteration gewählte Route und die dabei gemachten Reisezeiterfahrung dargestellt. Beide Agenten besitzen die gleiche Kombination aus Start und Ziel. Der einzige nicht-deterministische Faktor ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Agent seine letzte Route nochmal fährt. Wenn der Agent eine neue Route wählt, nimmt er für Strecken, für die er keine Erfahrung besitzt, die minimale Reisezeit an, die sich aus der Geschwindigkeit bei freiem Fluss bestimmt.

Solange es also Strecken gibt, von denen sich der Agent eine Reisezeitverbesserung verspricht, wird der Agent die unbekannteren Strecken ausprobieren - wobei Strecken hier auch neue Modi beinhaltet.

Die Entscheidungsträgheit der Agenten sorgt dafür, dass sie unterschiedliche Erfahrungen sammeln und so Kanten unterschiedlich bewerten. So hat Agent Nr. 8a2 (Abbildung 20) während der ersten beiden Iterationen schlechte Erfahrungen auf den einzelnen Streckenelementen gemacht, dass es für ihn günstiger schien auf den Bus auszuweichen. Agent 889 (Abbildung 21) dagegen wartet eine Iteration länger bis er eine neue schnellste Route berechnet und versucht eine neue Route wiederum mit dem Auto. Die erwartete Reisezeit bestimmt die Routenentscheidung, die tatsächlich erfahrene Reisezeit kann von der Erwartung abweichen.



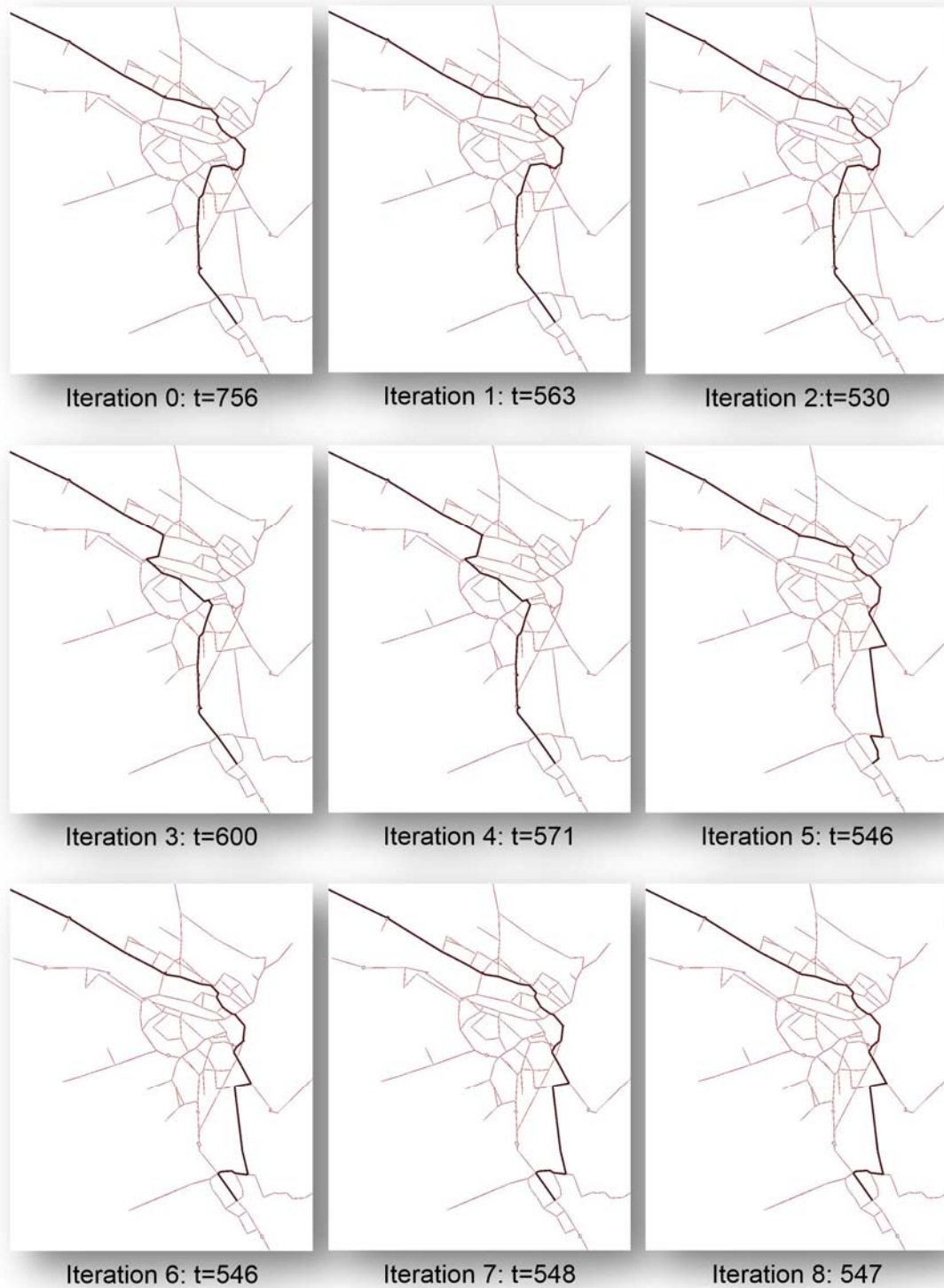


Abbildung 21: Informationen zu der Routenplanung und der erfahrenen Reisezeit des Agenten Nr. 889 (Standardeinstellung, d.h.  $p_{kor}=0,5$ ).

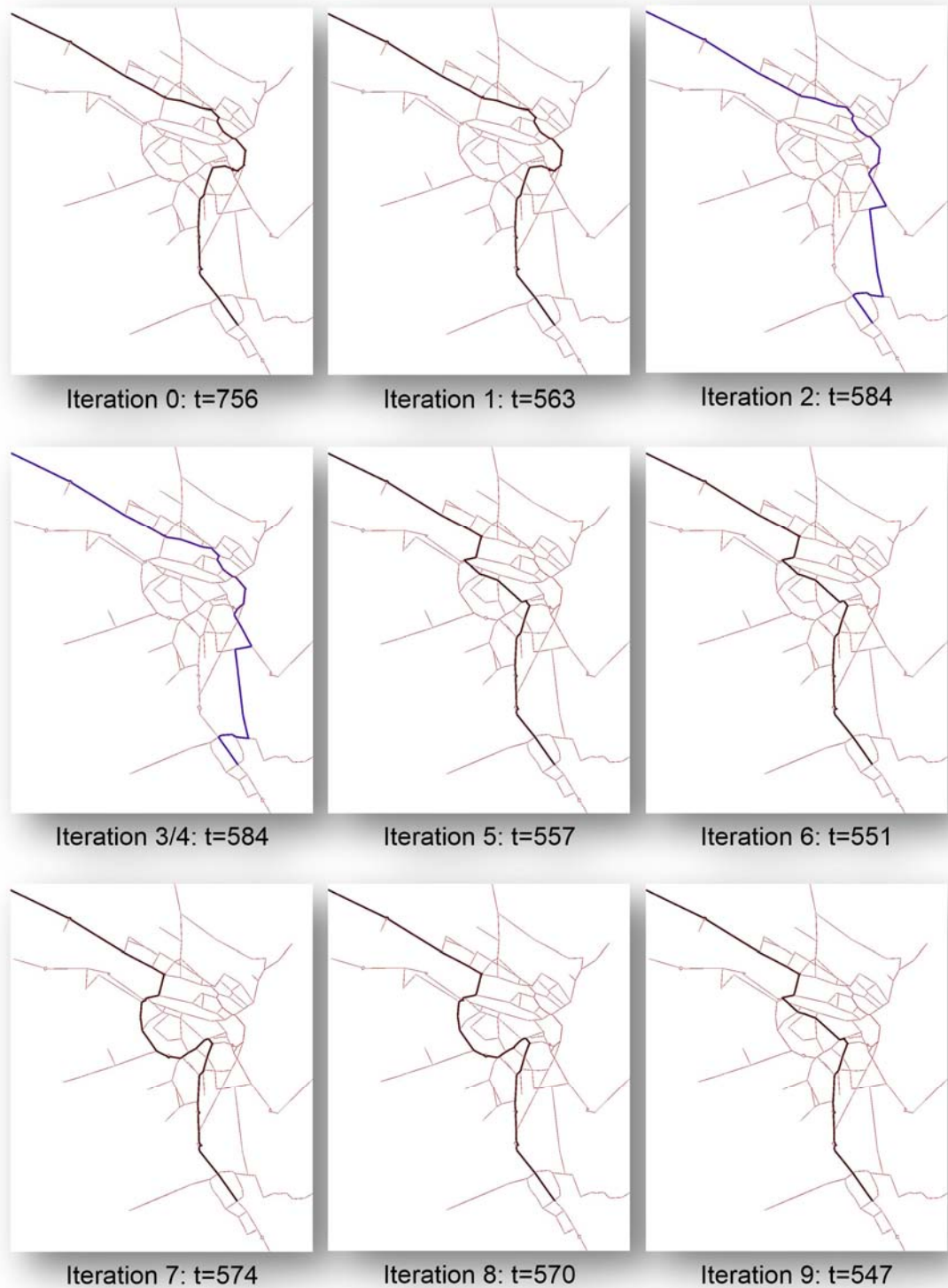


Abbildung 22: Informationen zu der Routenplanung und der erfahrenen Reisezeit des Agenten Nr. 8a2 (Standardeinstellung, d.h.  $p_{kor}=0,5$ ). Schwarz sind IV-Kanten, Blau sind ÖV-Kanten

### 5.2.5 Modalsplit

Zuletzt soll die Entwicklung des Modalsplits über die verschiedenen Iterationen betrachtet werden. Abbildung 23 zeigt jeweils die Anzahl an Agenten, die verschiedene Modi benutzen. Man beachte den Achsenausschnitt, es werden nicht die vollen 100% dargestellt. Der Maximalwert an reinem ÖV-Benutzungsanteil liegt in Iteration 10 bei 8,3%, nimmt man die

multimodalen Routen hinzu, sind es etwa 10% der Agenten, die zumindest teilweise öffentlichen Verkehr benutzen. Etwa 77% der multimodalen Routen sind Park&Ride; die anderen kombinieren fast ausschliesslich Öffentlichen Verkehr mit zu Fuss gehen. Der Modalsplit hier ist eine rein abgeleitete Grösse: Wir haben keinerlei Prädisposition für die Benutzung von öffentlichem Verkehr vorgeben. Das bedeutet, dass Agenten mit OD-Kombinationen, für die ein gutes Angebot in der Simulation existiert, automatisch eine höhere Tendenz haben sollten, Busse, etc. zu nutzen. Agenten ohne entsprechendes Angebot werden die Nutzung des öffentlichen Verkehrs gar nicht in Erwägung ziehen. Wir erwarteten einen etwas geringeren Anteil an Nutzern alternativer Modi als wir bei der Erhöhung der Agentenzahlen verwendeten (siehe Abschnitt 5.1.), da die Agentenzahlen für alle OD-Paare erhöht wurden und nicht nur diejenigen mit einem guten ÖV-Angebot.

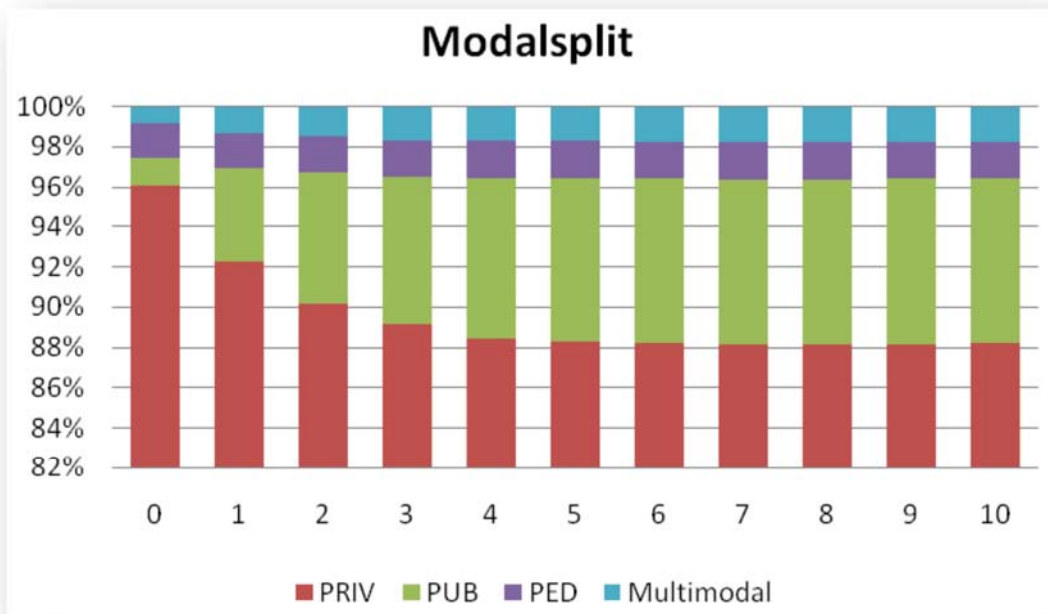


Abbildung 23: Anteil der Agenten, die die unterschiedlichen Modi - auch gemischt - benutzen und die Veränderung der Anteile während der Iterationen. (Standardeinstellungen).

Es gibt verschiedene Gründe für den unrealistischen Modalsplit: Zum einen ist das Netz zu klein: die Zeit, die notwendig ist, das gesamte Netz mit dem Auto zu durchfahren ist, ist zu gering und kann nur in wenigen Fällen Wartezeiten auf den Bus kompensieren. In der Standardkonfiguration haben wir mit 90 Sekunden Wartezeit auf den Bus, sowie 10 Sekunden zum Einsteigen in das Auto und 60 Sekunden für Parkplatzsuche und Aussteigen, den Modus Individualverkehr leicht bevorzugt, obwohl die Wartezeit auf den Bus recht günstig ist. In Abschnitt 5.3.4 werden diese Übergangskosten variiert.

Ein weiterer Grund liegt in den vergleichsweise geringen Belastungseffekten auf die Reisezeiten: Die Anzahl der Agenten wurde auf der Basis der Eingabedaten des VISUM-Modells berechnet und ist insgesamt zu gering, um – bei Verwendung der BPR-Funktionen – massive Effekte auf die belastungsabhängigen Reisezeiten zu haben. Der am meisten belastete Link 539501788 (Länge etwa 34m) hat in der Simulation, Iteration 10, eine Belastung von 1'069 Agenten - dies erhöht die Reisezeit auf dem Link auf 4,1 Sekunden in Relation zu 2,7 Sekunden im unbelasteten Fall. Ebenso mussten Widerstände an den Knoten mangels Daten ignoriert werden. Das bedeutet, dass Belastungseffekte für den Individualverkehr insgesamt unterschätzt werden. Dies verringert die Motivation der Agenten auf Öffentliche Verkehrsmittel auszuweichen.

## 5.3 Sensitivität der Modellergebnisse

Das Modell wird über eine Reihe von Parametern gesteuert, die im Abschnitt 4.7 zusammengefasst wurden. Dort findet man auch die Einstellungen, mit denen die oben dargestellten Ergebnisse erzeugt wurden.

Es bleibt im Folgenden zu untersuchen, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn alternative Werte für die Parameter gewählt würden. Wir beginnen mit internen Parametern des Agentenverhaltens, um dann den Einfluss von Annahmen in den Eingabedaten zu testen.

### 5.3.1 Abhängigkeit vom Trägheitsparameter bei der Routenentscheidung

Ein erster Parameter ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Agent vor jeder Fahrt entscheidet, ob er die letzte Route nochmal wiederholen will oder eine neue Route berechnet. Ziel des Parameters war es, eine Art Trägheit in den Entscheidungen zu modellieren, die einen Ping-Pong Effekt vermeidet und den Agenten dazu bringt mehr Erfahrungen auf einer initial „schlechten“ Route zu machen. Wird der Parameter auf 0 gesetzt, berechnet der Agent in jeder Runde neu, und macht - zusammen mit allen anderen die ebenfalls eine neue Route suchen wiederholt schlecht Erfahrungen, weil alle auf gleichen Streckenabschnitte ausweichen.

Die Einführung des Parameters ist auch dem sogenannten Explore-Exploit Dilemma geschuldet, das im Bereich der Lernverfahren für Agenten wohl bekannt ist: Ein lernender Agent steht in jedem Entscheidungszyklus vor der Frage, ob er bereits gelerntes Wissen benutzen oder weiterhin experimentieren und (üblicherweise) eine zufällige – und eventuell schlechte – Entscheidung treffen soll. Eine zufällige Auswahl einer Aktion kann für die Agenten hier nicht umgesetzt werden, da sie keine Liste von möglichen Optionen verwalten, sondern eine Route mit ihren jeweiligen mentalen Reisezeitmodellen berechnen. Eine zufällige Folge von Streckenabschnitten macht wenig Sinn. Ein Ausnutzen der Erfahrung entspricht so der Entscheidung, eine Route zu verwenden, die nach dem aktuellen Erfahrungsstand die optimale ist; das Wiederholen der Route stellt an sich keine adäquate Umsetzung des zufälligen Experimentierenschrittes, ist aber eine bewusste Entscheidung für eine gegebenenfalls schlechtere Route. Weil diese Idee nicht wirklich eine Strategie für das Lösen des Explore-Exploit Dilemmas entspricht, wurde ein weiterer Mechanismus eingeführt, der die Integration von neuen Erfahrungen flexibilisiert (siehe Abschnitt 5.3.3).

In den Standardeinstellungen wird ein Wert 0,5 verwendet, so dass bei 10 Iterationen, im Mittel jeder Agent 5-mal eine komplett neue Route berechnet. Wir haben weitere Werte getestet.

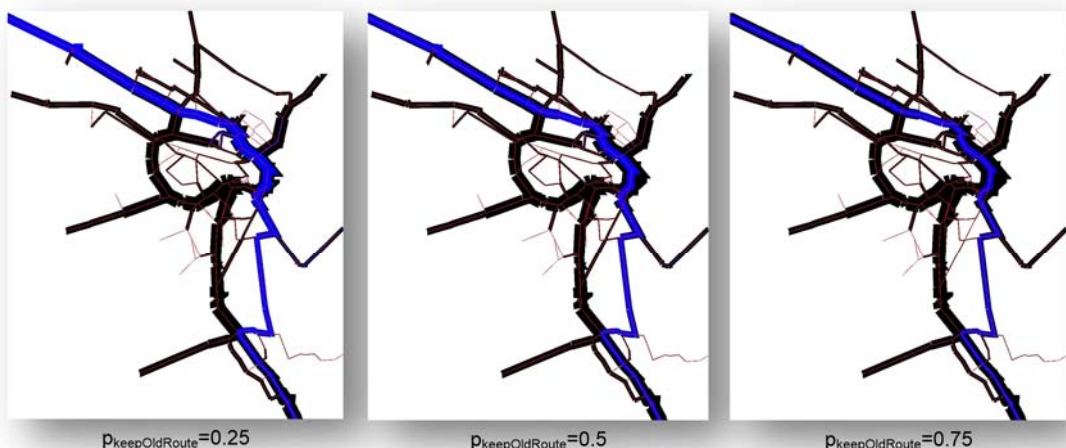


Abbildung 24: Effekt der Entscheidungsträgheit (Wahrscheinlichkeit, die letzte Route erneut zu verwenden) auf die Netzbelastung



In der obigen Abbildung werden die Belastungen nach der letzten Iteration mit einer  $p_{\text{keepOldRoute}}=0,25$  (in 3/4 aller Fälle wird eine neue Route berechnet),  $p_{\text{keepOldRoute}}=0,5$  (Standardfall) und  $p_{\text{keepOldRoute}}=0,75$  (in jeder 4. Iteration) wird eine neue Route bestimmt. Bei der Simulation mit  $p_{\text{keepOldRoute}}=0,75$  ist die Anzahl der Iterationen höher - 15 Iterationen statt 10 - um sicherzustellen, dass die Agenten ihre Route auch wirklich adaptieren können. In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass diese erhöhte Anzahl Iterationen für eine stabile Belastung der Strecken notwendig ist.

Auf den meisten Strecken scheint der Parameter nur geringen Einfluss auf die Belastung zu haben. Es gibt einige wenige, generell stark belastete Strecken, auf denen ein höherer Trägheitsparameter einen höheren Anteil von öffentlichem Verkehr zur Folge hat. Die folgenden Abbildungen zeigen, dass der Parameter insgesamt aber nur geringe Effekte auf die Validität der Simulationsläufe hat: siehe dazu den Vergleich der Abweichungen von den Zähldaten (Abbildung 25) als auch von den VISUM Simulationsergebnisse (Abbildung 26).

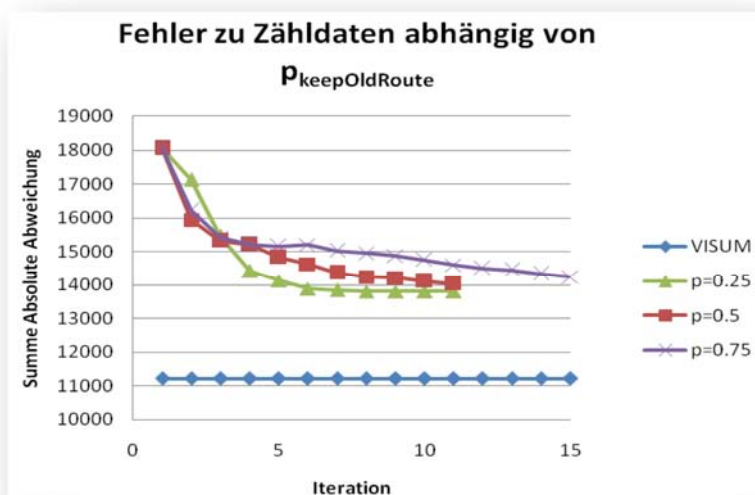


Abbildung 25: Abhängigkeit des Fehlers zu Zähldaten und Entscheidungsträgheit der Agenten

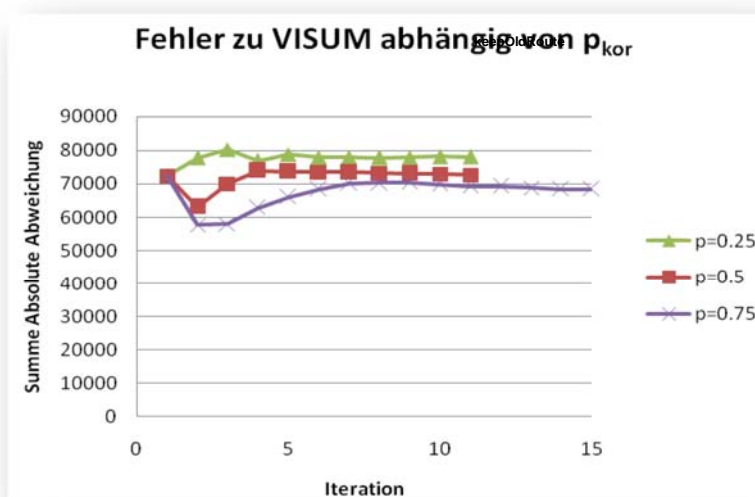


Abbildung 26: Abhängigkeit des Fehlers zu den Ergebnissen der VISUM-Simulation von der Entscheidungsträgheit der Agenten

Man kann das Dilemma recht gut erkennen: weniger Wechsel ermöglichen es den Agenten mehr Erfahrungen auf den von ihnen gewählten Streckenabschnitten zu gewinnen. Der Fehler zu den VISUM-Daten ist dann am geringsten, wenn die Agenten den schnellsten Weg ohne Berücksichtigung etwaiger Belastungen wählen. Wie oben sind die Unterschiede durch die Eingabedaten, die für die Verwendung in der agentenbasierten Simulation modifiziert werden mussten, erklärbar. Wir testeten weitere Werte des Parameters mit einer früheren Version des Modells, die Ergebniskurven liegen entsprechend, weshalb wir für den Bericht darauf verzichtet haben, Zwischenwerte nochmals zu simulieren.

Im Folgenden sollen die Effekte des Parameters auf die direkten Ergebnisse des Modells untersucht werden. Dabei behandeln wir den Effekt auf die simulierte Reisezeit, als auch den Effekt auf den simulierten Modalsplit. Es wurden dabei homogene Parameterwerte getestet (0.25, 0.5 und 0.75) und zusätzlich eine heterogene Variante, bei der jedem Agenten ein zufälliger Wert gleichverteilt zwischen 0 und 1 zugewiesen wurde (0-1).

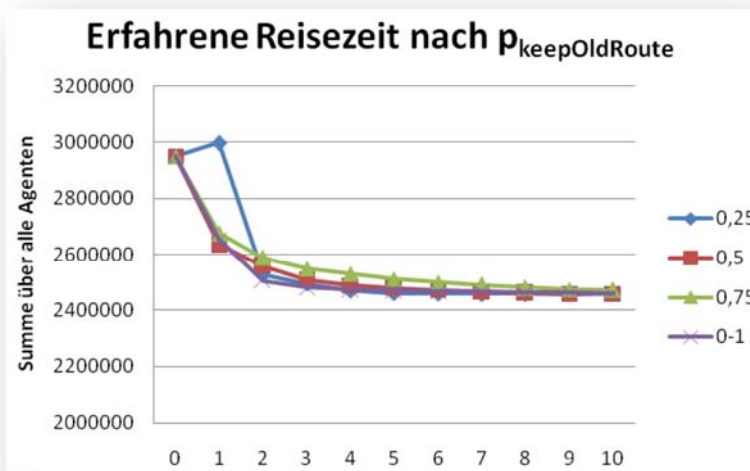


Abbildung 27: Abhängigkeit des Fehlers zu Zahldaten von der Entscheidungsträgheit der Agenten. Es werden drei homogene Situationen dargestellt:  $p_{\text{keepOldRoute}}$  gleich 0.25, 0.5 oder 0.75 und eine heterogene Situation, in der dieser Parameter gleichverteilt zwischen 0 und 1 (inklusive) für jeden Agenten individuell gesetzt wird.

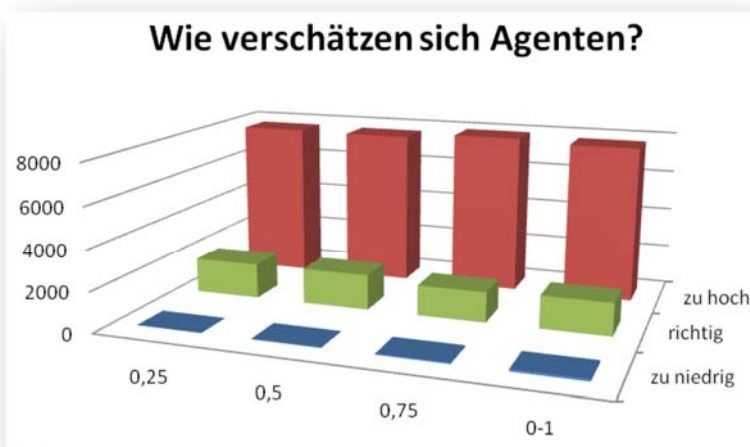


Abbildung 28: Effekt des Parameters  $p_{\text{keepOldRoute}}$  auf den Unterschied zwischen erwarteter und erfahrener Reisezeit. Es sind die Daten der letzten Iteration angegeben.

Es zeigt sich, dass nach einem anfänglichen Effekt die Reisezeiten in späteren Iterationen keinen entscheidenden Unterschied mehr aufweisen. Mit einer höheren Trägheit ( $p_{\text{keepOldRoute}} = 0,75$ ) ist eine langsamere Optimierung zu beobachten, die auf der gleichen Asymptote endet. Auch die Darstellung wie gut die Agenten ihre Reisezeit vorhersehen können - d.h. wie gut die an den subjektiv von den Agenten gespeicherten Erfahrungen zukünftige Reisezeiten widerspiegeln - zeigt ein einheitliches Bild. Der einzige Unterschied, der leider in Abbildung 28 - siehe dazu Tabelle 4- nicht erkennbar ist, ist der Anteil derjenigen, die die Reisezeit zu niedrig einschätzen.

**Tab. 3** Effekt des Parameters  $p_{\text{keepOldRoute}}$  auf den Unterschied zwischen erwarteter und erfahrener Reisezeit. Es sind die Daten der letzten Iteration angegeben

Verschätzung in der letzten Iteration	0,25	0,5	0,75	0 - 1
zu niedrig	1	38	58	107
Richtig	1'745	1'755	1'500	1'612
zu hoch	7'724	7'677	7'911	7'751

Zusätzlich zu den homogenen Werten wurde getestet, ob heterogene Werte -- gleichmäßig zwischen 0 und 1 verteilt - einen Effekt auf die tatsächlichen und die erwarteten Reisezeiten haben. In Abbildung 27 ist erkennbar, dass Heterogenität bei der Trägheit der Agenten in der Summe keinen Effekt hat. Beim Vergleich zwischen erfahrener und erwarteter Reisezeit ist es anders, der Anteil der Agenten, die eine kürzere Reisezeit erwarten als sie dann tatsächlich benötigen ist höher, dennoch verschwindend gering.

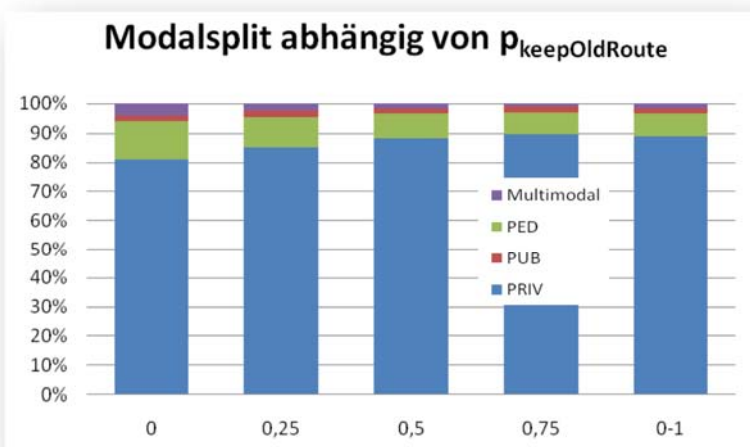


Abbildung 29: Effekt des Parameters  $p_{\text{keepOldRoute}}$  auf den Modalsplit

Abbildung 29 zeigt, dass der Parameter zur Entscheidungsträgheit nur geringen Effekt auf den Modalsplit hat. Die heterogenen Parameter -- jeder Agent besitzt einen individuellen Wert -- mitteln sich zum Mittelwert 0.5 aus. Mit erhöhter Trägheit scheint sich eine Tendenz zu mehr Individualverkehr auszuprägen. Diese Tendenz ist minimal. 96% der Agenten wählen in der ersten Iteration den Modus "PRIV" - also das Auto. Die Einsteigekosten für den Öffentlichen Verkehr sind höher, das Netz für die Autofahrer ist dichter und der Bus fährt nicht schneller als die Geschwindigkeit des freien Flusses. Wegen dem hohen Anteil am Anfang, bleibt bei einer geringeren Tendenz eine neue Route zu wählen, der Autofahreranteil entsprechend hoch. Obwohl die Simulationen ohne Trägheit bei der Agentenentscheidung in den Iterationen einen negativen Pingpong-Effekt zeigt und auch die Gesamt-Reisezeiten auch gegen Ende der Simulation weit über den anderen Konfigurationen liegen, wurde in Abbildung 29 auch diese Werte gezeigt, um den Effekt klarer hervorzuheben.

### 5.3.2 Effekt von subjektiver Reisezeiterfahrungen

Der hohe Anteil von Agenten, die falsche Erwartungen an ihre Reisezeit haben, deutet an, dass die Agenten fehlerhafte Information zur Routenwahl benutzen. Deshalb stellt sich die Frage, welchen Effekt das individuelle Wissen um Reisezeiten auf den einzelnen Links tatsächlich hat.

Zunächst soll der Effekt auf den Fehler der Simulation sowohl in Bezug auf die Zähl-daten als auch in Bezug auf die VISUM Ergebnisse betrachtet werden:

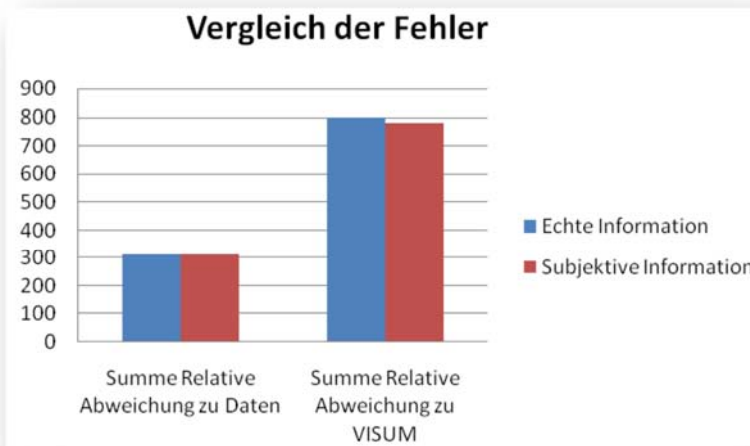


Abbildung 30: Fehler nach der 10. Iteration, wenn die Agenten die letzte tatsächliche Reisezeit auf einem Link statt ihrer individuellen Erfahrung für die Routengenerierung benutzen

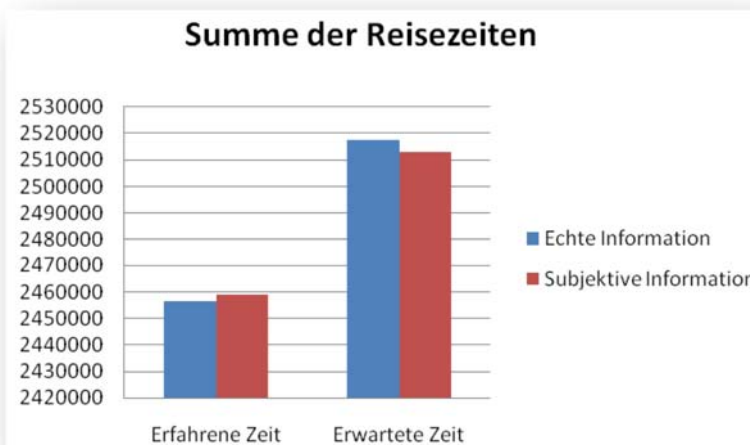


Abbildung 31: Summe der Reisezeiten aller Agenten nach der 10. Iteration im Vergleich der Routengenerierung mit echter Information oder Erfahrungswerten

Bei der kantenweisen Betrachtung der Abweichungen zwischen der unserer Simulation und den gegebenen VISUM-Daten und den Zähl-daten, lässt sich kaum Unterschied zwischen der Simulation mit und ohne objektive Information feststellen. Die VISUM-Daten werden minimal besser reproduziert - aber beachtet man, dass diese Daten eine Summe über 536 Kanten darstellen, scheint dieser Unterschied vernachlässigbar. Ein ähnliches Bild zeigen auch die anderen Analyse Metriken (vgl. vorherige Abbildung).



Man beachtet die Skala der Y-Achse - auch bei den tatsächlich erfahrenen und bei der Verschätzung sind die Unterschiede marginal. Interessant ist, dass die Agenten die ihre subjektive Erfahrung benutzen, um eine Route zu generieren zwar länger brauchen, aber ein wenig besser ihrer Reisezeit vorhersagen können.

Allerdings zeigt Abbildung 32, dass es keinen grossen Unterschied macht, auf der Basis welcher Information die nächste Route gewählt wird. Während in den ersten Iterationen noch grössere Unterschiede - die Abbildung zeigt die Summe der Absolutwerte der Differenz auf dem gleichen Link - zwischen den Iterationen bestehen, ist in den späteren Iterationen kein Unterschied mehr bemerkbar. Das gilt sowohl für den Fall, in dem die Agenten auf der Basis der echten Information fahren als auch wenn die Agenten die Werte aus dem Kartengedächtnis abfragen.

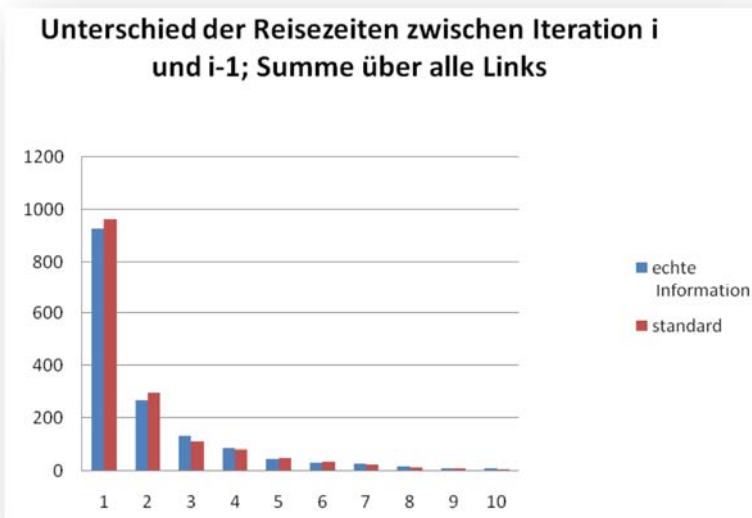


Abbildung 32: Unterschiede zwischen den tatsächlichen Reisezeiten auf den Links in Iteration n-1 und Iteration n.

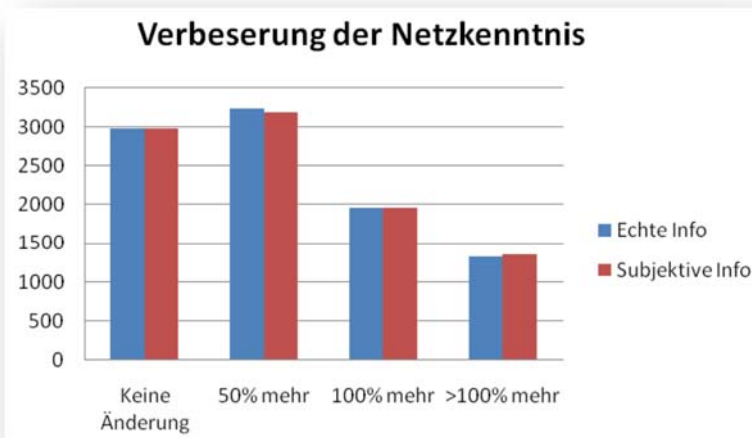


Abbildung 33: Anzahl bekannter Links in Relation zur Länge der ersten Route im Vergleich wenn die Routen mit echter Information oder Erfahrungswerten generiert werden

Ebenso wie bei den anderen Analyse Metriken, muss auch die Frage, ob die Agenten subjektives Wissen oder die zuletzt auf einem Link tatsächlich erzielte Reisezeit einen Einfluss

auf die Kenntnis des Netzes haben, mit nein beantwortet werden. Die vorherige Abbildung 33 illustriert, dass nur sehr kleine Unterschiede, die keinem Muster folgen erkennbar sind.

Das gleiche gilt für den Modalsplit, wie Abbildung 34 zeigt. Man sieht, dass es bestenfalls marginale Unterschiede bei den Ergebnissen der Simulation gibt, bei denen die Agenten mit individuellen Erfahrungen oder mit tatsächlicher Reisezeit entscheiden. Dies ist ein Ergebnis, das sich ganz klar von den Ergebnissen mit künstlichen Szenarien unterscheidet - z.B. in [Klügl et al, 2003], in deren Untersuchungen Informationen mit unterschiedlicher Qualität einen grossen Effekt hatten. Der Grund dafür könnte darin liegen, dass Reisezeiten auf Links sich kaum wiederholen. Die Frage, die sich als nächstes stellt ist welchen Effekt hat es, wenn Information im Gedächtnis der Agenten anders verarbeitet wird. Dies soll im Folgenden betrachtet werden.

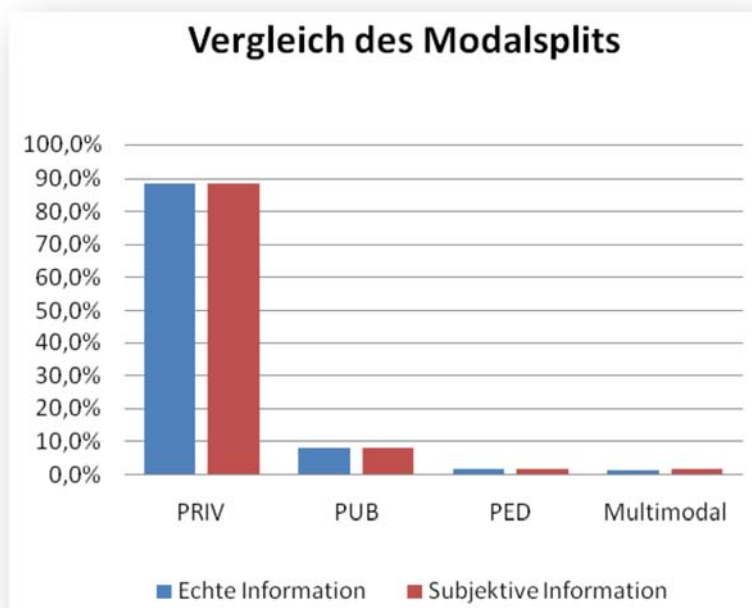


Abbildung 34: Modalsplit im Vergleich wenn die Routen mit echter Information oder Erfahrungswerten generiert werden

### 5.3.3 Abhängigkeit vom Gewicht neuer Information in Relation zu alter Information

Die Ergebnisse, die im letzten Teilkapitel dargestellt wurden, deuten an, dass es keine Rolle spielt, welche Information die Agenten für die Generierung ihrer Routen benutzen. Wir haben dennoch getestet, welchen Effekt die Konservativität der Agenten bei der Aktualisierung ihres Gedächtnisses auf das Gesamtsystem hat. Der Parameter  $\alpha$  (siehe Formel (1) auf Seite 28) bestimmt das Gewicht der neuen Information beim Verrechnen mit der bisher gespeicherten Reisezeit auf einem Link. Je höher  $\alpha$  desto mehr Gewicht bekommt die neue Information. Bei  $\alpha=0$ , wird nur die erste Erfahrung auf einem Link für die Routenberechnung verwendet, bei  $\alpha=1$  wird die alte Information in dem Moment "vergessen", indem neue Reisezeiten auf einem befahrenen Link verfügbar sind. Abbildung 35 zeigt die Abweichung der simulierten Belastungen von denen der Zähldaten bzw. von der Referenzsimulation mit VISUM.

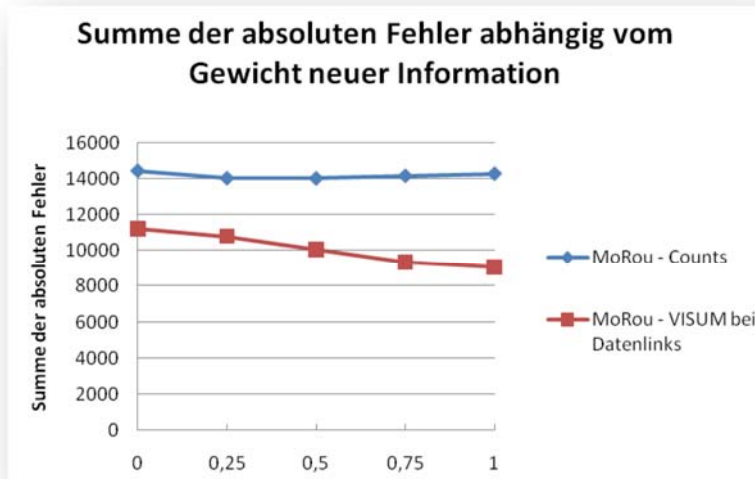


Abbildung 35: Summe der absoluten Fehler zwischen Simulation und Zähldaten und zu den VISUM Daten - hier beschränkt auf die Links, an denen Zähldaten existieren. Es werden jeweils die Werte der 10. Iteration dargestellt.

Während die Abweichung zu den Zähldaten ein kaum nennenswertes Optimum zwischen  $\alpha=0,25$  und  $\alpha=0,5$  aufweist, zeigt die Abweichung von den VISUM-Ergebnissen eine deutliche Tendenz: Je wichtiger aktuelle Erfahrungen sind, desto geringer ist die Abweichung zwischen den beiden Simulationsergebnissen. Dies ist ein interessantes Ergebnis, dass allerdings mehr über die Charakteristika der VISUM-Umlegung als über das Simulationsmodell aussagt.

Interessante Charakteristika weist ein Vergleich der Reisezeitsummen auf.

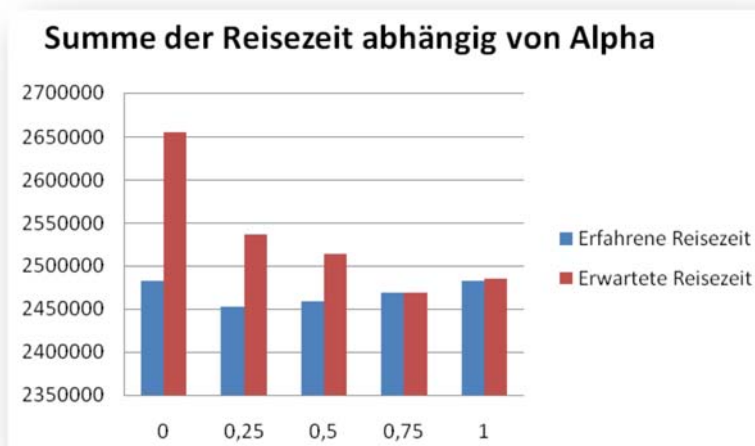


Abbildung 36: Summe der erwarteten und tatsächlichen Reisezeiten in der 10. Iteration abhängig von unterschiedlichen Einstellungen des Gewichts neuer Information

Abbildung 36 zeigt, dass die Relation der Summe der Reisezeit, die die Agenten in einer Runde erwarteten und der Summe, die sie in dergleichen Runde tatsächlich erfahren haben, abhängig von dem Gewicht ist, mit dem neue Information mit der bisher vorhandenen Information über die Reisezeit auf einer Kante verrechnet wird. Konsistent mit der minimalen Abweichung zwischen unserer Simulation und den Zähldaten, ist auch die Gesamtreisezeit der Agenten bei  $\alpha=0,25$  minimal, allerdings ist dort die Abweichung zwischen der erwarteten und der tatsächlichen Reisezeit noch sehr hoch.

Interessant ist, dass bei den Läufen mit einem  $\alpha > 0,50$  sich die Summe der erwarteten mit der Summe der tatsächlichen Reisezeiten weitgehend decken - obwohl die die Gesamtreisezeit nicht optimal ist. Das bedeutet, dass die Agenten in der Summe die zukünftige Reisezeit gut abschätzen können, aber dennoch sich keine optimale Verteilung der Agenten einstellt - die Agenten also ihr Wissen nicht gut genug benutzen können.

Abbildung 37 zeigt, dass sich die gute Abschätzung in der Summe nur teilweise daraus ergibt dass sich Fehlschätzungen addieren: Bei allen Simulationsläufen mit einem Gewicht für neue Information grösser als 0,50 ist die Anzahl der Agenten, die richtige Erwartungen besitzen grösser als die Agenten, die falsch schätzen. Man sollte beachten, dass  $\alpha$  ein Verrechnungsfaktor ist und keine Wahrscheinlichkeit. Eine – wenngleich unbefriedigende Erklärung könnte sein, dass bei 0,5 eine Schwelle existiert, die durch die Kombination verschiedener Mechanismen im Modell unbewusst eingebaut wurde.

Es stellt sich die Frage, was genau passiert in Simulationsläufen bei denen  $\alpha$  auf einen Wert zwischen 0,5 und 0,75 gesetzt wird. Wir haben weitere Simulationsläufe mit  $\alpha=0,51$ ;  $\alpha=0,52$ ;  $\alpha=0,55$  und  $\alpha=0,6$  durchgeführt. Man kann einen jähen Wechsel zwischen 0,5 und 0,51 feststellen. Die Simulationsläufe mit  $\alpha=0,5$  wurden wiederholt, um einen Fehler auszuschliessen. Bei allen Läufen mit  $\alpha > 0,5$  kann ein Grossteil der Agenten ihre Reisezeit gut vorhersagen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es ist kein Lernprozess ist, für den bei  $\alpha < 0,5$  nur weitere Iterationen notwendig wären - In allen Experimenten mit  $\alpha > 0,5$  verfestigt sich das Bild in der 5 oder 6 Iteration. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass die Agenten mit einem höheren Gewicht der neueren Information zunehmend Modi verwenden, die zuverlässig vorhersagbar sind. Die Fahrzeiten mit öffentlichem Verkehr, sowie die Reisezeiten als Fussgänger sind unabhängig von der Belastung und somit mit Sicherheit vorhersagbar. Allerdings zeigt Abbildung 39 einen anderen Trend: Je höher das Gewicht für neue Information ist, desto mehr Agenten benutzen den privaten Transport - der einzige Modus mit belastungsabhängigen Reisezeiten.

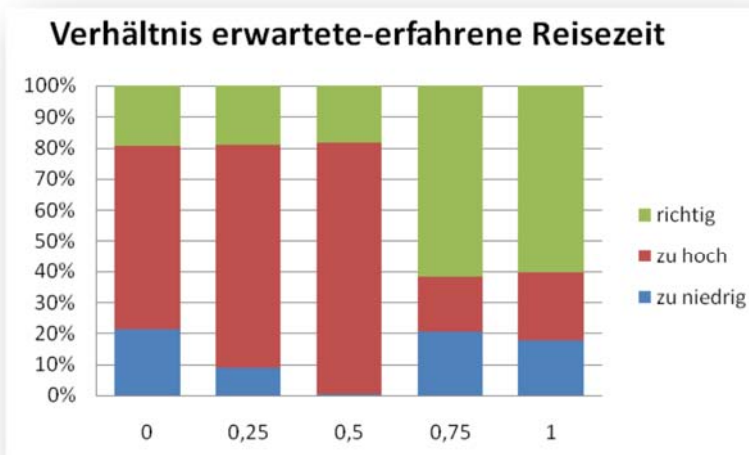


Abbildung 37: Anteil der Agenten, die welchen Fehler bei der Vorhersage ihrer individuellen Reisezeit machen.

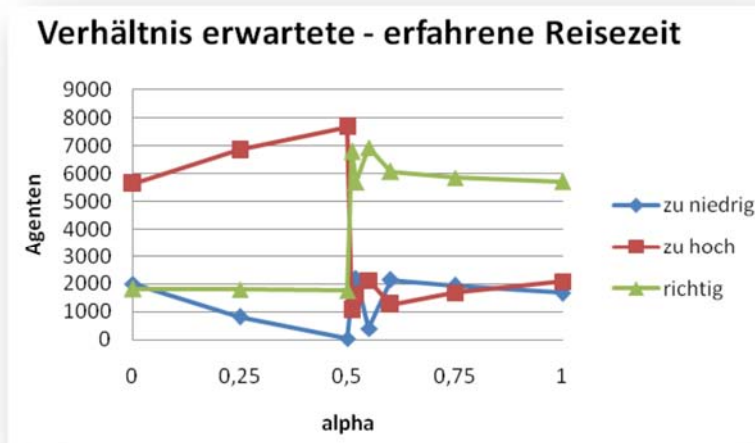


Abbildung 38: Anzahl von Agenten mit entsprechendem Verhältnis zwischen erwarteter und erfahrener Reisezeit abhängig von Alpha. Es wird jeweils der Wert der letzten Iteration dargestellt.

Höhere Werte für das Gewicht mit dem neue Information mit alter bisher gespeicherter Information verrechnet wird bedeuten eine schnellere Adaption an die aktuelle Dynamik. Der Einfluss der ersten Erfahrung auf einem Link wird immer unbedeutender. Dies ist eine weitere Erklärungsmöglichkeit sowohl für die bessere Vorhersage als auch für den unterschiedlichen Modalsplit. Die Agenten haben die Enttäuschung in der ersten Iteration schneller aus ihrem Gedächtnis getilgt und können - je mehr sich das Gesamtsystem einem Gleichgewichtszustand, bzw. einem konvergenten Zustand nähert - diesen klarer in ihr Gedächtnis integrieren. In Abschnitt 5.3.2 wurde bereits diskutiert, wie gut die Zeiten der vorhergehenden Iterationen die der aktuellen Iteration vorhersagen können.

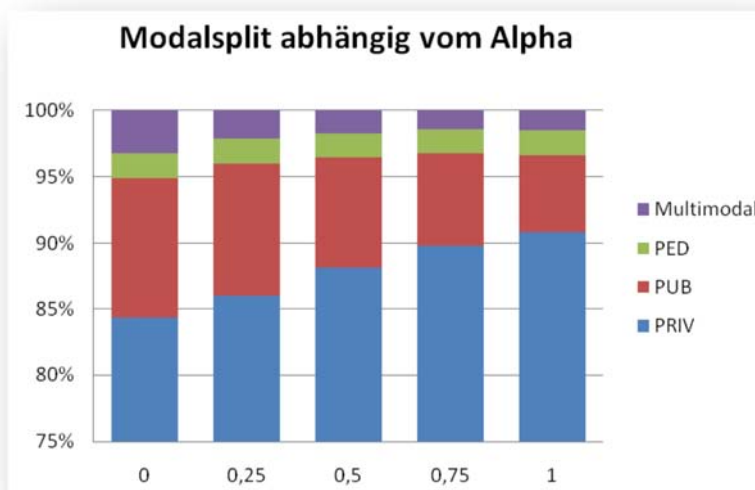


Abbildung 39: Anteil der Agenten, die einen bestimmten Modus benutzen in Abhängigkeit des Gewichts neuer Information bei der Aktualisierung des Reisezeit-Gedächtnisses

Unabhängig, ob die Agenten ihre Route wechseln oder nicht, Erfahrungen werden in jeder Iteration in das Gedächtnis integriert. Es besteht daher ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern  $p_{\text{keepOldRoute}}$  und  $\alpha$ . Je niedriger der Trägheitsparameter bei den Entscheidungen und je niedriger alpha, umso konservativer ist der Agent; er wiederholt häufiger

eine gewählte Route und ältere Information bleibt relevant für seine Entscheidungen. Insgesamt ist ein leicht konservatives Verhalten nicht schlecht, wie Abbildung 34 zeigt - der beste Wert für die tatsächliche Gesamtreisezeit wird mit  $\alpha=0,25$  erzielt. Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Agenten, die ihre Reisezeiten richtig schätzen abhängig von  $p_{\text{keepoldroute}}$  und  $\alpha$ . Es zeigt sich, dass nur das Gewicht mit dem neue Information in das Kartengedächtnis integriert wird einen Einfluss darauf hat, wie viele Agenten lernen, die Reisezeiten auf den von ihnen benutzten Links korrekt einzuschätzen.

**Tab. 4** Matrix mit unterschiedlichen Werten zu  $p_{\text{keepOldRoute}}$  und Alpha: Anzahl der Agenten, die ihre Reisezeiten richtig schätzen. Es werden jeweils Werte der letzten Iteration (für  $p=0,75$  sind dies 15, für  $p<0,75$  10 Iterationen)

Anzahl der Richtigschätzer in der letzten Iteration (Gesamtzahl 9470)		$p_{\text{keepoldroute}}$		
		0,25	0,50	0,75
ALPHA	0,25	2'095	1'745	1'581
	0,50	1'798	1'755	1'571
	0,75	7'784	5'850	7'998

Somit könnte die Vermutung richtig sein, dass die schlechte Erfahrung in der ersten Iteration bei mittleren und geringen Gewichten dazu führt, dass die Agenten keine korrekte Vorhersage der Reisezeiten auf den Kanten, die in der ersten Iteration benutzt wurden, machen können.

Das Problem, wie Agenten neue und alte Information verrechnen ist, hat Bezüge zum bekannten „Exploration-Exploitation“-Dilemma (siehe auch 5.3.1). Ein lernender Agent steht in jedem Entscheidungszyklus vor der Frage, ob er bereits gelerntes Wissen benutzen oder weiterhin experimentieren und (meist) eine zufällige – und eventuell schlechte – Entscheidung treffen soll. Das Experimentieren hat hierbei die wichtige Funktion, dass bisher gemachte Erfahrungen das Verhalten des Agenten nicht so fixieren, dass der Agent die optimale Lösung nicht lernen kann. Wie oben bereits beschrieben, kann das klassische, zufällige Experimentieren nicht ohne weiteres hier umgesetzt werden, da die Agenten kein Auswahlproblem lösen, sondern individuell ihre Route konstruieren.

#### 5.3.4 Belastungsabhängige Reisezeit im Öffentlichen Verkehr

Eine weitere Annahme, deren Effekt getestet werden muss, betrifft den Öffentlichen Transport: In der Standardkonfiguration wurden separierte Busspuren angenommen. Die Busse fahren also immer mit der Geschwindigkeit des freien Flusses ohne Berücksichtigung der Belastung einer Strecke. Diese Annahme sollte zumindest Auswirkungen auf den Modalsplit in der Simulation haben, die Frage ist nun, wie gross die Auswirkungen sind.

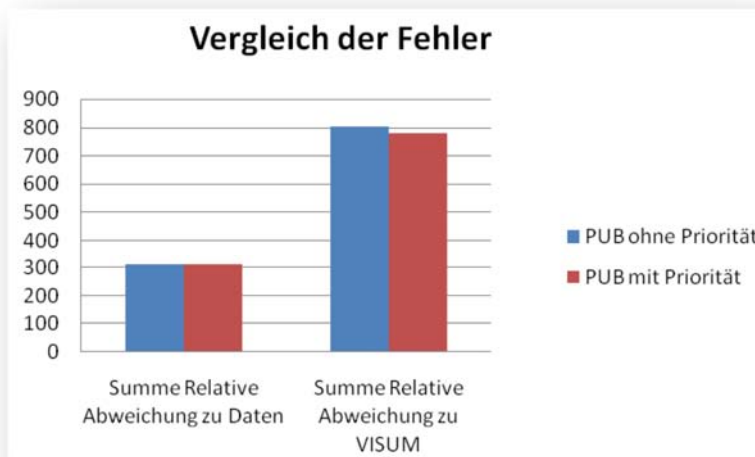


Abbildung 40: Abweichung der Simulationsergebnisse zu Zähldaten und zu VISUM-Umlage auf der Linkebene im Vergleich wenn der öffentliche Verkehr mit Geschwindigkeit des Freien Flusses (mit Priorität) oder mit der Belastung des privaten Verkehrs (ohne Priorität) fährt. Die Anzahl der Agenten, die den Modus nutzen hat keinen Einfluss auf die Reisezeiten.

Abbildung 40 zeigt, dass die Priorität des öffentlichen Verkehrs keinen Effekt auf die Abweichung zwischen agenten-basierter Simulation und Zähldaten hat. Der Effekt auf die Abweichung von den VISUM Daten ist klein, mit Priorität ist sie geringer. Wie Abbildung 41 zeigt, ist mit Priorität die Gesamtreisezeit – die Summe der Reisezeiten aller Agenten – kleiner, ebenso die Summe der erwarteten Reisezeit. Mit Priorität ist der Anteil des Öffentlichen Verkehrs am Modalsplit höher (Abbildung 42) was die Belastung auf den Strecken des Individual-verkehrs und somit auch die Reisezeit reduziert.

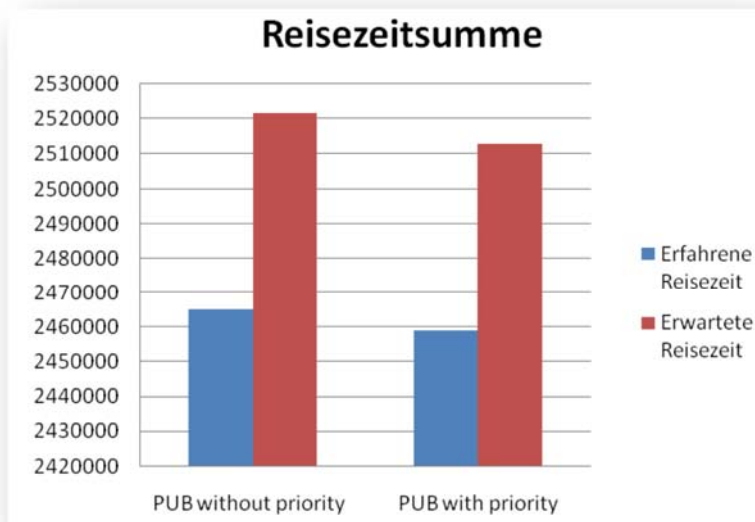


Abbildung 41: Summe der Reisezeiten aller Agenten unabhängig welchen Modus sie gewählt haben, im Vergleich - abhängig davon, ob der Öffentliche Verkehr auf extra Spuren fährt oder wie die privaten Fahrten belastungsabhängig sind. Man beachte die Skala, die Unterschiede sind an sich recht klein.

Interessant ist, dass auch wenn der Öffentliche Verkehr keinen Reisezeitvorteil mehr bietet - und obwohl die Wartezeiten auf den nächsten Bus vergleichsweise hoch sind, dennoch ein stabiler Teil der Population diesen Modus wählt. Es zeigt sich, dass Agenten, die den



Modus PRIV benutzen im Durchschnitt 2,67km zurücklegen, Agenten mit PUB dagegen im Mittel 4,62km, Fussgänger im Mittel 0,17km.

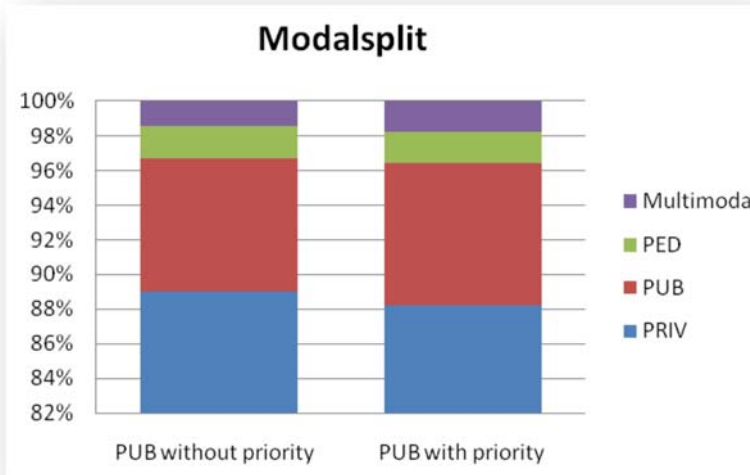


Abbildung 42: Vergleich des Modalsplits mit und ohne Priorität des öffentlichen Verkehrs

### 5.3.5 Alternative Werte für Modusübergänge

In den Standardeinstellungen musste ein Agent 90 Sekunden beim Übergang zum Modus des Öffentlichen Transportes warten. Beim Auto waren dies 10 Sekunden beim Einsteigen und 60 Sekunden bei der Parkplatzsuche. Diese zusätzlichen zeitlichen Kosten bei einer Route müssen einen Effekt auf die Moduswahl haben und können nur teilweise durch bessere Routen kompensiert werden.

In Abbildung 43 wird dies bestätigt, der Anteil an Agenten, die den Öffentlichen Transport wählen nimmt mit zunehmenden Übergangskosten ab. Erstaunlich ist, dass es auch bei Kosten von 180 Sekunden etwa 200 Agenten den Bus nehmen - mit einer durchschnittlichen Kilometer-Distanz von 3,22km. Die höchste Distanz, die ein Agent im Auto zurücklegt ist dabei 7,62km - was bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h in knapp über 9 Minuten zurückgelegt werden kann.

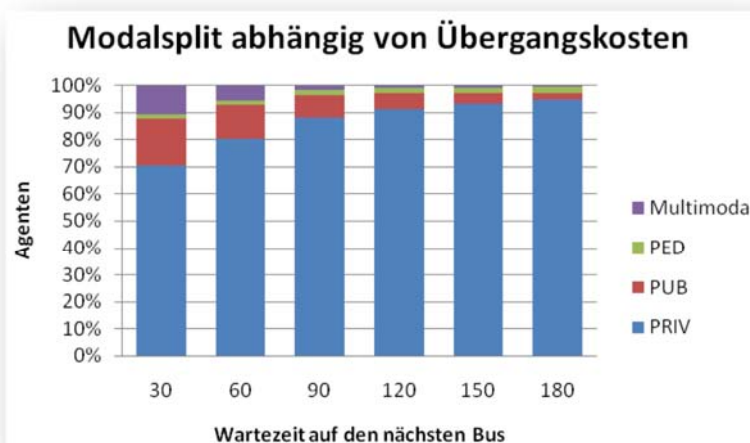


Abbildung 43: Entwicklung des Modalsplits mit steigendem Zeitbedarf für den Modus des Öffentlichen Transportes



Da Wartezeit auf den Bus in die Summe der Gesamtreisezeit der Agenten miteingeht sind die steigenden Kurven von Abbildung 44 nicht überraschend. Ihr Gradient wird dadurch gebremst, dass bei wachsendem Zeitbedarf immer weniger Agenten den Öffentlichen Transport nutzen.

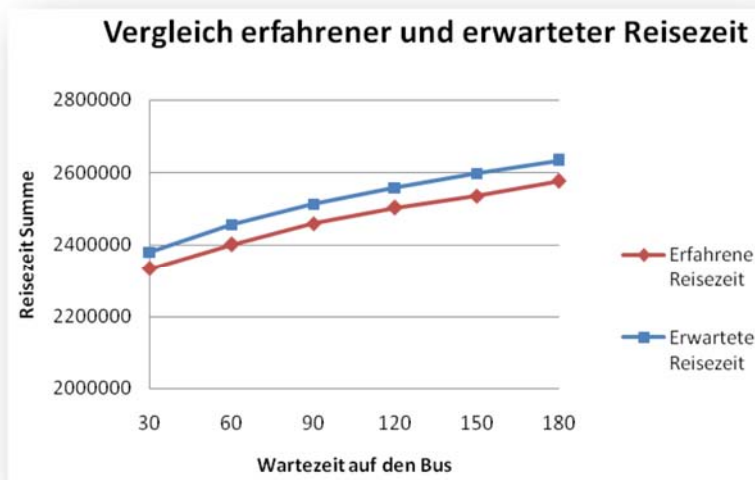


Abbildung 44: Reisezeit bei steigenden Kosten für den Modus des Öffentlichen Transportes

Auch wenn im Burgdorfszenario nur Daten für den Modus des Individualverkehrs zur Verfügung standen, zeigt ein Blick auf Abbildung 45, dass mit steigender Wartezeit und dabei bevorzugter Wahl des Modus PRIV die Abweichung von den VISUM Daten bis zur Wartezeit von 150 Sekunden sinkt, wohingegen die Abweichung von den realen Zählwerten etwas steigt.

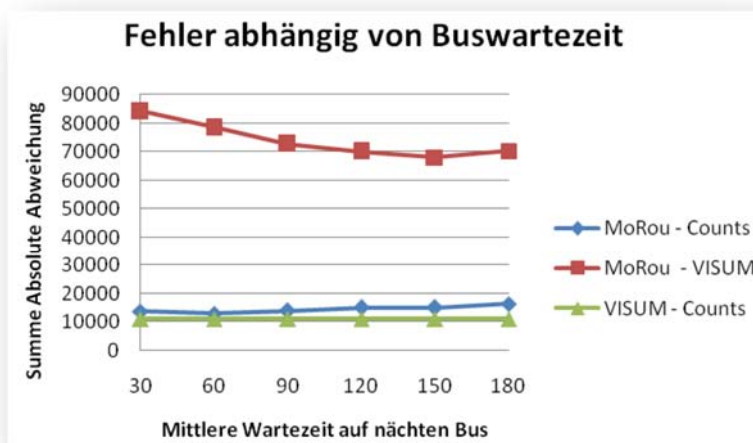


Abbildung 45: Abweichung zu Messwerten, bzw. VISUM Umlage abhängig von den Kosten für den Übergang zum Modus PUB.

Dies führt zur Frage, wie hoch diese Fehler sind, wenn alle simulierten Verkehrsteilnehmer für jede Strecke das Auto nehmen - Aufwärmzeit, Parkplatzsuche wird auf 0 Sekunden gesetzt, ebenso wie die Mindeststrecke für den privaten Modus. Der Übergang zum öffentlichen Transport wird auf 1000 gesetzt. Man beachte, dass die Angaben der OD-Matrix im Vergleich zur VISUM-Umlage um 20% -- den angenommenen Anteil von Nutzern des öffentlichen Verkehrs erhöht wurde: der Fehler der simulierten Belastungsdaten zu den Zählwerten ist dabei etwa 20% höher als bei der Standardsimulation, jedoch nur ca. 90% des

Fehlers zu den VISUM Daten. Das bedeutet, dass der Fehler nicht substantiell kleiner wird, wenn die Moduswahl ausgeschaltet ist. Dennoch sind die Ergebnisse der agentenbasierten Simulation zwar schlechter was den Fehler zu den Zähldaten betrifft, allerdings wurde die Simulation nicht auf Minimierung dieses Fehlers hin optimiert.

## 5.4 Simulation spontaner Routenänderungen

Wie oben angegeben, kann das agentenbasierte Modell wegen der inhärenten Flexibilität der Agenten Fragestellungen beantworten, die von den statischen, makroskopischen Umlagen nicht behandelt werden können. In Abschnitt 4.4.5 wurde ein Modell dazu vorgestellt, bei dem die Agenten eine neue restliche Route wählen, wenn sie die Information bekommen, dass ein Link auf ihrer noch geplanten Route nicht befahrbar ist. Wie oben illustriert, ist die Route ohne den blockierten Link abhängig von der Distanz der aktuellen Position zum gebrochenen Link. Je weiter weg umso effizienter kann der Umweg sein. In Abbildung 45 kann man gut erkennen, dass die Belastungsverteilung abhängig von der Position der Information ist. Man beachte insbesondere die Belastungen in der Stadtmitte. Bei geringem Abstand der Information von der Störungsstelle müssen zudem viele Agenten umkehren, was die grossen Belastungen in der Nähe der Störung erklärt.

Der Vergleich mit der Belastungsverteilung, die erzeugt wird, wenn die Position der Störung vor dem Losfahren bekannt ist, zeigt, dass ein unterwegs Umplanen einen grossen Effekt hat. Mit makroskopischen Ansätzen, wie z.B. die Standard Umlageverfahren oder ökonomischen Modell sind derartige Informationseffekte nicht vorhersagbar.

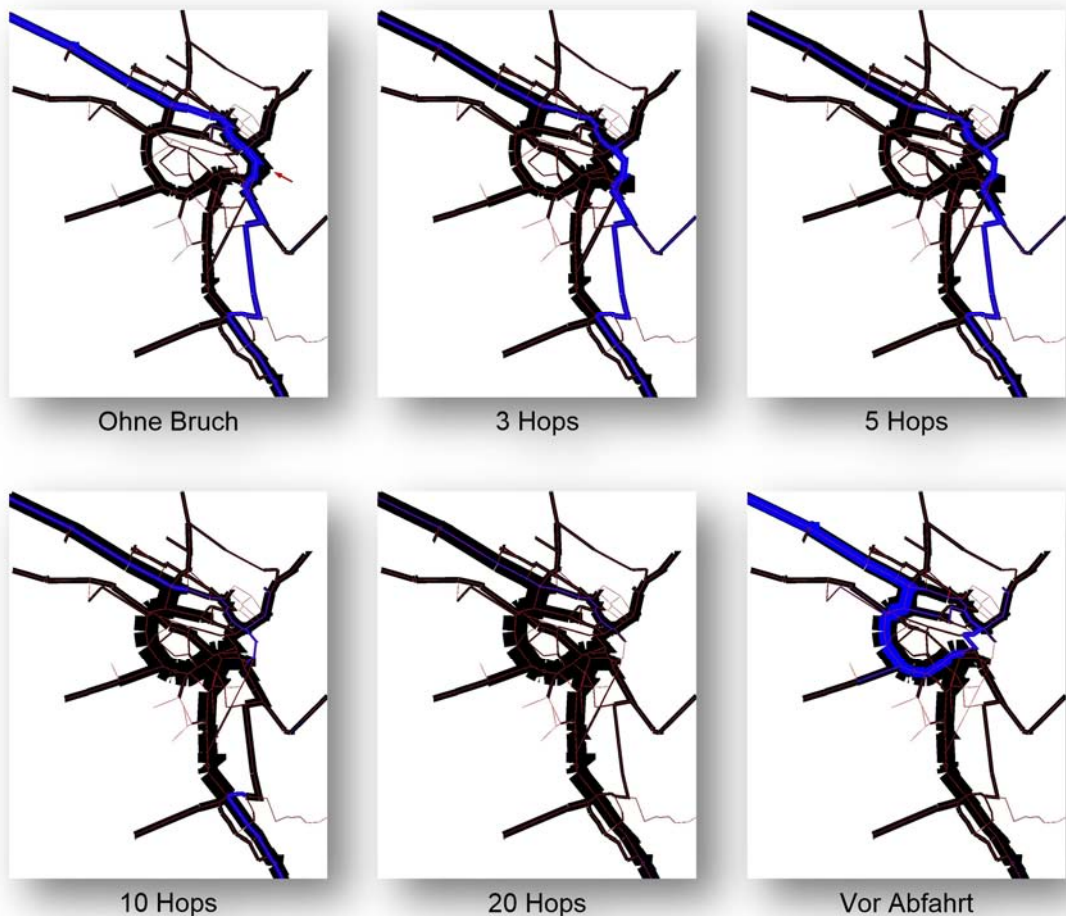


Abbildung 46: Abhängigkeit der resultierenden Belastungen von der Position der Information; der kleine rote Pfeil links oben deutet die Position der Störung an. (Hops = Anzahl der Kanten vor der Störung; blaue Balken: Veränderung der Belastung aufgrund der Störung und Information über die Störung)

## 5.5 Zusammenfassung Burgdorf Szenario

Mit der Entwicklung und Anwendung des agentenbasierten Modelles zur kombinierten Modus- und Routenwahl im Burgdorf Szenario sollten drei Ziele erreicht werden:

Zunächst sollte gezeigt werden, dass eine agentenbasierte Simulation die Qualität der Ergebnisse von Standardwerkzeugen wie z.B. VISUM erreichen kann. Dies wurde nicht vollständig erreicht, die Abweichungen der Belastungen der Simulation von den Zähl-daten war in allen untersuchten Konfigurationen etwa 20% höher als die Abweichung der VISUM Umlage von den Zähl-daten. Da die VISUM Umlage die Zähl-daten auch nicht optimal reproduzieren konnte, ist dies für das Modell kein gutes Ergebnis. Allerdings muss man zugeben, dass das agentenbasierte Modell nicht optimiert wurde, um die Zähl-daten zu treffen, sondern die individuellen Agenten haben versucht, ihre persönliche Reisezeit zu optimieren. Auch die Ausgangslage an Daten war unterschiedlich. Mehr Realismus bei den Eingabedaten hat sicher einen verbessernden Effekt auf den Fehler des Modells.

Das zweite Ziel war die Anwendung der agentenbasierte Simulation der Modus- und Routenwahl in einem realen Strassennetz. Trotz der Einfachheit des Modells konnten wir Zusammenhänge zwischen Entscheidungen der Agenten, der Art, wie sie Informationen zur Entscheidung benutzen und makroskopischen Metriken wie z.B. Modalsplit oder Gesamt-reisezeit zeigen. Allerdings waren gerade diese Effekte gering, was höchstwahrscheinlich an der Struktur des Burgdorf-Netzes und der Zahl der Agenten und der Verteilung ihrer O-D Angaben liegt. Wir konnten aber genau zeigen, warum Individuen so entschieden haben, was die strukturelle Validität der Simulation erhöht.

Das dritte Ziel wurde ganz klar erreicht. Wir konnten zeigen, dass die agentenbasierte Simulation die Antwort auf Fragen zulässt, die mit traditionellen Methoden nicht behandelbar sind. Agenten, die wegen einer Information dynamisch entscheiden, den restlichen Plan zu ändern und dabei umzukehren und ein Stück des Wegs zurückzufahren sind jenseits von dem, was in makroskopischen Modellen behandelt werden kann. Positionierung von Information bei Unfällen, Steuerung von VMS Displays, etc. bilden nur einen kleinen Teil der Anwendungsmöglichkeiten.

## 6 Fazit

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden hauptsächlich zwei Forschungsbeiträge erarbeitet:

- eine Erhebung detaillierter Daten zu Modus- und Routenwahlverhalten im individuellen Kontext eines Verkehrsteilnehmers und
- ein agentenbasiertes kombiniertes Modus- und Routenwahlmodell, das prototypisch die Leistungsfähigkeit eines derartigen Ansatzes illustriert.

### Erhebung

Für die Erhebung kann behauptet werden, dass die gewonnenen Daten gute Rückschlüsse auf das Verhalten ergeben haben und vielseitig verwendet werden konnten – auch über die hier vorgestellte Studie hinaus. Das automatische Ableiten der verwendeten Verkehrsmittel war zum Zeitpunkt der Erhebung sehr innovativ, die im Projekt gemachten Erfahrungen stellen einen wichtigen Wissenstransfer von Forschung zur Praxis dar. Heute werden mehr und mehr Datenquellen für Informationen über Verkehrszustand und Verkehrsverhalten erschlossen – von Mobilfunk-Daten zu Twitter Nachrichten, von Floating Car Data zu Daten, die von Fahrzeug zu Fahrzeug in ad hoc Netzen transferiert werden. Forschungsbedarf besteht klar darin, spezialisierte Algorithmen zur Analyse dieser grossen, heterogenen und mehr oder weniger zuverlässigen Datenmengen (weiter) zu entwickeln, um so verlässliche Informationen zu Verkehrsverhalten und Verkehrszustand-Vorhersage erzeugen zu können.

### Agentenbasierte Modellierung

Bisherige Modellansätze (z.B. traditionelle ökonomische Verhaltensmodelle) bilden das Entscheidungsverhalten „statisch“ ab. Die modellierte Entscheidung für ein Verkehrsmittel und eine Route (oder eine Verkehrsmittel-Route-Kombination) basiert auf der Abbildung von Angebot und Nachfrage zu einem gewissen Zeitpunkt. Die Entscheidung wird als fix für die komplette Durchführung der jeweiligen Fahrt angenommen.

Der zweite Beitrag des Forschungsprojektes besteht in der Entwicklung und Analyse eines kombinierten agentenbasierten Modus- und Routenwahlmodells. Dabei wählen simulierte Verkehrsteilnehmer auf der Basis ihrer individuellen Erfahrung in einem multi-modalen Netz, die für den jeweiligen Agenten erkennbare beste Route. Es konnte illustriert werden, wie diese multimodale Routenwahl abhängig von verschiedenen Faktoren ist und entsprechend gesteuert werden kann. In Diskussionen mit der Begleitkommission haben wir das Agentenmodell vereinfacht und so ein entsprechend transparentes Verhaltensmodell erstellt, anstatt alle Ebenen des Verkehrsverhaltens inklusive Mobilitätsmodell auf der Basis der erhobenen Daten zu integrieren.

Im Prototypen des Burgdorf Szenarios konnte eine ausreichende Anzahl von Agenten simuliert werden, um eine vollständige Umlage zu realisieren. Die Belastungen werden alleine durch die Agentenentscheidungen gesteuert, die wiederum rückgekoppelt auf die Agentenentscheidungen wirken.

Ein wichtiges Ergebnis dabei war, dass empirische Daten auf derselben Fehlerklasse reproduziert werden konnten, wie auf traditionellem Wege. Dennoch bietet der agentenbasierte Ansatz mehr.

Traditionelle Modellansätze (z.B. Ökonomische Verhaltensmodelle) bilden das Entscheidungsverhalten „statisch“ ab. Die modellierte Entscheidung für eine Option, d.h. ein Verkehrsmittel, eine Route oder eine Kombination aus beiden, basiert auf einer Abbildung von Angebot und Nachfrage zu einem gewissen Zeitpunkt – Die Entscheidung ist atomar und fix für die Durchführung der jeweiligen Fahrt.

Bei dem Agentenbasierten Modell, das hier vorgestellt und analysiert wurde, ist die Fähigkeit des simulierten Verkehrsteilnehmers mit der simulierten Fahrt gekoppelt und jederzeit zugreifbar. Auf diese Weise lässt sich ein realistisches re-routing während der Fahrt realisieren. Dies ermöglicht das Beantworten neuer Fragestellungen, z.B. zu den systemweiten Effekten von lokalisierter Information.

Trotz der hier dokumentierten umfangreichen Analyse lässt sich weiterer Forschungsbedarf identifizieren:

- Das betrifft zum einen die Validierung des Verhaltensmodells mit dynamischer Umlage, die also tatsächliches Mobilitätsverhalten nachbildet. In den letzten Jahren wurden einige mesoskopische, auf Warteschlangenmodellen beruhende Modelle entwickelt (z.B. das Mobilitätsmodell in MATSIM oder in Gawron 1998). Eine Kopplung des Agentenentscheidungsmodells mit solchen effizienten Mobilitätsmodellen ist sinnvoll und interessant.
- Auf einer Meta-Ebene besteht zudem Forschungsbedarf dahingehend, genauere Metriken und Modellklassen zu beschreiben, um besser bestimmen zu können, welche Art von (agentenbasierten, mikroskopischen) Modell für welche Fragestellung geeignet ist. Durch ihre erhöhte Komplexität im Entscheidungsverhaltensmodell können agentenbasierte Modelle nur mit hohem Einsatz von technischer Expertise und sehr schnellen Computern, in brauchbarer Zeit simuliert werden. Deswegen muss sehr klar bestimmt werden, für welche Art der – eventueller Weise sogar bisher nicht realisierbaren - Fragestellung sich ein derartiger Aufwand lohnt, oder gar notwendig ist.

## Anhänge

<b>I</b>	<b>Grundlagen Erhebung „cosim“ .....</b>	<b>63</b>
<b>I.1</b>	<b>Anschreiben / Instruktionsbrief .....</b>	<b>63</b>
<b>I.2</b>	<b>Personen- /Haushaltsfragebogen .....</b>	<b>67</b>
<b>I.3</b>	<b>Wegetagebuch.....</b>	<b>68</b>
<b>II</b>	<b>Datendokumentation Erhebung „cosim“ .....</b>	<b>69</b>
<b>II.1</b>	<b>Personendaten .....</b>	<b>69</b>
<b>II.2</b>	<b>Wegedaten.....</b>	<b>93</b>

# I Grundlagen Erhebung „cosim“

## I.1 Anschreiben / Instruktionsbrief



Forschungsprojekt

## Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell



### Kurz-Info zur Erhebung

#### Allgemein

Die Teilnahme an der Erhebung des Verkehrsverhaltens ist freiwillig. Alle gesammelten persönlichen Daten werden nur anonymisiert und im Rahmen des Forschungsprojektes verwendet. Nach Abschluss der Projektarbeiten werden alle persönlichen Daten gelöscht.

#### Ansprechpartner (Hotline)

Ansprechpartner für alle Fragen sind:

<b>Sara Schärler</b>	Guido Rindsfuser
Tel.: 078 776 56 60	031 385 62 59
Email: <a href="mailto:sara.schaerler@emchberger.ch">sara.schaerler@emchberger.ch</a>	<a href="mailto:guido.rindsfuser@emchberger.ch">guido.rindsfuser@emchberger.ch</a>
(bitte im Betreff „cosim“ angeben)	(bitte im Betreff „cosim“ angeben)

Emch+Berger AG Bern  
Gartenstrasse 1  
3001 Bern

#### Art der Erhebung

Die Erhebung beinhaltet die folgenden Teile:

1. Passive Erfassung der Bewegungsmuster
2. Ausfüllen zweier Fragebögen

#### 1. Passive Erfassung der Bewegungsmuster mit Hilfe eines GPS- (Global Positioning System) Empfängers (vgl. Abbildung) über 3 Tage.

Der GPS-Empfänger wird am Vorabend des Erhebungszeitraumes geliefert. Das GPS Gerät soll auf allen Wegen mitgeführt werden. Nach der Erfassung (Termin wird vereinbart) wird das Gerät wieder abgeholt.

Für einen einwandfreien Empfang ist eine freie „Sicht“ auf die Satelliten von Vorteil. D.h., dass die Geräte am besten aussen an der Kleidung oder an z.B. Taschen oder Rucksäcken zu tragen sind. In Fahrzeugen sind die Geräte am geeignetsten in der Nähe der Scheiben zu positionieren.



-2-

**Nachfolgend einige Hinweise zur Handhabung:**

a) Wenn Sie den GPS-Receiver erhalten wird er üblicherweise ausgeschaltet sein. Sie müssen das Gerät *vor Nutzung also erst aktivieren*. Halten Sie dafür den „On“ Knopf (7 in der Abbildung) für ca. 5 Sekunden. Alle Lichter werden 5 mal aufleuchten und anschliessend wird das Stat – Licht alle 5 Sekunden aufleuchten. Das heisst noch nicht, dass ein Satellitensignal empfangen wurde. Warten Sie bis das GPS Licht leuchtet (es ist vorteilhaft dies unter freiem Himmel durchzuführen). Dieser Vorgang kann einige wenige Minuten dauern.

b) Wann immer möglich - wenn Sie keinen Weg/Fahrt unternehmen, zuhause oder auf der Arbeit sind - *verbinden Sie das Gerät bitte mit dem Ladekabel*, da es immer Daten aufzeichnet und dauernd Strom verbraucht. Sie können das Gerät nicht überladen! (Eine komplette Ladung dauert etwa 2 Stunden, die Batterie leuchtet danach nicht.) Im Betriebsstatus (bei Gebrauch des Gerätes) leuchtet die Batterie leuchte nicht. Sie blinkt bei Betrieb, wenn das Gerät geladen werden sollte. Falls die Batterie vollständig entleert wurde, schaltet sich das Gerät erneut ein, wenn es mit dem Ladegerät verbunden wird (alle 5 Leuchten blinken für etwa 10-20 Sekunden).

**c) BITTE NEHMEN SIE DAS GERÄT IMMER MIT, WOHIN SIE AUCH GEHEN / FAHREN!**

Der Gebrauch des Geräts ist sehr einfach. Das Gerät können Sie an ihren Schlüsselbund, an eine Tasche oder an ein Rucksackband befestigen oder ähnlich wie ein Handy bei sich tragen. Das Gerät arbeitet am zuverlässigsten, wenn freie Sicht zum Himmel besteht.

Wenn nötig (und möglich), warten Sie bitte bis das GPS Licht leuchtet, dies geschieht am schnellsten unter freiem Himmel.



**2. Ausfüllen zweier Fragebögen:**

---

- o Fragen zur Person und der Verkehrsmittel (DIN A5 – grün)

Den Fragebogen zur Person erhalten Sie zusammen mit dem Gerät. Die Fragen zur Person und zu den vorhandenen Verkehrsmitteln werden benötigt um statistische Verteilungen von Merkmalen wie z.B. der durchgeführten Wege/Tag zu berechnen und z.B. nach Alters- oder Einkommensgruppen zu analysieren. Bitte füllen Sie den Fragebogen vollständig aus und geben ihn zusammen mit dem Geräts wieder ab.

- o Fragen zu den durchgeführten Fahrten/Wegen (DIN A4 – blau)

Der Fragebogen zu den durchgeführten Fahrten/Wegen wird in Papierform ebenfalls mit dem Gerät versandt. Die Erfassung der Fahrten/Wege dient der Kontrolle der aufgezeichneten GPS-Daten. Da die Bearbeitung der GPS-Rohdaten automatisiert erfolgt, sind einige ergänzende Angaben zur Prüfung der Plausibilität und der verwendeten Verfahren zur Berechnung der Protokolle unbedingt notwendig.

Die Fragebögen sind ähnlich einem Wegeprotokoll aufgebaut, so dass immer ein Weg nach dem anderen in zeitlicher Reihenfolge und jeweils mit seinen Eigenschaften beschrieben wird. Es ist sinnvoll die durchgeführten Wege zeitnah, also möglichst direkt nach der Rückkehr zuhause einzutragen, oder zumindest einmal täglich abends, da ansonsten Details vergessen werden können oder z.B. Zeiten oder Dauern zu grob geschätzt werden und dadurch Ungenauigkeiten entstehen.

(Sollte die Befragung über das Internet stattfinden, erhalten Sie einen Zugangscode sowie ein Passwort und können die erforderlichen Daten in vorgegebene Datenmasken eingeben.)

Weitere Informationen zum Ausfüllen der Fragebögen erhalten Sie zusammen mit den Fragebögen bzw. zu Beginn der Erhebung.

***Zu keiner Zeit werden persönliche Daten verwendet und analysiert, ohne diese vorher zu anonymisieren! Alle persönliche Daten werden nach der Projektbearbeitung gelöscht. Es werden zu keiner Zeit persönliche Daten an Dritte weitergegeben.***

# I.2 Personen- /Haushaltsfragebogen

Emch+Berger AG Bern  
Ingenieure und Planer  
Gartenstrasse 1  
3001 Bern

**KONTAKT:** Sara Schärfer  
Tel.: 078 776 56 60  
email: sara.schaerfer@emchberger.ch

Guido Rindsfuser  
Tel.: 031 3856259  
email: guido.rindsfuser@emchberger.ch

Emch+Berger AG Bern  
Ingenieure und Planer

**Studie des Verkehrsmittel- und Routenwahlverhaltens**

Forschungsprojekt im Auftrag

SVI

*Fragebogen für*

## Haushaltsfragebogen

<p>1. Wieviele Personen leben in Ihrem Haushalt? <input type="text"/></p> <p>2. Haben Sie weitere Familienmitglieder, z.B. Studierende Kinder, die nicht regelmässig in Ihrem Haushalt übernachten? Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar (Anzahl): <input type="text"/></p> <p>3. Leben in Ihrem Haushalt Hunde? Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/></p> <p>4. Besitzen Sie eines oder mehrere der folgenden Fahrzeuge? Bitte geben Sie auch die Anzahl an! PKW (auch: Jeep/Pickup/Minivan) <input type="text"/> Fahrrad <input type="text"/> Moped/Mofa <input type="text"/> Motorrad <input type="text"/> LKW <input type="text"/> Andere: <input type="text"/></p> <p>5. Sind Sie Mitglied in einem offiziellen Car-Sharing-Verein oder ähnlichem? Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/></p> <p>6. Nutzen Sie - nach Absprache - PKW's anderer Haushalte? Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/></p> <p>8a. Wenn ja: Wie häufig nutzen Sie PKW's anderer Haushalte? Höchstens einmal pro Jahr <input type="checkbox"/> Etwa einmal im Monat <input type="checkbox"/> Etwa 2-3mal im Monat <input type="checkbox"/> Etwa einmal pro Woche <input type="checkbox"/> Mehrmals in der Woche <input type="checkbox"/> M (Nahezu) täglich <input type="checkbox"/></p> <p>8. Wieviele Gegenstände/Sitze haben Sie privat zur Verfügung? <input type="text"/></p>	<p>8a. Wieviel kostet die Garage pro Monat (alternativ Kaufpreis)? <input type="text"/></p> <p>9. Wieviele Stellplätze haben Sie privat zur Verfügung? 9a. Wieviel kostet der Stellplatz pro Monat (alternativ Kaufpreis)? <input type="text"/></p> <p>10. Wie weit ist es zur nächstgelegenen Bushaltestelle? (Entweder in <input type="text"/> Metern oder <input type="text"/> Minuten)</p> <p>11. Wie weit ist es zur nächstgelegenen Tram-/Stadtbahnhaltestelle? (Entweder in <input type="text"/> Metern oder <input type="text"/> Minuten)</p> <p>12. Wie weit ist es zur nächstgelegenen Bahnhofhaltestelle (SBB/Bahn/S-Bahn)? (Entweder in <input type="text"/> Metern oder <input type="text"/> Minuten)</p> <p>13. Wohnen Sie zur Miete oder in einer Eigentumswohnung/eigenem Haus? Mietwohnung/Miethaus <input type="checkbox"/> Eigene Wohnung/Haus <input type="checkbox"/></p> <p>14. Wie hoch ist die Miete ohne Nebenkosten bzw. Ihre monatliche Belastung (o. NK)? CHF <input type="text"/></p> <p>15. Wie gross ist Ihre Wohnung/Haus? <input type="text"/> Cm</p> <p>15. Wie hoch ist Ihr monatliches Haushaltsnettoeinkommen? unter CHF 2'000 <input type="checkbox"/> CHF 2'001 - 4'000 <input type="checkbox"/> CHF 4'001 - 6'000 <input type="checkbox"/> CHF 6'001 - 8'000 <input type="checkbox"/> CHF 8'001 - 10'000 <input type="checkbox"/> CHF 10'001 - 12'000 <input type="checkbox"/> CHF 12'001 - 14'000 <input type="checkbox"/> über CHF 14'001 <input type="checkbox"/></p>
--	--

## Personenfragebogen

<p>1. In welchem Jahr sind Sie geboren? <input type="text"/></p> <p>2. Sind Sie verheiratet? Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/></p> <p>3. Sind Sie <input type="checkbox"/> Weiblich <input type="checkbox"/> Männlich <input type="checkbox"/></p> <p>4. Welche Ausbildungen haben Sie bereits abgeschlossen? Noch keine <input type="checkbox"/> Grundschule <input type="checkbox"/> Primarschule <input type="checkbox"/> Sekundarschule <input type="checkbox"/> Realschule <input type="checkbox"/> Gymnasium <input type="checkbox"/> Hochschule/Universität <input type="checkbox"/> Promotion (Dr.) <input type="checkbox"/> Andere: <input type="text"/> Andere: <input type="text"/></p> <p>5. Wieviele Stunden in der Woche gehen Sie Ihrem Beschäftigungsverhältnis nach? Stunden <input type="text"/></p> <p>6. Welchen Beruf üben Sie aus? <input type="text"/></p>	<p>7. Sind Sie im Besitz einer Zeilfahrkarte für öffentliche Verkehrsmittel? Nein <input type="checkbox"/> Ja - Halbtax <input type="checkbox"/> Ja - Generalabonnement <input type="checkbox"/> Ja - Streckendauerkarte <input type="checkbox"/> Ja - Monatskarte <input type="checkbox"/> Ja - Verbundticket <input type="checkbox"/></p> <p>8. Sind Sie im Besitz eines Führerscheins? Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/></p> <p>9. Sind Sie zur Zeit Schüler/Schülerin <input type="checkbox"/> Student/Studentin <input type="checkbox"/> Auszubildende(r) <input type="checkbox"/> Hausfrau/-mann <input type="checkbox"/> Teilzeitbeschäftigt (angestellt) <input type="checkbox"/> Vollzeitbeschäftigt (angestellt) <input type="checkbox"/> Selbstständig/freiberuflich tätig <input type="checkbox"/> Im Ruhestand/in Rente <input type="checkbox"/> Mithelfendes Familienmitglied <input type="checkbox"/> Arbeitssuchend <input type="checkbox"/></p>
---	--

## Zusatzfragen

<p>1. Wovon hängen Ihre Entscheidungen, eine bestimmte Strecke/Route für einen Weg/Fahrt zu nutzen im Wesentlichen ab? (Auch Mehrfachnennungen)</p> <p>Entfernung <input type="checkbox"/> Bekanntheit der Route <input type="checkbox"/> Gewohnheit <input type="checkbox"/> Nutze nur Hauptstrassen <input type="checkbox"/> Beleuchtung <input type="checkbox"/> Wetter <input type="checkbox"/> Anzahl der Ampeln <input type="checkbox"/> Erwartetes Verkehrsaufkommen <input type="checkbox"/> Andere: <input type="text"/> Andere: <input type="text"/></p> <p>2. Wie würden Sie sich bezeichnen? Eher Fuss-/Fahrad-/Oy-bezogen <input type="checkbox"/> Eher PKW-bezogen <input type="checkbox"/> Prinzipiell PKW bezogen (Autofahrer) <input type="checkbox"/> Abwägend und Verkehrsmittel je nach Nutzen einsetzend <input type="checkbox"/></p>	<p>3. Wie gehen Sie vor, wenn sie ein Ziel erreichen aber den Weg nicht kennen? (Auch Mehrfachnennungen)</p> <p>Informiere mich bei Bekannten/Freunden <input type="checkbox"/> Nutze Karten (auch Internet) <input type="checkbox"/> Nutze Routenplaner <input type="checkbox"/> Nutze Navigationssystem <input type="checkbox"/> Orientiere mich an der Himmelsrichtung <input type="checkbox"/> Nutze nur Hauptstrassen <input type="checkbox"/> Folge den Hinweisschildern <input type="checkbox"/> Andere: <input type="text"/> Andere: <input type="text"/></p> <p>4. Wenn Sie ein Navigationssystem nutzen, befolgen Sie die Anweisungen? Häufig nicht <input type="checkbox"/> Gelegentlich nicht <input type="checkbox"/> Prinzipiell ja <input type="checkbox"/></p>
--	--

# I.3 Wegetagebuch

**Emch+Berger**  
Emch+Berger AG Bern  
Ingenieure und Planer

**Studie des Verkehrsmittel- und Routenwahlverhaltens**

Forschungsprojekt im Auftrag



**SVI**  
Schweizerischer Verkehrs- und Informationsrat  
Schweizerischer Verkehrs- und Informationsrat  
Schweizerischer Verkehrs- und Informationsrat

Emch+Berger AG Bern  
Ingenieure und Planer  
Gartenstrasse 1  
3001 Bern

**KONTAKT:** Sara Schärfer  
Tel.: 078 776 56 60  
email: sara.schaerfer@emchberger.ch

Guido Rindsfuser  
Tel.: 031 3856259  
email: guido.rindsfuser@emchberger.ch

Wegetagebuch für

## Ziel und Zweck von Wegen

Sie werden gebeten, für jeden Weg genau einen Zweck anzugeben. Dabei gelten die folgenden Zuordnungen. Sollten Sie keine passende Kategorie finden, dann tragen Sie den entsprechenden Wegezweck bitte handschriftlich in der Kategorie "Sonstiges" ein.

**➤ Einkauf (langfristiger Bedarf)**  
Zum Beispiel:

- Kleidung, Schuhe
- technische Geräte
- Möbel, Einrichtung, Dekoration
- Sportartikel, Fahrräder
- Bau-/Hauswerker-/Gartenbedarf
- Geschirr
- CD, Bücher, Schreibwaren
- oder ähnliches

**➤ Einkauf (täglich Bedarf)**  
Zum Beispiel:

- Lebensmittel, Getränke
- Hygieneartikel
- Putz-/Reinigungsmittel
- Zigaretten, Zigarren, Tabak
- Zeitschriften
- Medikamente
- oder ähnliches

**➤ Jemanden Abholen/Wegbringen**  
Zum Beispiel Personen zu bzw. von

- Bahnhof, Flughafen
- Kindergarten, Schule
- Arzt, Krankenhaus
- Sport- oder Einkaufsstätte
- oder ähnliches

**➤ Erledigung/Dienstleistung**  
Zum Beispiel:

- Behörden, Ämter
- Friseur, Kosmetik
- Arzt, Massage, Krankengymnastik, Optiker
- Post, Briefkasten
- Autowerkstatt
- Reisebüro
- Tankstelle
- Schuhmacher, Schneider, Textilreinigung
- Reparaturdienste
- Fotograf
- oder ähnliches

**➤ Freizeit**  
Zum Beispiel:

- private Treffen oder Besuche
- Kino, Theater, Konzert, Museum
- Restaurant, Café, Kneipe, Biergarten
- eigene sportliche Aktivitäten
- Besuch von Sportveranstaltungen
- Spaziergang, Hund ausführen
- Gartengrundstück, Schrebergarten
- Park, Zoo, Erholungsgebiet
- Schwimmbad
- Ausflüge, Radtouren, Fahrten ins Grüne
- Messen, Ausstellungen, Jahrmärkte
- Kirchengang
- Krankenbesuche
- oder ähnliches

An welchem WOCHENTAG haben Sie diesen Weg unternommen? → Mo Di Mi Do Fr Sa So **5**

Um wieviel Uhr haben Sie diesen Weg BEGONNEN? → : : : : : Beginn (Uhrzeit)

Zu welchem ZIEL bzw. ZWECK haben Sie diesen Weg unternommen? Bitte geben Sie genau einen Grund an.

Jmd. Abholen/Wegbringen  
 Erledigung/Dienstleistung  
 dienstlich/geschäftlich  
 zur Ausbildung/Schule  
 zum Arbeitsplatz  
 Einkauf  
 täglicher Bedarf  
 langfristiger Bedarf  
 Freizeit, und zwar : : : : : : : : : : :  
 Sonstiges, und zwar : : : : : : : : : : :  
 nach Hause  
 nur zu Fuß  
 zu Fuß zum Verkehrsmittel  
 Fahrrad  
 Mofa, Motorrad  
 Pkw als Fahrer  
 Pkw als Mitfahrer  
 Bus  
 Straßen-/Stadtbahn  
 Eisenbahn  
 zu Fuß zum Ziel

Mit welchem VERKEHRSMITTEL bzw. mit welchen Verkehrsmitteln sind Sie zu Ihrem Ziel gelangt? Wieviel ZEIT haben Sie dafür jeweils gebraucht?

(Straße, Haus-Nr.) : : : : :  
 (Postleitzahl, Ort) : : : : : : : : : : :

Bitte geben Sie die ZIELADRESSE nach Möglichkeit mit Straße, Hausnummer und Postleitzahl, Ort an.

Wieviele Haushaltsmitglieder und/oder andere Personen haben Sie auf diesem Weg BEGLEITET? Haben Sie Ihren Hund ausgeführt?

Haushaltsmitglied(er)  
 Andere Person(en)  
 Hund ausgeführt

Welchen GELDBETRAG haben Sie für oder im Verlauf der Aktivität ausgegeben?

keine Ausgaben  
 bis CHF 10,-  
 über CHF 10,- bis CHF 50,-  
 über CHF 50,- bis CHF 200,-  
 über CHF 200,-

Falls Sie PARKGEBÜHREN für Ihren Pkw bezahlen mussten, geben Sie hier bitte an in welcher Höhe.

Parkgebühren : : : : : CHF, Rp

Um wieviel Uhr sind Sie am Ziel ANGEKOMMEN? → : : : : : Ankunft (Uhrzeit)

Bitte schätzen Sie die ENTFERNUNG des Weges möglichst genau. → : : : : : km : : : : : m

Weitere Wege bitte auf der nächsten Seite eintragen!

## II Datendokumentation Erhebung „cosim“

### II.1 Personendaten

**Tab. 5** *Alphabetische Liste der Variablen im Datensatz „Personen.txt“*

Variable	Nummer
PID	001
GPS Datei	002
Personen	003
weitere Mitglieder	004
Hunde	005
PW im Haushalt	006
PKW Verfügbarkeit	007
Fahrrad	008
Moped Mofa	009
Motorrad	010
LKW	011
CarSharing	012
PW Anderer	013
Häufigkeit PW Anderer	014
Garage	015
Kosten Garage	016
Stellplatz	017
Kosten Stellplatz	018
Bus Entfernung Meter	019
Bus Entfernung Minuten	020
Tram Entfernung Meter	021
Tram Entfernung Minuten	022
Bahn Entfernung Meter	023
Bahn Entfernung Minuten	024
Wohnsituation	025
Kosten Wohnung	026
Grösse Wohnung	027
HhNettoEinkommen	028
Geburtsjahr	029
Familienstatus	030
Geschlecht	031
Ausbildung	032
weitere Ausbildung 1	033
weitere Ausbildung 2	034
Arbeitszeit	035

Beruf	036
Zeitfahrkarte 1	037
Zeitfahrkarte 2	038
Führerscheinbesitz	039
berufliche Stellung 1	040
berufliche Stellung 2	041
Entfernung	042
Bekanntheit der Route	043
Gewohnheit	044
Hauptstrassen	045
Beleuchtung	046
Wetter	047
Ampeln	048
Verkehrsaufkommen	049
weitere Entscheidung 1	050
weitere Entscheidung 2	051
Umweltverbund	052
PW	053
Autofan	054
abwägend	055
Bekannte	056
Karten	057
Routenplaner	058
Navigationsgerät	059
Himmelsrichtung	060
Hauptstrassen	061
Hinweisschilder	062
weitere Suche 1	063
weitere Suche 2	064
Navigation	065

## 001 PID

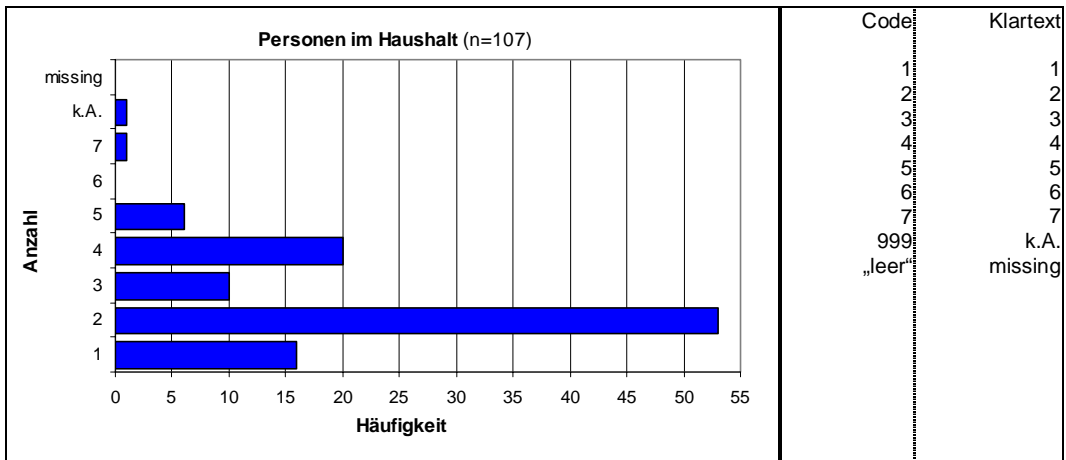
Die Variable „PID“ ist eine fortlaufende Nummer, welche eindeutig den jeweiligen Datensatz einer Person kennzeichnet, so dass die in den unterschiedlichen Dateien enthaltenen Daten untereinander entsprechend ihrer Herkunft zugeordnet werden können.

## 002 GPS Datei

Die Variable „GPS“ Datei gibt den Namen der Datei an, welche die GPS-Rohdaten aus der Bewegungserfassung der jeweiligen Person enthält.

### 003 Personen

Die Variable „Personen“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person lebenden Personen insgesamt an.

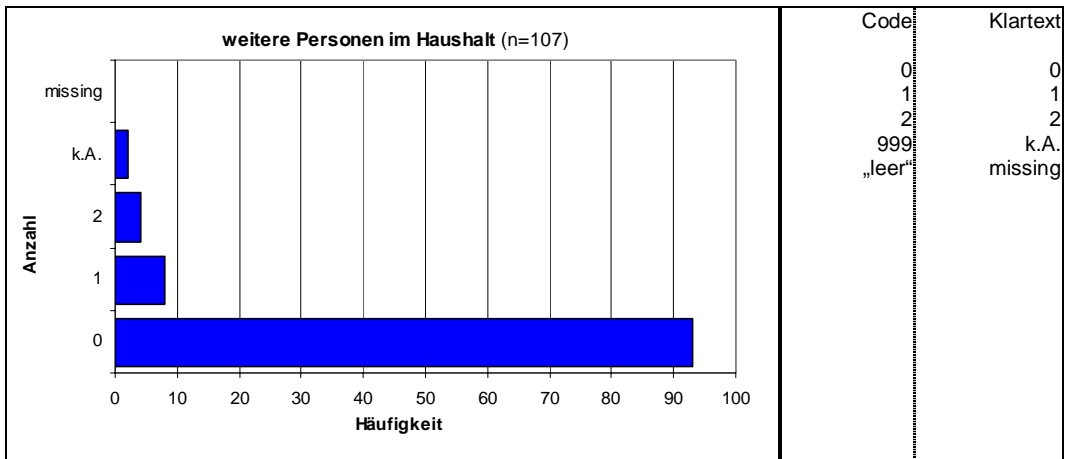


Code	Klartext
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	2.54	1.21	2	1	7

### 004 weitere Mitglieder

Die Variable „weitere Mitglieder“ gibt die Anzahl der zum Haushalt gehörigen Mitglieder an, die nicht ständig im Haushalt der befragten Person leben.

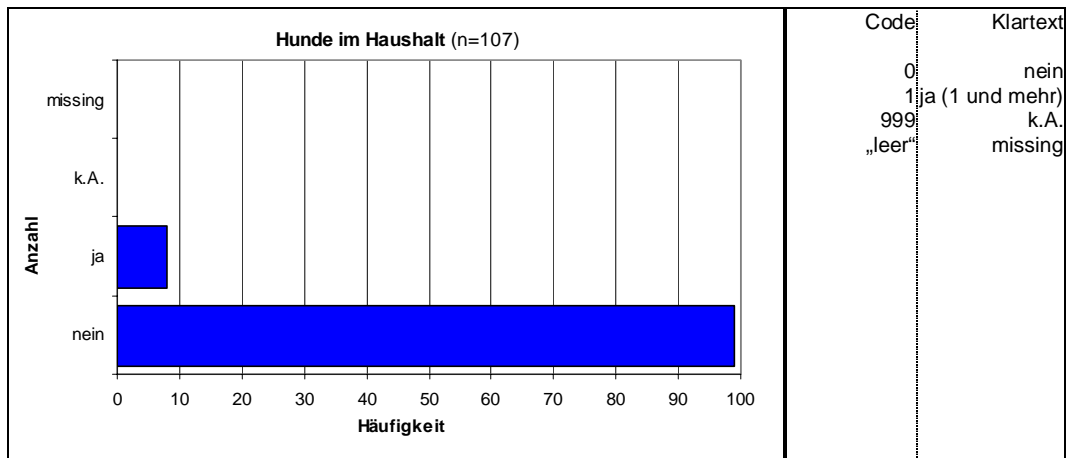


Code	Klartext
0	0
1	1
2	2
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0.15	0.46	0	0	2

### 005 Hunde

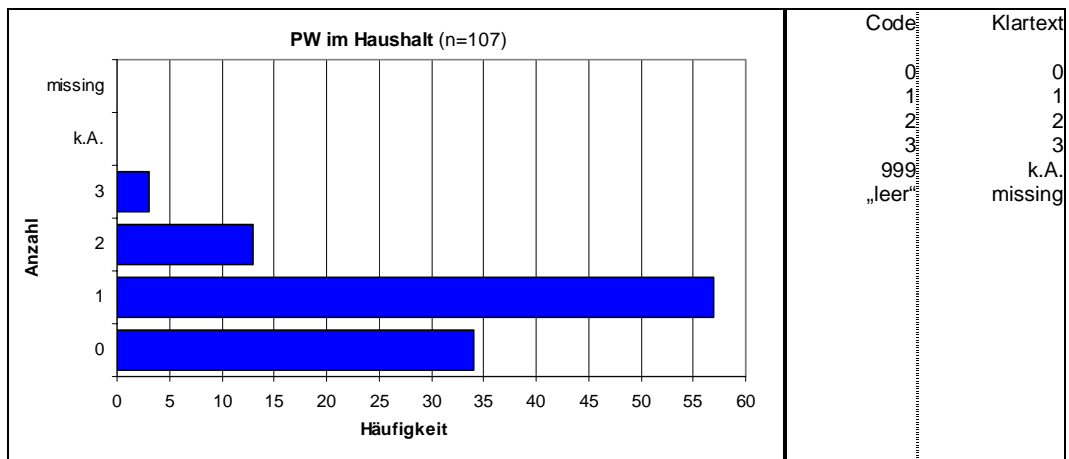
Die Variable „Hunde“ gibt an, ob ein oder mehrere Hunde im Haushalt leben.



Code	Klartext
0	nein
1	ja (1 und mehr)
999	k.A.
„leer“	missing

### 006 PW im Haushalt

Die Variable „PW im Haushalt“ gibt die Anzahl der dem Haushalt der befragten Person zur Verfügung stehenden PW's insgesamt an.



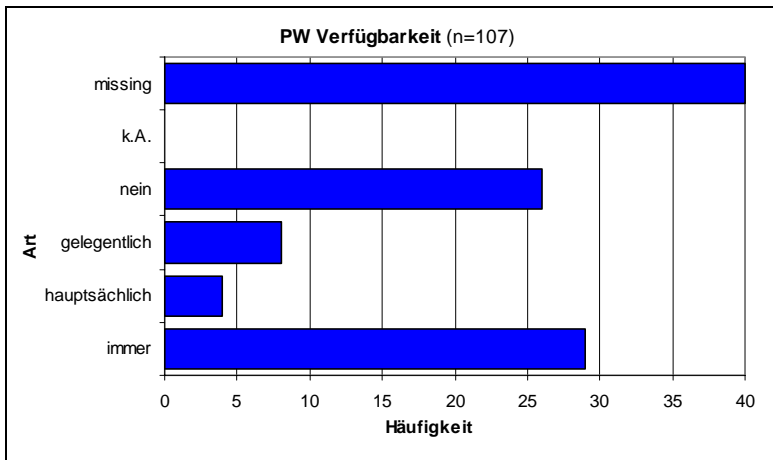
Code	Klartext
0	0
1	1
2	2
3	3
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0.86	0.73	1	0	3



### 007 PW Verfügbarkeit

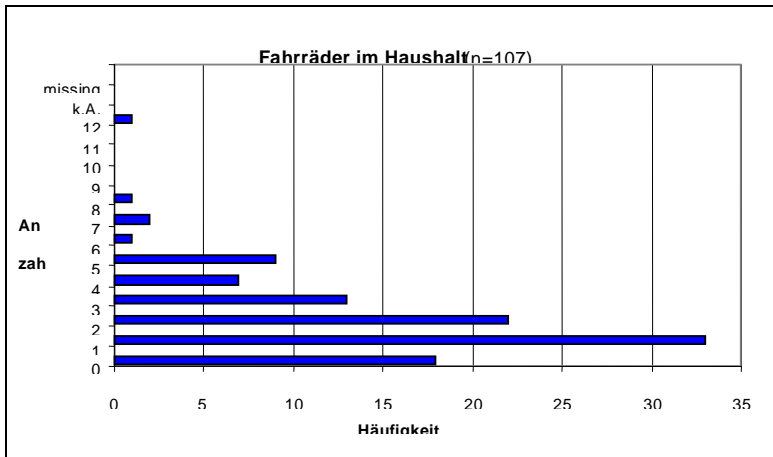
Die Variable „PW-Verfügbarkeit“ gibt die Art der Verfügbarkeit eines PW für die jeweils befragte Person an.



Code	Klartext
1	immer
2	hauptsächlich
3	gelegentlich
4	nein
999	k.A.
„leer“	missing

### 008 Fahrrad

Die Variable „Fahrräder im Haushalt“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person zur Verfügung stehenden Fahrräder insgesamt an.

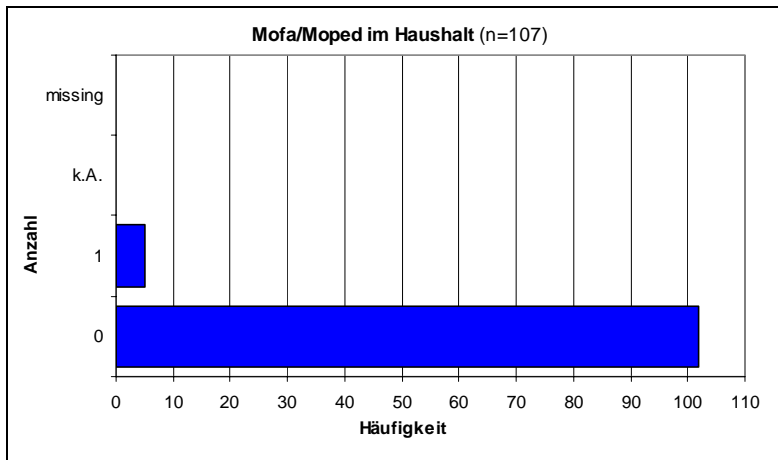


Code	Klartext
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	2.14	2.01	2	0	12

### 009 Moped Mofa

Die Variable „Moped Mofa“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person zur Verfügung stehenden Mopeds und Mofas insgesamt an.

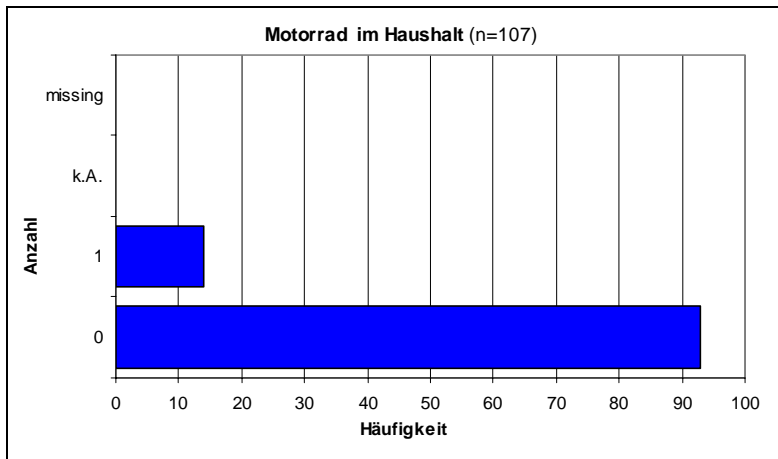


Code	Klartext
0	0
1	1
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0.05	0.21	0	0	1

### 010 Motorrad

Die Variable „Motorrad“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person zur Verfügung stehenden Motorräder insgesamt an.

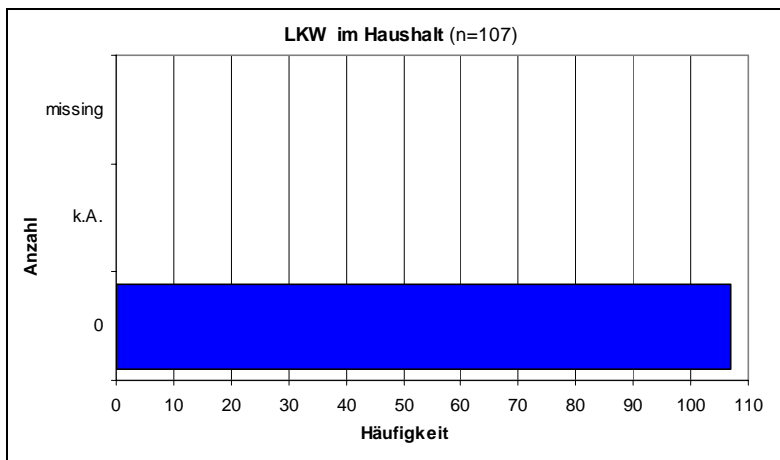


Code	Klartext
0	0
1	1
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0.13	0.34	0	0	1

### 011 LKW

Die Variable „LKW“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person zur Verfügung stehenden LKW's insgesamt an.

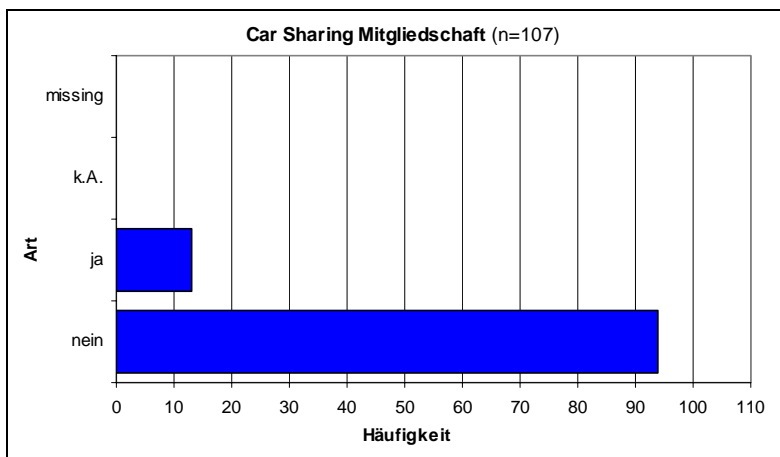


Code	Klartext
0	0
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0	0	0	0	0

### 012 CarSharing

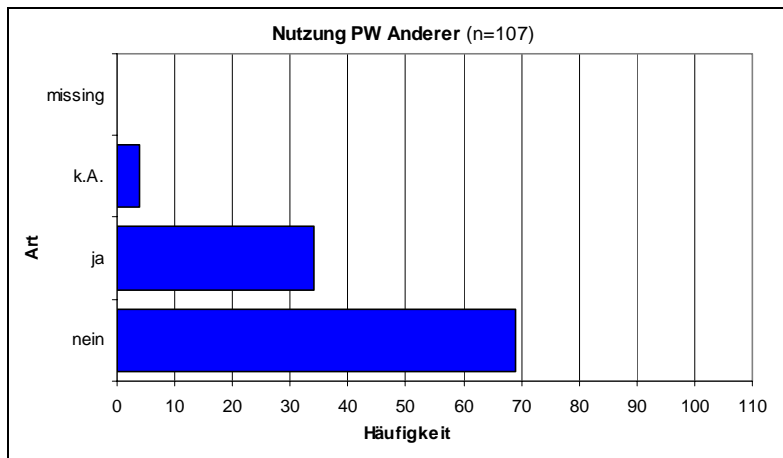
Die Variable „CarSharing“ gibt an, ob die befragte Person Mitglied in einem Car Sharing Verein oder Ähnlichem ist.



Code	Klartext
0	nein
1	ja
999	k.A.
„leer“	missing

### 013 PW Anderer

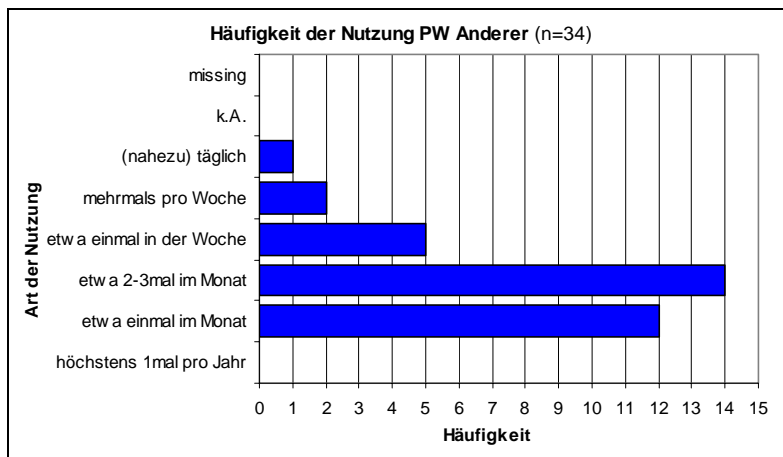
Die Variable „PW Anderer“ gibt an, ob die befragte Person PW's anderer Personen benutzt.



Code	Klartext
0	nein
1	ja
999	k.A.
„leer“	missing

### 014 Häufigkeit PW Anderer

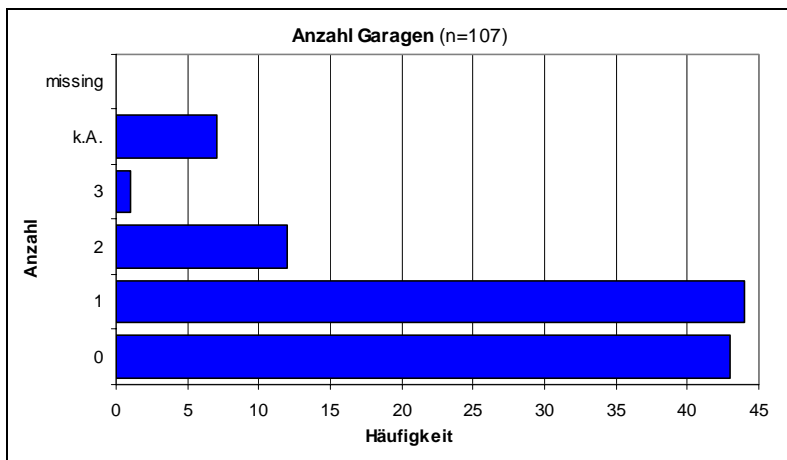
Die Variable „Häufigkeit PW Anderer“ gibt an, wie häufig die befragte Person PW's anderer Personen benutzt.



Code	Klartext
1	höchs-
2	tens 1mal/Jahr
3	etwa 1mal/Monat
4	etwa 2-3mal/Monat
5	etwa 1mal/Woche
6	mehrmals/Woche
999	(nahezu) täglich
„leer“	k.A.
	missing

### 015 Garage

Die Variable „Garage“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person verfügbaren Garagen insgesamt an.

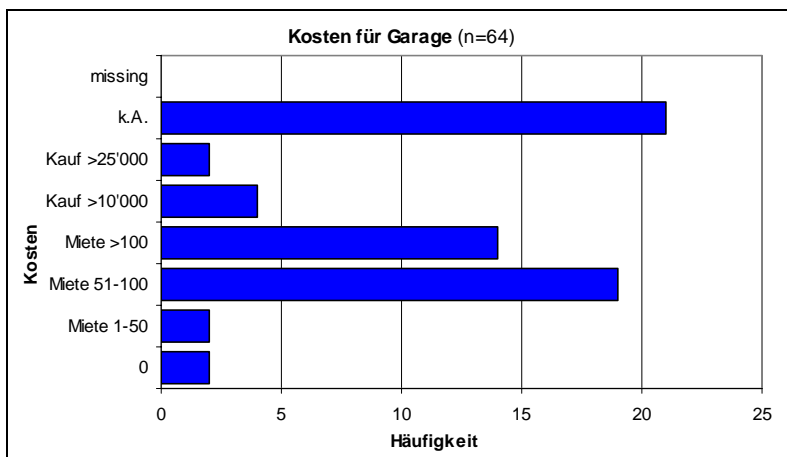


Code	Klartext
0	0
1	1
2	2
3	3
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	0	0.71	0.71	1	0	3

### 016 Kosten Garage

Die Variable „Kosten Garage“ gibt die Kosten für die Miete oder den Kauf der Garage des Haushalts des Befragten an.

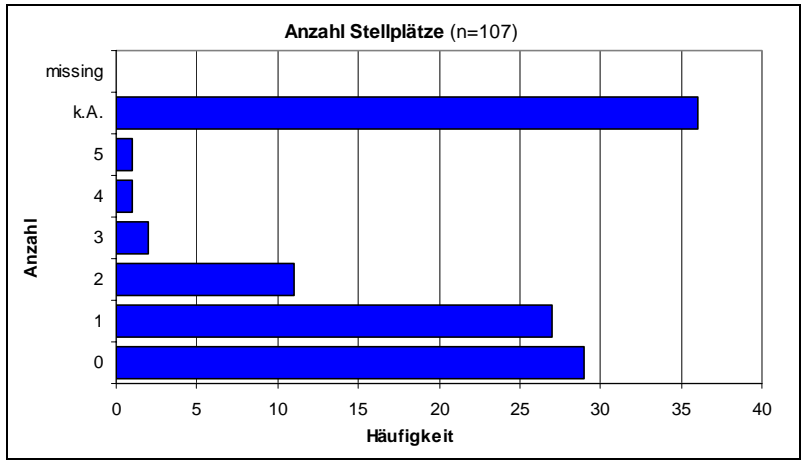


Code	Klartext
X	Kosten (CHF)
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
Kauf 6		24'666.67	6'831.30	25'000	15'000	35'000
Miete 37	21	100.95	38.46	100	0	160

### 017 Stellplatz

Die Variable „Stellplatz“ gibt die Anzahl der im Haushalt der befragten Person verfügbaren Stellplätze insgesamt an.

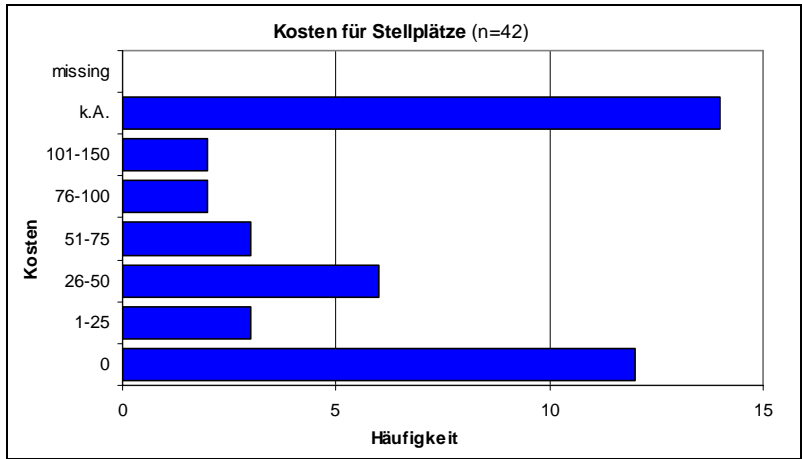


Code	Klartext
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimu4m	Maximum
107	0	0.90	1.02	1	0	5

### 018 Kosten Stellplatz

Die Variable „Kosten Stellplatz“ gibt die Kosten für die Miete oder den Kauf des Stellplatzes des Haushalts des Befragten an.

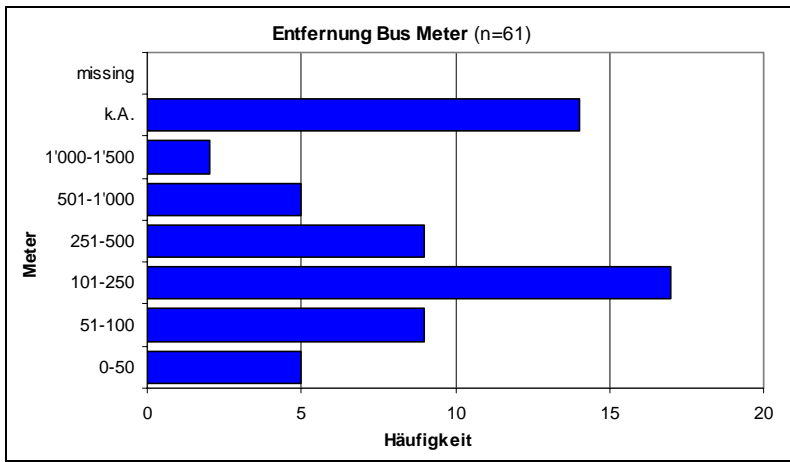


Code	Klartext
X	Kosten (CHF)
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
Miete 65	14	33.93	41.10	20	0	150

### 019 Bus Entfernung Meter

Die Variable „Bus Entfernung Meter“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Bushaltestelle in Metern an.

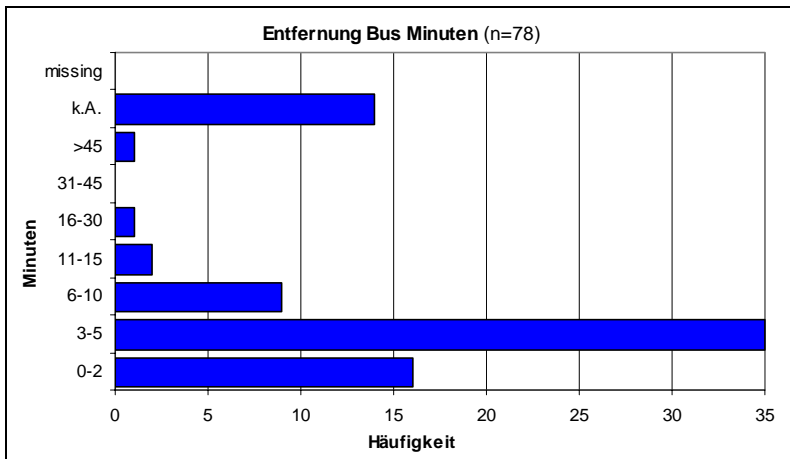


Code	Klartext
X	Meter
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
61	14	310.64	306.60	200	20	1'500

### 020 Bus Entfernung Minuten

Die Variable „Bus Entfernung Minuten“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Bushaltestelle in Minuten an.

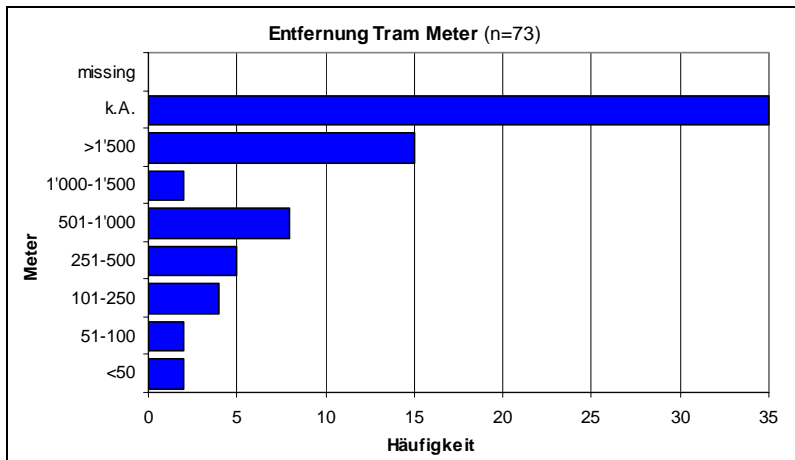


Code	Klartext
X	Minuten
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
78	14	5.53	8.14	3.50	1	60

### 021 Tram Entfernung Meter

Die Variable „Tram Entfernung Meter“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Tramhaltestelle in Metern an.

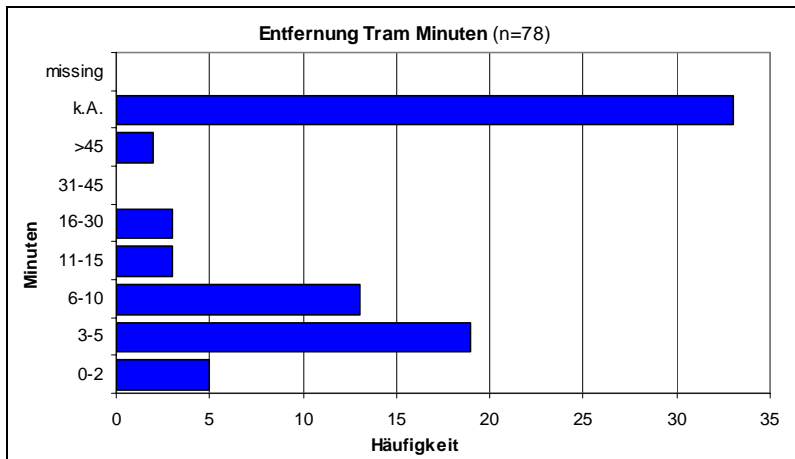


Code	Klartext
X	Meter
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
73	35	4'016.03	7'556.23	1'000	2	40'000

### 022 Tram Entfernung Minuten

Die Variable „Tram Entfernung Minuten“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Tramhaltestelle in Minuten an.



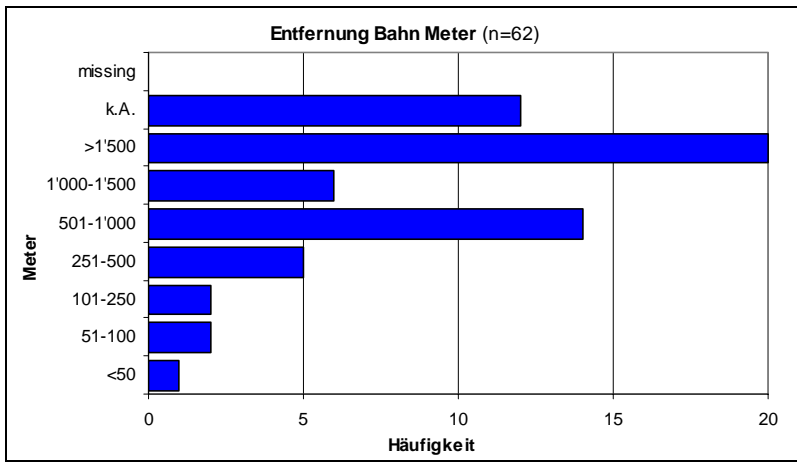
Code	Klartext
X	Minuten
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
78	33	11.04	18.31	5	2	113



### 023 Bahn Entfernung Meter

Die Variable „Bahn Entfernung Meter“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Bahnhaltestelle in Metern an.

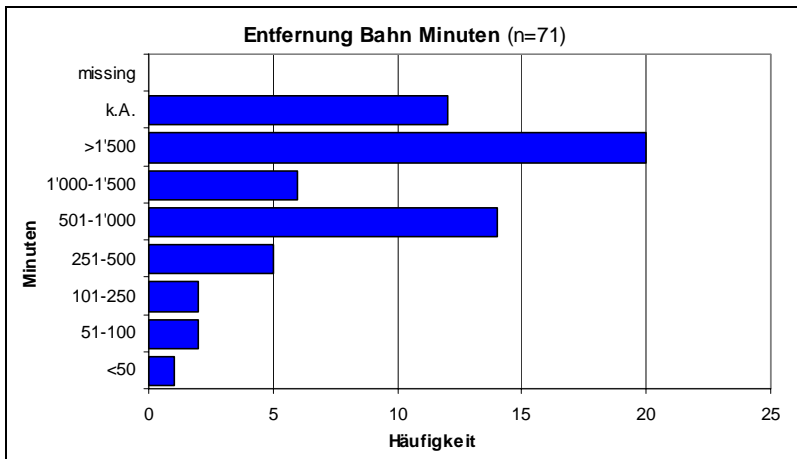


Code	Klartext
X	Meter
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
62	12	2'521.30	3'282.81	1'150	15	15'000

### 024 Bahn Entfernung Minuten

Die Variable „Bahn Entfernung Minuten“ gibt die durch den Befragten geschätzte Entfernung zur nächstgelegenen Bahnhaltestelle in Minuten an.

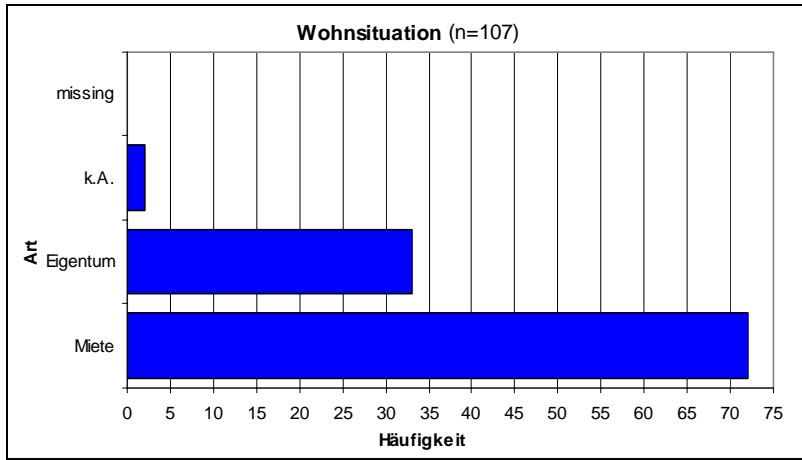


Code	Klartext
X	Minuten
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
71	3	632.96	5'125.58	10	2	42'278

### 025 Wohnsituation

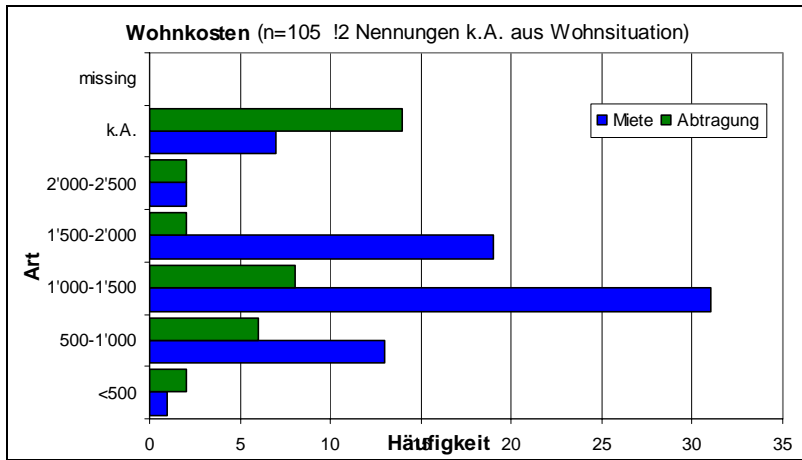
Die Variable „Wohnsituation“ gibt an, ob die befragte Person Wohneigentum besitzt oder zur Miete wohnt.



Code	Klartext
1	Miete
2	Eigentum
999	k.A.
„leer“	missing

### 026 Kosten Wohnung

Die Variable „Kosten Wohnung“ gibt die Kosten für die Wohnung in Form der Miete oder monatlichen Belastung (bei Eigentum) an.

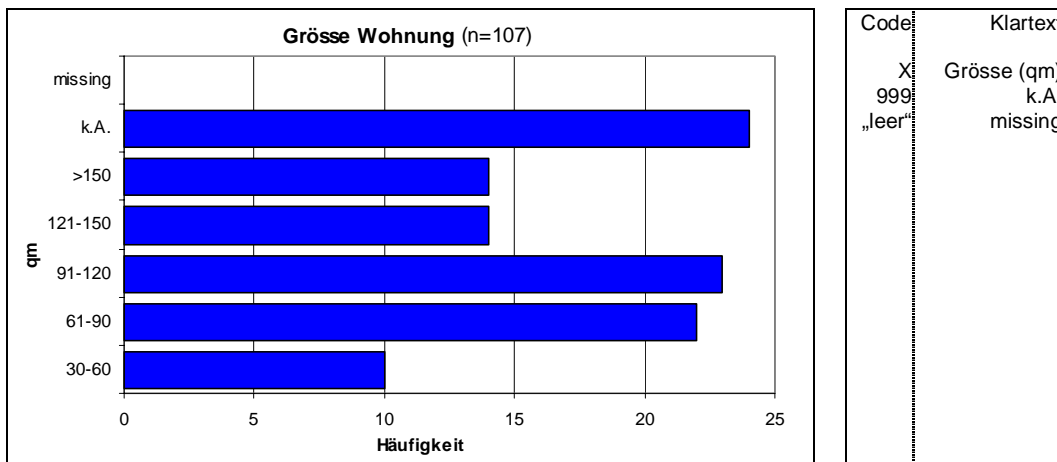


Code	Klartext
X	Kosten (CHF)
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
Miete 73	7	1'352.74	398.85	1'300	462	2'250
Kauf 34	14	1'241.50	489.71	1'250	250	2'200

### 027 Grösse Wohnung

Die Variable „Grösse Wohnung“ gibt die Wohnfläche der Wohnung (Haus) des Befragten in qm an.

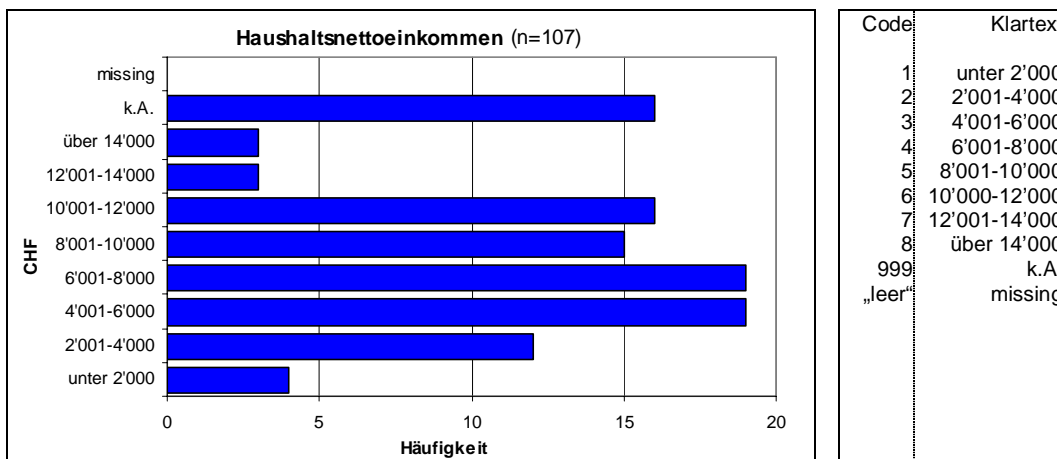


Code	Klartext
X	Grösse (qm)
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	24	115.40	54.62	100	35	360

### 028 HhNettoEinkommen

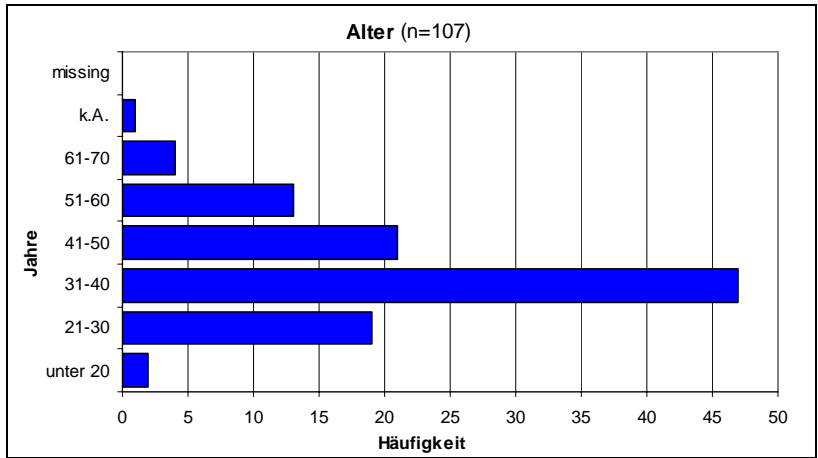
Die Variable „HhNettoEinkommen“ gibt das gesamte monatliche Nettoeinkommen aller im Haushalt der Befragten Person lebenden Personen an.



Code	Klartext
1	unter 2'000
2	2'001-4'000
3	4'001-6'000
4	6'001-8'000
5	8'001-10'000
6	10'000-12'000
7	12'001-14'000
8	über 14'000
999	k.A.
„leer“	missing

### 029 Geburtsjahr

Die Variable „Geburtsjahr“ gibt das Geburtsjahr der befragten Person an. In der folgenden **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Häufigkeit des aus dem Geburtsjahr errechneten Alters der Befragten dargestellt.

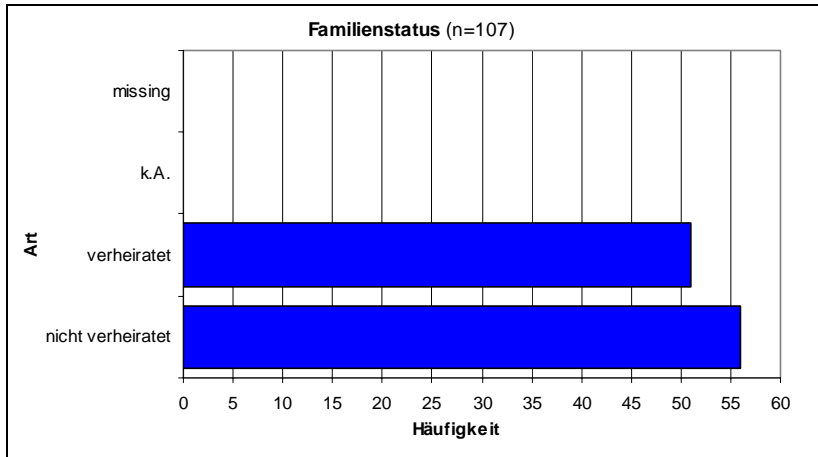


Code	Klartext
X	Geburtsjahr
999	k.A.
„leer“	missing

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	1	28.26	10.19	35.50	20	64

### 030 Familienstatus

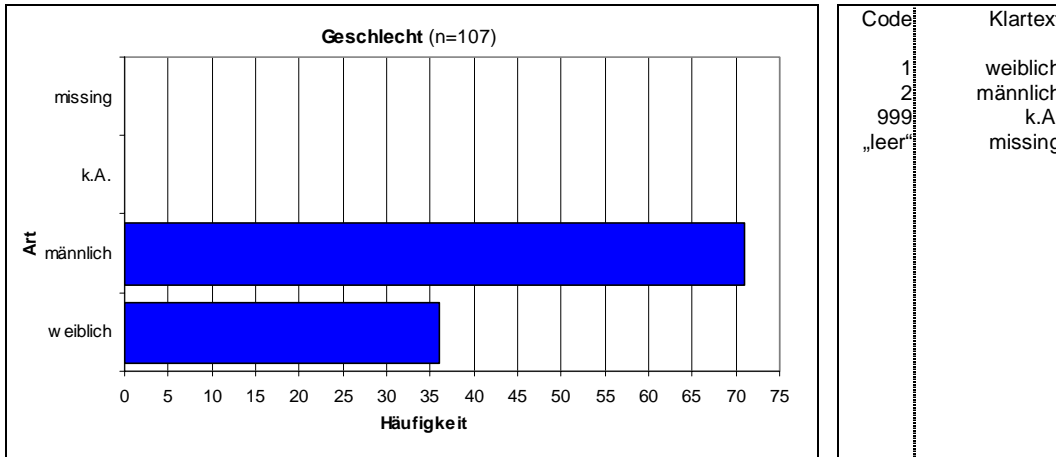
Die Variable „Familienstatus“ gibt an, ob die befragte Person verheiratet oder ledig ist.



Code	Klartext
0	nicht verheira- tet
1	verheiratet
999	k.A.
„leer“	missing

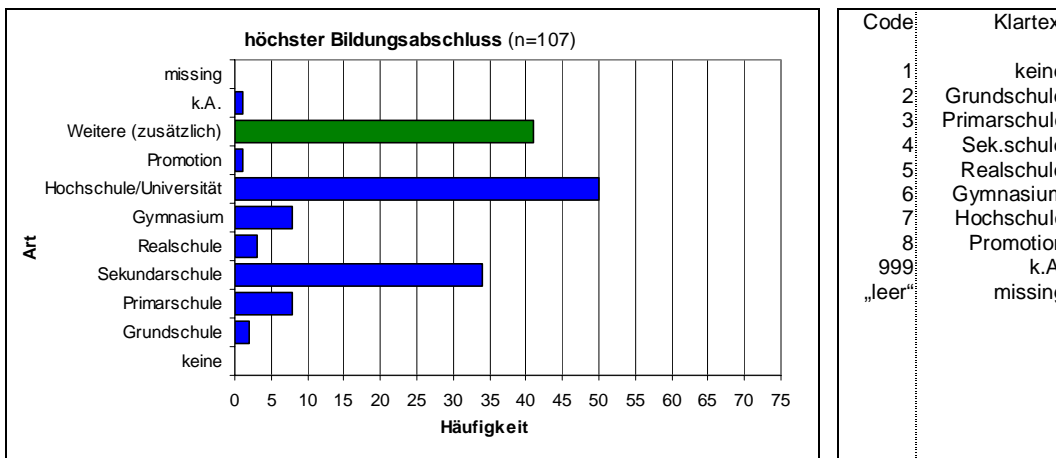
### 031 Geschlecht

Die Variable „Geschlecht“ gibt das Geschlecht der befragten Person an.



### 032 Ausbildung

Die Variable „Ausbildung“ gibt die höchste Ausbildung der befragten Person an. In einem separaten Balken (grün) ist die Anzahl der Personen angegeben, die neben der höchsten letzten Ausbildung eine weitere Ausbildung angegeben haben.



### 033 weitere Ausbildung 1

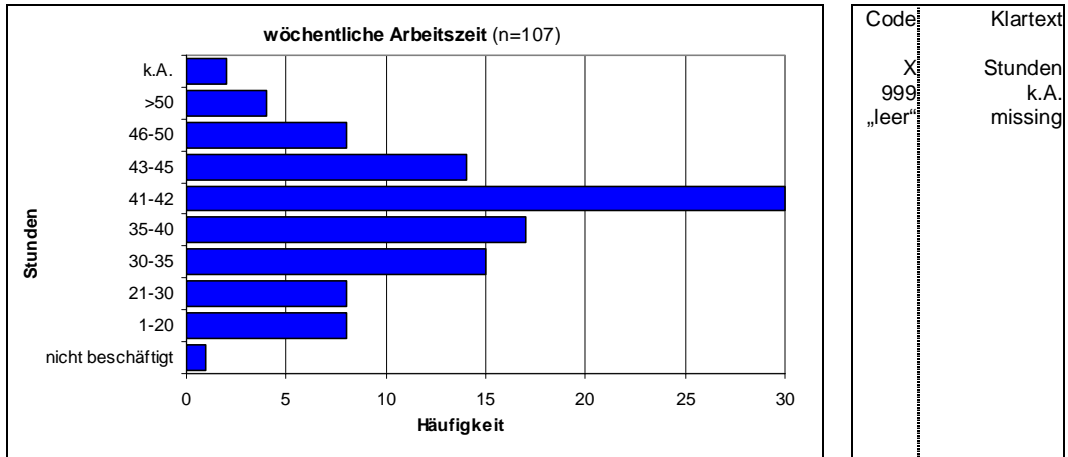
Die Variable „weitere Ausbildung 1“ gibt als Klartext eine weitere zusätzliche Ausbildung der befragten Person an. Auf eine graphische Darstellung wie auch auf eine Auflistung an dieser Stelle wird aufgrund der Diversität und der (daraus bedingten) geringen Fallzahlen verzichtet.

### 034 weitere Ausbildung 2

Die Variable „weitere Ausbildung 2“ gibt als Klartext eine weitere zusätzliche Ausbildung der befragten Person an. Auf eine graphische Darstellung wie auch auf eine Auflistung an dieser Stelle wird aufgrund der Diversität und der (daraus bedingten) geringen Fallzahlen verzichtet.

### 035 Arbeitszeit

Die Variable „Arbeitszeit“ gibt die wöchentliche Arbeitszeit der befragten Personen an.



N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
107	2	38.07	11.19	42	0	70

### 036 Beruf

Die Variable „Beruf“ gibt als Klartext den Beruf der befragten Person an. Auf eine graphische Darstellung wie auch auf eine Auflistung an dieser Stelle wird aufgrund der Diversität und der (auch daraus bedingten) geringen Fallzahlen verzichtet.

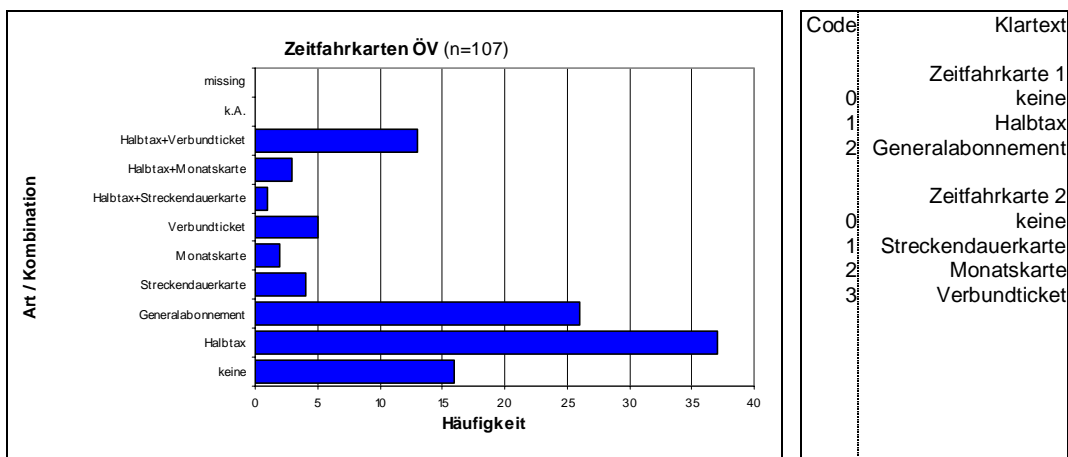
### 037 Zeitfahrkarte 1

Die Variable „Zeitfahrkarte 1“ gibt an, ob die befragte Person ein Halbtax oder ein Generalabonnement der SBB besitzt.

### 038 Zeitfahrkarte 2

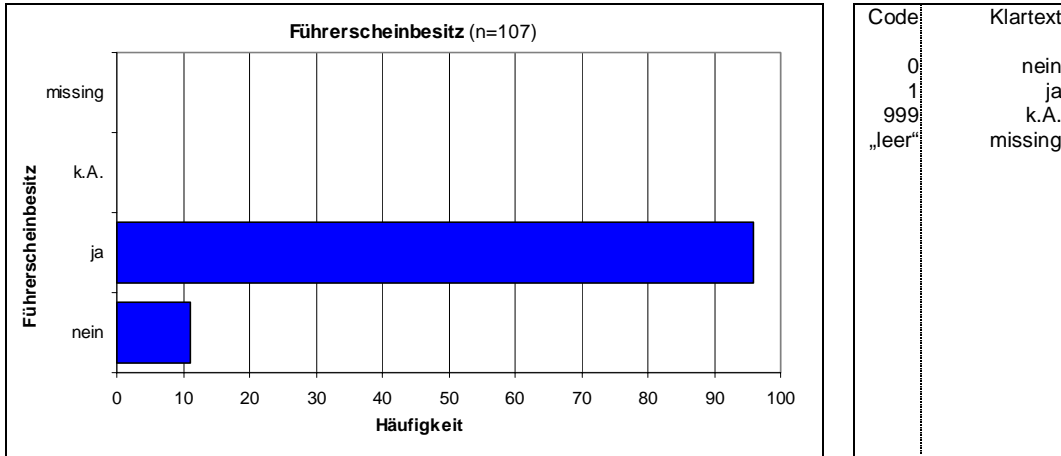
Die Variable „Zeitfahrkarte 2“ gibt an, ob die befragte Person eine weitere Zeitfahrkarte für den öffentlichen Verkehr besitzt.

In der folgenden Abbildung sind die vorkommenden Kombinationen aus der Variablen „Zeitfahrkarte 1“ und „Zeitfahrkarte 2“ entsprechend der Angaben der befragten Personen dargestellt.



### 039 Führerscheinbesitz

Die Variable „Führerscheinbesitz“ gibt an, ob die befragte Person einen Führerschein besitzt oder nicht.



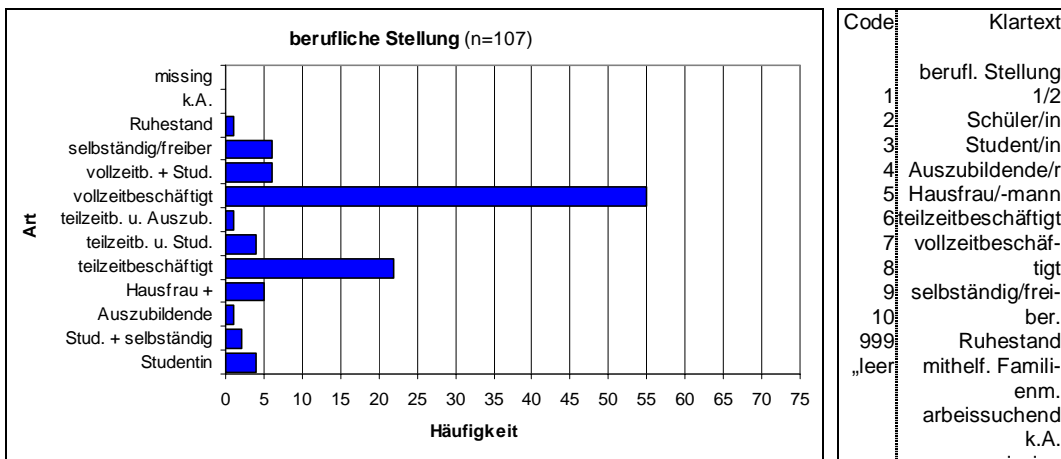
### 040 berufliche Stellung 1

Die Variable „berufliche Stellung 1“ gibt die aktuelle Stellung im Erwerbsleben der befragten Person an.

### 041 berufliche Stellung 2

Die Variable „berufliche Stellung 2“ gibt eine weitere zusätzliche aktuelle Stellung der befragten Person im Erwerbsleben an.

In der folgenden Abbildung sind die vorkommenden Kombinationen aus der Variablen „berufliche Stellung 1“ und „berufliche Stellung 2“ entsprechend der Angaben der befragten Personen dargestellt.



### 042 Entfernung

Die Variable „Entfernung“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Entfernung eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 043 Bekanntheit der Route

Die Variable „Bekanntheit der Route“ gibt an, ob für die befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Bekanntheit der Route eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 044 Gewohnheit

Die Variable „Gewohnheit“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Gewohnheit eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 045 Hauptstrassen

Die Variable „Hauptstrassen“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Nutzung von Hauptstrassen eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 046 Beleuchtung

Die Variable „Beleuchtung“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Beleuchtung eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 047 Wetter

Die Variable „Wetter“ gibt an, ob für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route das Wetter eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

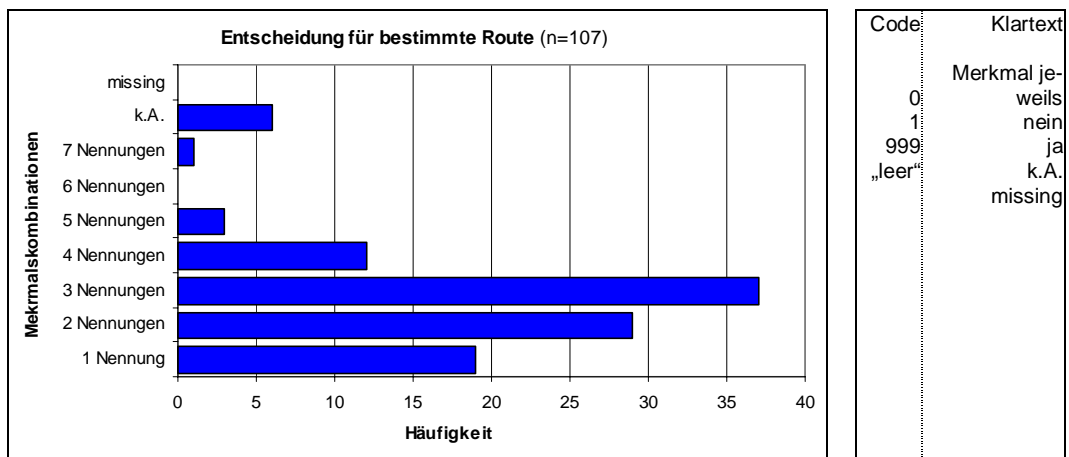
### 048 Ampeln

Die Variable „Ampeln“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route die Anzahl der Ampeln eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 049 Verkehrsaufkommen

Die Variable „Verkehrsaufkommen“ gibt an, ob die für befragte Person bei der Entscheidung für eine bestimmte Route das erwartete Verkehrsaufkommen eine Rolle spielt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

Die folgende Abbildung stellt die Häufigkeiten der unterschiedlich vorkommenden Kombinationen der Variablen 42-49 dar.





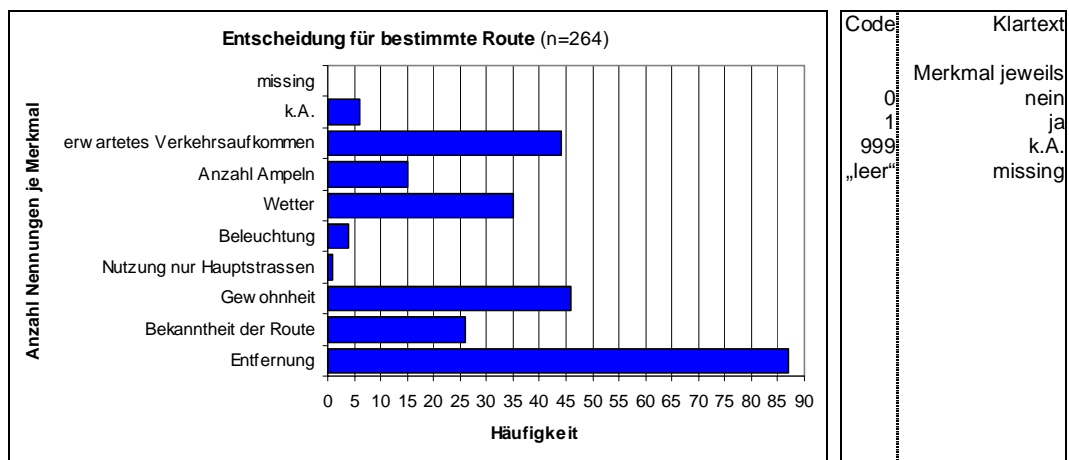
## 050 weitere Entscheidung 1

Die Variable „weitere Entscheidung 1“ gibt im Klartext weitere Gründe für die Wahl einer bestimmten Route an. Nennungen sind: Zeit, Raucherabteil im ÖV, Verbindungen ÖV, Vorhandensein von ÖV, angenehme Strecke, Gepäck, Velowege, nach Lust, Sicherheit, Arbeitsweg, Höhendifferenz, Strassenräumung Winter, Dauer, Aufwand, Kosten, Parkplatz, Abwechslung.

## 051 weitere Entscheidung 2

Die Variable „weitere Entscheidung 1“ gibt im Klartext weitere Gründe für die Wahl einer bestimmten Route an. Es gab keine weiteren Nennungen.

In der folgenden Abbildung sind die Häufigkeiten der für eine Routenentscheidung massgebenden Kriterien dargestellt. Dabei konnten die Befragten auch Mehrfachnennungen vornehmen.



## 052 Umweltverbund

Die Variable „Umweltverbund“ gibt an, ob die Person sich in einer Selbsteinschätzung eher als Fuss-/Fahrrad-/ÖV-bezogen einschätzt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in der folgenden Abbildung dargestellt.

## 053 PW

Die Variable „PW“ gibt an, ob die Person sich in einer Selbsteinschätzung eher als PKW-bezogen einschätzt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in der folgenden Abbildung dargestellt.

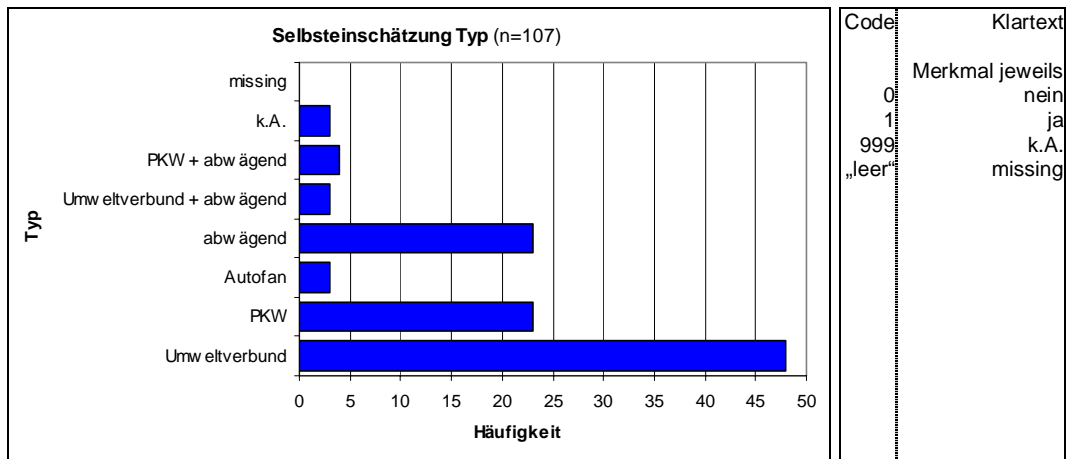
## 054 Autofan

Die Variable „Autofan“ gibt an, ob die Person sich in einer Selbsteinschätzung eher als Prinzipiell Auto-bezogen (Autofan) einschätzt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in der folgenden Abbildung dargestellt.

### 055 Abwägend

Die Variable „abwägend“ gibt an, ob die Person sich in einer Selbsteinschätzung eher als abwägend und Verkehrsmittel je nach Nutzen einsetzend einschätzt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in der folgenden Abbildung dargestellt.

In der folgenden Abbildung ist die „Selbsteinschätzung“ der Befragten bezüglich einer „Zuneigung“ zu einem bestimmten Verkehrsmittel angegeben. Dabei konnten die Befragten auch Mehrfachnennungen vornehmen, so dass Kombinationen der ursprünglichen Angaben möglich sind.



### 056 Bekannte

Die Variable „Bekannte“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg bei Bekannten oder Freunden informiert. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 057 Karten

Die Variable „Karten“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg mit Hilfe von Karten informiert. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 058 Routenplaner

Die Variable „Routenplaner“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg mit Hilfe eines Routenplaners (auch Internet) informiert. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 059 Navigationsgerät

Die Variable „Navigationsgerät“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg mit Hilfe eines Navigationsgerätes den Weg sucht. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

### 060 Himmelsrichtung

Die Variable „Himmelsrichtung“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg anhand der Himmelsrichtung orientiert. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

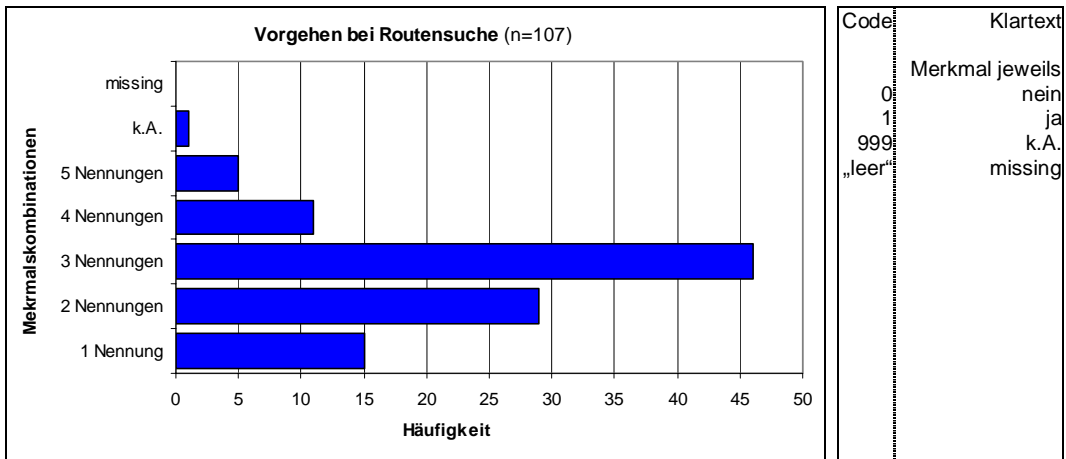
### 061 Hauptstrassen

Die Variable „Hauptstrassen“ gibt an, ob die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg hauptsächlich Hauptstrassen nutzt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

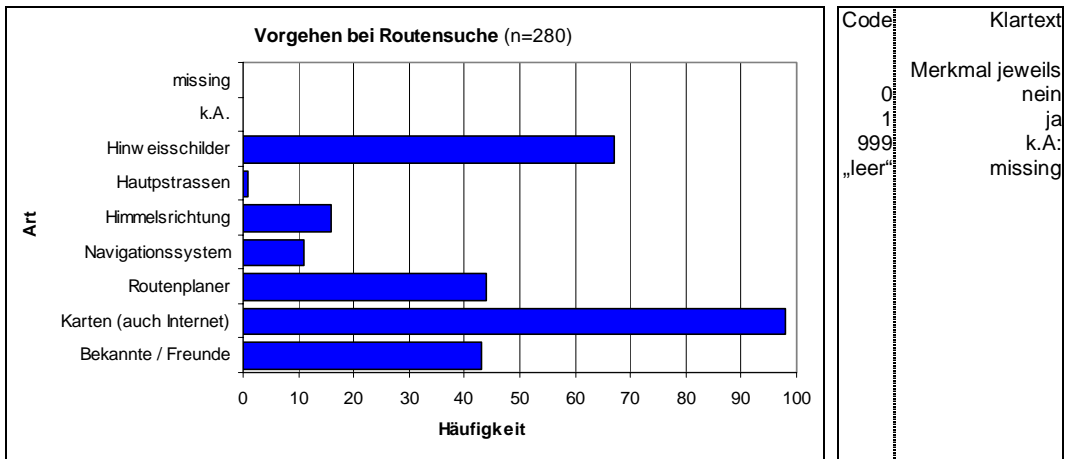
### 062 Hinweisschilder

Die Variable „Hinweisschilder“ gibt an, ob sich die Person bei der Suche eines Ziels bei unbekanntem Weg an Hinweisschildern orientiert und diesen folgt. Zusammen mit den folgenden Variablen wird das Ergebnis in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

Die folgende Abbildung stellt die Häufigkeiten der unterschiedlich vorkommenden Kombinationen der Variablen 56-62 dar.



In der folgenden Abbildung sind die Häufigkeiten der für eine Routensuche massgebenden Kriterien dargestellt. Dabei konnten die Befragten auch Mehrfachnennungen vornehmen.



### 063 weitere Suche 1

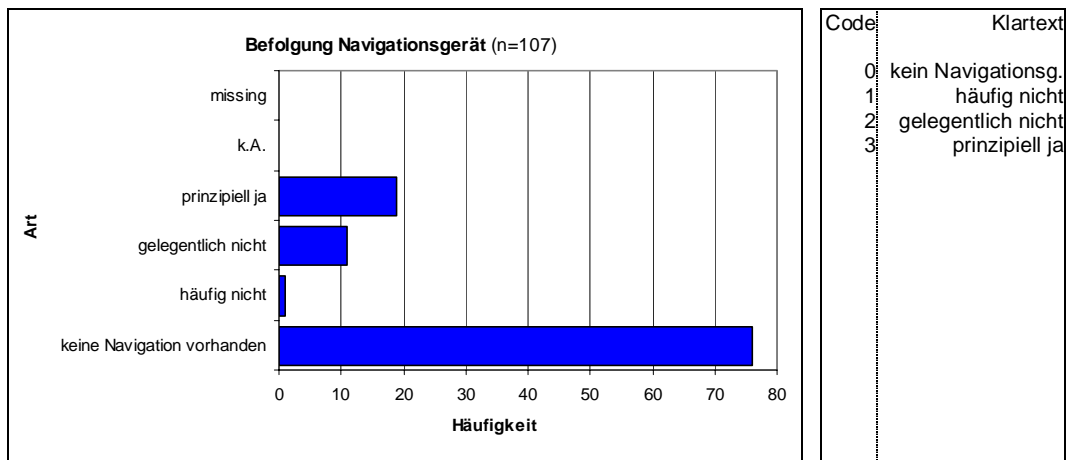
Die Variable „weitere Suche 1“ gibt im Klartext weitere Kriterien für die Routensuche an. Nennungen sind: Fragen (auf der Strasse), Orientierung am Gelände, Fahrpläne, Intuition, Gefühl.

### 064 weitere Suche 2

Die Variable „weitere Suche 2“ gibt im Klartext weitere Gründe für die Wahl einer bestimmten Route an. Es gab keine weiteren Nennungen.

## 065 Navigation

Die Variable „Navigation“ gibt an, ob die befragte Person ein Navigationsgerät verwendet oder nicht und inwieweit sie die Anweisungen des Gerätes befolgt.



## II.2 Wegedaten

**Tab. 6** *Alphabetische Liste der Variablen im Datensatz „Wege.txt“*

Variable	Nummer
WID	1
GPS Datei	2
Weg Nummer	3
Wochentag	4
Abfahrtszeit	5
Fahrtzweck	6
anderer Fahrtzweck Freizeit	7
anderer Fahrtzweck Sonstiges	8
nur zu Fuss	9
zu Fuss zum Verkehrsmittel	10
Fahrrad	11
Mofa Motorrad	12
PKW als Fahrer	13
PKW als Mitfahrer	14
Bus	15
Strassenbahn Stadtbahn	16
Eisenbahn	17
anderes Verkehrsmittel	18
zu Fuss zum Ziel	19
Ziel Strasse	20
Ziel PLZ	21
Ziel Ort	22
Begleitperson HH	23
andere Begleitperson	24
Hund ausführen	25
Ausgaben Aktivität	26
Parkgebühren	27
Ankunftszeit	28
Entfernung	31

### 001 WID

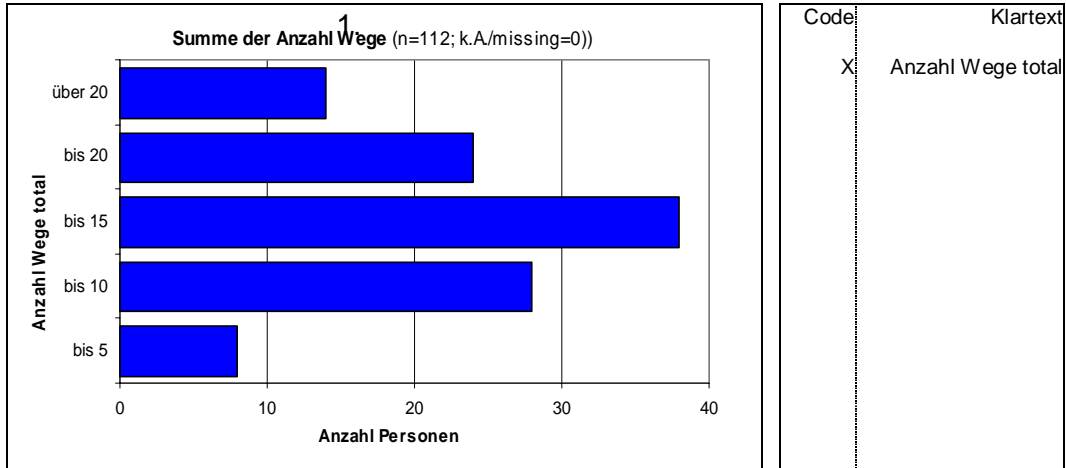
Die Variable „WID“ ist eine fortlaufende Nummer, welche eindeutig den jeweiligen Datensatz eines Weges kennzeichnet, so dass die in den unterschiedlichen Dateien enthaltenen Daten entsprechend ihrer Herkunft zugeordnet werden können.

### 002 GPS Datei

Die Variable „GPS“ Datei gibt den Namen der Datei an, welche die GPS-Rohdaten aus der Bewegungserfassung der jeweiligen Person enthält.

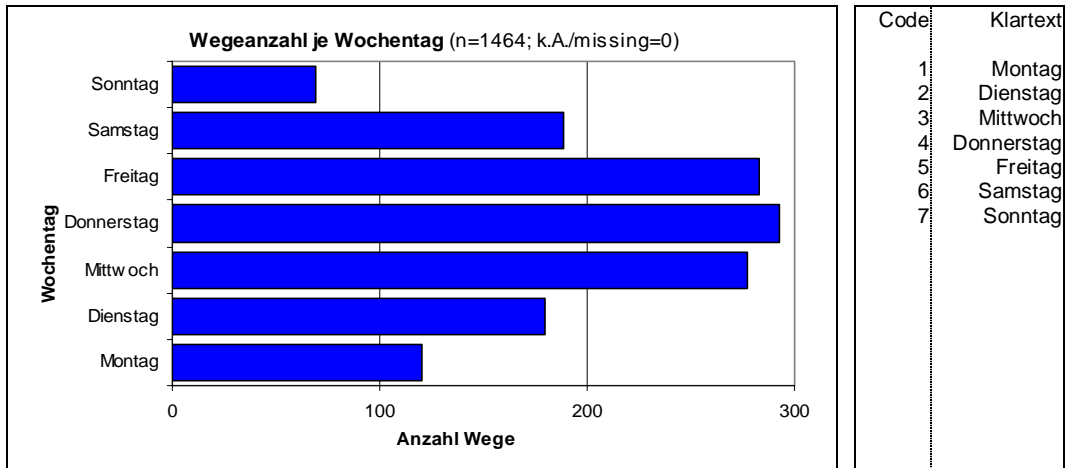
### 003 Weg Nummer

Die Variable „Weg Nummer“ ist eine fortlaufende Nummer, welche eindeutig den einzelnen Weg einer befragten Person in der Reihenfolge aller Wege der entsprechenden Person kennzeichnet.



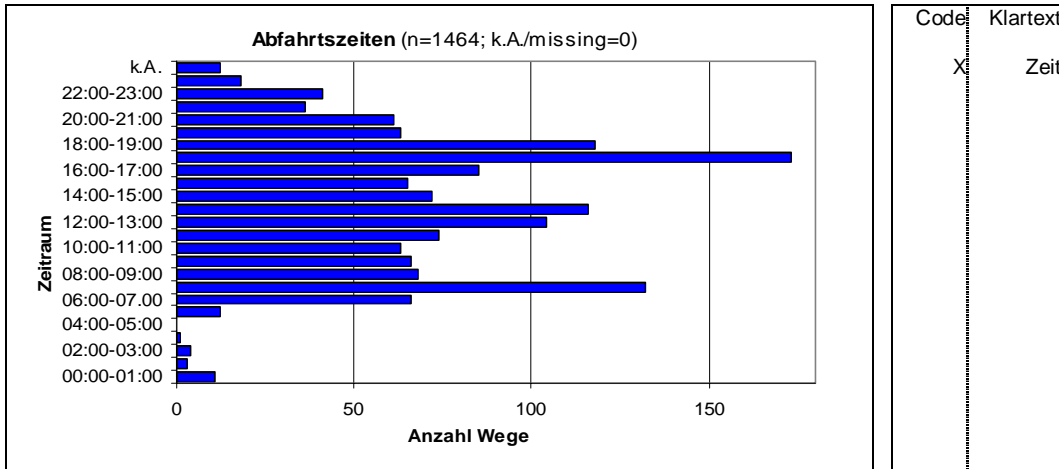
### 004 Wochentag

Die Variable „Wochentag“ gibt an, an welchem Wochentag die Wege zurückgelegt wurden.



### 005 Abfahrtszeit

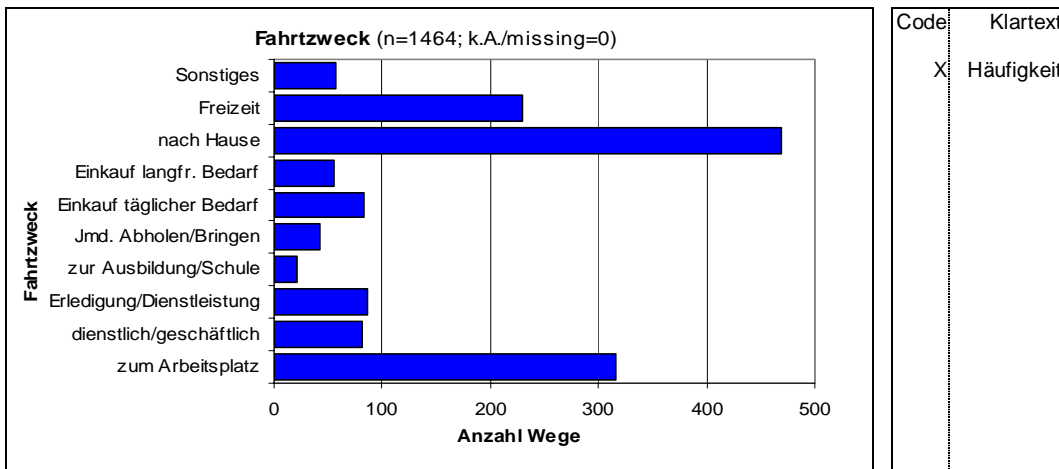
Die Variable „Abfahrtszeit“ gibt an, um welche Uhrzeit die Wege begonnen wurden. Nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl der zurückgelegten Wege in Abhängigkeit der Abfahrtszeit.



Code	Klartext
X	Zeit

### 006 Fahrtzweck

Die Variable „Fahrtzweck“ gibt für jeden berichteten Weg den Zweck der nachfolgenden Aktivität an.



Code	Klartext
X	Häufigkeit

### 007 Anderer Fahrtzweck Freizeit

Die Variable „anderer Fahrtzweck Freizeit“ gibt für den Fahrtzweck Freizeit den Zweck im Klartext an.

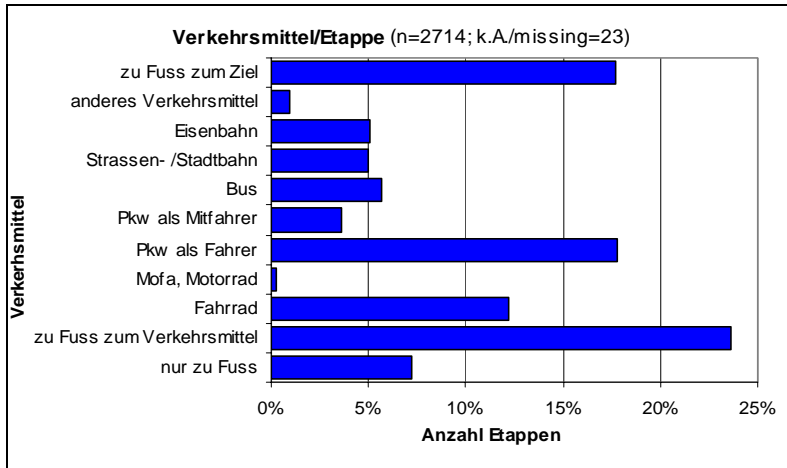
Nennungen sind: Essen, privates Treffen, Sport, Schneeschuhlaufen, Ausgang, Langlauf, Kinderhüten, privates Treffen, Kneipe, Fitness, Spaziergang, Kaffee trinken, Match, Essen bei Freunden, Kino, Brunch, indoor cycling, Fussballmatch, Volleyball, Restaurant, Joggen, Jogging, Stadtbummel, Gymnastik, Training, Party, Schlittschuhlaufen, Skilanglauf, Solarium, Kirchgang, Konzert, Shoppen, Mittagspause, Skitour, Sprachkurs, Besuch Freizeitpark, Sportveranstaltung, Fasnacht, Verein, Gitarrenstunde, Lesung, Ausstellung, Musikprobe, Kneipe, Yoga, Hallenbad, Tennis, Schlitteln, Bar, Chorprobe, Tanzkurs, Karaoke Club, Geburtstagsfeier, Läden, Walking, BigBand-Probe, Lauberhornrennen.

## 008 Anderer Fahrtzweck Sonstiges

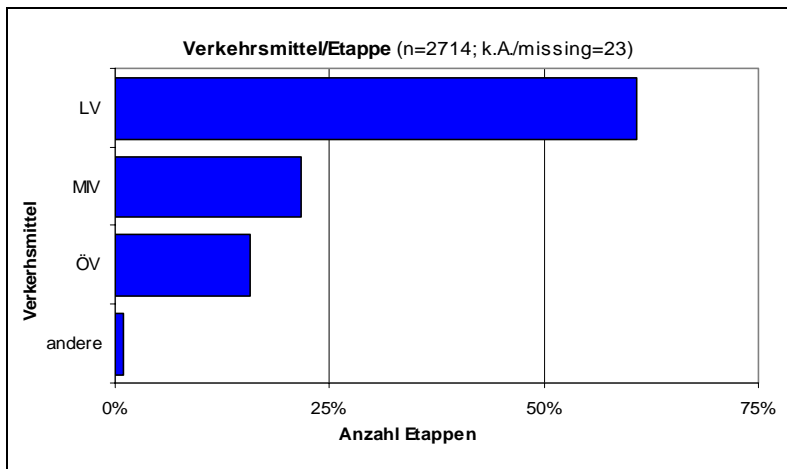
Die Variable „anderer Fahrtzweck Sonstiges“ gibt für den Fahrtzweck Sonstiges den Zweck im Klartext an. FDP, Arzt, Essen, Verein, Kaffee, Vaki – Turnen, Auto holen, Trauerfeier, Besuch, Volleyball-Match, Familientreffen, Coiffeur, Arbeitsessen, Handy vergessen, in die Stadt, zügeln, Geschenkeinkauf, Vortrag, zu Kunde, Geschäftsessen, Beerdigung, Diplomfeier, Postfach leeren, Arztbesuch, Tanken, Glas entsorgen, Nachessen, Podiumsgespräch,

### Verkehrsmittelwahl

Zusammenfassend über die Variablen 9 bis 19 wird nachfolgend die Verkehrsmittelwahl bezogen auf die Anzahl Etappen dargestellt:



Code	Klartext
X	Verkehrsmittel

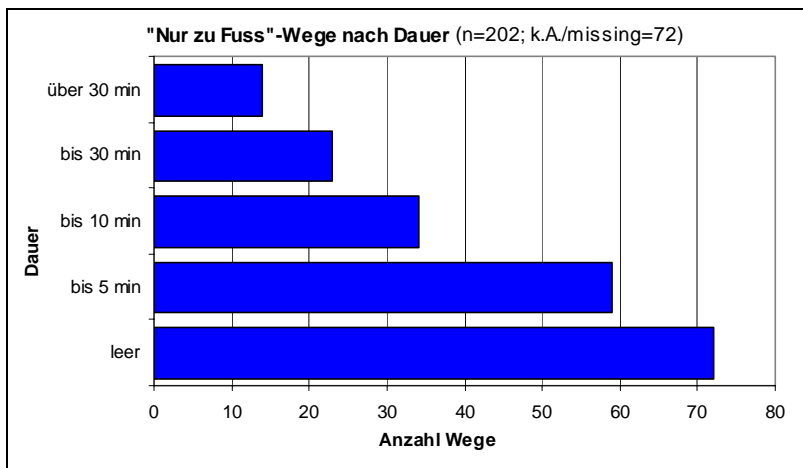


Code	Klartext
X	Verkehrsmittel



### 009 nur zu Fuss

Die Variable „nur zu Fuss“ gibt an, dass der Weg nur zu Fuss, ohne Benützung weiterer Verkehrsmittel unternommen wurde.

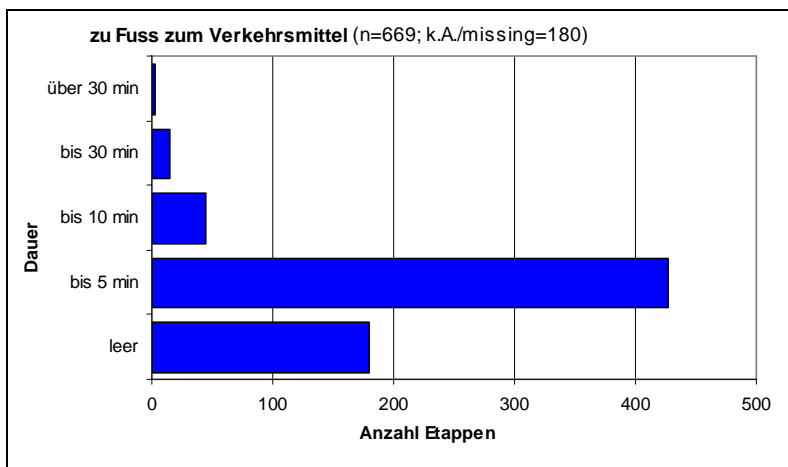


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
202	72	17.7	34.33	7.5	1	268

### 010 zu Fuss zum Verkehrsmittel

Die Variable „zu Fuss zum Verkehrsmittel“ gibt an, dass der Weg zu Fuss begonnen wurde und mit einem anderen Verkehrsmittel fortgesetzt wurde.

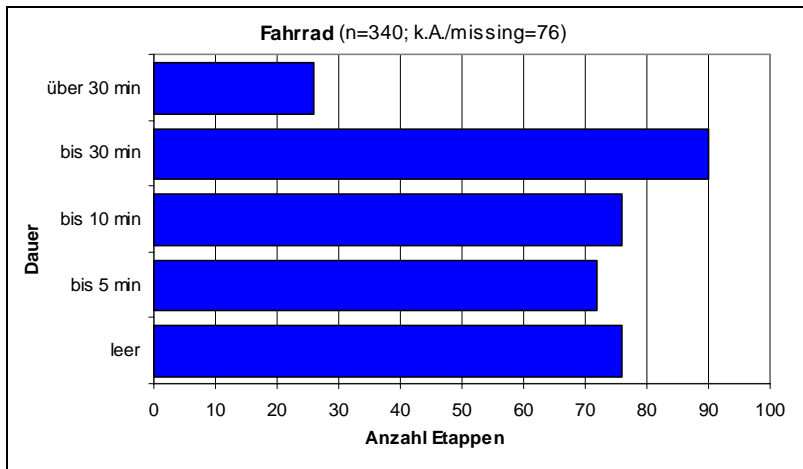


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
669	180	3.77	6.71	2	0	90

### 011 Fahrrad

Die Variable „Fahrrad“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit dem Fahrrad zurückgelegt wurde.

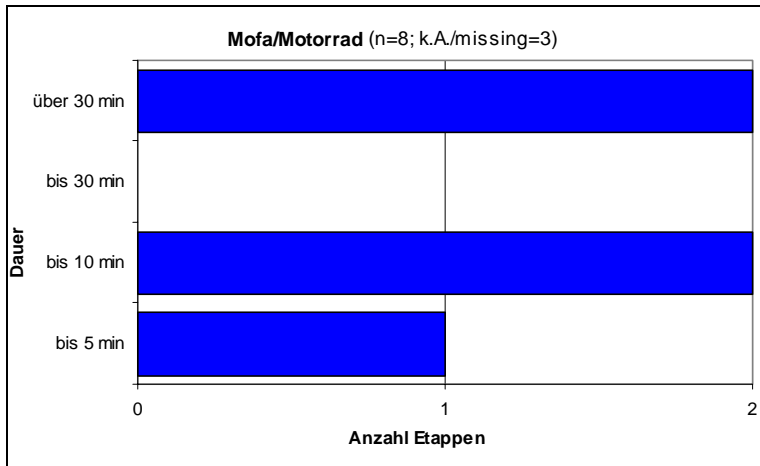


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
340	76	14.48	13.58	10	1	101

### 012 Mofa Motorrad

Die Variable „Mofa Motorrad“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit dem Mofa oder dem Motorrad zurückgelegt wurde.

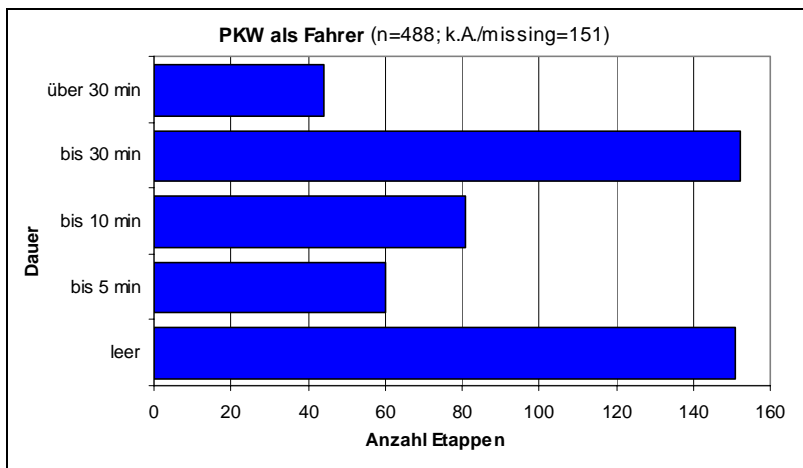


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
8	3	21	17.46	10	5	40

### 013 PKW als Fahrer

Die Variable „PKW als Fahrer“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit dem PKW als Fahrer zurückgelegt wurde.

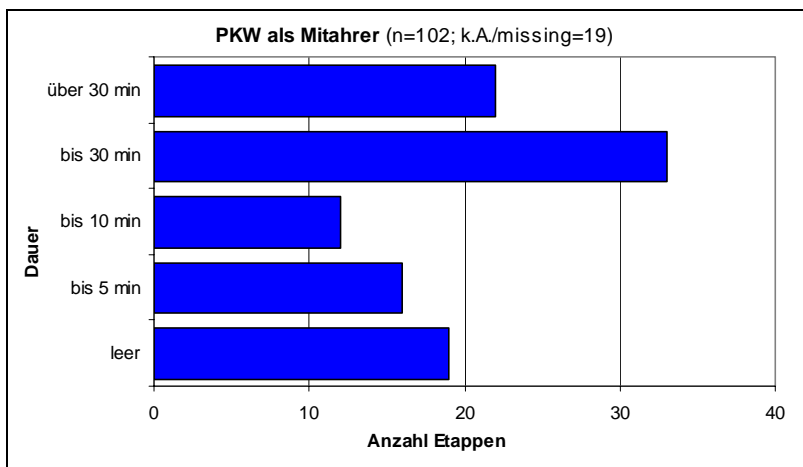


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
488	151	18.38	20.46	15	1	190

### 014 PKW als Mitfahrer

Die Variable „PKW als Mitfahrer“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit dem PKW als Mitfahrer zurückgelegt wurde.

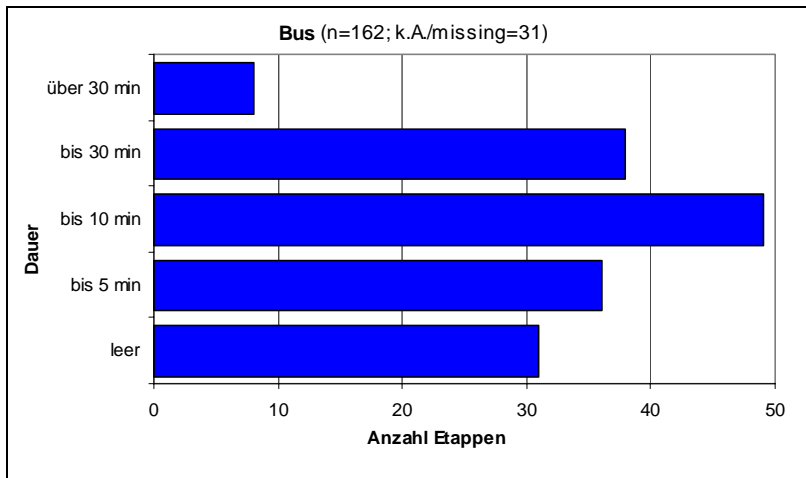


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
102	19	24.27	22.81	20	2	120

### 015 Bus

Die Variable „Bus“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit dem Bus zurückgelegt wurde.

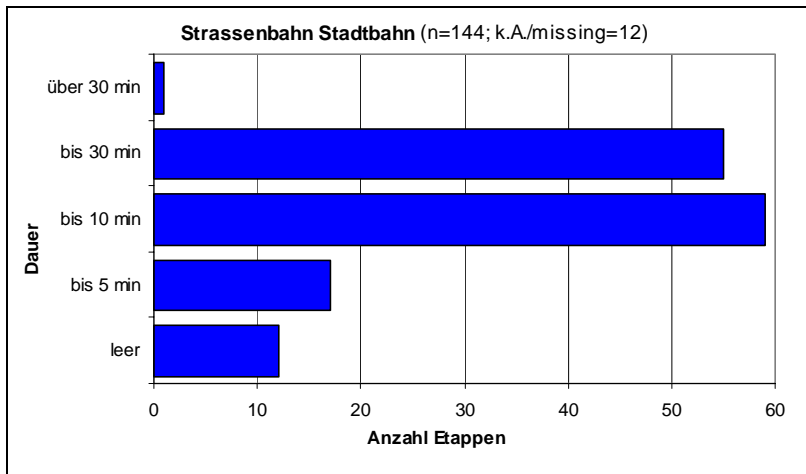


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
162	31	12.56	10.20	10	2	50

### 016 Strassenbahn Stadtbahn

Die Variable „Strassenbahn Stadtbahn“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit der Strassenbahn oder der Stadtbahn zurückgelegt wurde.

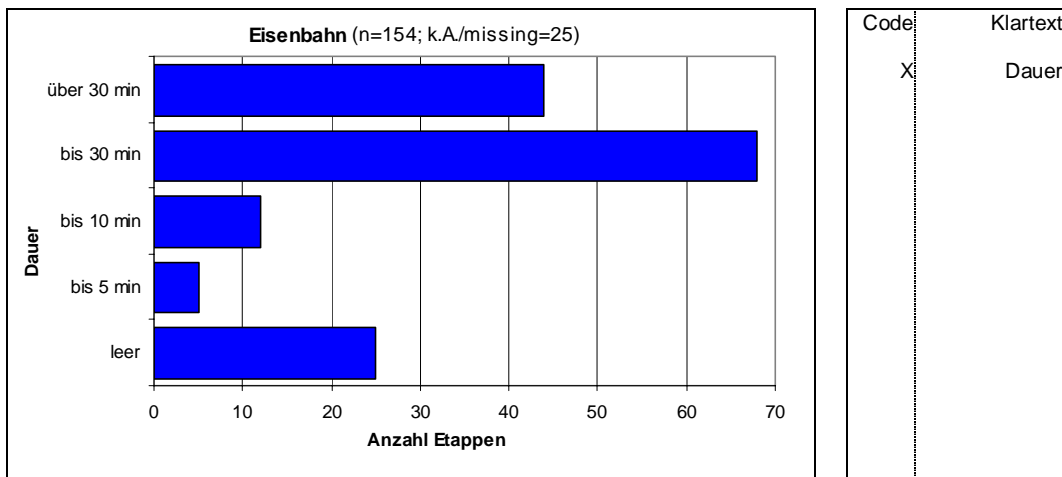


Code	Klartext
X	Dauer

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
144	12	11.30	6.04	10	1	40

### 017 Eisenbahn

Die Variable „Eisenbahn“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit der Eisenbahn zurückgelegt wurde.



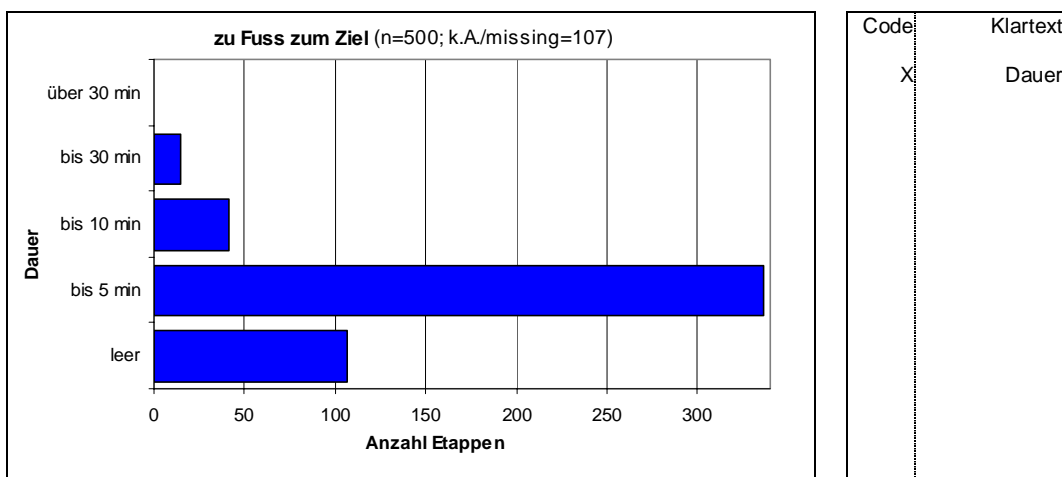
N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
154	25	30.05	22.03	25	2	131

### 018 Anderes Verkehrsmittel

Die Variable „anderes Verkehrsmittel“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit einen anderen als den bisher genannten Verkehrsmitteln zurückgelegt wurde.

### 019 Zu Fuss zum Ziel

Die Variable „zu Fuss zum Verkehrsmittel“ gibt an, dass der Weg zu Fuss zum Ziel fortgesetzt wurde.



N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-abweichung	Median	Minimum	Maximum
500	107	3.71	4.81	2	0	63

**020 Ziel Strasse**

Die Variable „Ziel Strasse“ definiert das Wegziel über den Strassennamen.

**021 Ziel PLZ**

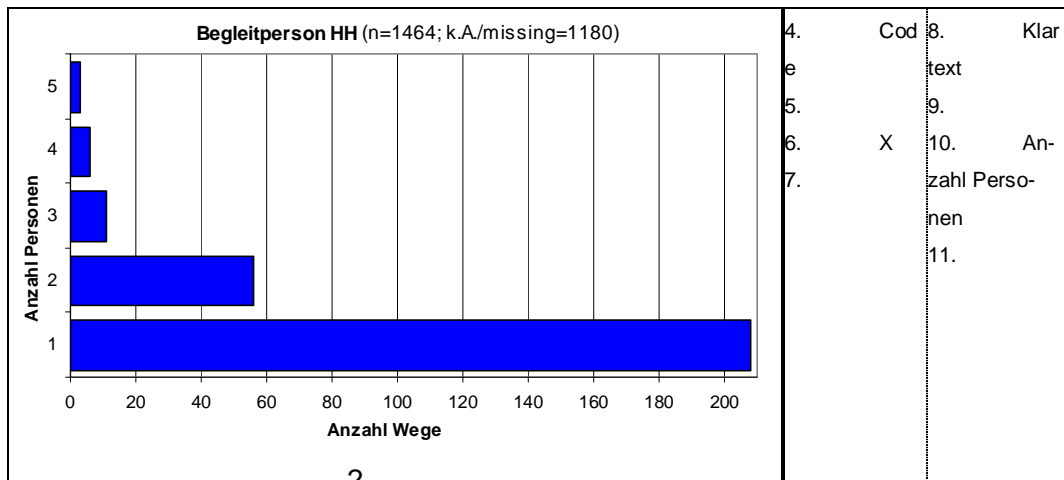
Die Variable „Ziel PLZ“ definiert das Wegziel über die Postleitzahl.

**022 Ziel Ort**

Die Variable „Ziel Ort“ definiert das Wegziel über den Ortsnamen.

**023 Begleitperson HH**

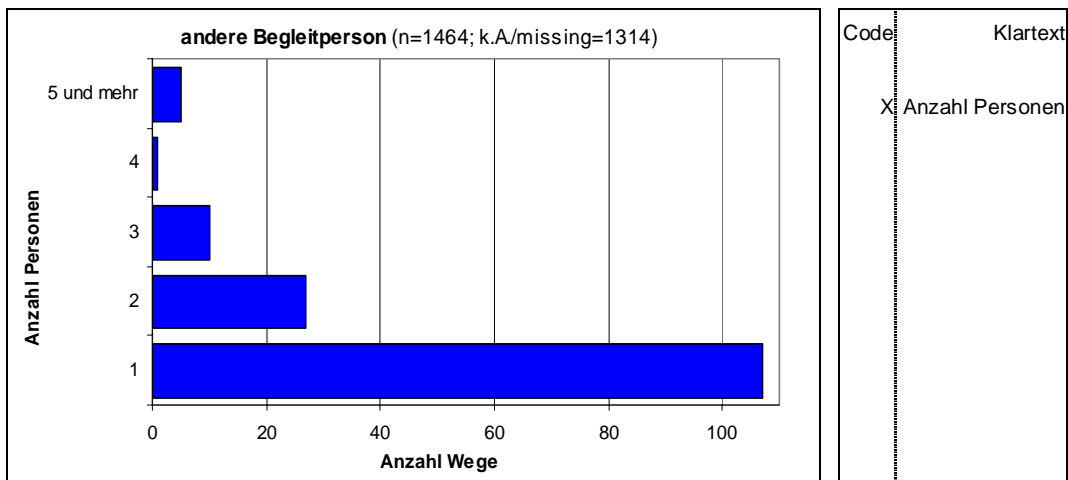
Die Variable „Begleitperson HH“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit einer Begleitperson aus dem Haushalt zurückgelegt wurde.



N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
1464	1180	1.38	0.75	1	1	5

### 024 Andere Begleitperson

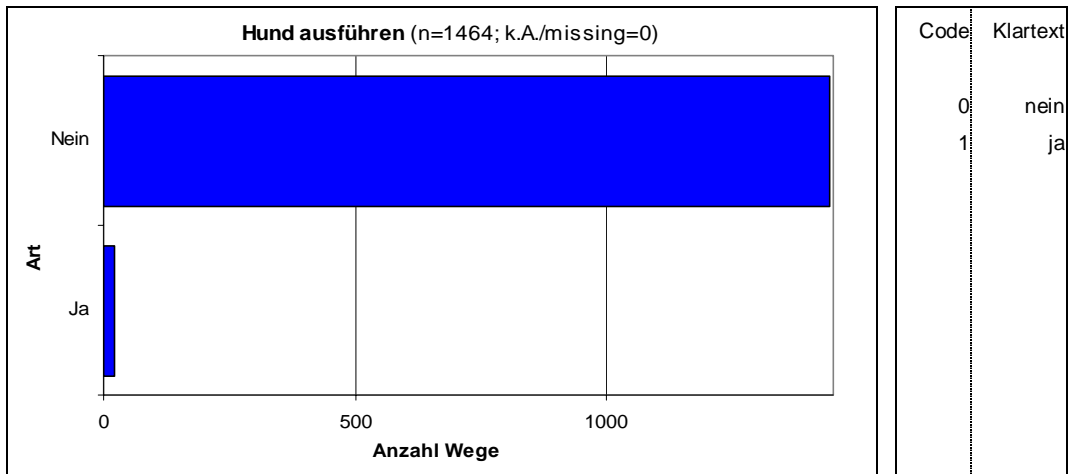
Die Variable „Andere Begleitperson“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil mit einer Begleitperson (nicht aus dem Haushalt) zurückgelegt wurde.



N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
1464	1314	1.87	4.33	1	1	52

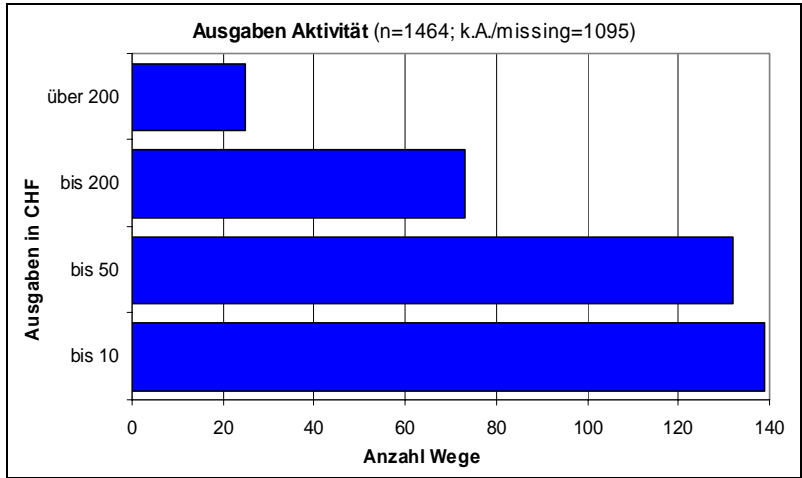
### 025 Hund ausführen

Die Variable „Hund ausführen“ gibt an, dass der jeweilige Weg zumindest zu einem Teil dem Ausführen des Hundes diene.



### 026 Ausgaben Aktivität

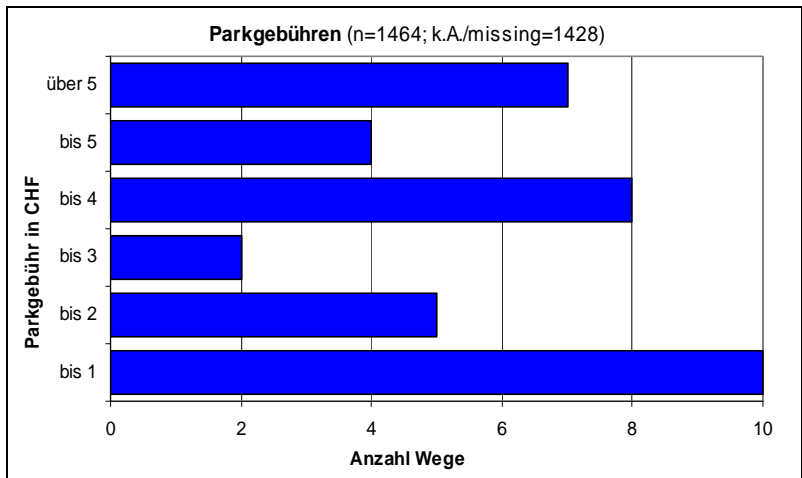
Die Variable „Ausgaben Aktivität“ gibt an, wie hoch die Ausgaben für die jeweilige Aktivität sind (ohne Fahrkosten??).



Code	Klartext
X	Ausgaben in CHF

### 027 Parkgebühren

Die Variable „Parkgebühren“ gibt an, wie hoch allfällige Parkgebühren anfallen.



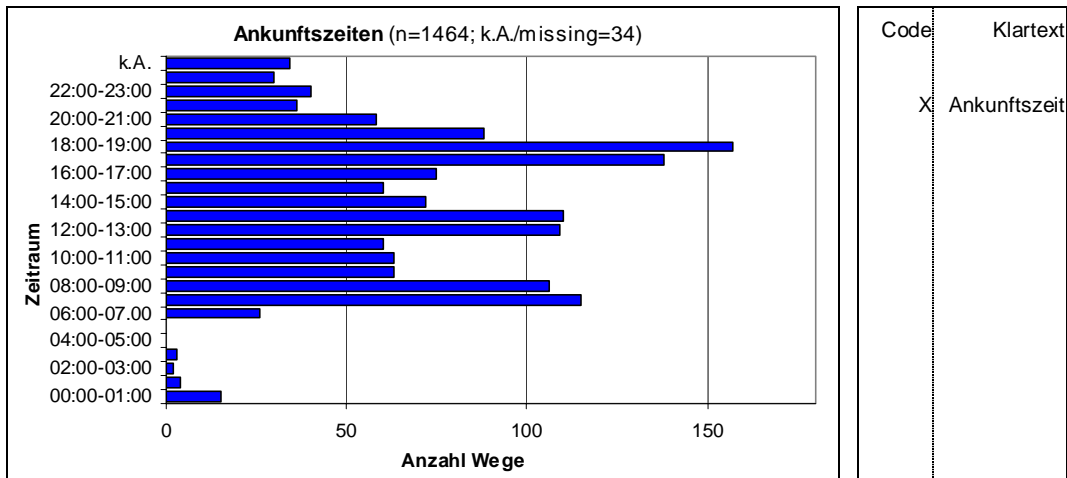
Code	Klartext
X	Parkgebühr in CHF

N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
1464	1428	3.63	2.68	3.55	0.5	10



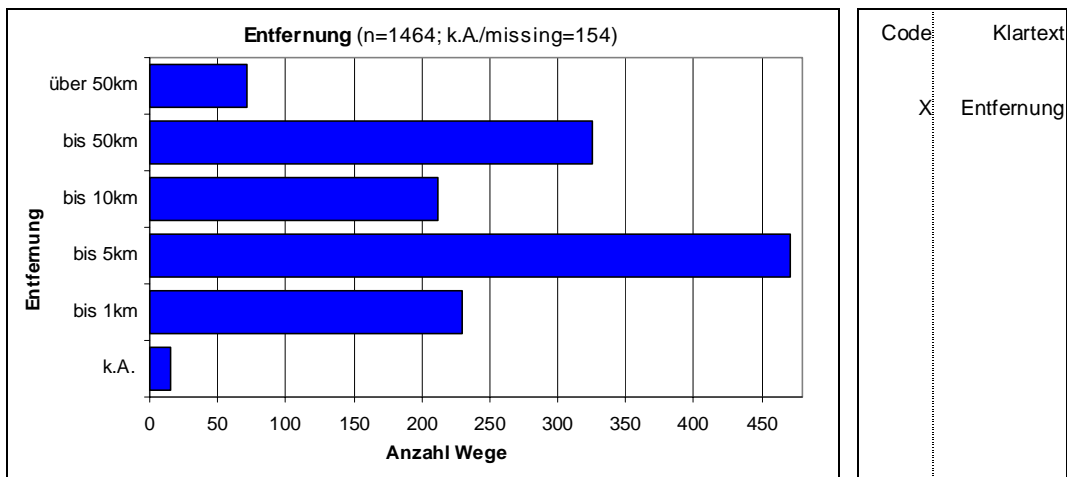
### 028 Ankunftszeit

Die Variable „Ankunftszeit“ gibt an, um welche Uhrzeit der Weg beendet wurde.



### 029 Entfernung

Die Variable „Entfernung“ gibt an, welche Distanz zurückgelegt wurde.



N	N k.A./missing	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Median	Minimum	Maximum
1464	154	13.83	33	5	0	800

## Literaturverzeichnis

---

Andriotti, Gustavo (2009) *Prospect Theory Multi-Agent Based Simulations for Non-Rational Route Choice Decision Making Modelling* Dissertation, Institut für Informatik, Universität Würzburg, Deutschland

Arentze T. and H. Timmermans. Albatross: overview of the model, application and experiences. In *Innovation in Travel Modeling 2008 Conference*, Portland, June 2008, 2008.

Axhausen, K. W. A Zimmermann, S Schönfelder, G Rindsfuser, T Haupt (2002) Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary In: *Transportation* 29 (2), pp. 95-124

Balmer, M., M. Rieser, K. Meister, D. Charypar, N. Lefebvre, and K. Nagel (2009). MATSim-T: Architecture and simulation times. In A. L. Bazzan and F. Klügl, editors, *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering*, pages 57–78. IGI Global, Hershey, US, 2009.

Barrett, C., R. Jacob and M. Marathe (2000) Formal-Language constraint path problems. In. *SIAM Journal of Computing*, 30(3) 809-837

Bazzan, A. L. C., J. Wahle and F. Klügl (1999): Agents in Traffic Modelling - From Reactive to Social Behaviour. *Proc. of KI 1999*, Springer, pp. 303-306

Bazzan A. L. C. and F. Klügl (2008). Re-routing agents in an abstract traffic scenario. In Gerson Zaverucha and Augusto Loureiro da Costa, editors, *Advances in artificial intelligence*, number 5249 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 63–72, Berlin, 2008. Springer-Verlag.

Bazzan A. L. C. and F. Klügl (2013). A review on agent-based technology for traffic and transportation. *Knowledge Engineering Review*, FirstView:1–29, 4 2013

Beckmann, M., C.B. McGuire und C.B. Winsten (1956) *Studies in the Economics of Transportation*. Cowles Commission Monograph, Yale University Press, New Haven, CN

Ben-Akiva, M. and S. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, 1985

Ben-Akiva, M. and Bierlaire, M. (1999). Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions, in R. Hall (ed.), *Handbook of Transportation Science*, International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 23 Kluwer

Benshoof, J.A. (1970) Characteristics of drivers route selection behaviour. *Traffic Engineering and Control*, 11, (12), 604-606.

Bobinger, Rupert (2001) *Modellierung der Verkehrsnachfrage bei preispolitischen Maßnahmen*. Veröffentlichung des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, München

Bovy, Piet H.L. und Eliahu Stern (1990) *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Boyce, David (2002) Is the Sequential Travel Forecasting Paradigm Counterproductive? In. *Journal of Urban Planning and Development*, 128(4) pp. 169-183

Boyce, David und H. Bar-Gera (2004) Multiclass Combined Models for Urban Travel Forecasting. *Network and Spatial Economics* 4: 115-124

Carlier, K., S. Fiorenzo-Catalano, C. Lindveld, and Piet Bovy. (2003) A supernetwork approach towards multimodal travel modeling. In *Proceedings of the 82nd TRB annual meeting*, pages 1–16, Washington D.C., 2003. National Academy Press.

Cascetta, E., A. Nuzzolo, F. Russo und A. Vitetta (1996) A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and some Calibration Results for Interurban Networks. In: Lesort, Jean-Baptiste (Hrsg.), *Proceedings of the International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Pergamon, Lyon, S. 697-711

Chen, B. and Cheng, H. H. (2010). A review of the applications of agent technology in traffic and transportation systems. *IEEE Transactions in Intelligent Transportation Systems*, 11(2), 485–497.

Dial, R. B. (1971) A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. *Transportation Research*, 5(2):83–111, June 1971.

---

- Doherty, S. T. et al. (2002) A conceptual model of the weekly household activity-travel scheduling process. In: Bovy, P.; I. Salomon and E. Stern (Eds) *Travel Behavior: Pattern, Congestion and Modelling*, Edward Elgar Pub.
- 
- Evans, S.P. (1976) Derivation and analysis of some models for combining trip distribution and assignment. *Transportation Research*, 10 (1), 37-57.
- 
- Florian, M. und S. Nygen (1978) A combined trip distribution modal split and trip assignment model. *Transportation Research*, 12 (4), 241-246
- 
- Gilbert N. and K. G. Troitzsch (2005) *Simulation for the Social Scientist*, McGraw-Hill
- 
- Han, Q., Arentze, T., Timmermans, H., Janssens, D., and Wets, G. (2009). A multi-agent modeling approach to simulate dynamic activity-travel patterns. In A. L. Bazzan and F. Klügl, editors, *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering*, pages 36–56. IGI Global, Hershey, US.
- 
- Kitamura, R.(1996) Applications of Models of Activity Behaviour for Activity-Based Demand Forecasting. In. *Proceedings of the Activity-Based Travel Forecasting Conference*, June 1996.
- 
- Klügl, F. and A. L. C. Bazzan. Agent-based modeling and simulation. *AI Magazine*, 33(3):29–40, 2012
- 
- Klügl F. and Ana L. C. Bazzan: Route Decision Behaviour in a Commuting Scenario: Simple Heuristics Adaptation and Effect of Traffic Forecast. *J. Artificial Societies and Social Simulation* 7(1) (2004)
- 
- Klügl F., A.L.C. Bazzan and J. Wahle, 2003. Selection of Information Types Based on Personal Utility - a Testbed for Traffic Information Markets, *Proc. Of the 2nd AAMAS 2003 (full paper)*, Melbourne, July 2003, 2003
- 
- Klügl, F., A. L. C. Bazzan and J. Wahle: Selection of information types based on personal utility: a testbed for traffic information markets. *AAMAS 2003*: 377-384
- 
- McFadden, Daniel (1981) Econometric Models of probabilistic choice. In: McFadden, Daniel und C. Manski (Hrsg.), *Structural Analysis of Discrete Data*. MIT Press, Cambridge, S. 198-272
- 
- Richardson, A., E. Ampt und A. Meyburg (1995) *Survey Methods for Transport Planning*. Eucalyptus Press, Melbourne.
- 
- Safwat, K.N. und T.L.Magnanti (1988) A combined trip generation, trip distribution, modal split and trip assignment model. *Transportation Research*, 18 (1), 14-30
- 
- Schönfelder, Stefan et al. (2002) *Mobidrive: Data format guide (2002) Part A: Basic survey details, data processing and imputation*. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 116a, Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- 
- Selten, R., Schreckenberg, M., Pitz, T., Chmura, T. and Wahle, J. (2003) Experimental Investigation of Day-to-Day Route Choice-Behaviour. R. Selten and M. Schreckenberg (eds.) *Human Behavior and Traffic Networks*, Springer
- 
- Simon, H.A. (1996) *The Sciences of the Artificial*, 3rd Edition, MIT Press
- 
- Stern, E. und D. Leiser (1988) Levels of spatial knowledge and urban travel modelling. *Geographical Analysis*, 20, (2), 140-155.
- 
- Stopher, Peter (2004) Household Travel Surveys: Proposed Standards and Guidelines. Paper presented at the Seventh International Conference on Travel Survey Methods August 1-6, 2004, Costa Rica.
- 
- Recker W. W., M. G McNally and G. S. Root (1986) A model of complex travel behavior : Part I - theoretical development. *Transportation Research A* 20A(4/86), pp 307-318
- 
- Rindsfuser, G. et al. (2003) Tracing the planning and executing attributes of activities and travel – Design and application of a hand-held scheduling process survey. In. 10<sup>th</sup> Int. Conference on Travel Behaviour Research, August 2003, Luzern
- 
- Rindsfuser, G., F. Klügl und J. Freudenstein (2004) Multi-Agent System Simulation for the Generation of Individual Activity Programs. In. F. Klügl, A. Bazzan and S. Ossowski (Eds) *Application of Agent Technology in Traffic and Transportation*. Birkhäuser, 2004, pp. 165-180
- 
- Roorda, M. and E. Miller (2004) Strategies for Resolving Activity Scheduling Conflicts: An Empirical Analysis. In. *Conference on Progress in Activity-Based Analysis*, May 2004, Maastricht.
- 
- Vovsha, P. (1997) The cross-nested logit model: Application to mode choice in the Tel-Aviv metropolitan area. *Transportation Research Records*, 1607 6-15
- 
- Vrtic, M. (2003) "Simultaneous mode and route choice model," Ph.D. dissertation, ETH Zurich, Switzerland, 2003.

Wahle, J., Bazzan, A. L. C., and Klügl, F. (2002). The impact of real time information in a two route scenario using agent based simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10 (5–6), 73–9

Wermuth, M., J Emig, U. Köhler and R. Zöllner (2001) Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfrage-  
modellen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und  
Wohnungswesen (Hrsg.), Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Heft 804, Bonn

---

# 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: 06. Januar 2014

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2004/029  
 Projekttitel: Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell  
 Enddatum:

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden hauptsächlich zwei Forschungsbeiträge erarbeitet:  
 - eine Erhebung detaillierter Daten zu Modus- und Routenwahlverhalten im individuellen Kontext eines Verkehrsteilnehmers und  
 - ein agentenbasiertes kombiniertes Modus- und Routenwahlmodell, das prototypisch die Leistungsfähigkeit eines derartigen Ansatzes illustriert.

##### Erhebung:

Für die Erhebung kann behauptet werden, dass die gewonnenen Daten gute Rückschlüsse auf das Verhalten ergeben haben und vielseitig verwendet werden konnten – auch über die hier vorgestellte Studie hinaus. Das automatische Ableiten der verwendeten Verkehrsmittel war zum Zeitpunkt der Erhebung sehr innovativ, die im Projekt gemachten Erfahrungen stellen einen wichtigen Wissenstransfer von Forschung zur Praxis dar. Heute werden mehr und mehr Datenquellen für Informationen über Verkehrszustand und Verkehrsverhalten erschlossen – von Mobilfunk-Daten zu Twitter Nachrichten, von Floating Car Data zu Daten, die von Fahrzeug zu Fahrzeug in ad hoc Netzen transferiert werden. Forschungsbedarf besteht klar darin, spezialisierte Algorithmen zur Analyse dieser grossen, heterogenen und mehr oder weniger zuverlässigen Datenmengen (weiter) zu entwickeln, um so verlässliche Informationen zu Verkehrsverhalten und Verkehrszustand-Vorhersage erzeugen zu können.

##### Agentenbasierte Modellierung

Bisherige Modellansätze (z.B. traditionelle ökonomische Verhaltensmodelle) bilden das Entscheidungsverhalten „statisch“ ab. Die modellierte Entscheidung für ein Verkehrsmittel und eine Route (oder eine Verkehrsmittel-Route-Kombination) basiert auf der Abbildung von Angebot und Nachfrage zu einem gewissen Zeitpunkt. Die Entscheidung wird als fix für die komplette Durchführung der jeweiligen Fahrt angenommen.

Der zweite Beitrag des Forschungsprojektes besteht in der Entwicklung und Analyse eines kombinierten agentenbasierten Modus- und Routenwahlmodells. Dabei wählen simulierte Verkehrsteilnehmer auf der Basis ihrer individuellen Erfahrung in einem multimodalen Netz, die für den jeweiligen Agenten erkennbare beste Route. Es konnte illustriert werden, wie diese multimodale Routewahl abhängig von verschiedenen Faktoren ist und entsprechend gesteuert werden kann. In Diskussionen mit der Begleitkommission haben wir das Agentenmodell vereinfacht und so ein entsprechend transparentes Verhaltensmodell erstellt, anstatt alle Ebenen des Verkehrsverhaltens inklusive Mobilitätsmodell auf der Basis der erhobenen Daten zu integrieren. Im Prototypen des Burgdorf Szenarios konnten eine ausreichende Anzahl von Agenten simuliert werden, um eine vollständige Umlage zu realisieren. Die Belastungen werden alleine durch die Agentenentscheidungen gesteuert, die wiederum rückgekoppelt auf die Agentenentscheidungen wirken.

Ein wichtiges Ergebnis dabei war, dass empirische Daten auf der selben Fehlerklasse reproduziert werden konnten, wie auf traditionellem Wege. Dennoch bietet der agenten-basierte Ansatz mehr.

Traditionelle Modellansätze (z.B. Ökonomische Verhaltensmodelle) bilden das Entscheidungsverhalten „statisch“ ab. Die modellierte Entscheidung für eine Option, d.h. ein Verkehrsmittel, eine Route oder eine Kombination aus beiden, basiert auf einer Abbildung von Angebot und Nachfrage zu einem gewissen Zeitpunkt – Die Entscheidung ist atomar und fix für die Durchführung der jeweiligen Fahrt.

Bei dem Agentenbasierten Modell, das hier vorgestellt und analysiert wurde, ist die Fähigkeit des simulierten Verkehrsteilnehmers mit der simulierten Fahrt gekoppelt und jederzeit zugreifbar. Auf diese Weise lässt sich ein realistisches re-routing während der Fahrt realisieren. Dies ermöglicht das Beantworten neuer Fragestellungen, z.B. zu den systemweiten Effekten von lokalisierter Information.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die Ziele der Forschungsarbeit wurden erreicht.

Sowohl die Erhebung wie auch automatisierte Auswertung der gewünschten Daten wurden erfolgreich durchgeführt. Die Zuweisung der Verkehrsmittel zu den einzelnen GPS-Datensätzen konnte automatisiert aus den Daten abgeleitet werden und somit weitere mögliche Ansätze der Datengenerierung aufgezeigt werden.

Die Modellierung und Simulation als agentenbasiertes Multiagentensystem wurden erfolgreich (wenn auch zeitlich gegenüber dem Bearbeitungsplan extrem verzögert) implementiert und mit einer praxisnahen Beispielanwendung durchgeführt. Die Chance aber auch Hindernisse des gewählten Ansatzes wurden aufgezeigt.

Insgesamt handelt es sich um eine Arbeitsleistung, die dem Finanzvolumen mehr als entspricht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Forschungsbedarf wird gesehen in

- einer Validierung des Verhaltensmodells mit dynamischer Umlage, die also tatsächliches Mobilitätsverhalten nachbildet. In den letzten Jahren wurden einige mesoskopische, auf Warteschlangenmodellen beruhende Modelle entwickelt (z.B. das Mobilitätsmodell in MATSIM oder in Gawron 1998). Eine Kopplung des Agentenentscheidungsmodells mit solchen effizienten Mobilitätsmodellen ist sinnvoll und interessant.
- einer Meta-Ebene dahingehend, genauere Metriken und Modellklassen zu beschreiben, um besser bestimmen zu können, welche Art von (agentenbasierten, mikroskopischen) Modell für welche Fragestellung geeignet ist. Durch ihre erhöhte Komplexität im Entscheidungsverhaltensmodell können agentenbasierte Modelle nur mit hohem Einsatz von technischer Expertise und sehr schnellen Computern, in brauchbarer Zeit simuliert werden. Deswegen muss sehr klar bestimmt werden, für welche Art der – eventuellerweise sogar bisher nicht realisierbaren - Fragestellung sich ein derartiger Aufwand lohnt, oder gar notwendig ist.

Publikationen:

keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Rindsfuser

Vorname: Guido

Amt, Firma, Institut: PL, Emch+Berger AG Bern

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Die Projektlaufzeit wurde durch unterschiedliche, hauptsächlich personelle und teils nachvollziehbare Gründe stark strapaziert, die Schlussphase der Berichterstellung wurde vor allem auch durch wiederholte Bearbeitung der Modellierung zur Erzeugung entsprechender Ergebnisausgaben zeitlich überstrapaziert.

Der Bericht zum Projekt ist flüssig und kohärent geschrieben, für den Leser gut nachvollziehbar. Die Modellarbeiten entsprechen den Anforderungen und Zielen des Projektes. Einige Änderungen an den Arbeitsinhalten basierend auf Teilergebnissen wurden mit der BK abgestimmt und schmäleren nicht wesentlich den erzielten Ergebnisstand des Gesamtprojektes.

Insgesamt handelt es sich um eine quantitative und qualitative Arbeitsleistung, die dem Finanzvolumen mehr als entspricht.

##### Umsetzung:

- Der Stand der Technik ist knapp aber auskömmlich referiert.
- Der Erhebungsaufwand bei der GPS-Erhebung war für das verwendete Budget erheblich, die Daten sind gut dokumentiert.
- Die agentenbasierte Modellierung ist in gutem Detailgrad beschrieben. Mit hilfreichen Abbildungen und Tabellen sind die Arbeiten und Gedanken gut nachvollziehbar.
- Das Modell wurde erfolgreich aufgesetzt, die Resultate sind glaubwürdig und plausibel, die Sensitivitätsstudien nachvollziehbar
- Der Bericht dokumentiert die erbrachten Leistungen und erzielten Ergebnisse

##### weitergehender Forschungsbedarf:

- Kalibrierung agentenbasierter Verkehrsmodelle
- vertiefere Untersuchung der Problematik (Verhältnisses zwischen) exploration zu exploitation und ggfs. anderer Lösungsmöglichkeiten
- Validierung der Verhaltensmodelle

##### Einfluss auf Normenwerk:

keiner

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Kooijman

Vorname: Gustaf

Amt, Firma, Institut: Präsident BK, Sigmaplan AG Bern

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

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 Fallgewichtgerät für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	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



Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
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 Grossversuchsanlage 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
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	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
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 Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung 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
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 Labor-massstab	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
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 Parkierungsanlagen	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	Entwurfgrundlagen 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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-côtés	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 Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisell	2009
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



Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernomen (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	Kaphaltestellen 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
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 verkehrintensiven 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 pontsdalles 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
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 Risikoeermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 chloridverseuchter 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
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

### Forschungsberichte auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) / Rapports de recherche sur proposition de l'Association suisse des ingénieurs en transports

(erschienen im Rahmen der Forschungsreihe des UVEK / parus dans le cadre des recherches du DETEC)

- 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 Angehm 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 \***  
(Balzani & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen \***  
(Weber Angehm 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 Angehm Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**  
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmoplan 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'OFEPF
- 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 **Carreiseverkehr: 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, Fischingen)
- 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-mobility, 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-Consells 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 (IKAÖ), Bern / Interface Politikstudien Forschung und Beratung, Luzern / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen**  
(Ingenieurbüro Ghielemetti, 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 **Verkehrsbindung 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 **Projektorientierte Freiräume 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