

Masterarbeit

**Verkehrsnachfrageermittlung auf Basis
von Bluetooth-Daten**
im Netz der Graz Linien

Georg Hofer

April 2013

Vorgelegt bei

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Zweitbetreuer:

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Eugen Brenner

Betreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Anton Marauli

am Institut für Technische Informatik,

sowie am Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Für das Gelingen dieser Arbeit möchte ich einer Reihe wichtiger Personen danken:

Bei Martin Fellendorf, Eugen Brenner und Anton Marauli bedanke ich mich herzlich für die Betreuung und Anleitung während der Erstellung dieser Arbeit. Der Antrieb und die Hilfestellung seitens der Betreuer war äußerst vorbildlich, ohne selbige wäre die Arbeit bis heute nicht im vorliegenden Zustand.

Den Holding Graz Linien, im Speziellen Andreas Solymos und Martin Schmidt, möchte ich danken, dass sie mir diese Arbeit ermöglichten, indem sie mir Zugang zu den PARSON-Daten gewährten. Johannes Weinzerl von der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH danke ich für die Zurverfügungstellung der Daten und den erhaltenen Einblick in das System PARSON.

Bei meinem Arbeitgeber (B.I.M.) bedanke ich mich für die Unterstützung während der Arbeit. Dieser hatte immer ein offenes Ohr für mich und war mir eine große Hilfe. Weiteres bedanke ich mich bei Stefan Walter und Peter König für wichtige fachliche Impulse zum Inhalt und für das Korrekturlesen der Arbeit.

Großer Dank gebührt auch meinen Eltern, Gerhard und Rike Hofer, für die Ermöglichung meines Studiums. Deren fortwährende Unterstützung und Ermunterung war mir eine sehr große Stütze.

**Aufgabenstellung für die Masterarbeit
von Georg Hofer**

Graz, 27. Juni 2012

Verkehrsnachfrageermittlung auf Basis von Bluetooth-Daten im Netz der Graz Linien

Problemstellung

Im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ist die Auslastung von Linien ein wichtiges Planungskriterium, um das Angebot (Anzahl und Personenkapazität der eingesetzten Fahrzeuge, Taktintervall einer Linie) an die Nachfrage anpassen zu können. Dabei sind tageszeitliche Unterschiede – beispielsweise stärkere Auslastung zu Hauptverkehrszeiten – zu berücksichtigen. Ein weiteres Planungskriterium im ÖPNV ist die quantitative Bestimmung von Quelle-Ziel-Beziehungen und der gewählten Routenverbindungen von Fahrgästen. Besonders in einem städtischen Liniennetz ist die Ermittlung mit einem hohen Aufwand verbunden, da sie nur anhand von Befragungen bestimmt werden können. Eine qualitative Ermittlung der Verkehrsnachfrage auf Basis ausgestellter Fahrscheine ist in städtischen Liniennetzen nicht möglich. Die Mengen der Einsteiger und der Aussteiger können über eine radarbasierende Methode zwar gemessen werden, jedoch erlauben diese Daten keine Aussagen über getätigte Umsteigevorgänge und den Eintritts bzw. den Austrittspunkt eines Weges im System ÖPNV.

Eine neuartige Anwendung stellt in diesem Zusammenhang das System PARSON dar, mit dem eine Bluetooth-basierte Fahrgaststromanalyse möglich ist. Quelle-Ziel-Beziehungen inklusive der gewählten Verbindungen von Fahrgästen können bei aktiviertem Bluetooth-Sender von mobilen Endgeräten vollständig anonym eruiert werden. Diese Technologie wird seit geraumer Zeit bei den Graz Linien eingesetzt. Bisher gibt es jedoch noch kaum Aussagen über die Datenqualität und die Datenquantität. Das Ziel der Diplomarbeit ist neben der Entwicklung eines entsprechenden Tools zur Datenaufbereitung die Verwertbarkeit der Daten zu prüfen und Methoden für eine Hochrechnung zu einer vollständigen Quelle-Zielmatrix zu entwickeln.

Aufgabenstellung

In der Diplomarbeit ist die Verwendbarkeit des PARSON-Systems und die Aussagekraft der erfaßten Wegedaten zu analysieren. Dazu zählen unter anderem die Überprüfung der Datenqualität und die Ermittlung der Bluetooth-Nutzung. In weiterer Folge sind die erhaltenen Quelle-Ziel-Beziehungen mit anderen Daten (Verkehrsmodell und Dilax-Daten) gegenüberzustellen und Möglichkeiten zur Hochrechnung auf eine Gesamtmatrix zu entwickeln und deren Qualität zu bestimmen.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Diplomarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- Literaturrecherche zum Thema automatisierte Verkehrsnachfrageermittlung (Erfassungsmöglichkeiten, Technologien, Datenschutz)
- Aufbereitung und Analyse der PARSON-Daten (z.B. Filterung von Ausreißern und von nicht plausiblen Beziehungen)

- Qualitäts- und Quantitätsüberprüfung der Wegedaten
- Datenaufbereitung für eine Implementierung in das Verkehrsmodell Großraum Graz
- Vergleich der Quelle-Ziel-Beziehungen mit jener aus dem Verkehrsmodell stammenden Matrix (Übereinstimmungen, Anteile, Abweichungen)
- Gegenüberstellung der umgelegten Ein- und Aussteigerzahlen mit den Dilax-Daten
- Möglichkeiten zur Hochrechnung der Wegedaten auf eine vollständige Nachfragematrix

Für die Anfertigung der Diplomarbeit steht die Verkehrsplanungssoftware VISUM am Institut zur Verfügung. Die PARSON-Wegedaten werden von der c.c.com Andersen & Moser GmbH im Auftrag der Graz Linien zur Verfügung gestellt. Zusätzlich stehen Nachfragedaten aus dem multimodalen Verkehrsmodell für den Großraum Graz zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die Software sowie die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Diplomarbeit zu nutzen. Eine Veröffentlichung der Anwendung bedarf der schriftlichen Zustimmung der Graz Linien.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Diplomarbeitstext, Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen.

Univ-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 - 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Betreuer

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Eugen Brenner
Tel.: 0316 873 - 6402
brenner@tugraz.at
Institut für Technische Informatik
TU Graz
Zweitbetreuer

Dipl.-Ing. Anton Marauli
Tel. 0316 873 - 6723
a.marauli@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Betreuender Assistent

Abstract

Das Verkehrsangebot im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) muss kontinuierlich an den Bedarf der Fahrgäste angepasst werden. Als Basis für die dazu notwendigen Planungen ist eine Abbildung der aktuellen Lage im ÖV-Netz notwendig; das heißt, es sind einerseits die Fahrgastzahlen auf den Linien und andererseits die Fahrgastströme zu erheben. Insbesondere letzteres erfordert jedoch aufwändige Befragungen der Fahrgäste im Netz. Aus diesem Grund wird von den Holding Graz Linien ein neuartiges System (PARSON) getestet, welches eine Ermittlung der Verkehrsnachfrage auf Basis von Bluetooth-Daten ermöglicht. Damit kann ein Teil der auftretenden Fahrgastströme im Grazer ÖV-Netz automatisiert erhoben werden. In dieser Arbeit wird zunächst eine Recherche über die vorhandenen Erhebungsmethoden und -systeme durchgeführt. In der Folge wird eine Fehlerbereinigung der PARSON-Daten und eine Qualitäts- und Quantitätsüberprüfung durchgeführt. Daran anschließend werden die Daten für ein Verkehrsmodell von Graz aufbereitet und mit den bestehenden Daten aus dem Modell verglichen. Dabei fällt auf, dass PARSON insbesondere dann hohe Quell- bzw. Zielverkehre aufweist, wenn ein Quell-/Zielort im Bereich von Schulen liegt. Die Gruppe der Schüler ist somit deutlich überrepräsentiert. Eine Hochrechnung der PARSON-Daten zeigt bei den Straßenbahnlinien eine gute Übereinstimmung mit dem Modell. Bei den Buslinien sind jedoch deutliche Unterschiede zum Modell zu erkennen, welche auf Fehler bei den PARSON-Daten schließen lassen. Trotzdem zeigt sich, dass das System PARSON eine nutzbare Technik darstellt, um Quelle-Ziel-Beziehungen zu erhalten. Der zukünftige Einsatz ist jedoch durch den Umstand, dass die Bluetooth-Technologie in dieser Form nicht mehr zur Verfügung steht, unwahrscheinlich.

It is necessary to regularly adjust a public transport system to the demand of the users. Therefore the current traffic state has to be collected. In a public transport system this is done by counting the passengers travelling on each route and by determining the routes in the system. Especially determining the routes is time-consuming and expensive because of the need of questioning the users in the network. For this reason the public transport company Holding Graz Linien is testing a novel system (PARSON) which gives the possibility to determine the passenger demand based on bluetooth data. This system collects parts of existing passenger travels in the public transport network. This thesis firstly comprises existing methods and systems for census. Then, the PARSON data is cleared from errors and the quality and quantity is analysed. After that step the data is prepared for a traffic model and is compared with the existing data of the model. It shows that the group of school students dominates in the PARSON-data (high traffic in origin or destination cells located near to schools). A extrapolation of the PARSON-data shows for tram-lines a good match with the existing data of the traffic model. For bus-lines on the other hand there are many differences to the existing data, which lead to the conclusion that the PARSON-data is incomplete. Anyhow the system PARSON is a usable technique to collect origin-destination-relations. But the future usage is unlikely because of the fact that bluetooth is already out of use in the necessary mode.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
2	Grundlagen der Verkehrsnachfrage	15
2.1	Verkehrsnachfrage	15
2.2	Befragungen	16
2.3	Zählungen	17
2.4	Fahrgaststromanalyse	19
2.5	Modellbasierte Ermittlung der Nachfragematrix	20
2.5.1	Nachfragematrix	21
2.5.2	Ganglinie	22
2.5.3	Verfahren zur Modellierung der Verkehrsnachfrage	22
3	Systeme für Fahrgastzählungen	27
3.1	Ziele	27
3.2	Nutzen	28
3.3	Anforderungen	28
3.4	Statistische Qualität von AFZS-Daten	30
3.5	Stichproben- und Messfahrtenplanung	31
3.6	Messgenauigkeit	35
3.7	Systemaufbau	36
4	Systeme für Fahrgaststromanalysen	41
4.1	Auswertung aus E-Ticketing-Systemen	41
4.2	Bluetooth Erfassung	42
4.2.1	Grundlagen	42
4.2.2	Funktionsweise und Datenverarbeitung	44
4.2.3	Datenschutz	46
5	Analysetool	47
5.1	Funktionalität	47
5.2	Systemarchitektur	47
5.3	Funktionen	50
5.3.1	Sortierung	50
5.3.2	Plausibilitätsüberprüfung	52
5.3.3	Deskriptive Statistiken	55
5.3.4	Datenaufbereitung für ein Verkehrsmodell	58
6	Datenanalyse	63
6.1	Datenbestand	63
6.2	Auswertung	64

7 Vergleich zum Verkehrsmodell	69
7.1 Verkehrsmodell Großraum Graz	69
7.2 Datenauswahl und -import	69
7.3 Quell-/Zielverkehr	72
7.4 Streckenbelastungen	75
7.5 Hochrechnung	78
7.6 Knotenstromanalyse	84
8 Resümee	87
Abkürzungsverzeichnis	89
Glossar	91
Abbildungsverzeichnis	95
Tabellenverzeichnis	97
Literaturverzeichnis	98
Anhang A: Grafische Darstellungen und tabellarische Auswertungen der PARSON-Daten	101

1 Einleitung

Ein Öffentliches Verkehrsnetz (ÖV-Netz) erfordert eine kontinuierliche Prüfung, ob das gegebene Netz den Bedürfnissen der Fahrgäste entspricht. Bei Änderungen im Nutzerverhalten ist eine Anpassung des ÖV-Netzes zu planen und umzusetzen. Zur Durchführung dieser Planungen muss somit das Nutzerverhalten kontinuierlich erfasst werden. Es benötigt demnach Merkmale, die die jeweilige aktuelle Lage abbilden. Einen Teil dieser Erhebungen stellen Fahrgastzählungen dar, welche automatisiert erfolgen können und daher leicht verfügbar sind. Fahrgastzählungen alleine sind allerdings nicht ausreichend. Dies liegt am Umstand, dass eine Zählung nur die Ein- bzw. Ausstiegsorte erfassen kann. Es müssen zusätzlich die Fahrgastströme erhoben werden, um auch die Beziehungen zwischen den Orten im Netz, die Umsteigerelationen und die Wegelängen erfassen zu können. Erst mit diesen Daten liegt eine Voraussetzung für eine präzise Planung eines ÖV-Netzes vor.

Gerade die Erfassung der Fahrgastströme stellt eine große Herausforderung an den Betreiber eines Verkehrsnetzes. Dies hat den Grund, dass diese Erhebungen bisher manuell durch Befragungen erfolgen müssen. Bei diesen Befragungen werden die Wege von zufällig ausgewählten Fahrgästen im Fahrzeug oder an einer Haltestelle erhoben. Diese Erhebungsmethode bedeutet einerseits einen großen personellen und andererseits einen großen finanziellen Aufwand. Aus diesem Grund haben die Holding Graz Linien in Zusammenarbeit mit der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH ein System namens PARSON, entwickelt, das die genannten Nachteile beseitigt und eine Beobachtung der Fahrgastströme über einen längeren Zeitraum ohne Steigerung des Aufwandes ermöglicht.

Das System PARSON ist seit Ende des Jahres 2007 im Einsatz. Die dabei erhobenen Wegedaten wurden jedoch bisher keiner tiefergehenden Analyse unterzogen. In dieser Arbeit wird zuerst eine Qualitäts- und Quantitätsüberprüfung der erhobenen Daten durchgeführt. Dazu werden die Daten mit Hilfe eines zu entwickelnden Analysetools eingelesen und entsprechend verarbeitet. Im Folgenden werden die erhobenen Quelle-Ziel-Beziehungen in eine Nachfragematrix überführt und in ein Verkehrsmodell des Großraumes Graz aufgenommen. Anschließend erfolgt ein Vergleich mit den Bestandsdaten aus dem Verkehrsmodell und mit den Fahrgastzählungen der Holding Graz Linien. Zuletzt werden noch die Möglichkeiten der Hochrechnung der Wegedaten auf eine vollständige Nachfragematrix gezeigt und die Ergebnisse dieser Hochrechnung analysiert.

2 Grundlagen der Verkehrsnachfrage

2.1 Verkehrsnachfrage

Mit der Verkehrsnachfrage wird die Menge an Bewegungen von Verkehrsteilnehmern bezogen auf ein Zeitintervall beschrieben. Sie entsteht, „wenn eine Folge von Aktivitäten (Wohnen–Arbeiten–Einkaufen–Wohnen) nicht am selben Ort ausgeübt werden kann und daher ein Ortswechsel notwendig ist“. [Vis11b] Wichtige Grundbegriffe sind dabei: [Fel10]

Fahrt Ortsveränderung mit einem Verkehrsmittel

Ortsveränderung Bewegung (Fahrt) zwischen zwei Orten, an denen Aktivitäten durchgeführt werden. Die Fahrt kann dabei in einem oder mehreren Verkehrsmitteln durchgeführt werden.

Wegekette Folge von Fahrten

Fahrtzweck Grund für eine Ortsveränderung

Ortsveränderungen lassen sich wie in Abbildung 2.1 dargestellt kategorisieren:

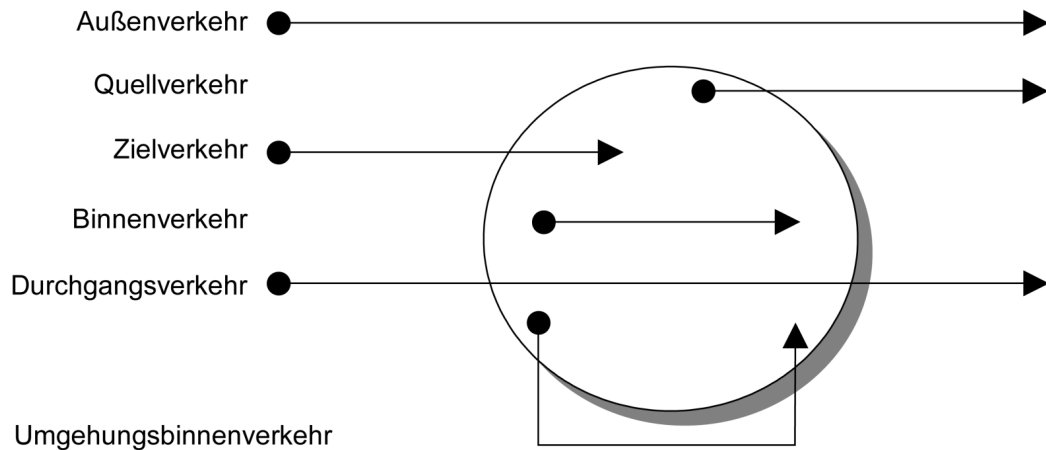


Abbildung 2.1: Kategorisierung von Ortsveränderungen [Fel10]

Um die Nachfrage in einem Verkehrsnetz zu ermitteln, werden Verkehrserhebungen durchgeführt. Diese bestimmen „den Zustand der Verkehrsverhältnisse in einem bestimmten Untersuchungsgebiet“ [Hof11]. Somit lässt sich das Verkehrsgeschehen quantitativ erfassen und es können „die Gründe für die Verkehrsentstehung erhoben werden“ [Hof11]. Es werden zwei Arten von Erhebungen unterschieden: [Fel10]

- verkehrsverhaltensbezogene Erhebungen (Befragungen)
- verkehrstechnische Erhebungen (Zählungen)

2 Grundlagen der Verkehrsnachfrage

„Erhebungen können entweder vollständig (selten verwendet) erfolgen oder stichprobenartig (häufiger angewandt) – die Repräsentativität der Grundgesamtheit der Stichprobe muss dabei durch eine übliche statistische Methode sichergestellt werden – erfolgen.“ [Hof11] Das Ausmaß von Erhebungen (Erhebungszeiten und -dauern) richtet sich in der Regel nach den (vom Auftraggeber vorgegebenen) Erhebungszielen und der erforderlichen Aussagegenauigkeit. Durchgeführt werden Erhebungen in der Regel an sogenannten Normalwerktagen. Dies sind: [Fel10]

- Diensttage bis Donnerstag in Normalwochen (Woche ohne Feiertag und ohne Schulferien) oder
- Monate April, Mai, Juni, September und Oktober

Geeignete Tageszeiten eines Normalwerktages sind: [Fel10]

- Tagesverkehr: 6.00 bis 22.00 Uhr
- Morgendliche Hauptverkehrszeit (HVZ): 6.00 bis 10.00 Uhr
- Nachmittägliche HVZ: 15.00 bis 19.00 Uhr
- Morgendliche Spitzenstunde: 7.00 bis 9.00 Uhr
- Mittägliche Spitzenstunde: 12.00 bis 14.00 Uhr
- Nachmittägliche Spitzenstunde: 15.00 bis 16.00 Uhr

Am Ende einer Erhebung lässt sich eine Aussage darüber treffen, wie stark ein Verkehrsnetz belastet ist, womit eine wesentliche Planungsgrundlage gegeben ist. Im Falle des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) bedeutet dies, dass eine Aussage darüber getätigt werden kann, welche Quelle-Ziel-Beziehungen in einem Liniennetz vorhanden sind. [Hof11]

2.2 Befragungen

Eine Befragung dient dazu mit Hilfe eines zuvor festgelegten Fragebogens einen Teil der Verkehrsteilnehmer nach ihrem Verkehrsverhalten zu befragen. Im Falle des ÖPNV finden diese Befragungen meist direkt im Verkehrsnetz statt. Bei Bedarf können sie aber auch außerhalb des Verkehrsnetzes erfolgen – beispielsweise um die Bedürfnisse der Arbeiter eines Betriebes zu ermitteln. Der Umfang einer Befragung hängt vom Erhebungsziel und vom Befragungsort (im/außerhalb des Verkehrsnetzes) ab. Es sollten jedoch immer zumindest die folgenden wesentlichen Fahrtcharakteristika abgefragt werden: [Hof11]

- Quelle (Haltestellenname)
- Ziel (Haltestellenname)
- Routenwahl (Umsteigehaltestelle(n))
- Fahrtzweck
- Häufigkeit der Fahrt
- Fahrkartenart

- Alter
- Geschlecht
- Bei Bedarf: benutzte Linien

Fahrgastbefragung Linie 78

Name: Abfahrtsort: Zeit:

Start	Ziel	Benutzte Linien	Zweck A/B/E/F	Häufigkeit			Fahrscheingattung						Wo gekauft	Vorher ÖV (J/N)	Wie vorher	Alter			G.	
				(fast) tägl.	2-3x pro Woche	1x pro Woche	Einzelfahrt V/H	10-Zonen-K V/H	Tageskarte V/H	Woche/Monat	Halb-/Jahresk.	Semesterkarte				Schüler (+A?)	Sonstige	<15		16-25

Abbildung 2.2: Befragungsbogen für eine Fahrgastbefragung [Bim04]

Der Ablauf einer Befragung sieht folgendermaßen aus: [Hof11]

- Der oder die Erheber positionieren sich im Fahrzeug.
- An den Haltestellen zählt jeder Erheber die Einsteiger an „seinen“ Türen.
- Während der Fahrt befragen die Erheber möglichst viele der zugestiegenen Fahrgäste.

2.3 Zählungen

„Bei der Fahrgastzählung wird die Anzahl der Personen, die an den Haltestellen einer Linie ein- und aussteigen gezählt (Querschnittszählung).“ [Hof11] Somit lässt sich für jeden Streckenabschnitt die Auslastung des jeweilig gezählten Kurses ermitteln (Querschnitt zwischen den Haltestellen). In weiterer Folge wird mit den erhobenen Daten eine Hochrechnung auf die Grundgesamtheit durchgeführt. Es liegt damit eine wesentliche Grundlage in der Verkehrsplanung im ÖPNV vor. Verwendung finden diese Daten unter anderem zur Angebotsplanung eines Liniennetzes oder zur Steuerung der Einnahmenaufteilung in einem Verkehrsverbund. [Hof11; Sta10; Bas10]

Manuelle Zählung

Bei dieser Zählmethode werden von einem oder mehreren Erhebern die Fahrgäste gezählt. Dabei wird jedem Erheber ein Zählbereich zugewiesen. Anschließend zählt der Erheber in „seinem“ Bereich – bei „seinen“ Türen – die Ein- und/oder Aussteiger an jeder Haltestelle und trägt diese in einen Zählbogen ein. Nach Abschluss der Zählung lässt sich anhand der ausgefüllten Zählbogen ermitteln, wie viele Fahrgäste den gezählten Kurs einer Linie auf welchen Streckenabschnitten benutzt haben. [Hof11]

Die Abbildungen 2.3 und 2.4 zeigen das Prinzip der Fahrgastzählung: In Abbildung 2.3 fahren 100 Fahrgäste von Haltestelle 10 nach Haltestelle 40, 100 Fahrgäste von Haltestelle 10 nach Haltestelle 60 und weitere 100 Fahrgäste von Haltestelle 50 nach Haltestelle 40. In Abbildung 2.4 fahren 200 Fahrgäste von Haltestelle 10 nach Haltestelle 40 und weitere 100 Fahrgäste von Haltestelle 50 nach Haltestelle 60. Zu erkennen ist, dass in beiden Fällen die Querschnittszählungen gleich ausfallen. Somit ist eine Nachverfolgung der benutzten Routen nicht möglich.

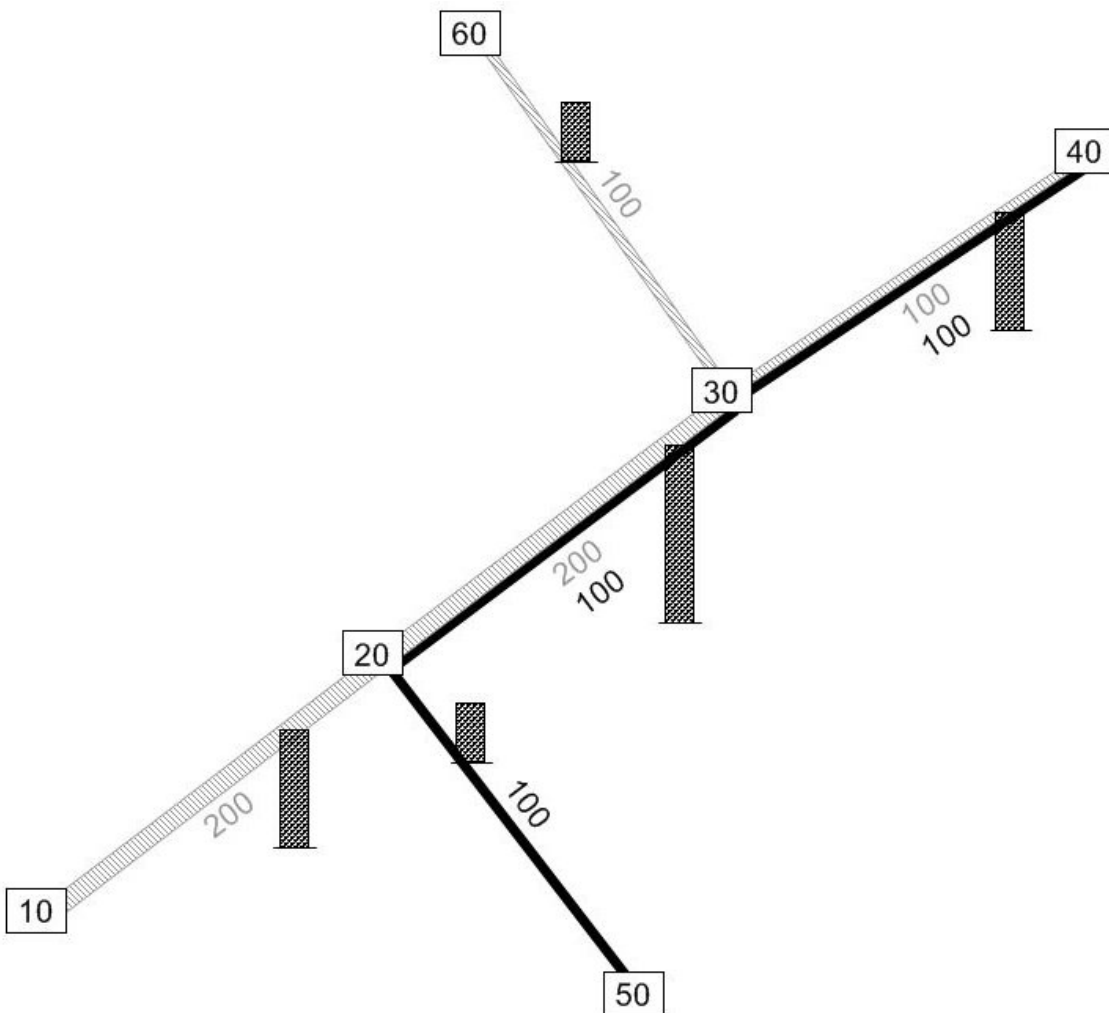


Abbildung 2.3: Prinzip der Fahrgastzählung Szenario 1 [Hof11]

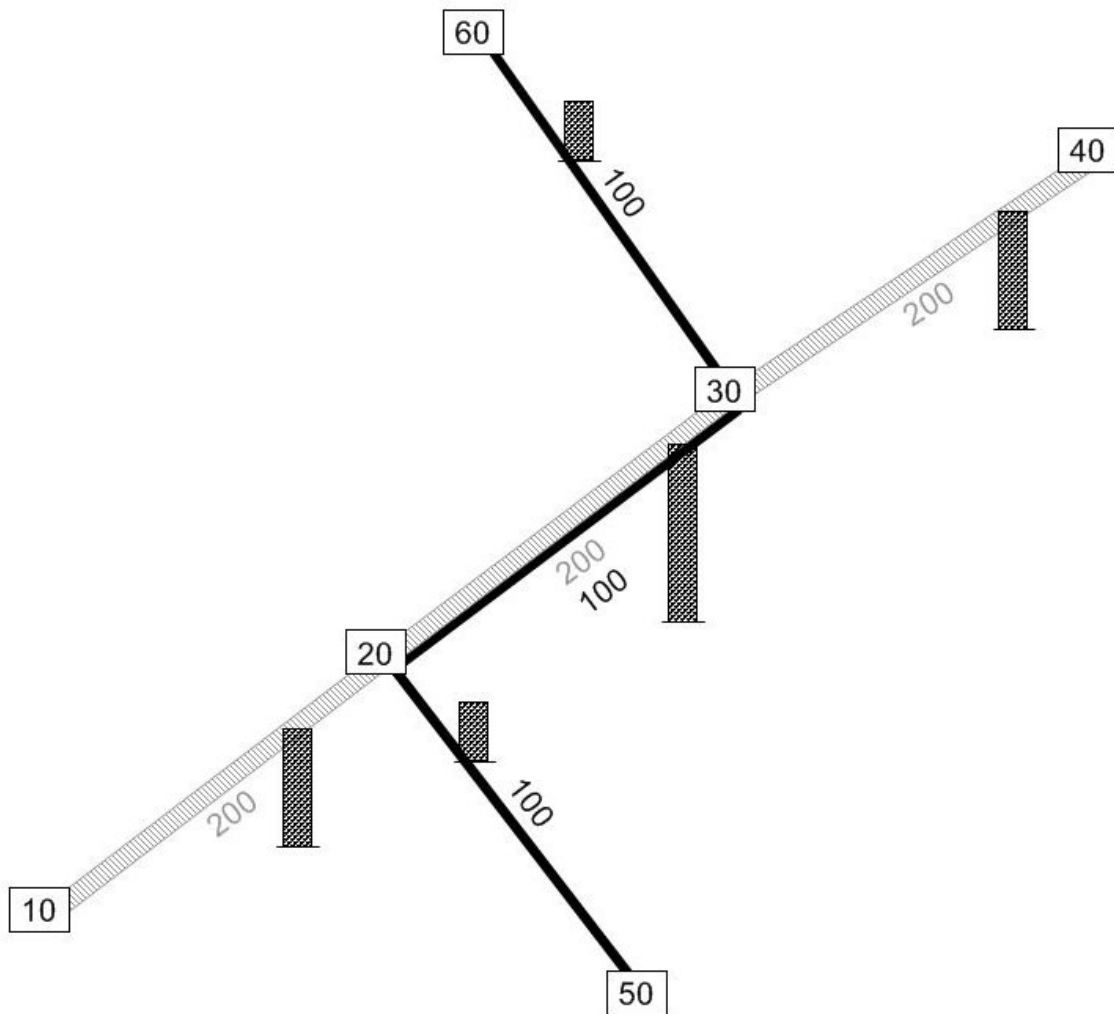


Abbildung 2.4: Prinzip der Fahrgastzählung Szenario 2 [Hof11]

Automatische Zählung

Im Unterschied zur manuellen Zählung wird bei der automatischen Zählung von einem in das Fahrzeug eingebauten technischen System die Fahrgastzählung durchgeführt. Die Systeme erfassen die Anzahl an bei den Haltestellen ein- bzw. ausgestiegenen Personen und protokollieren diese Daten mit Datum und Uhrzeit. Somit lässt sich wiederum die Anzahl der Fahrgäste auf einem Streckenabschnitt ermitteln. [Hof11]

2.4 Fahrgaststromanalyse

Mit Hilfe der Fahrgaststromanalyse lässt sich ermitteln, welche Wege ein Fahrgast im Liniennetz gewählt hat. Diese erhobenen Daten bieten die Möglichkeit, das Angebot an den tatsächlichen Bedarf anzupassen.

Die Abbildungen 2.5 und 2.6 zeigen das Prinzip der Fahrgaststromanalyse: Bei dieser ist zusätzlich zur Aufteilung der Fahrgäste auf die einzelnen Streckenabschnitte von einer Teilpopulation die Routenwahlverteilung bekannt: In Abbildung 2.5 kommen 20 % der Fahrgäste von der Haltestelle 10 und 5 % der Fahrgäste von der Haltestelle 50. Jeweils 10 % der Fahrgäste die

von der Haltestelle 10 kommen fahren anschließend zu den Haltestellen 40 bzw. 60 weiter. Die restlichen 5 %, die von der Haltestelle 50 kommen, fahren zur Haltestelle 40 weiter. Insgesamt ist von 25 % der Fahrgäste bekannt, welche Route sie wählen. In Abbildung 2.6 kommt der gleiche Anteil an Fahrgästen von den Haltestellen 10 und 50. Es fahren jedoch alle Fahrgäste, die von Haltestelle 10 kommen zur Haltestelle 40 (20 %) und alle Fahrgäste, die von Haltestelle 50 kommen, zur Haltestelle 60 (5 %). Zu erkennen ist der Unterschied zur Fahrgastzählung, bei der die Routenwahlverteilung nicht bekannt ist, da nur die Belastungen auf den einzelnen Strecken bekannt ist.

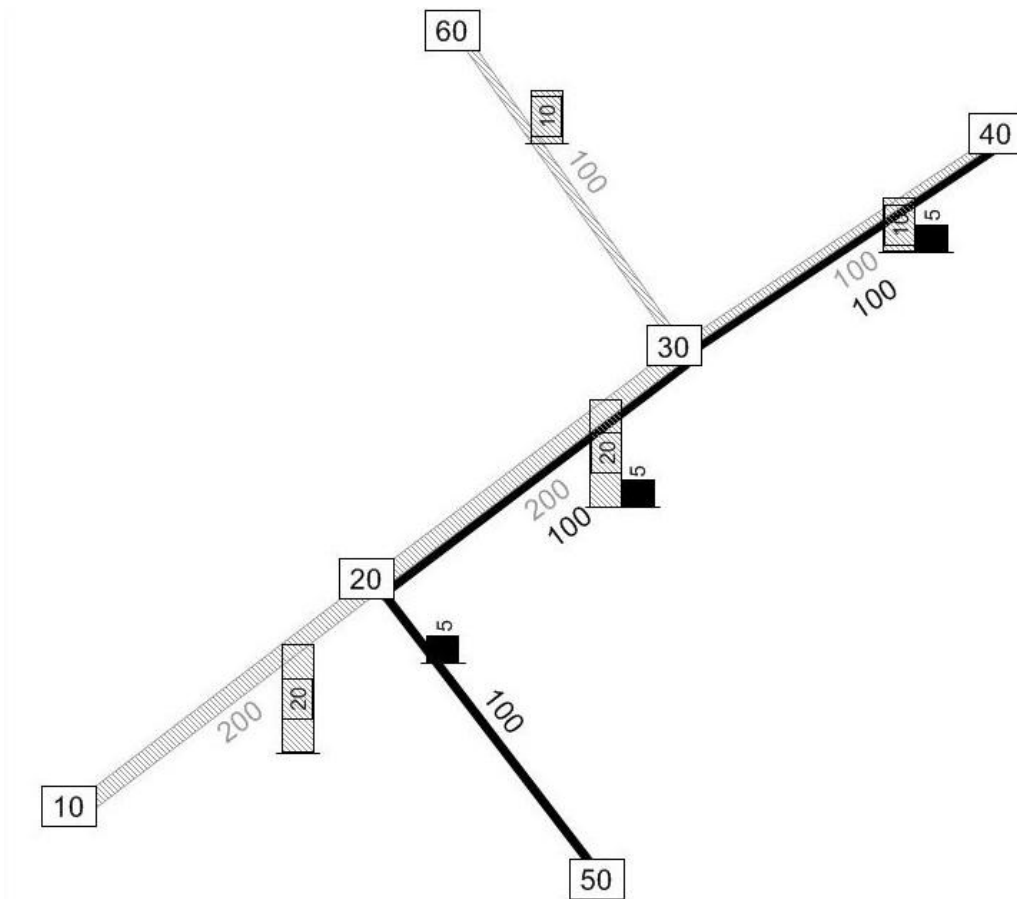


Abbildung 2.5: Prinzip der Fahrgaststromanalyse Szenario 1 [Hof11]

2.5 Modellbasierte Ermittlung der Nachfragematrix

Bei der modellbasierten Ermittlung der Nachfragematrix soll das Verkehrsgeschehen in idealisierter Weise nachgebildet werden. Dies geschieht, indem man die Wirklichkeit in einem Verkehrsmodell mit erklärenden und prognostizierbaren Größen zu beschreiben versucht. Wichtig dabei ist, dass die Wirkungszusammenhänge richtig und hinreichend genau wiedergegeben werden. Bei einem Verkehrsmodell handelt es sich also um eine Menge von Daten, die einen Zustand beschreiben, sowie um eine Menge von Funktionen, die die Verknüpfung zwischen diesen Daten beschreiben. Für die vollständige Beschreibung der Nachfrage werden unter anderem die Verkehrsnachfrage in Form einer Matrix (Nachfragematrix), das Verkehrsnetz und bei Modellierung eines Öffentlichen Verkehrs (ÖV)-Netzes der Fahrplan benötigt. [Fel10]

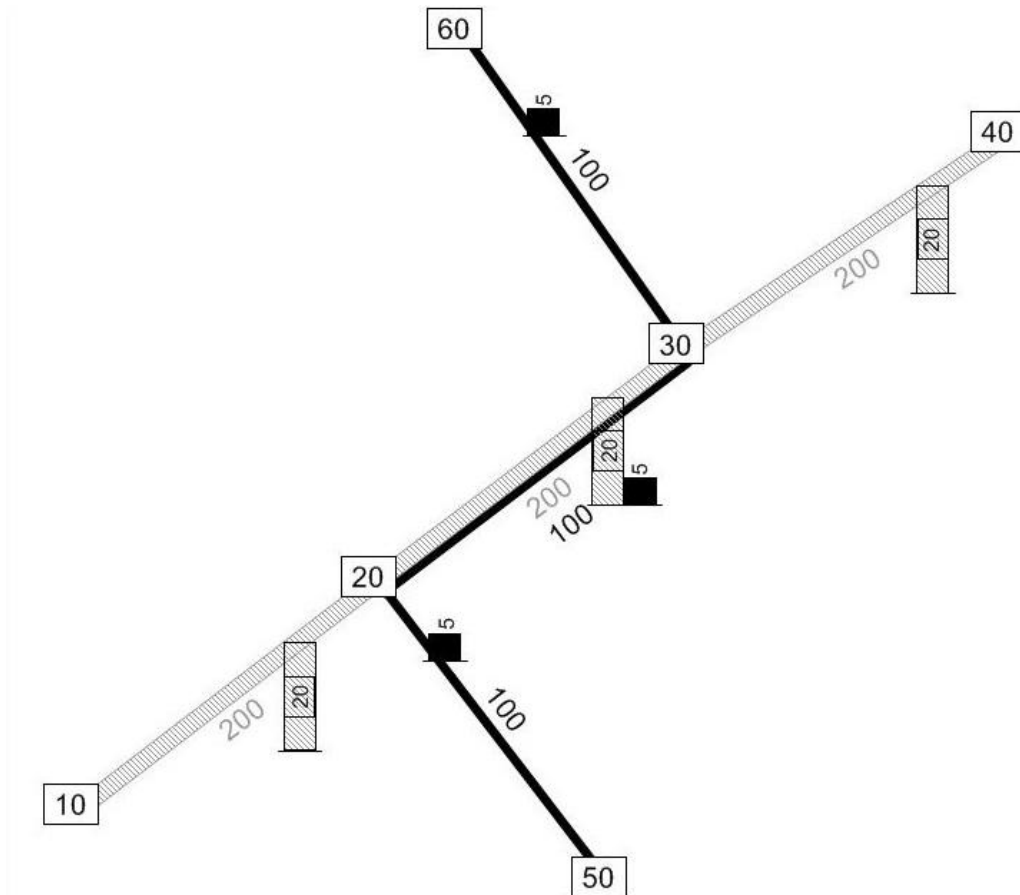


Abbildung 2.6: Prinzip der Fahrgaststromanalyse Szenario 2 [Hof11]

2.5.1 Nachfragematrix

Um die Menge aller Ortsveränderungen abbilden zu können, wird eine Nachfragematrix F verwendet. Dazu wird das zu untersuchende Gebiet in mehrere Raumeinheiten (sogenannte Verkehrszellen) unterteilt, die sich in der Regel an statistischen Bezirken orientieren. Die Elemente F_{ij} der Verkehrsnachfragematrix beschreiben nun die Zahl der Ortsveränderungen von einer Quellzelle i zu einer Zielzelle j . Tabelle 2.1 zeigt den Aufbau einer Nachfragematrix. Dabei gilt: [Fel10; Vis11b]

- F_{ij} Verkehrsnachfrage von Zelle i nach Zelle j
- $Q_i = \sum_{j=1}^n F_{ij}$ Quellverkehr der Zelle i
- $Z_j = \sum_{i=1}^m F_{ij}$ Zielverkehr der Zelle j
- $F = \sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n Z_j$ Gesamtverkehr der Matrix
- $m = n$ Zahl der Verkehrszellen

Die Eigenschaften einer Nachfragematrix sind: [Fel10]

- Die Hauptdiagonale muss nicht zwingend besetzt sein. Das liegt daran, dass der Binnenverkehr eventuell vernachlässigt werden kann.

von \ nach	1	...	j	...	n	Σ Quelle
1	F_{11}					Q_1
...						
i			F_{ij}			Q_i
...						
m					F_{mn}	Q_m
Σ Ziel	Z_1		Z_j		Z_n	F

Tabelle 2.1: Aufbau einer Nachfragematrix [Fel10]

- Betrachtet man die Ortsveränderungen von Personen eines ganzen Tages, so entsteht eine annähernd symmetrische Matrix. Der Grund für die nicht vollständige Symmetrie liegt darin, dass die Verkehrsteilnehmer auch komplexere Wegeketten (Wohnen–Arbeiten, Arbeiten–Einkaufen, Einkaufen–Wohnen) durchführen und unter Umständen am Ende des Tages nicht zu ihrem Startort zurückkehren.

2.5.2 Ganglinie

Mit Hilfe einer Ganglinie wird die zeitliche Verteilung der Fahrtwünsche innerhalb des Untersuchungszeitraums beschrieben. Die einfachste Art einer Ganglinie stellt eine prozentuale Aufteilung der Fahrtwünsche in mehrere Zeitintervalle beginnend zu einem Startzeitpunkt t_0 dar. [Vis11b]

2.5.3 Verfahren zur Modellierung der Verkehrsnachfrage

Zur Nachbildung der realen Verhältnisse in einem ÖV-Verkehrsnetz wird ein mathematisches Modell benutzt. Dieses berechnet auf Basis von Struktur- und Verhaltensdaten, der Raumstrukturen und dem Verkehrsangebot die Wege zwischen Quelle und Ziel. Das Modell wird dabei in folgende Stufen unterteilt: [Vis11b; Fel10]

- Verkehrserzeugung (Wer?)
- Verkehrsverteilung (Wohin?)
- Verkehrsmittelwahl (Womit?)
- Routenwahl (Wo lang?)

Verkehrserzeugung

Bei der Verkehrserzeugung wird das Quellaufkommen einer Verkehrszelle innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z. B. eines Werktages) ermittelt. Diese Berechnung erfolgt aus den Strukturgrößen jeder Zelle. Dazu zählen: [Fel10]

¹LBF ... Linienbeförderungsfall

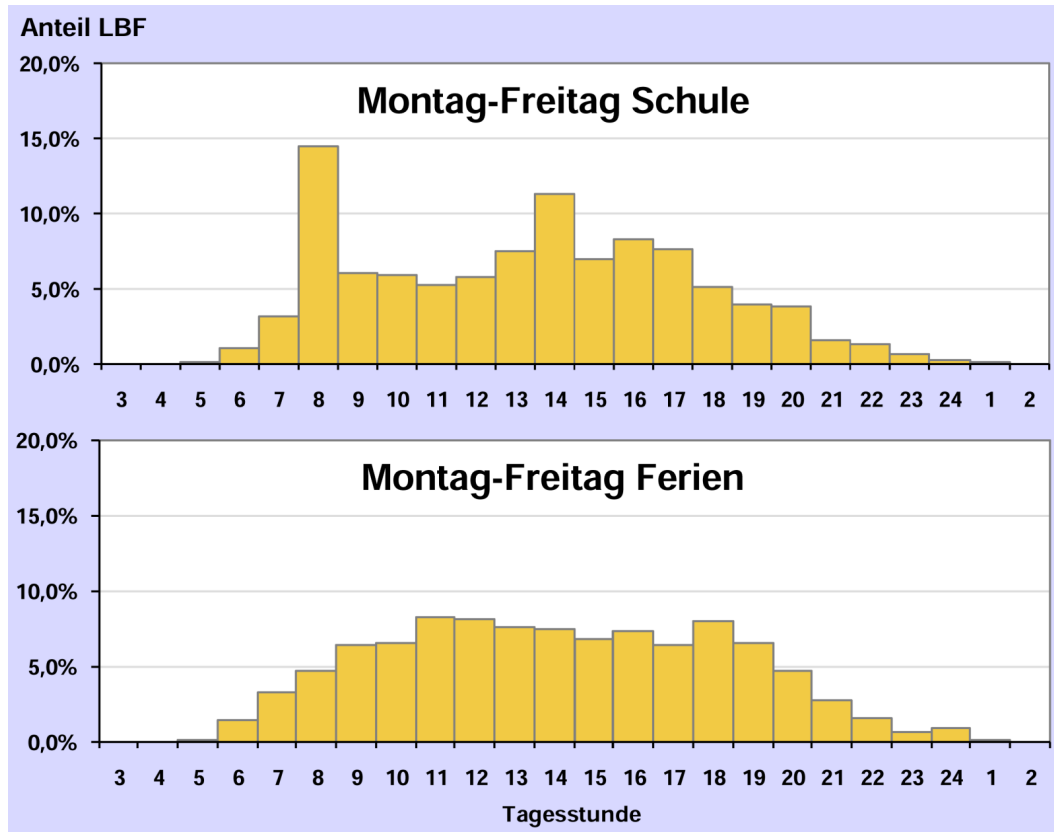


Abbildung 2.7: Beispiel für Tagesganglinien im Stadtverkehr [Olt10]¹

- Bevölkerungsdaten: Einwohner, Erwerbstätige, Auszubildende, Beschäftigte
- Gelegenheiten (Ziele): Wohnplätze, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Geschäfte, Freizeitanlagen
- Raumstrukturdaten: Topografie, Verkehrsanschlüsse, Entfernungen, Bezirke

Es wird zwischen erzeugtem und angezogenem Verkehr unterschieden: [Fel10]

- Erzeugter Verkehr: Quellverkehr $Q_i = p_1 \cdot X_{1i} + p_2 \cdot X_{2i} + \dots + p_n \cdot X_{ni}$
- Angezogener Verkehr: Zielverkehr $Z_i = a_1 \cdot X_{1i} + a_2 \cdot X_{2i} + \dots + a_n \cdot X_{ni}$

mit

X_{ji} : Strukturgröße der Zelle i
 Koeffizienten p_j, a_j : Geben den Einfluss der Größen X_{ji} auf den erzeugten bzw. angezogenen Verkehr an.
 n : Anzahl der Koeffizienten p_j bzw. a_j und Strukturgrößen X_{ji} pro Zelle i

Ist das Gesamtquellaufkommen gleich dem Gesamtzielaufkommen $\sum_i Q_i = \sum_j Z_j$, wird von einer Quelle-Ziel-Kopplung gesprochen. [Fel10]

Verkehrsverteilung

Mit dem bei der Verkehrserzeugung berechneten Quell- und Zielaufkommen werden nur die Randsummen der Nachfragematrix ($Q_i = \sum_{j=1}^n F_{ij}$ und $Z_j = \sum_{i=1}^m F_{ij}$) festgelegt. Bei der Verkehrsverteilung wird nun die Zielwahl der Verkehrsteilnehmer modelliert, es werden also die einzelnen Elemente F_{ij} der Nachfragematrix berechnet. [Vis11b; Fel10]

Eine Möglichkeit zur Modellierung der Verkehrsverteilung stellt das Gravitationsmodell dar. Bei diesem Modell wird davon ausgegangen, „dass die Anzahl der Fahrten zwischen den Zellen i und j (‚Anziehungskraft‘) proportional zur Attraktivität der beiden Zellen (‚Massen‘) und umgekehrt proportional zur Distanzwirkung zwischen den beiden Zellen (‚Abstand zwischen den Massen‘) ist“. [Fel10]

Verkehrsmittelwahl

Unter der Verkehrsmittelwahl wird die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf die verschiedenen Verkehrsmittel verstanden. Die wählbaren Verkehrsmittel lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: [Fel10]

- Individuelle Verkehrsmittel (IV): Fuß, Fahrrad, Moped, Motorrad, PKW, Taxi, LKW
- Öffentliche Verkehrsmittel (ÖV): Bus, Straßenbahn, U-Bahn, Eisenbahn, Schiff, Flugzeug

Genauer betrachtet wählt ein Verkehrsteilnehmer jedoch nicht ein Verkehrsmittel sondern einen Modus, weshalb die Verkehrsmittelwahl nach dem Englischen auch als „Modal Split“ bezeichnet wird.

Routenwahl

Bei der Routenwahl werden die Quell-Ziel-Ströme eines Modus auf verschiedene Routen r zwischen den Verkehrszellen i und j aufgeteilt. Dies lässt sich im Prinzip in zwei Teilaufgaben gliedern: [Fel10]

1. Ermittlung aller möglichen Routen
2. Abbildung des Wahlverhaltens der Verkehrsteilnehmer

In Abbildung 2.8 ist die Routenwahl für zwei Zellen i und j dargestellt. In diesem Beispiel gibt es zwei mögliche Routen. Welche Routen im Modell für die einzelnen Verkehrsteilnehmer gewählt werden, kann unter anderem von der Entfernung, der Verkehrsbelastung, von der Anzahl der nötigen Umstiege (ÖV) oder der benötigten Reisezeit abhängen.

Im Verkehrswesen wird das Routenwahlmodell als Umlegung bezeichnet. Nach der Umlegung lässt sich für jeden Streckenabschnitt im Verkehrsmodell die Belastung ermitteln.

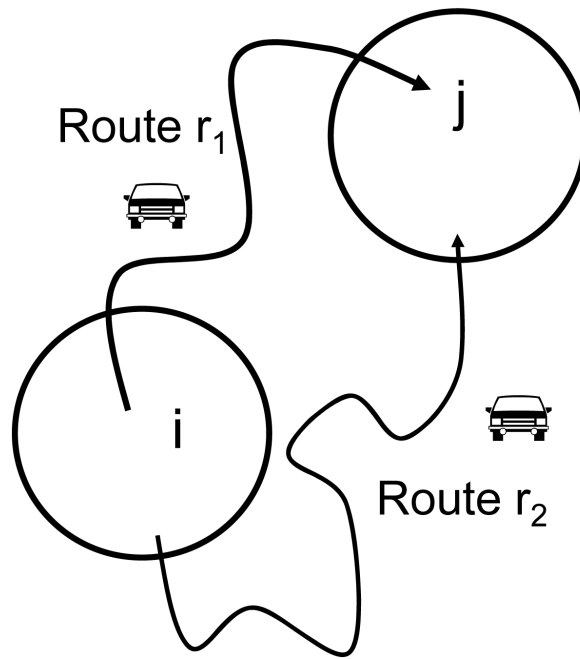


Abbildung 2.8: Routenwahl zwischen zwei Verkehrszellen [Fel10]

3 Systeme für Fahrgastzählungen

3.1 Ziele

Mit dem Einsatz eines automatischen Fahrgastzählsystems (AFZS) werden in der Regel dieselben Ziele verfolgt, die auch für eine Erhebung allgemein gelten. Es soll ein Informationsbedarf abgedeckt werden, wie zum Beispiel: [Vdv10]

- Analysen der Verkehrsmengen
- Linienerfolgsrechnungen
- nachfrageorientierte Einnahmenaufteilungen

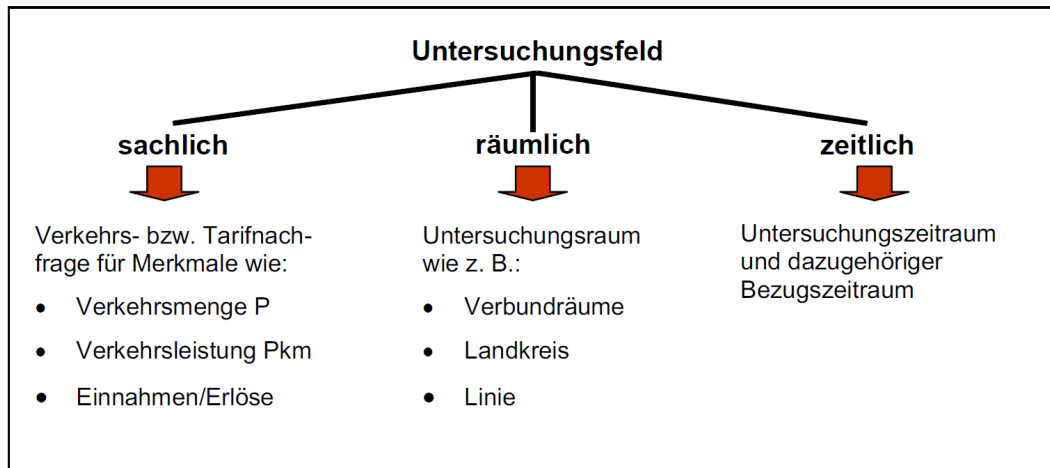


Abbildung 3.1: Untersuchungsfeld einer Erhebung mittels AFZS [Vdv10]

Für jeden Einsatz eines AFZS ist zunächst ein Ziel zu definieren. Dies geschieht, indem das Untersuchungsfeld sachlich, räumlich und zeitlich abgegrenzt wird. Das sachliche Untersuchungsfeld beschreibt Merkmale wie beispielsweise die Verkehrsmenge oder die Verkehrsleistung. Es ist eindeutig zu definieren, um die erforderliche Qualität der zu erhebenden Daten zu gewährleisten. Das räumliche Untersuchungsfeld legt den Untersuchungsraum fest, also für welchen verkehrlichen bzw. geografischen Raum die Erhebung stattfinden soll. Das zeitliche Untersuchungsfeld legt zu guter Letzt fest, in welchem Zeitraum die Erhebung stattfinden soll und auf welchen Bezugszeitraum das Ergebnis des Untersuchungszeitraumes angewendet werden soll. Bemessen wird der Erhebungszeitraum in der Regel nach dem Betrachtungszeitraum (beispielsweise ein Kalenderjahr) und kann bestehen aus: [Vdv10]

1. einer Periode
2. mehreren zeitlich auseinander liegenden Perioden
3. immer wieder aneinander anschließenden Perioden (kontinuierliche Erhebung)

Im Falle eines AFZS kommt nur die zweite oder dritte Variante in Betracht². Eine kontinuierliche Erhebung bietet den Vorteil, dass die Möglichkeit einer Hochrechnung statt einer einfachen Extrapolation gegeben ist. Das bedeutet, dass unerwartete einmalige Ereignisse kaum bis gar nicht in das Ergebnis einfließen – aufgrund der Verwendung einer Stichprobe, die derartige Ereignisse von vornherein ausschließt. Da eine kontinuierliche Erhebung sehr aufwändig ist, wird oft auf eine Erhebung in mehreren Wellen zurück gegriffen. Dabei werden „mindestens drei, besser vier Perioden von je mindestens drei, besser vier bis sechs Wochen als jeweils repräsentativ für einen jahreszeitlichen Abschnitt angesehen“. [Vdv10] Um die Wellen zu einem Jahresergebnis zusammen zu fassen, wird jede Welle für sich hochgerechnet und auf den Teil des Jahres extrapoliert. Im Anschluss werden die einzelnen Ergebnisse summiert, um das Jahresergebnis zu erhalten. In der Regel wird ein AFZS aus Kostengründen nicht in allen Fahrzeugen eines Betreibers eingebaut. Daher ist eine Messfahrtenplanung notwendig, in der genau definiert ist, wann und wo die Fahrzeuge mit einem installierten AFZS zum Einsatz kommen, um die gewünschte Qualität der Erhebung sicher zu stellen (siehe Kapitel 3.5). [Vdv10]

3.2 Nutzen

Ein wesentlicher Nutzen aus der Verwendung eines AFZS besteht darin, dass der Stichprobenumfang gegenüber der manuellen Zählung wesentlich erhöht werden kann. Bei der personal gestützten Fahrgastzählung ergibt sich aus wirtschaftlichen Gründen eine Beschränkung des Stichprobenumfanges von zwei bis drei Fahrten je Linie, Stunde und Fahrtrichtung. Mit einem AFZS hingegen lässt sich dieser Umfang für Einzeluntersuchungen innerhalb der Zählzeiträume gezielt erhöhen. Es werden somit Datensätze mit größeren Stichprobenumfängen erreicht. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Qualität der Erhebung aus. [Rab08]

Ein weiterer Nutzen besteht darin, dass man automatisiert kontinuierlich Kenntnisse über aktuelle Fahrgastzahlen erhält. Diese gewinnen insbesondere vor dem Hintergrund des anstehenden demografischen Wandels an besonderer Bedeutung, um die Entwicklungen bezüglich des Angebotes und der Nachfrage analysieren und entsprechend reagieren zu können. Des Weiteren wird mit einem AFZS die Zählung maßgeblich erleichtert – in der Praxis hat das AFZS die Handzählung vor allem bei größeren Verkehrsunternehmen bereits abgelöst. [SOC10]

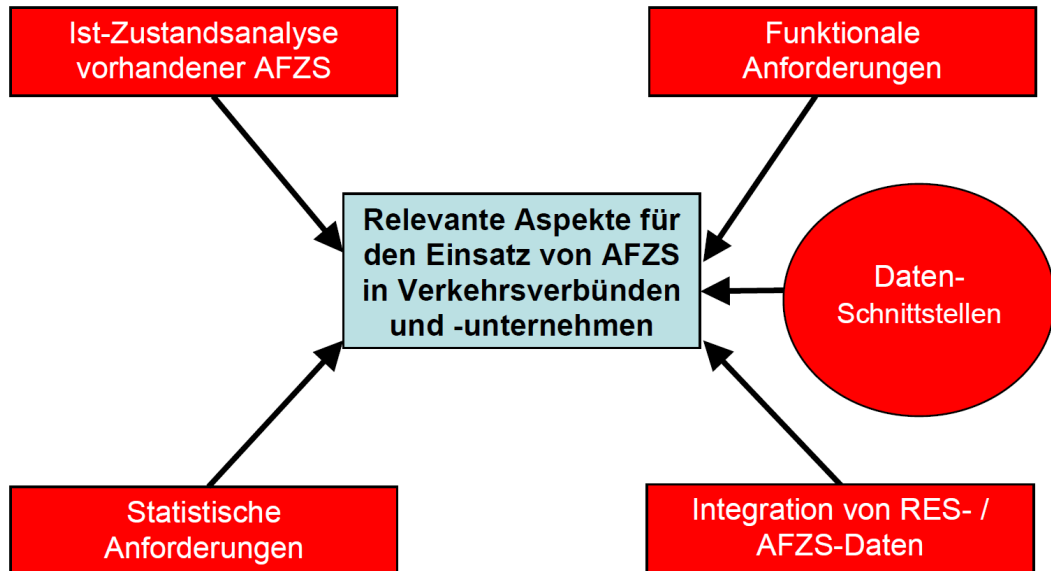
3.3 Anforderungen

Ein AFZS liefert wichtige Daten, die für Planung, Statistik und Abrechnung verwendet werden können. Damit die so erhobenen Daten in einem relevanten Umfang und einer hohen Qualität zur Verfügung stehen, muss ein AFZS einige Anforderungen erfüllen. Abbildung 3.2 zeigt die Aspekte, die beim Einsatz – genauer genommen vor dem Kauf/vor der Installation – berücksichtigt werden müssen. [RKS08; Vdv07]

Zu den funktionalen Anforderungen zählt unter anderem, dass das AFZS unternehmensübergreifend vergleichbare Ergebnisse mit vorgegebenen Genauigkeiten liefert und somit für verschiedene Zielstellungen statistisch gesicherte Ergebnisse vorliegen. Aus AFZS-Daten lassen sich unter anderem Kenngrößen für die Verkehrs-, Kapazitäts- und Betriebsplanung

²Anzumerken ist, dass auch eine Vollzählung (Erhebung jedes einzelnen Kurses) möglich ist. Dies ist aber in der Praxis zu kostenintensiv. Zudem ist auch hier eine Hochrechnung notwendig, da es zu Ausfällen einzelner Erhebungsteile kommen kann. [Ger10]

³RES ... Reisendenerfassungssystem [Ger10]

Abbildung 3.2: Aspekte zum Einsatz von AFZS [Vdv07]³

ermitteln. Eine weitere Verwendung können AFZS-Daten bei der Einnahmenaufteilung einer Organisation (z. B. einem Verkehrsverbund) finden. [Vdv07]

„Wesentlich ist jedoch darauf zu verweisen, dass Daten aus AFZS nicht Ergebnisaussagen aus Verkehrserhebungen mit Befragten ersetzen können.“ [Vdv07] Der Grund dafür liegt darin, dass aus einer Fahrgastzählung keine Merkmale wie Wegekettens, Quelle-Ziel-Beziehungen, genutzte Fahrkartenarten oder Nutzungshäufigkeiten hervorgehen. Somit muss auch beim Einsatz von AFZS in einem definierten Ausmaß eine Erhebung in Form einer Befragung durchgeführt werden. Die Ergebnisse eines AFZS müssen in der folgenden Form zur Verfügung stehen: [Vdv07]

- Verkehrsmenge in Personen⁴
- Fahrzeugbesetzung
- Verkehrsleistung in Personenkilometer (Pkm)
- mittlere Beförderungsweite je Linienbeförderungsfall (LBF) nach einzelnen Linien und aggregiert
- mittlere Beförderungsweite je Unternehmensbeförderungsfall (UBF) unter Einbeziehung des Umsteigefaktors⁵
- Hochrechnungsergebnisse für räumliche Einheiten (z. B. Tarifzonen, Gebietskörperschaften)

„Die genannten Größen sind sowohl im Erhebungsstatus als auch hochgerechnet von Bedeutung.“ [Vdv07] Das Erhebungssystem muss weiters sicherstellen, dass die erforderliche statistische Qualität sowohl für die Grundgesamtheit als auch für die einzelnen Merkmale mit Gewissheit erzielt wird. [Vdv07]

⁴Die Verkehrsmenge wird in Linienbeförderungsfällen (LBF) gemessen.

⁵Der Umsteigefaktor muss über eine Befragung ermittelt werden.

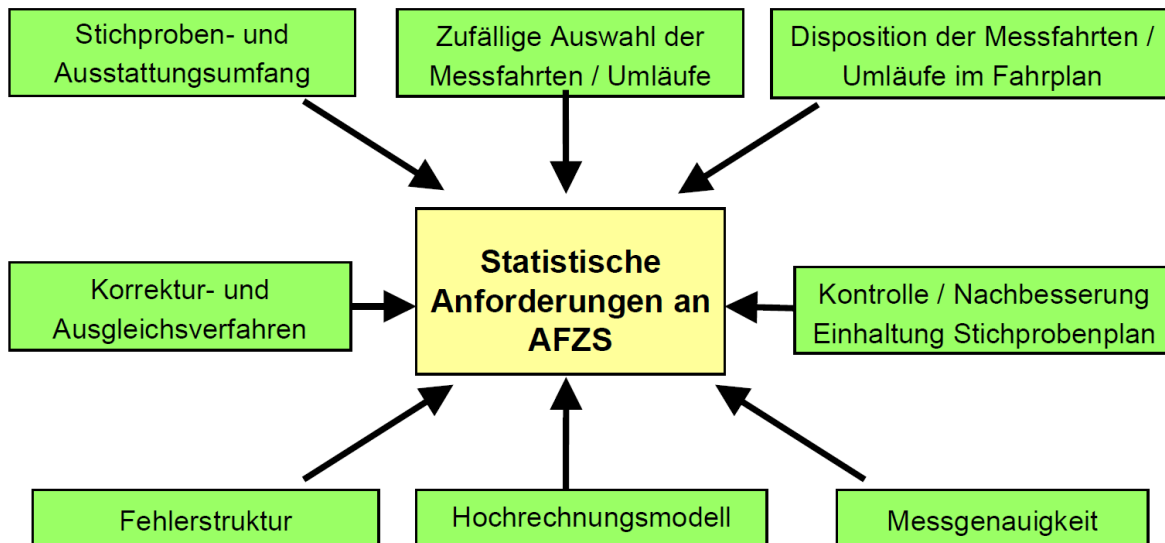


Abbildung 3.3: Statistische Anforderungen von AFZS [Vdv07]

Abbildung 3.3 zeigt die statistischen Anforderungen an ein AFZS. Dabei ist unter anderem zu beachten, „dass aus AFZS-Systemen im Rahmen einer Stichprobe generierte Ergebnisse erwartungsgetreue Schätzwerte sind, die mit einer jeweils definierten Genauigkeit (bestimmt durch den relativen Stichprobenfehler) und Wahrscheinlichkeit (bestimmt durch die statistische Sicherheit) in der Grundgesamtheit auftreten.“ [Vdv07]

3.4 Statistische Qualität von AFZS-Daten

Bei einem AFZS gibt es drei potenzielle Fehlerquellen: [Vdv07]

- Fehler im technischen Bereich des Systems, z. B. durch Ausfall von Sensoren (technische Ausfallrate bzw. Verfügbarkeit)
- Fehler im Zählvorgang selbst, z. B. Fahrgäste werden nicht erfasst (Erfassungs- oder Messfehler)
- Fehler bei der Stichprobenplanung und -durchführung (Stichprobenfehler)

Bei der Berechnung des Gesamtfehlers eines AFZS wird davon ausgegangen, „dass die technisch bedingte Ausfallrate dauerhaft auf einem so niedrigen Niveau zu halten ist, dass von ihr keine negativen Wirkungen auf die erforderliche Datenqualität ausgeht.“ [Vdv07] Für den Gesamtfehler sind nur der Messfehler und der Stichprobenfehler zu berücksichtigen. Der so ermittelte Gesamtfehler darf maximal 5 % – entspricht der bei manuellen Erhebungen akzeptierten und üblichen Größe – betragen. [Vdv07]

Ein AFZS soll erwartungsgetreue Schätzwerte für die Merkmale Linienbeförderungen und Personenkilometer liefern, die über eine untere und eine obere Vertrauensgrenze verfügen. Aus diesem Grund werden die folgenden statistischen Qualitätsparameter festgelegt: [Vdv07]

- statistische Sicherheit größer gleich 90 %
 $S \geq 0,9$
- relativer Fehler der zu schätzenden Stichprobenmaßzahlen kleiner gleich 5 %
 $d_r \leq 0,05$

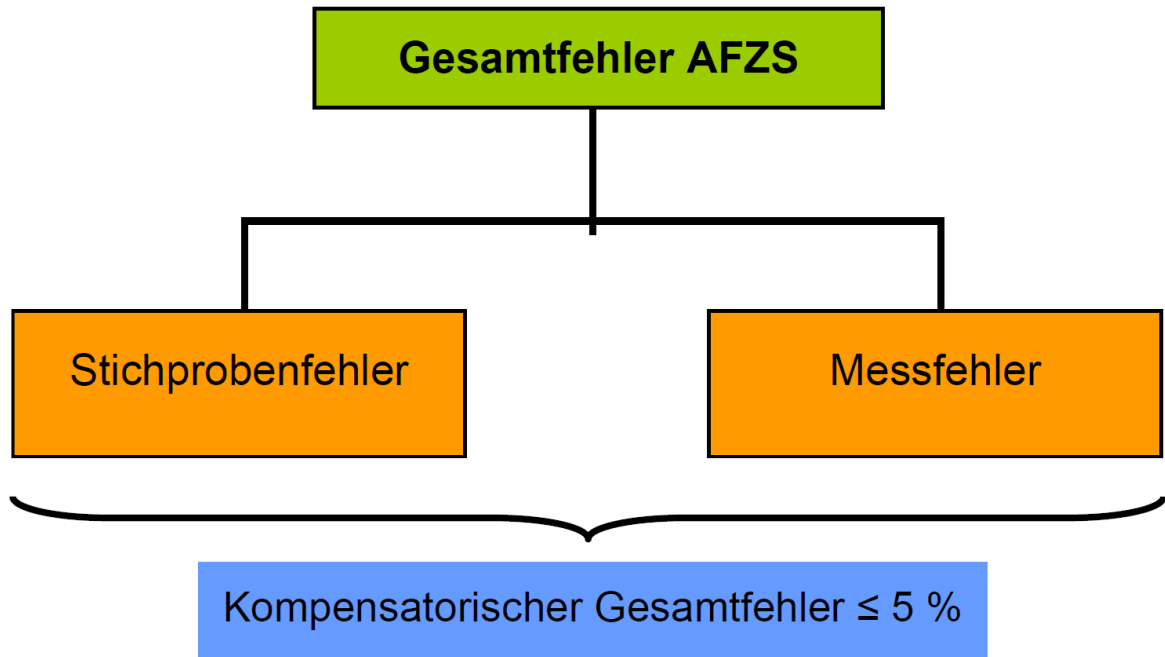


Abbildung 3.4: Struktur statistischer Fehler [Vdv07]

- relative Streuung als Verhältnis der Streuung zum Mittelwert kleiner gleich 150 %⁶
 $V \leq 1,5$

3.5 Stichproben- und Messfahrtenplanung

Vor dem Einsatz eines AFZS müssen die notwendige Stichprobe und die dafür notwendigen Messfahrten festgelegt werden. Abbildung 3.5 zeigt die dazu notwendigen Schritte. Diese lassen sich in zwei Blöcke unterteilen: [Vdv07]

- Block 1 – Statistische Komponente: Auswahl des Stichprobenumfanges und der Messfahrten
- Block 2 – Verkehrsbetriebliche Umsetzung: Disposition der Messfahrten und Kontrolle der Qualität der durchgeführten Messfahrten

Block 1 – Statistische Komponente

Wie in Abbildung 3.6 zu erkennen ist, lässt sich die Auswahl des Stichprobenumfanges und der Messfahrten (Block 1) in drei Stufen einteilen. In der ersten Stufe wird der erforderliche Stichprobenumfang bestimmt. Dabei gilt: [Vdv07]

$$n = f(S, d_r, V) = \frac{k^2 \cdot V^2 \cdot N}{k^2 \cdot V^2 + (N-1) \cdot d_r^2}$$

n: Stichprobenumfang (Anzahl der Erhebungsfahrten pro Umläufe) im Erhebungszeitraum

⁶Dieser Wert (150 %) kann in der Regel als allgemeine Orientierung verwendet werden (Erfahrungswert).

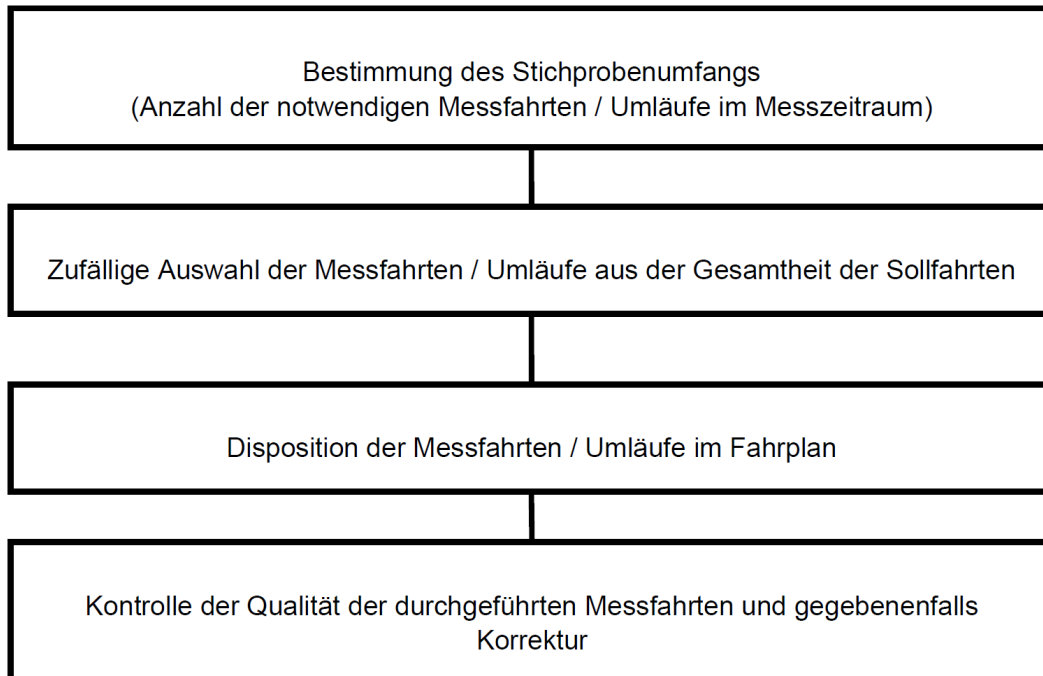


Abbildung 3.5: Struktur der Messfahrtenplanung [Vdv07]

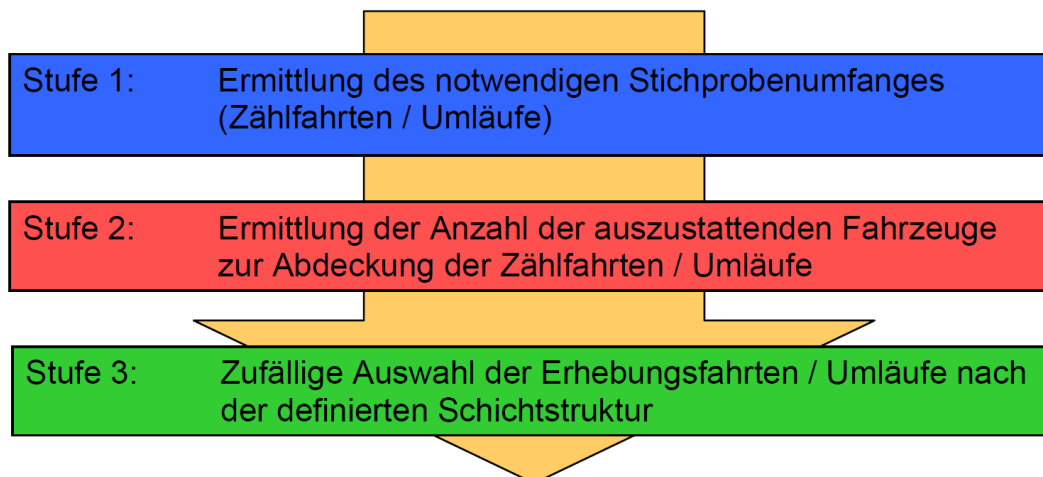


Abbildung 3.6: Stichproben- und Ausrüstungsumfang [Vdv07]

S:	Statistische Sicherheit
d_r :	maximal zulässiger relativer Stichprobenfehler ⁷
V:	Relative Streuung (Quotient Streuung / Mittelwert)
k:	Tabellenwert (abhängig von der statistischen Sicherheit S)
N:	Anzahl der Fahrten pro Umläufe im Erhebungszeitraum (Grundgesamtheit)

Wesentlich in diesem Schritt ist die Abschätzung der relativen Streuung. Bei der Inbetriebnahme eines AFZS kann diese auf Basis von Sekundärdaten aus Verkehrserhebungen entnommen werden bzw. geschätzt werden – unter der Voraussetzung, dass zwischenzeitlich keine strukturellen Änderungen erfolgt sind. In weiterer Folge ist diese Größe aus dem Ergebnis des AFZS zu entnehmen. Für eine erste Referenzanwendung eines AFZS hat sich in der Praxis die Verwendung einer relativen Streuung von $V = 1,5$ (150 %) durchgesetzt. Zudem wird empfohlen, den berechneten Stichprobenumfang durch ein Korrektiv (z. B. +10 %) zu erhöhen. Somit werden auftretende Unsicherheiten aus Dispositionsfehlern von vornherein berücksichtigt. Letztgenannte Maßnahmen tragen dazu bei, dass die Planung der erforderlichen Zählfahrten auf der sicheren Seite erfolgt.

In der zweiten Stufe ist der Ausstattungsumfang der Fahrzeuge zu ermitteln, damit der in der Stufe 1 berechnete Stichprobenumfang umgesetzt werden kann. Das erfolgt mit der Formel: [Vdv07]

$$n(A) = \frac{n}{F \cdot k(Z)}$$

$n(A)$:	Anzahl der auszurüstenden Fahrzeuge
n:	In Stufe 1 berechneter Stichprobenumfang
F:	Anzahl der Zählfahrten, die ein Fahrzeug innerhalb des definierten Erhebungszeitraumes ausführen kann
$k(Z)$:	Einsatzkoeffizient der Zähltechnik

Bei der Ermittlung der Anzahl der Zählfahrten müssen einerseits die aufgrund von Wartungen feststehenden Ausfallzeiten berücksichtigt werden, aber andererseits auch die aufgrund von Ausfall und Wartung des AFZS entstehenden Ausfallzeiten. Des Weiteren ist die Kenngröße $k(Z)$ abzuschätzen, diese ergibt sich aus folgenden Koeffizienten: [Vdv07]

- Werkstattreserve: Berücksichtigt die durchschnittliche Ausfallhäufigkeit aufgrund von Wartungen und Reparaturen
- Betriebsreserve: Berücksichtigt betrieblich bedingte Ausfälle (beispielsweise Änderung des Umlaufplanes)
- Systemreserve: Berücksichtigt systembedingte Ausfälle des AFZS selbst

Ist es nicht möglich diese Koeffizienten zuverlässig zu bestimmen, kann die Berechnung der auszurüstenden Fahrzeuge auch in folgender Form erfolgen: [Vdv07]

$$n(A) = B \cdot c \cdot F$$

⁷ „Der Stichprobenfehler d_r ist, verbunden mit der statistischen Sicherheit S, das grundlegende Qualitätsmaß jeder Verkehrserhebung auf Stichprobenbasis.“ [Vdv07]

3 Systeme für Fahrgastzählungen

- n(A): Anzahl der auszurüstenden Fahrzeuge
B: Fahrzeugbestand
c: Auswahlsatz der Zählfahrten
F: Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung von Fahrzeugausfällen, Systemausfällen und ähnlichem

Aus Erfahrungen in der Praxis kann $F = 2$ gesetzt werden. Weiters hat sich eine Ausstattungsgröße von 10 % des Fahrzeugbestandes als hinreichend erwiesen, dieser Wert „muss aber im Einzelfall nach den jeweiligen Stichprobengrößen und den Restriktionen (Betriebshöfe, Fahrzeuge, Einsatz und Umlaufbedingungen) möglichst linienfein geplant werden.“ [Vdv07] Es zeigt sich, dass es beim notwendigen Ausrüstungsgrad teilweise signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Verkehrssystemen gibt.

In der letzten Stufe ist die Auswahl der Messfahrten durchzuführen. Diese hat nach dem Zufallsprinzip zu erfolgen; das heißt, es darf auf die Auswahl der Messfahrten pro Umläufe aus der Grundgesamtheit (Sollfahrten pro Umläufe) im Messzeitraum nicht gezielt oder bewusst Einfluss genommen werden. Wie in Abbildung 3.7 zu erkennen, kann dies einerseits nach der reinen Zufallsauswahl erfolgen oder andererseits nach einer modifizierten Zufallsauswahl. Wichtig ist zudem, dass für jede Fahrt eine gleiche Auswahlwahrscheinlichkeit zur Aufnahme in die Stichprobe gegeben sein muss.

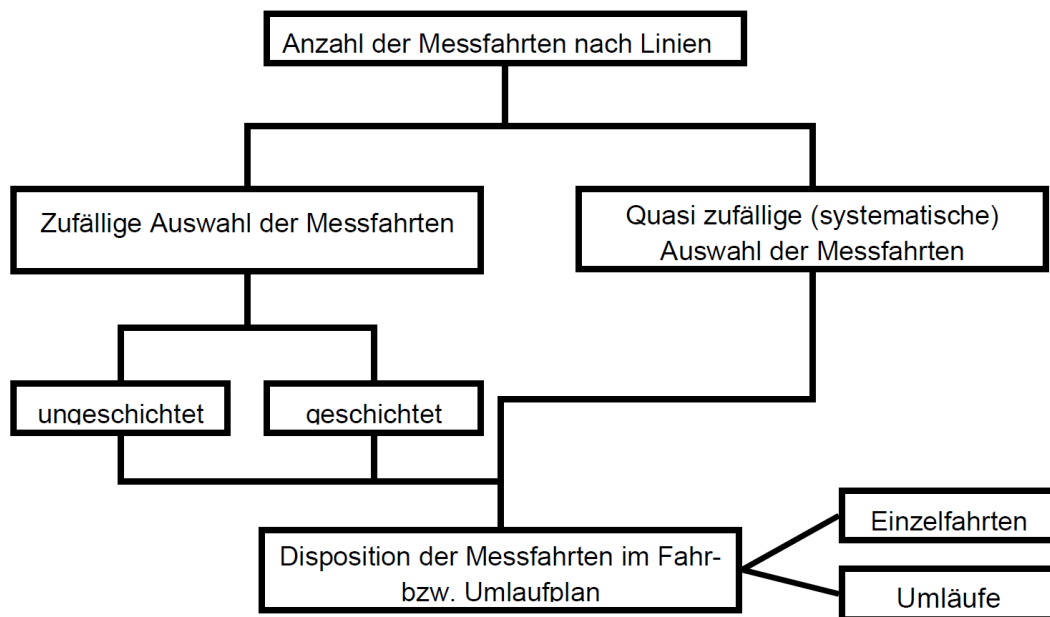


Abbildung 3.7: Zufällige Auswahl der Messfahrten [Vdv07]

Block 2 – Verkehrsbetriebliche Umsetzung

Im zweiten Block ist einerseits die Disposition der Messfahrten festzulegen. Dabei soll sichergestellt werden, dass die zuvor zufällig ausgewählten Messfahrten zuverlässig in den Betriebsablauf eingeordnet werden. Dabei sind auch mögliche Dispositionsbeschränkungen zu berücksichtigen. Dazu zählen beispielsweise: [Vdv07]

- Bindung an Betriebshöfe

- Nichtbefahrbarkeit von Linien für einzelne Fahrzeugtypen durch Beschaffenheit von Straßen/Gleisanlagen
- Verträge mit Dritten (beispielsweise Linienbindung durch Werbeflächen)

Nachdem die Messfahrten dispositioniert und durchgeführt wurden, ist andererseits die Qualität dieser Fahrten zu eruieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Dabei ist nachzuweisen, dass die bei der Stichprobenplanung und -durchführung festgelegte Anzahl von Messfahrten und die dabei definierten Schichtungsmerkmale realisiert wurden. Somit ergibt sich ein zweistufiges Verfahren. In der ersten Phase wird mit dem Verfahren der zufälligen Auswahl der Messfahrten begonnen. „Nach einem Zeitraum, in dem Nachplanungen noch möglich sind (z. B. nach der Hälfte des Erhebungszeitraumes), erfolgt eine Analyse zur Erfüllungsquote der Stichprobe nach der durchgeführten Anzahl und nach Einhaltung der Schichtungsmerkmale.“ [Vdv07] Ziel der Analyse ist, die Erfüllung der Stichprobe (wahrscheinliche Sättigung) abzuschätzen. In der zweiten Phase werden gezielt fehlende Messfahrten ausgewählt und durchgeführt. Dabei kommt ein Bewertungsverfahren zum Einsatz, das sicherstellt, dass die in der Stichprobe noch fehlenden Messfahrten „nach Anzahl, Schichtungsmerkmalen (Linien, Tagesgruppen, Zeitschichten) und nach ihrer statistischen Relevanz für die mengen- und schichtgetreue Erfüllung der Stichprobe bewertet und demgemäß in Phase 2 gezielt eingeordnet werden“. [Vdv07] Mit diesem Verfahren kann sichergestellt werden, dass eine der Grundgesamtheit entsprechende Stichprobe realisiert wird. [Vdv07]

3.6 Messgenauigkeit

Für jedes AFZS ist die Messgenauigkeit mathematisch-statistisch zu definieren und nach der Installation zu verifizieren. Entschieden wird die Zählgenauigkeit des Systems bei der Zählung der Ein- und Aussteiger an den Türen. Dabei gibt es zwei Arten von Fehlern die auftreten können: [Vdv07]

- Systematische Fehler
- Zufällige Fehler

Ein systematischer Fehler kann beispielsweise darin liegen, dass das System eine Tendenz zur Unterzählung aufweist. Solche Fehler sind durch eine entsprechende vorausgehende Justierung auszuschließen bzw. auszugleichen. Der Systemlieferant muss also bei der Inbetriebnahme die Zählgenauigkeit prüfen und das AFZS anschließend für einsatzbereit erklären. [Vdv07]

Für die Messgenauigkeit wird gefordert, dass: [Vdv07]

- der Fehler für die Summe der Einsteiger und die Summe der Aussteiger für alle Messfahrten zusammen 1 % nicht übersteigt.⁸
- systematische Fehler ausgeglichen werden.

Zufällige Fehler hingegen lassen sich beim Messvorgang selbst nicht ausgleichen, da sie unsystematisch auftreten und oftmals nicht einfach reproduzierbar sind. Deshalb ist bei der Auswertung der Daten ein Korrektur- und Ausgleichsverfahren – der sogenannte Saldenausgleich – anzuwenden. Dabei wird ein Ausgleich zwischen den Ein- und Aussteigern für alle

⁸Ist der Gesamtfehler des Systems kleiner gleich 5 %, kann von dieser Forderung abgewichen werden. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die Stichprobe nicht stärker differenziert wird (keine Auswertung von einzelnen Linien). [Vdv07]

zugeordneten und zu korrigierenden Fahrten durchgeführt. Der dabei verwendete Algorithmus kann und darf nur die durch den zugelassenen zufälligen Messfehler verursachten Differenzen ausgleichen. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass bei Auftreten von höheren nicht mehr zulässigen Messfehlern derartige Daten erkannt und ausgeschlossen werden. [Vdv07]

3.7 Systemaufbau

Ein AFZS besteht in der Regel aus einer Steuerungseinheit und mehreren Sensoren. Hinzu kommt noch ein Datenmanagementsystem mit dem die Daten nach der Erhebung ausgelesen und ausgewertet werden können. Abbildung 3.8 zeigt einen beispielhaften Systemaufbau eines AFZS.

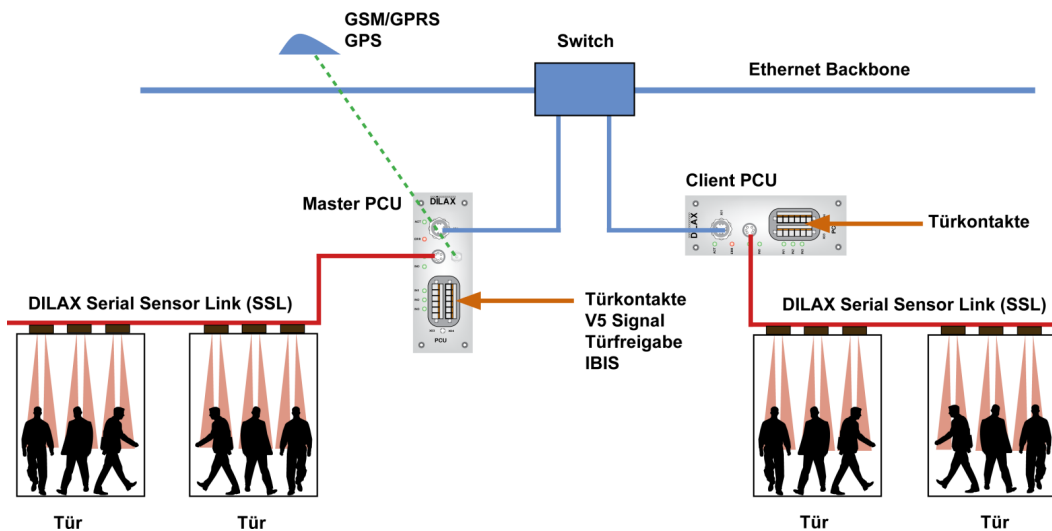


Abbildung 3.8: Systemaufbau eines AFZS [Dil10]

Steuerungseinheit

Jedes AFZS verfügt über eine oder mehrere Steuerungseinheiten. Diese haben die Aufgabe die Messdaten und weitere Zusatzinformationen zu sammeln, zu speichern und zu übertragen. Des Weiteren dient die Steuerungseinheit in vielen Fällen auch als Schnittstelle für die Systemdiagnose und die Wartung. Werden mehrere Steuerungseinheiten verwendet – dies ist notwendig, wenn die benötigte Anzahl an Sensoren die Anzahl anschließbarer Sensoren an das Steuergerät übersteigt – arbeitet in der Regel eine Steuereinheit als Master und alle weiteren als Slave. Die Kommunikation zwischen dem Master und den Slaves erfolgt in solchen Fällen beispielsweise über Ethernet. [Dil09a; Dil10]

Jede Steuereinheit arbeitet vollautomatisch und autonom, womit bei Inbetriebnahme des Fahrzeuges vom Personal keine zusätzlichen Tätigkeiten vorgenommen werden müssen. Bei Inbetriebnahme werden die Firmware sowie die Grundeinstellungen beispielsweise von einem Flash-EEPROM geladen und anschließend die Daten aufgezeichnet und z. B. in einem batteriegepufferten SRAM abgelegt. Die gespeicherten Daten können dann entweder manuell beispielsweise über ein Webinterface ausgelesen, an ein anderes Gerät weitergegeben oder auch über ein Datenfernübertragungs (DFÜ)-Gerät vollautomatisch übermittelt werden. Als Schnittstellen sind unter anderem die folgenden möglich: [Dil09a]

- GPS-Empfänger
- Digitale Eingänge⁹
- Tachosignal-Eingang¹⁰
- Schnittstelle zum integrierten Bordinformationssystem (IBIS)
- RS232-Schnittstelle
- Zweidraht-RS485-Schnittstelle
- Ethernet-Schnittstelle¹¹
- Controller Area Network (CAN)-Bus

Sensoren

Die Sensoren führen die eigentliche Fahrgastzählung durch. Diese sind über den Türen angeordnet und können so den ein- und aussteigenden Fahrgaststrom erfassen. Angeschlossen werden sie entweder direkt an der Steuerungseinheit oder über eine Zwischen-Steuereinheit, die die Daten von mehreren Sensoren erfasst, auswertet und nur mehr die erfassten Zählraten an die übergeordnete Steuerungseinheit weiter gibt. [Dil09b; Dil08; Mgi10]

Eine verwendete Technik stellen Infrarot-Sensoren dar, welche entweder nur über eine aktive Komponente verfügen oder sowohl über eine aktive als auch über eine passive Komponente verfügen. Die aktive Komponente sendet Infrarotes-Licht (beispielsweise mit einer Wellenlänge von 870 nm) aus, welches entweder am Fußboden oder von einem in der Tür befindlichen Objekt reflektiert wird. Nur ein geringer Teil des reflektierten Lichtes – Licht das von einem Objekt reflektiert wurde – wird vom Sensor wieder detektiert. Somit lässt sich erkennen, wenn ein Objekt (eine Person) durch die Tür gegangen ist. Bei Sensoren die zusätzlich über eine passive Komponente verfügen, wird ein pyroelektrischer Detektor verwendet. Dieser reagiert auf die Wärmestrahlung des Menschen, welche in einem Wellenlängenbereich von 9 – 12 μm liegt. Abbildung 3.9 zeigt die Erfassungsbereiche der aktiven und passiven Komponente eines Infrarot-Sensors. [Dil08; Iri09; Iri10b]

Neuere Infrarot-Sensoren verwenden eine ähnliche Technik wie die aktiven Sensoren. Bei diesen wird in kurzer Folge Infrarotes-Licht (Laserlichtimpulse) ausgesandt. Diese Impulse werden reflektiert und vom Empfänger registriert. Es wird nun die Zeitspanne gemessen, die zwischen Aussenden und Registrieren des Laserimpulses vergangen ist. Aus dieser Zeit und der Tatsache, dass in der Tür befindliche Objekte zu einer früheren Reflexion führen, lässt sich die Entfernung zu einem Objekt bestimmen. Auf diese Art und Weise wird ein 3D-Abbild des Türraumes erzeugt. Abbildung 3.10 zeigt ein charakteristisches Höhenprofil eines Menschen, das mit dieser Technik entsteht. [Iri10a]

Eine weitere Technik stellen Stereobild-Kamerasysteme dar, welche im Türbereich installiert werden. Diese erzeugen ein dreidimensionales Abbild der Personen, die durch die Türe gehen. Dieses Abbild ermöglicht in weiterer Folge die Ermittlung der Ein- und Aussteigerzahlen. Abbildung 3.11 zeigt das von der Stereokamera erzeugte Bild sowie das daraus berechnete Höhenprofil. [Mgi10]

⁹Die digitalen Eingänge werden unter anderem dazu benutzt, um die Türzustände (offen/geschlossen) zu erfassen. [Dil11]

¹⁰Das Tachosignal dient als Wegimpulsgeber, um die Position festlegen zu können.

¹¹Die Ethernet-Schnittstelle ist oftmals nur als 10-Mbit/s-Schnittstelle ausgeführt.

3 Systeme für Fahrgastzählungen

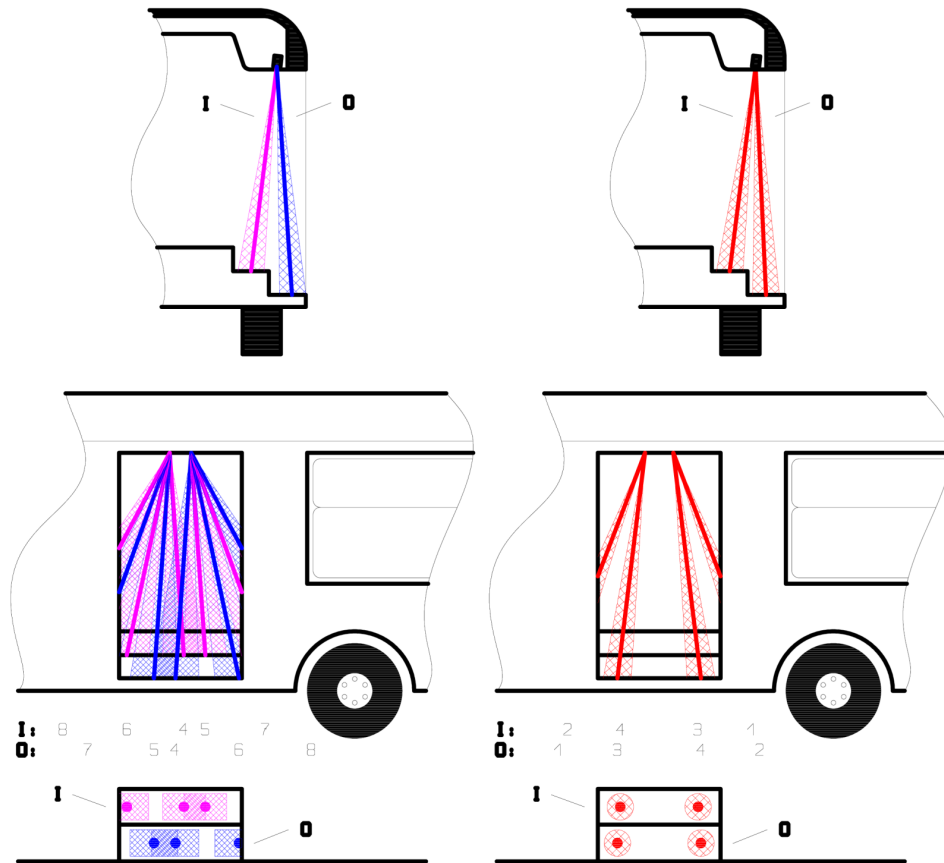


Abbildung 3.9: Erfassungsbereiche eines Infrarot-Sensors (links: passive Komponente, rechts: aktive Komponente) [Iri10b]¹²

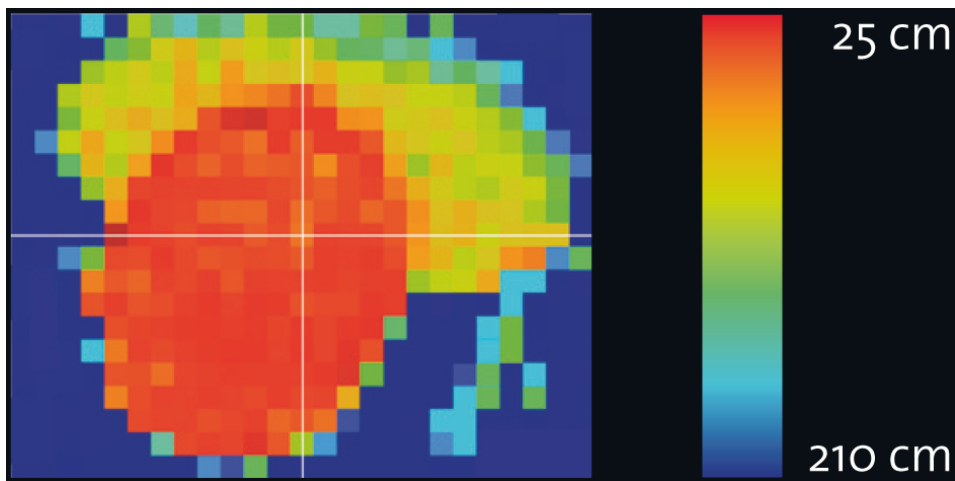


Abbildung 3.10: Charakteristisches Höhenprofil einer Person [Iri10a]

¹²I bezeichnet den inneren Vorhang, O den äußeren Vorhang.

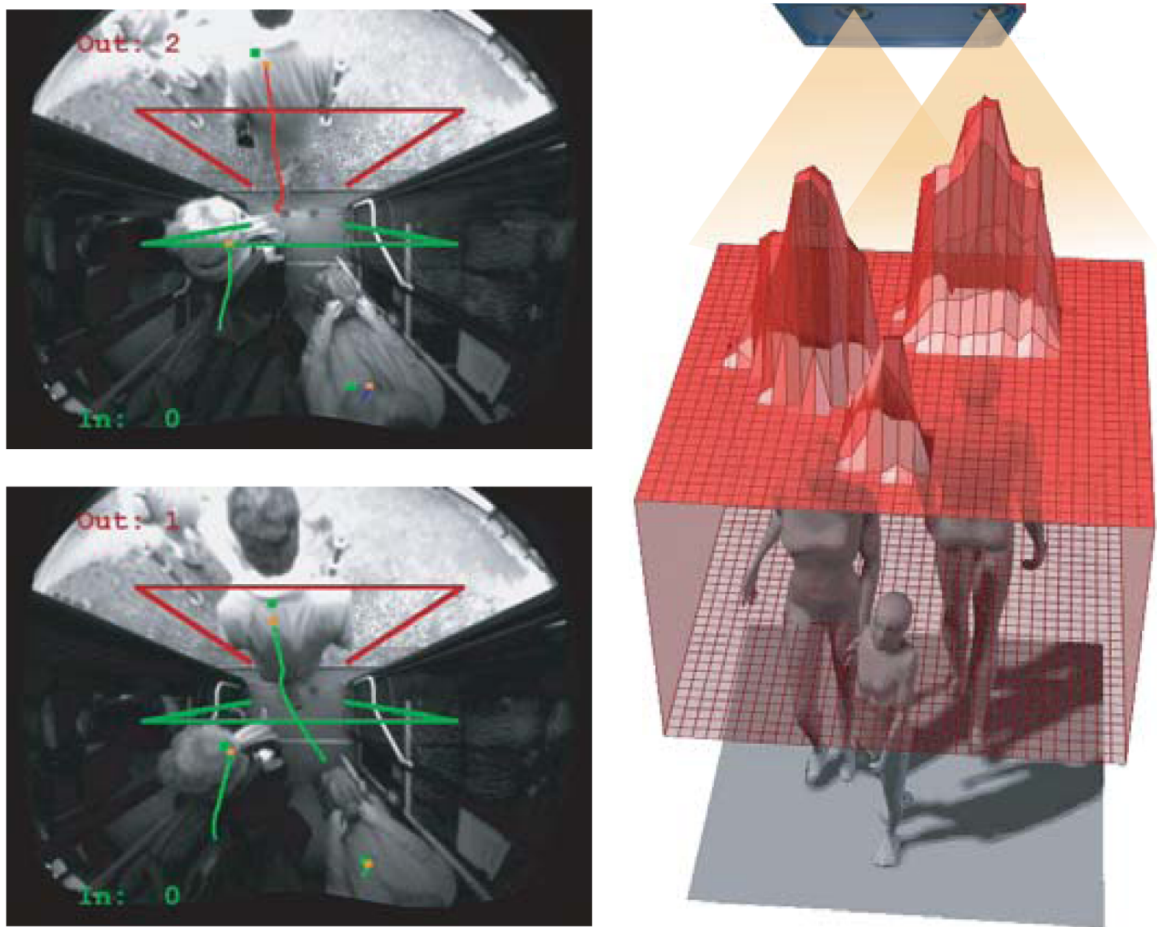


Abbildung 3.11: Bild eines Stereobild-Kamerasystems (links) und erzeugtes Höhenprofil (rechts) [Mgi10]

4 Systeme für Fahrgaststromanalysen

4.1 Auswertung aus E-Ticketing-Systemen

Eine Möglichkeit zur Durchführung einer Fahrgaststromanalyse stellt die Nutzung von Daten aus E-Ticketing-Systemen dar. Bei diesen Systemen wird anstelle eines Papierfahr Scheines eine Chipkarte – auch als Smartcard bezeichnet – für Erwerb und Speicherung des Fahrausweises verwendet.¹³

In vielen Fällen wird auch der Fahrpreis abhängig vom zurückgelegten Weg automatisch ermittelt. Um die Fahrpreisfindung zu ermöglichen, wird in der Regel der Erst- und der Letztausstieg einer Fahrt herangezogen. Dazu gibt es die folgenden Techniken: [Kep+05]

- Check-In
- Check-In/Check-Out
- Be-In/Be-Out

Im Falle des Check-In, das die einfachste Form eines E-Ticketing-Systems darstellt, muss der Fahrgast jeweils beim Einstieg in ein Fahrzeug seine Chipkarte an ein Lesegerät herantführen/einstecken. Dabei werden unter anderem die Kartenummer, die Linienummer, die Kursnummer, die Haltestelle, sowie Datum und Uhrzeit registriert. Aus diesen registrierten Daten lässt sich die Verkehrsnachfrage ermitteln. Dies erfolgt, indem der Ausstieg einer Personenfahrt aus dem registrierten Einstieg der zeitlich nachfolgenden Fahrt erzeugt wird. Aufgrund von fehlenden Informationen zum Ausstieg (kein zeitlich passender nachfolgender Einstieg) können allerdings nicht immer plausible Fahrten generiert werden.¹⁴ Abbildung 4.1 zeigt wie aus den einzelnen Einstiegen die Fahrten generiert werden. [Kep+05]

Das reine Check-In-Verfahren unterstellt einen idealtypischen Fall – es wird davon ausgegangen, dass eine Person alle Fahrten mit dem ÖV durchführt. Vermieden wird dieses Problem bei Check-In/Check-Out- bzw. Be-In/Be-Out-Systemen¹⁵. Hier wird zusätzlich zum Einstieg immer auch der Ausstieg registriert, womit sich eine klare Wegeketten ergibt, die sich auswerten lässt.¹⁶ [Kep+05]

Wichtig ist, dass bei der Nutzung der E-Ticketing-Daten für die Verkehrsnachfrageermittlung der Datenschutz gewährleistet bleiben muss. Es muss also dafür Sorge getragen werden, dass die vorhandenen personenbezogenen Daten im E-Ticketing-System nicht in Zusammenhang mit den Daten über die Verkehrsnachfrage gebracht werden können.

¹³Die Chipkarten gibt es sowohl in kontaktbehafteter als auch in kontaktloser (RFID) Form.

¹⁴Eine Auswertung der Daten der Stadt Tampere (Finnland) hat ergeben, dass für etwa 30 % der Fahrten keine korrespondierende Ausstiegshaltestelle gefunden werden konnte. [Kep+05]

¹⁵Der Unterschied zwischen Check-In/Check-Out und Be-In/Be-Out liegt darin, dass bei Be-In/Be-Out der Fahrgast selbst keine Handlungen mehr setzen muss. Das System erkennt den Kunden automatisch.

¹⁶Diese Methode hat auch bei der Fahrpreisfindung einige Vorteile.

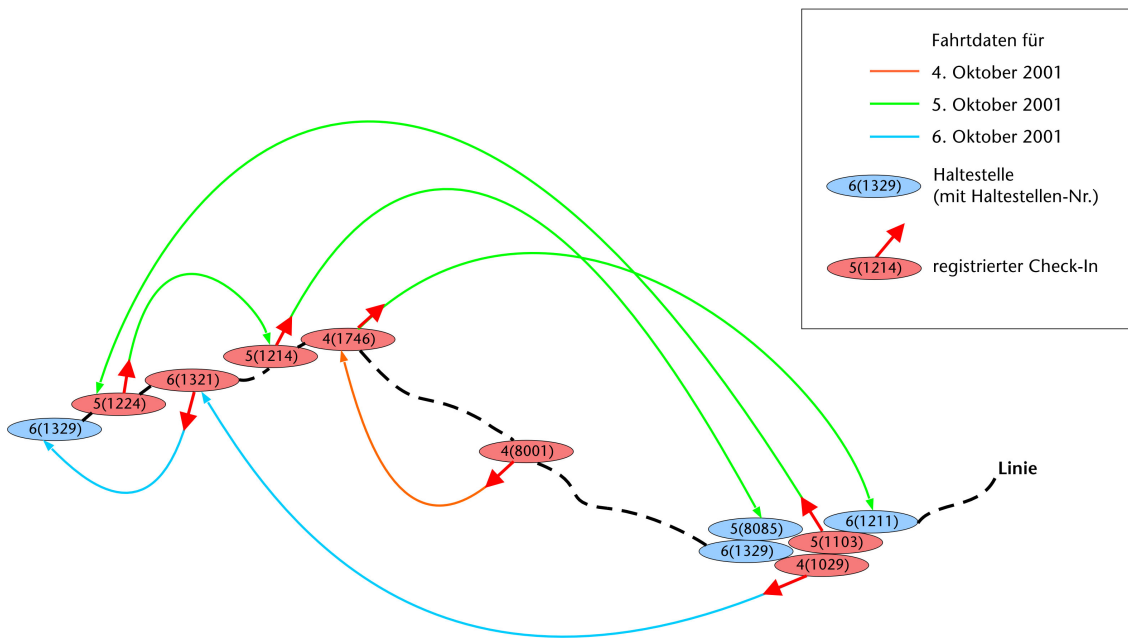


Abbildung 4.1: Generierung der Personalfahrten aus E-Ticketing-Daten [Kep+05]

4.2 Bluetooth Erfassung

4.2.1 Grundlagen

Die Erhebung der Verkehrsnachfrage mittels Bluetooth benötigt Fahrgäste, die ein Gerät mit eingeschalteter Bluetooth-Schnittstelle mit sich führen. Bei Bluetooth handelt es sich um eine Funktechnologie. Diese ist hauptsächlich dazu gedacht, räumlich nahestehende Geräte kabellos miteinander verbinden zu können. Ein Beispiel für eine Anwendung bei der Bluetooth verwendet wird, ist ein Headset für ein Mobiltelefon. Das Headset wird anstatt mit einem Kabel mit Hilfe von Bluetooth mit dem Mobiltelefon gekoppelt – der Datentransfer läuft somit über Funk. [Sau08]

Bluetooth verwendet einen 1 MHz breiten Kanal des 2.4 GHz Industrial Scientific and Medical (ISM) Bandes, wobei als Modulationsverfahren das Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) zur Anwendung kommt. Der Übertragungskanal wird, um eine bidirektionale Übertragung zu ermöglichen, in Zeitschlitze – sogenannte Slots – mit einer Länge von je $625 \mu\text{s}$ unterteilt. Ein Teilnehmer kann bis zu fünf Zeitschlitze hintereinander belegen, danach geht das Senderecht an einen anderen Teilnehmer über. Des Weiteren wird nicht auf einer festen Frequenz des ISM Bandes gesendet, sondern es wird die Technik des Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) angewandt. Dabei wechseln die Teilnehmer nach jedem Paket – ein Paket kann ein, drei oder fünf Slots lang sein – die Frequenz im Band. Insgesamt stehen Bluetooth im ISM-Band 79 Kanäle zur Verfügung. Die Reichweite von Bluetooth ist von der Leistungsklasse des Gerätes abhängig, wobei in einer Kommunikation das Endgerät mit der geringeren Leistungsklasse die maximal mögliche Reichweite bestimmt. Es gibt drei Klassen mit den folgenden Sendeleistungen und Reichweiten: [Sau08]

Klasse 3 Sendeleistung von maximal 1 Milliwatt, Reichweite maximal 10 Meter

Klasse 2 Sendeleistung von maximal 2,5 Milliwatt, Reichweite etwa maximal 20 Meter¹⁷

Klasse 1 Sendeleistung von maximal 100 Milliwatt, Reichweite maximal 100 Meter

Bei der Erfassung der Verkehrsnachfrage mit aktiviertem Bluetooth wird kontinuierlich nach Geräten (Mobiltelefonen) in der Nähe gesucht und in weiterer Folge wird daraus ein Verkehrsstrom generiert. Dieses System namens PARSON¹⁸, das von der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH entwickelt wurde, kommt seit dem Jahr 2007 in einem Großteil der Straßenbahnen und einem Gutteil der Busse der Holding Graz Linien zum Einsatz.

Betriebszweig	Gesamt	DILAX		PARSON		DILAX und PARSON	
Straßenbahn	74	14	19 %	65	88 %	10	14 %
Bus	148	16	11 %	46	31 %	11	7 %
Straßenbahn und Bus	222	30	14 %	111	50 %	21	9 %

Tabelle 4.1: Fahrzeuge der Holding Graz Linien die über PARSON/DILAX verfügen [Hof11]

Bustype	Fahrzeuge Gesamt	Fahrzeuge mit PARSON		benötigte Fahrzeuge im Linienauslauf	maximaler Anteil PARSON-Fahrzeuge am Auslauf
12 m-Bus	86	27	31 %	61	44 %
15 m-Bus	34	10	29 %	12	83 %
Gelenk-Bus	28	10	36 %	22	46 %

Tabelle 4.2: Busse der Holding Graz Linien die über PARSON verfügen¹⁹

Tabelle 4.1 zeigt den Ausstattungsgrad an Fahrzeugen, die einerseits über ein Fahrgastzähl-system (DILAX)²⁰ und/oder andererseits über das System PARSON verfügen. Anzumerken ist, dass die Ausstattung mit PARSON willkürlich erfolgte. Es fand also keine Abstimmung mit dem bereits vorhanden AFZS statt. Somit kann es Fahrzeuge geben, die zwar über DILAX verfügen nicht aber über PARSON und auch umgekehrt. Insbesondere ersterer Fall – DILAX vorhanden, PARSON aber nicht – ist aufgrund der im Vergleich zu PARSON doch geringen Anzahl an mit DILAX ausgestatteten Fahrzeugen nicht optimal. Der Grund dafür liegt im Umstand, dass so die Anzahl der Fahrzeuge, die einen direkten Vergleich zwischen PARSON und DILAX²¹ ermöglichen, vermindert wird. Auffallend ist auch, dass der Ausstattungsgrad bei den Bussen mit 31 % deutlich geringer ist als bei der Straßenbahn (88 %). Wird der Busfuhrpark noch weiter in 12 Meter-, 15 Meter- und Gelenk-Busse unterteilt, ergibt sich bezüglich des Anteils an PARSON-Fahrzeugen je Bustyp ein ausgeglichenes Bild (siehe Tabelle 4.2). Beim Einsatz aller verfügbaren PARSON-Fahrzeuge im Linienauslauf (Worst Case) weisen die 15 Meter-Busse jedoch eine deutlich höhere Erhebungsquote auf. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings der Umstand, dass einige Linien nicht zwangsläufig nur mit einer einzigen Bustype betrieben werden. Insbesondere bei Linien auf denen Gelenk-Busse zum Einsatz kommen, ist es möglich, dass auch 15 Meter-Busse zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund

¹⁷Abschätzung aus Klasse 1 und 3, in [Sau08] finden sich dazu keine Angaben.

¹⁸PARSON steht für „Passenger Registration System Based On Bluetooth and Satellite Navigation“.

¹⁹Die Gesamtzahl der Fahrzeuge je Bustype im Untersuchungszeitraum wurde bei den Holding Graz Linien erhoben. Die Anzahl der vorhandenen PARSON-Fahrzeuge wurde aus den zur Verfügung stehenden PARSON-Daten ermittelt. Die Anzahl der im Linienauslauf benötigten Fahrzeuge wurde überschlagsmäßig aus dem Fahrplan berechnet, die Zahlen stellen daher nur Richtwerte dar.

²⁰Es handelt sich dabei, um ein auf infrarot basierendes Zählsystem der Firma DILAX. Dieses war schon vor der Inbetriebnahme von PARSON im Einsatz.

²¹DILAX kann zur Ermittlung der Grundgesamtheit herangezogen werden.

kann die Anzahl der Fahrzeuge im Linienauslauf je Bustype schwanken und folglich auch der Anteil an PARSON-Fahrzeugen bezogen auf den Linienauslauf. [Hof11]

4.2.2 Funktionsweise und Datenverarbeitung

Jedes Bluetooth-Gerät besitzt eine individuelle Adresse – die Media Access Control (MAC)-Adresse. Wird das Vorhandensein eines Gerätes zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgezeichnet und mit den Wegedaten (Haltestellen) des Fahrzeuges in Verknüpfung gebracht, lässt sich der Ein- und Austrittsort ermitteln. Vorteilhaft ist, dass die Fahrgäste in keinsten Weise registriert sein müssen. Sie müssen nur Bluetooth auf ihrem Gerät ständig aktiviert haben. Werden diese Daten zusätzlich noch mit Linieninformationen – unter anderem Liniennummer, Kursnummer und Richtung – ergänzt, ist eine detaillierte Auswertung möglich, welche Strecken bzw. Linien benutzt werden. [Hof11; WH08]

Die PARSON-Sensoren werden vorne oder mittig in die Dachvouten der Straßenbahnen oder Busse eingebaut. Diese Sensoren erfassen kontinuierlich – alle 20 Sekunden – die in der Nähe befindlichen Geräte und speichern die MAC-Adressen der Geräte in verschlüsselter Form ab. Weiters werden der Zeitpunkt, zu dem eine MAC-Adresse vorgefunden wird, die aktuelle Haltestelle und weitere Daten aus dem ITCS (Intermodal Transport Control System) gespeichert. Die Erfassung der Bluetooth-Geräte erfolgt, indem der Sensor im sogenannten Inquiry Zustand von Bluetooth arbeitet, in welchem es in jedem Slot auf zwei unterschiedlichen Frequenzen ein ID Paket aussendet. „Alle Endgeräte, die eine Verbindungsaufnahme von unbekanntenen Geräten zulassen, müssen von Zeit zu Zeit in den Inquiry Scan Zustand wechseln und dort auf abwechselnden Frequenzen nach ID Paketen Ausschau halten.“ [Sau08] PARSON kann also nur Geräte erfassen, bei denen Bluetooth ständig aktiviert ist (Einstellung „Sichtbar“). Angemerkt werden muss, dass bei vielen Geräten die Sichtbarkeit von Bluetooth mittlerweile auf eine bestimmte Zeit beschränkt ist – dies hat einerseits Sicherheitsgründe, andererseits wird dies aber auch zum Energiesparen gemacht. Die Konsequenz für PARSON ist, dass diese Geräte praktisch nicht mehr sichtbar sind. [Sau08; Hof11; WH08]

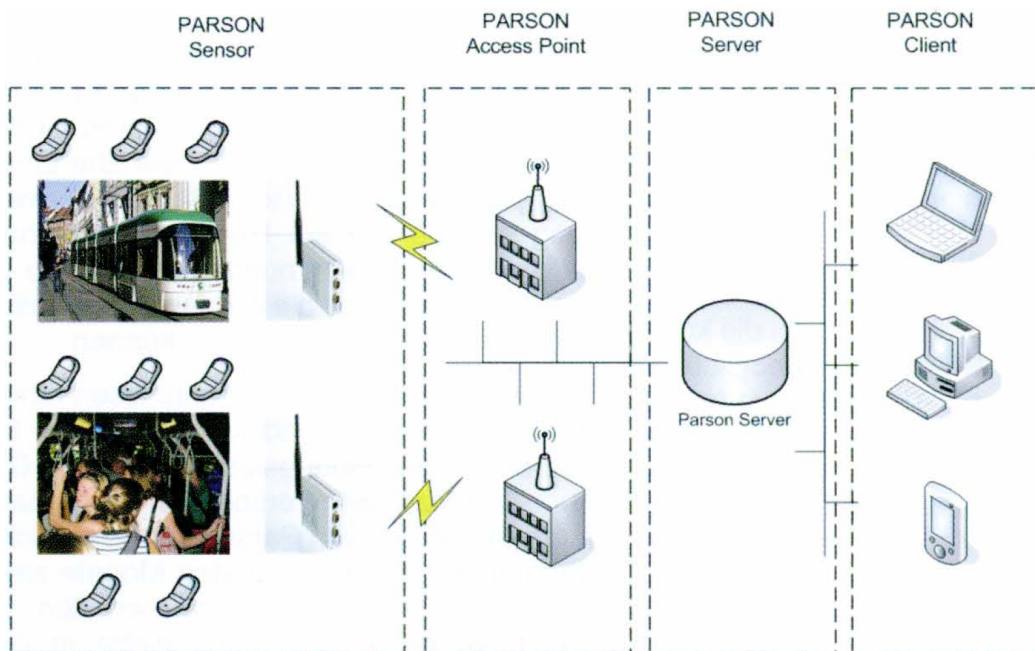


Abbildung 4.2: Funktionsprinzip von PARSON [FSE08]

In Abbildung 4.2 ist der Systemaufbau von PARSON dargestellt. Die in den Fahrzeugen erfassten Daten werden bei Betriebsende, wenn die Fahrzeuge wieder in die Betriebsgaragen zurück gekehrt sind, über Access Points an einen zentralen Server übermittelt. Der Server extrahiert aus den übermittelten Rohdaten die Fahrten der einzelnen Bluetooth Geräte und speichert sie in einer Datenbank. Essentiell ist bei diesem Schritt die Erkennung welche Bluetooth Geräte gültig und welche ungültig – also nicht im Fahrzeug befindlich – sind. Ein Gerät darf nur dann als gültig angesehen werden, wenn es zwischen zwei bedienten Haltestellen, an denen Fahrgastwechsel stattfand, immer vorzufinden war (siehe Abbildungen 4.3 und 4.4). Es muss allerdings eine bestimmte Anzahl von kurzzeitigen Aussetzern zulässig sein, da es unter anderem aufgrund von Überlastungen des Funknetzes zu Empfangsproblemen kommen kann. [Hof11]

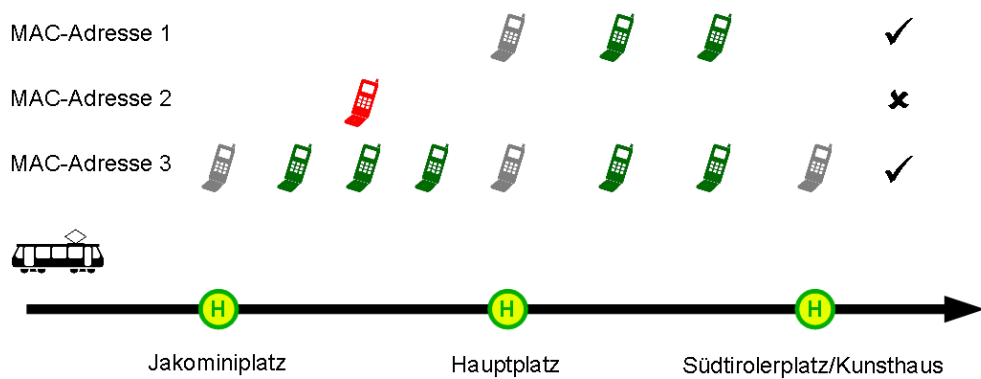


Abbildung 4.3: Gültige und ungültige Bluetooth Geräte bei Bedienung aller Haltestellen [Hof11]

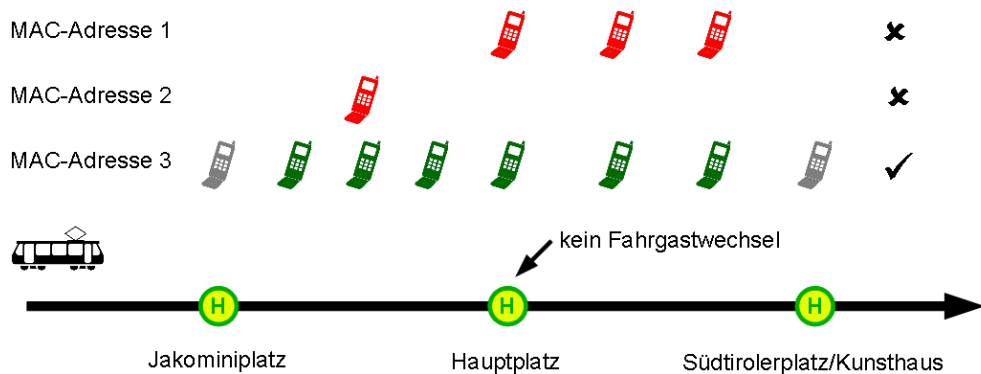


Abbildung 4.4: Gültige und ungültige Bluetooth Geräte bei Durchfahren einer Haltestelle [Hof11]

Die im zuvor genannten Schritt extrahierten Fahrten finden sich schlussendlich in einer Datenbank wieder. Diese enthält unter anderem die folgenden Informationen über jede Fahrt: [Hof11]

- MAC-Adresse

4 Systeme für Fahrgaststromanalysen

- Haltestellennummer und -name des Einstieges
- Datum und Uhrzeit des Einstieges
- Haltestellennummer und -name des Ausstieges
- Datum und Uhrzeit des Ausstieges
- Liniennummer
- Kursnummer
- Fahrtrichtung
- Fahrzeugnummer

Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt über Clientanwendungen, welche eine Weiterverarbeitung der Fahrtdaten ermöglichen. Beispielsweise ist hier der Export in verschiedene CSV-Formate oder die Generierung einer Verkehrsnachfragematrix auf Bezirksebene²² möglich. [Hof11]

4.2.3 Datenschutz

Da das System PARSON die MAC-Adressen aller in Empfangsreichweite befindlichen Bluetooth-Geräte erfasst, ist auf den Datenschutz besonderen Wert zu legen. Dies geschieht einerseits indem die Daten am Sensor in verschlüsselter Form abgelegt werden, andererseits dadurch dass die Daten erst zeitversetzt an die Server übertragen werden – am Ende eines Einsatzes in den Betriebsgaragen. Die Zuordnung einer MAC-Adresse zu einer bestimmten Person im Fahrzeug ist somit nicht möglich. Des Weiterem liest der Sensor nur die MAC-Adresse aus, welche keinen Rückschluss auf den Besitzer oder die Telefonnummer zulässt. Diese Daten (Besitzer und/oder Telefonnummer) sind für eine statistische Auswertung ohnehin nicht von Interesse, weshalb auch weitere Daten wie der Gerätename gleich gar nicht ausgelesen werden. Auf diese Art und Weise bleibt die Anonymität der Fahrgäste gewahrt. [WH08; Hof11]

²²Dazu enthält die Datenbank auch eine Bezirksliste der Grazer Bezirke und einiger Umlandgemeinden (u.a. Graz-Südost).

5 Analysetool

5.1 Funktionalität

Zur weiteren Aufbereitung und ersten Analyse der von PARSON generierten Daten ist ein Analysetool notwendig. Dieses wird in C++ entwickelt und soll unter anderem die folgenden Funktionen bieten:

1. Einlesen der Daten
2. Plausibilitätsüberprüfung und Filterung der eingelesenen Daten
3. Überprüfung der Haltestellennummern
4. Anreicherung der Daten mit zusätzlichen Kalenderinformationen
5. Sortierung der Daten nach bestimmten Kriterien
6. Generierung von deskriptiven Statistiken
7. Exportieren der Daten (bei Bedarf nach bestimmten Kriterien gefiltert)
8. Vorbereitung der Daten für den Import in ein Verkehrsmodell
9. Automatisierung der Schritte 1 bis 4 und 8

Die Steuerung des Tools erfolgt über eine Kommandozeile, mit welcher über vorgegebene Kurzbefehle die einzelnen Aktionen ausgewählt werden. Für den Eigengebrauch – zur Analyse und Bearbeitung der Daten – ist die Steuerung per Tastatur vollkommen ausreichend, daher wird auf eine grafische Oberfläche verzichtet. Zudem ist es jederzeit möglich eine solche bei Bedarf zu ergänzen und zur Verfügung zu stellen.

5.2 Systemarchitektur

Bei der Konzeption der Systemarchitektur ist zunächst festzulegen, wie die vorhandenen PARSON-Datensätze in das Analysetool übernommen werden können. Die Datensätze stehen in einem CSV-Format zu Verfügung, das die folgenden Eigenschaften aufweist:

- Jede Zeile enthält 1 bis n Fahrten eines Fahrgastes (gleiche Bluetooth-Adresse, wobei $n \geq 2$ ist, wenn ein Fahrgast 1 bis $n-1$ mal umgestiegen ist).
- Die Spalten einer Zeile enthalten jeweils:
 - erste Spalte: Bluetooth-Adresse
 - nächsten 10 Spalten: Daten zur ersten Fahrt
 - nächsten 10 Spalten: Daten zur zweiten Fahrt (sofern vorhanden)
 - nächsten 10 Spalten: Daten zur dritten Fahrt (sofern vorhanden)

– usw.

- Die 10 Spalten für jede Fahrt enthalten immer in der selben Reihenfolge folgende Daten:
 1. Liniennummer
 2. Richtung
 3. Kursnummer
 4. Fahrzeugnummer
 5. Datum Einstieg
 6. Zeit Einstieg
 7. Haltestellennummer Einstieg
 8. Datum Ausstieg
 9. Uhrzeit Ausstieg
 10. Haltestellennummer Ausstieg

Dieses Format ist zur internen Abspeicherung der Daten nicht sehr vorteilhaft, weil es unter anderem mehrere verschachtelte Datenstrukturen erforderlich macht und auch die Umsetzung einer Sortierung erschwert. Daher werden die Daten beim Einlesen so umgewandelt, dass für jede Teilfahrt jeweils ein Datensatz besteht; das heißt, aus einer Fahrt mit zwei Umstiegen (bisher ein Datensatz) werden drei Teilfahrten (drei Datensätze). Dies bietet zudem den wesentlichen Vorteil, dass sich alle (Teil-)Fahrten in eine gemeinsame Liste aufnehmen lassen, womit eine leichte Handhabung der Daten möglich wird. Die Datensätze können so bei Bedarf zum Einen an jeder Stelle der Liste eingefügt oder entfernt werden und zum Anderen entsprechend sortiert werden.

Des Weiteren wird beim Einlesen der Daten die Ausstiegsuhrzeit in das bei Verkehrsbetrieben übliche Uhrzeitformat 24+ umgesetzt, wenn der Einstieg noch vor 24 Uhr liegt. Dies hat zum Einen den Vorteil, dass das Ausstiegsdatum nicht extra gespeichert werden muss, da es gleich mit dem Einstiegsdatum ist. Zum Anderen wird später das Rechnen mit Uhrzeiten wesentlich erleichtert – die Ausstiegszeit ist immer später oder gleich der Einstiegszeit. Gleiches wird generell mit Zeiten zwischen 0 Uhr und Betriebsende²³ gemacht, wobei hier vom Datum ein Tag abgezogen werden muss. Zu guter Letzt werden bei jedem Datensatz weitere nützliche Kalenderinformationen ergänzt:

Wochentag Die Berechnung des Wochentages erfolgt mit Hilfe der Funktionen `mktime()` und `localtime()` aus der C Time Library. Mit `mktime()` wird zunächst das Datum – in der Struktur `tm` vorliegend²⁴ – in den korrespondierenden Zeitstempel (Anzahl der Sekunden seit 1.1.1970 0 Uhr UTC) umgewandelt. Als Uhrzeit wird dabei 12 Uhr verwendet, um Probleme bei der Sommer-/Winterzeitumstellung von vornherein zu vermeiden. Dieser Zeitstempel dient anschließend als Eingangsparameter für `localtime()`, um aus dem Zeitstempel eine vollständige Struktur `tm` – enthält auch den Wochentag – zu generieren.

Wochennummer Die Wochennummern sind im ISO Standard 8601 definiert. Dieser besagt, dass die erste Woche eines Jahres die Woche ist, die den ersten Donnerstag im Jahr

²³Das Betriebsende wurde auf 4 Uhr gesetzt. Der Nachtbusbetrieb in Graz endet gegen 3 Uhr der Tagesbetrieb fängt gegen 4.30 Uhr an, somit ist 4 Uhr als Grenze sinnvoll.

²⁴Die Struktur `tm` ist nicht vollständig gefüllt. Es sind nur das Datum und die Uhrzeit gesetzt.

enthält. Weiters ist festgelegt, dass die letzte Woche eines Jahres der ersten Woche des folgenden Jahres vorhergehen muss. Berechnen lässt sich die Wochennummer mit Hilfe des folgenden Algorithmus: [ISO04; Tøn12]

1. Für ein Datum, das im Jänner oder Februar liegt, berechne:

$$\begin{aligned} a &= \text{Jahr} - 1 \\ b &= \lfloor \frac{a}{4} \rfloor - \lfloor \frac{a}{100} \rfloor + \lfloor \frac{a}{400} \rfloor \\ c &= \lfloor \frac{a-1}{4} \rfloor - \lfloor \frac{a-1}{100} \rfloor + \lfloor \frac{a-1}{400} \rfloor \\ s &= b - c \\ e &= 0 \\ f &= \text{Tag} - 1 + 31 \cdot (\text{Monat} - 1) \end{aligned}$$

2. Für ein Datum, das zwischen März und Dezember liegt, berechne:

$$\begin{aligned} a &= \text{Jahr} \\ b &= \lfloor \frac{a}{4} \rfloor - \lfloor \frac{a}{100} \rfloor + \lfloor \frac{a}{400} \rfloor \\ c &= \lfloor \frac{a-1}{4} \rfloor - \lfloor \frac{a-1}{100} \rfloor + \lfloor \frac{a-1}{400} \rfloor \\ s &= b - c \\ e &= s + 1 \\ f &= \text{Tag} + \lfloor \frac{153 \cdot (\text{Monat} - 3) + 2}{5} \rfloor + 58 + s \end{aligned}$$

3. Berechne:²⁵

$$\begin{aligned} g &= (a + b) \bmod 7 \\ d &= (f + g - e) \bmod 7 \\ n &= f + 3 - d \end{aligned}$$

4. Es ergeben sich drei Situationen:

- $n < 0$: Der Tag liegt in der Woche $53 - \lfloor \frac{g-s}{5} \rfloor$ des vergangenen Jahres.
- $n > 364 + s$: Der Tag liegt in der Woche 1 des nächsten Jahres.
- Sonst: Der Tag liegt in der Woche $\lfloor \frac{n}{7} \rfloor + 1$ des aktuellen Jahres.

Feiertag Die Berechnung, ob es sich bei einem Datum um einen Feiertag handelt, lässt sich in zwei Kategorien unterteilen:

- Feiertage die in jedem Jahr am selben Datum sind. Beispiele dafür sind Neujahr oder der Nationalfeiertag.
- Feiertage die in jedem Jahr an unterschiedlichen Tagen sind (beispielsweise Ostern).

Bei Ersteren kann ohne auf das Jahr zu achten, festgestellt werden, ob es sich um einen Feiertag handelt. Somit lässt sich dies allgemeingültig (jahresunabhängig) implementieren. Bei letzteren ist eine allgemeingültige Implementierung wesentlich aufwändiger, da für jeden Feiertag die entsprechende Berechnungsvorschrift heranzuziehen ist. Da das Analysetool vorerst nur Daten aus einem eingrenzbaeren Zeitraum verarbeiten soll, wird auf die Implementierung dieser Vorschriften für den Moment verzichtet und nur eine Datumsprüfung der entsprechenden Feiertage für die Jahre 2008 bis 2012 implementiert.

Periode der Schulferien Nachdem die Ferienzeiten der Schulen vom Unterrichtsministerium festgelegt werden und somit auch nicht zwingend einem Muster folgen, können für die Berechnung der entsprechenden Ferienperiode eines Datums nur zurück liegende oder bereits feststehende zukünftige Ferien herangezogen werden. Das bedeutet, dass für jedes Schuljahr die entsprechenden Daten zu hinterlegen sind. Da dies zu aufwändig und auch nicht notwendig ist, werden nur die Daten für die Jahre 2008 bis 2012 eingepflegt.

²⁵d entspricht dem Wochentag: 0 ... Montag, 1 ... Dienstag, ..., 6 ... Sonntag

Periode der Universitätsferien Hier gilt ähnliches wie für die Perioden der Schulferien. Unterschiedlich ist, dass die Ferien von den Unis selbst festgelegt werden und somit jede Uni in Österreich auch andere Ferienzeiten und -längen haben kann. Im Analysetool werden daher nur die Daten der Technischen Universität Graz der Jahre 2009 bis 2011 hinterlegt.

Die Architektur des Analysetools sieht so aus, dass es eine zentrale Klasse (Analyzer) gibt. Diese hält neben der Liste mit den Fahrten²⁶, welche in eine separate Klasse (Rides) gekapselt wird, eine Liste mit den Haltestellen (gekapselt in der Klasse Stops²⁷). Des Weiteren enthält diese Klasse sämtliche Methoden, die zur Bearbeitung und Analyse der Daten, sowie zur Steuerung des Tools notwendig sind. Wo notwendig und sinnvoll werden die Methoden in weitere Klassen gekapselt:

ImportRides Stellt Methoden zum Import der Fahrten aus CSV-Dateien zur Verfügung.

ExportRides Stellt Methoden zum Export der Fahrten in CSV-Dateien zur Verfügung.

Filter Basisklasse der Klasse ExportRides, stellt Methoden zur Filterung nach bestimmten Kriterien der zu exportierenden Daten zur Verfügung.

ImportStops Stellt Methoden zum Import der Haltestellenliste (CSV-Datei) zur Verfügung.

ExportStops Stellt Methoden zum Export der Haltestellenliste (CSV-Datei) zur Verfügung.

Statistics Kapselt alle Methoden zur Erstellung deskriptiver Statistiken.

5.3 Funktionen

5.3.1 Sortierung

Eine Voraussetzung für die weitere Bearbeitung der Daten ist die Entwicklung von mehreren Sortieralgorithmen. Diese müssen die Möglichkeit bieten, die Daten nach einem oder mehreren gewünschten Kriterien zu sortieren. Benötigt werden diese Algorithmen in weiterer Folge unter anderem bei der Plausibilitätsüberprüfung und bei der Generierung der deskriptiven Statistiken. Diese Algorithmen werden in der Klasse Rides, die die Liste mit den Fahrten enthält, implementiert. Es werden die folgenden Algorithmen zur Verfügung gestellt:

SortByDate Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigendem Datum. Die Uhrzeit bleibt dabei unberücksichtigt, die Daten eines Tages sind also nicht nach der Zeit sortiert. Da das Datum als unsigned Integer in der Form YYYYMMDD zur Verfügung steht, kann hier ein einfacher Zahlenvergleich erfolgen.

SortByTime Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Uhrzeit. Das Datum bleibt dabei unberücksichtigt. Der Vergleich erfolgt indem zuerst die Stunde verglichen wird, bei Gleichheit der Stunde als nächstes die Minute verglichen wird und zu guter Letzt bei Gleichheit der Minute als nächstes die Sekunde verglichen wird.²⁸

²⁶Die Liste hält genau genommen jeweils einen Zeiger auf den entsprechenden Datensatz.

²⁷Beinhaltet unter anderem eine Zuordnung zwischen Haltestellennummer und Haltestellenname

²⁸Wird für weitere Sortieralgorithmen als Subsortierung benötigt.

SortByBTID Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Bluetooth-Adresse (BTID²⁹). Hier wird ein einfacher Stringvergleich³⁰ der Bluetooth-Adresse, die in der Form XX:XX:XX:XX:XX:XX³¹ vorliegt, angewendet. Es wird also der ASCII-Codewert des jeweiligen Zeichens verglichen.

SortByLineNumber Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Liniennummer. Auch hier wird ein einfacher Stringvergleich angewendet. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die Liniennummer immer in zweistelliger Form vorliegt – das heißt, aus der Linie „1“ wird die Linie „01“. Diese Umwandlung erfolgt bereits beim Einlesen der Daten³², dem Tool stehen die Daten somit immer in zweistelliger Form zur Verfügung.

SortByWeekday Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigendem Wochentag. Da dieser als Integer (1 entspricht Montag, 2 entspricht Dienstag, ..., 7 entspricht Sonntag) zur Verfügung steht, kann hier ein einfacher Zahlenvergleich erfolgen.

SortByDateThenTime Ermöglicht eine Sortierung zuerst nach aufsteigendem Datum und dann nach aufsteigender Uhrzeit. Dies wird so umgesetzt, dass nach der Sortierung nach dem Datum, die dabei entstehenden Teilpartitionen (jeweils ein Tag) nochmals jeweils getrennt nach der Zeit sortiert werden. Ermöglicht wird die Sortierung der Teilpartitionen durch das Aufteilen der Gesamtliste der Fahrten in mehrere Teillisten. Diese werden anschließend entsprechend sortiert und nach der Sortierung wieder zu einer Gesamtliste zusammengefügt.³³

SortByDateThenBTIDThenTime Ermöglicht eine Sortierung zuerst nach aufsteigendem Datum, dann nach aufsteigender Bluetooth-Adresse und zuletzt nach aufsteigender Zeit. Dies wird so umgesetzt, dass nach der Sortierung nach dem Datum, die dabei entstehenden Teilpartitionen (jeweils ein Tag) nochmals jeweils getrennt nach der Bluetooth-Adresse sortiert werden. Die dabei erneut entstehenden Teilpartitionen werden zu guter Letzt nochmals jeweils getrennt nach der Zeit sortiert.

SortByBTIDThenDateThenTime Gleich wie `SortByDateThenBTIDThenTime` nur das hier zuerst nach der Bluetooth-Adresse, danach nach dem Datum und zu guter Letzt nach der Zeit sortiert wird.

SortByDateThenLineNumber Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigendem Datum und der dabei entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Liniennummer.

SortByLineNumberThenDateThenTime Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Liniennummer, der dabei entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigendem Datum und der erneut entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Uhrzeit.

SortByLineNumberThenDateThenBTIDThenTime Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Liniennummer, der dabei entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigendem Datum, der daraus entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Bluetooth-Adresse und der erneut entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Uhrzeit.

²⁹BTID ... Bluetooth Identification

³⁰Compare-Methode der Klasse `std::string`

³¹Hexadezimale Darstellung der MAC-Adresse

³²Beim Exportieren wird diese Umwandlung wieder rückgängig gemacht.

³³Diese Technik wird auch bei allen weiteren verschachtelten Sortieralgorithmen angewandt, wobei es auch zu mehrfachen Aufteilungen kommen kann.

SortByLineNumberThenDateThenTimeThenBTID Ermöglicht die Sortierung nach aufsteigender Liniennummer, der dabei entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigendem Datum, der daraus entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Uhrzeit und der erneut entstehenden Teilpartitionen nach aufsteigender Bluetooth-Adresse.

5.3.2 Plausibilitätsüberprüfung

Beim Einlesen der Daten wird eine Plausibilitätsüberprüfung und gegebenenfalls eine Entfernung – und in bestimmten Fällen eine Korrektur – durchgeführt. Neben einfachen Kriterien, wie einer Haltestellennummer die gleich 0 ist, werden hier auch komplexere Kriterien, wie zum Beispiel aufgetrennte Fahrten, die eigentlich eine einzelne Fahrt darstellen, geprüft. Um ein Verhältnis von in dieser Phase gefilterten bzw. korrigierten Datensätzen zur Gesamtzahl an Datensätzen zu erhalten, wird eine Kategorisierung und entsprechende Zählung eingeführt.

Eine Kategorie stellen dabei die grundsätzlichen Fehler dar. Dabei werden die folgenden Kriterien getestet und wenn diese nicht erfüllt sind, der Datensatz gefiltert:

- Fahrzeugnummer kleiner gleich 0
- Haltestellennummer Ein- oder Ausstieg kleiner gleich 0
- Haltestellennummer Einstieg gleich Haltestellennummer Ausstieg
- Haltestellennummer Ein- oder Ausstieg nicht bekannt³⁴
- Keine Namenszuordnung für eine Haltestellennummer von Ein- oder Ausstieg³⁵
- Bluetooth-Adresse entspricht 00:00:00:00:00:00: Dies stellt keine gültige MAC-Adresse dar.
- Bluetooth-Adresse entspricht FF:FF:FF:FF:FF:FF: Ein Gerät kann und darf als Absendeadresse nicht FF:FF:FF:FF:FF:FF angeben. Dabei handelt es sich um die Broadcast-Adresse, die verwendet wird um ein Netzwerkpaket an alle Geräte zu senden. Daher ist diese Adresse als Absendeadresse als ungültig anzusehen.
- Liniennummer enthält das Wort „GRAZER“: Solche Fahrten sind Dienstfahrten und daher nicht gültig.
- Datum des Ausstiegs ist ungleich Datum des Einstiegs³⁶
- Einstiegszeit liegt zeitlich nach der Ausstiegszeit³⁷
- Datensätze mit identischen Werten³⁸

Die weiteren Filterungen bzw. Anpassungen stellen jeweils eine eigene Kategorie dar.

³⁴In solchen Fällen wird, sofern möglich, die Haltestellenliste manuell ergänzt und die Daten werden erneut eingelesen.

³⁵In solchen Fällen wird, sofern möglich, die Haltestellenliste manuell ergänzt und die Daten werden erneut eingelesen.

³⁶Eine Ausnahme stellt hier der Fall dar, dass das Ausstiegsdatum einen Tag nach dem Einstiegsdatum liegt. In solchen Fällen wurde die Tagesgrenze überschritten, solche Datensätze dürfen nicht gefiltert werden.

³⁷Dies kann erst geprüft werden, wenn das Datum geprüft wurde und die Zeit bei Bedarf in das Uhrzeitformat 24+ gebracht wurde.

³⁸Diese Prüfung wird eingeführt, da solche Datensätze bei der Durchsicht aufgefallen sind. Nachdem kein Gerät am selben Ort zur selben Zeit mehrmals sein kann, werden vorhandene Duplikate entfernt.

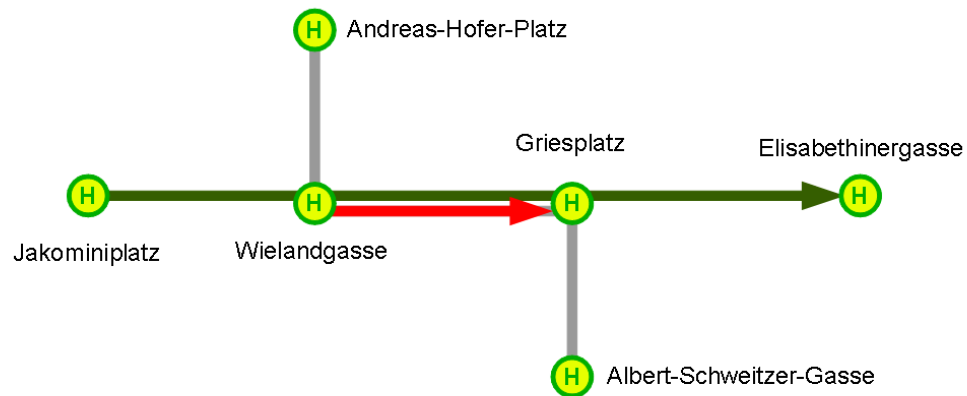


Abbildung 5.1: Mögliche Parallelfahrt von Fahrzeugen auf zwei Linien

Parallelfahrten in anderen Linien Wie in Abbildung 5.1 zu erkennen, kann es Situationen geben in denen eine Bluetooth-Adresse in zwei Linien vorzufinden ist. Dies ist dann der Fall, wenn zwei Linien einen gemeinsamen Linienweg haben und zwei Fahrzeuge in geringem Abstand zu einander auf diesem Weg verkehren. In solchen Fällen kann dann ein Bluetooth-Gerät sowohl vom PARSON-Sensor des einen Fahrzeuges als auch vom PARSON-Sensor des anderen Fahrzeuges erfasst werden, wobei die jeweils kürzere Fahrt zu filtern ist. Um dies zu erkennen, muss die Fahrtenliste zuerst nach dem Datum und dann nach der Zeit sortiert werden. Anschließend wird in zwei verschachtelten Schleifen über die Fahrten iteriert, um so alle Fahrten miteinander vergleichen zu können. Eine Parallelfahrt muss dann ausgefiltert werden, wenn alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind (vergleiche Abbildung 5.2):

- Die Bluetooth-Adresse der beiden Geräte muss gleich sein.
- Die Fahrten müssen am gleichen Tag statt gefunden haben.
- Der Einstieg der zweiten (parallelen) Fahrt erfolgte gleichzeitig oder nach dem Einstieg der ersten Fahrt.³⁹
- Der Einstieg der zweiten (parallelen) Fahrt erfolgte vor dem Ausstieg der ersten Fahrt.
- Der Ausstieg der zweiten (parallelen) Fahrt erfolgte gleichzeitig oder vor dem Ausstieg der ersten Fahrt.⁴⁰

Weiterfahrten an Endhaltestellen im selben Fahrzeug Da Bluetooth auch von Fahrern benutzt werden kann, zum Beispiel um eine Freisprecheinrichtung für ein Mobiltelefon zu verwenden, kann es dazu kommen, dass Fahrten im selbem Fahrzeug über eine oder mehrere Endstationen hinaus aufgezeichnet werden. Da die längere Mitfahrt eines Fahrgastes in einem Fahrzeug nicht sehr wahrscheinlich und für die Auswertung der Verkehrsnachfrage auch problematisch ist, werden solche Fahrten gefiltert. Allerdings nur dann, wenn die Wiedereinstiegszeit (in das selbe Fahrzeug) nicht mehr als 15 Minuten

³⁹Der Einstieg in die zweite Fahrt könnte auch noch kurz vor dem Einstieg in die erste Fahrt stattfinden. Da dies aber nicht ganz einfach zu handhaben ist, wird auf die Berücksichtigung dieses Falles verzichtet.

⁴⁰Der Ausstieg aus der zweiten Fahrt könnte auch noch kurz nach dem Ausstieg aus der ersten Fahrt stattfinden. Da dies aber nicht ganz einfach zu handhaben ist, wird auf die Berücksichtigung dieses Falles verzichtet.

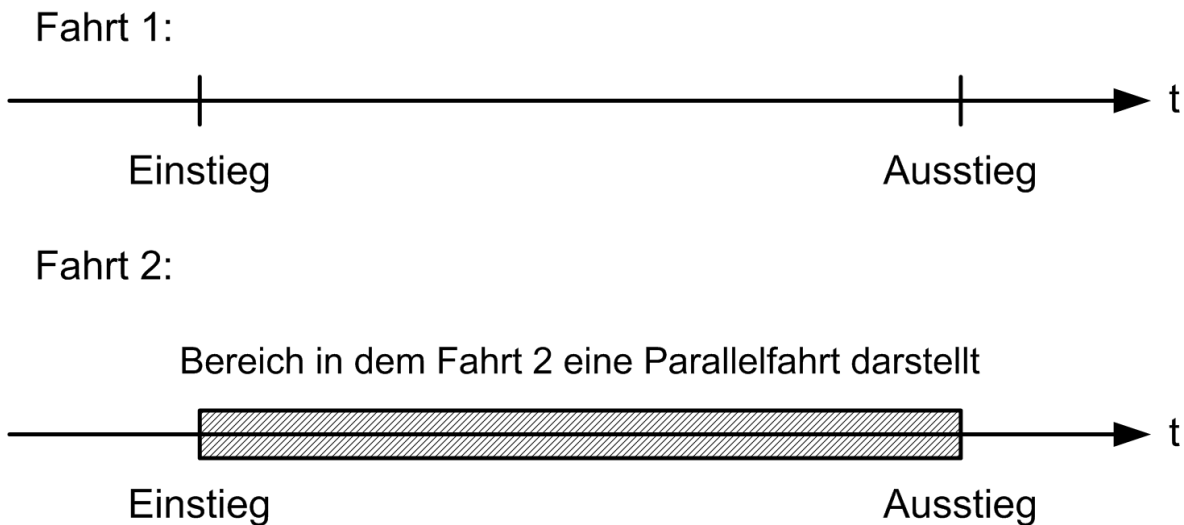


Abbildung 5.2: Zeitliche Abfolge einer Parallelfahrt

beträgt – ist diese Zeit länger, könnte es sich dann auch um ein an einer Endhaltestelle aus betrieblichen Gründen kurzzeitig ausgesetztes Fahrzeug handeln. Zudem werden die Endhaltestellen von Linien mit Rundkursen (30, 33, 34E, 39, 48 und 85)⁴¹ hier nicht berücksichtigt. Unberücksichtigt bleibt auch der Fall, dass ein Fahrgast zu weit gefahren ist und daher an der Endstation wieder zurückfährt. In solchen Fällen müsste entweder nur die Rückfahrt entfernt werden oder die Hinfahrt bis zu der Stelle gekürzt werden an der die Rückfahrt endete. Denkbar ist auch solche Fahrten einfach in den Daten zu belassen. Da eine Handhabung welcher Art auch immer nicht einfach möglich ist, diese Fälle zudem eher selten sind, werden derartige Fahrten trotzdem gefiltert.

Wiederholte Fahrten (gleiches Fahrzeug und gleiche Strecke) Fahrten, bei denen ein Bluetooth-Gerät wiederholt im gleichen Fahrzeug, in der gleichen Richtung und auf der gleichen Strecke (gleiche Einstiegs- und Ausstiegshaltestelle) vorzufinden ist, werden gefiltert. Allerdings nur dann, wenn zwischen Wiedereinstieg und Ausstieg nicht mehr als eine Stunde vergangen ist – innerhalb dieser Zeit ist ein nochmaliges Befahren der selben Strecke unwahrscheinlich.⁴²

Änderung von Haltestellennummern Es gibt Haltestellen für die eine oder mehrere weitere alternative Haltestellennummern vergeben werden. Diese zusätzlichen Nummern werden meist aus betrieblichen Gründen vergeben und haben einen ähnlichen Namen, wie die zu zuordnende Haltestelle. Ein Beispiel für die Vergabe einer solchen Nummer stellen Linienübergänge (beispielsweise 3 auf 13) dar. In solchen Fällen wird beim Übergang ein Betriebshalt mit eigener Haltestellennummer eingeführt und vom System verwendet. Nachdem diese zusätzlichen Nummern immer einer bestimmten Haltestelle zugeordnet werden können – und in diesen anderen Nummern auch keine weitere wichtige Information enthalten ist – werden diese beim Einlesen der Daten auf die jeweilig zu zuordnenden Nummern umgesetzt.

⁴¹Hier gehört eigentlich auch die Linie 60 ergänzt. Diese wird aber aufgrund dessen, dass nur die Endstation in einer Schleife liegt, weggelassen.

⁴²Genau genommen müsste für diese Zeitspanne ein Wert verwendet werden, der von der Länge der Strecke, die der Fahrgast zurück gelegt hat, abhängt. Da dieser Wert aber schwierig zu ermitteln ist, wird eine fixe Zeitspanne von einer Stunde herangezogen.

Aufgeteilte Fahrten Es kann vorkommen, dass eine durchgehende Fahrt im selben Fahrzeug an einer Haltestelle in zwei Fahrten aufgeteilt wird. Dies ist unter anderem dann möglich, wenn die Fahrzeugelektrik an einer Haltestelle kurzzeitig abgestellt wird. Solche Fahrten werden wieder zusammen gefügt – das heißt, es wird die Ausstiegszeit und die Ausstiegshaltestelle der zeitlich nachher liegenden Fahrt (Fahrt 2) auf die vorhergehende (Fahrt 1) umgesetzt und die zweite Fahrt entfernt. Dies wird allerdings nur dann gemacht, wenn die beiden Fahrten erstens im selben Fahrzeug stattgefunden haben und zweitens zwischen Einstieg und Ausstieg nicht mehr als 10 Minuten vergangen sind. Ansonsten muss davon ausgegangen werden, dass es sich bei der zweiten Fahrt, um eine neue Fahrt handelt.

Die im Folgenden aufgeführten Filterungen sind angedacht, aber schlussendlich nicht durchgeführt worden:

Fahrten mit einer Länge von mehr als 75 Minuten An sich sollte eine fahrplanmäßige Fahrt in einem Fahrzeug im Grazer ÖV-Netz nicht länger als eine knappe Stunde dauern. Da dies aber gerade bei Störungen nicht immer sicher gestellt werden kann und dies zudem davon abhängt, dass die vom System generierten Ein- und Ausstiegszeiten sicher stimmen, wurde auf diese Prüfung verzichtet.

Fahrten von Tageslinien in der Nacht Der Betrieb der Tageslinien in Graz endet gegen 24 Uhr – die letzte Planabfahrt am Jakominiplatz ist um 23.30 Uhr. Somit sollte es nach 24.30 Uhr keine Fahrten mehr geben, die nicht die Nachtbuslinienkennung N* (Prefix N vor der Nummer der Nachtbuslinie) haben.⁴³ Da das System für die Nachtbuslinien aber nicht immer korrekte Liniennummern generiert bzw. generieren kann, ist die Prüfung dieses Kriteriums nicht sinnvoll und wird daher nicht angewandt.

Fahrten mit Nachtlinien am Tag Der Nachtbusbetrieb in Graz beginnt erst nach 24 Uhr – erste Planabfahrt am Jakominiplatz ist 24.30 Uhr. Somit sollte es vor 24 Uhr keine Fahrten mit einer Linienkennung N* geben. Da sich aber bei den Nachtbuslinien gezeigt hat, dass die vom System generierten Linienkennungen nicht immer korrekt sind, wird auch diese Prüfung nicht verwendet.

Parallelfahrten von Bluetooth-Geräten außerhalb des ÖV-Fahrzeuges In bestimmten Fällen kann es vorkommen, dass der PARSON-Sensor Bluetooth-Geräte erfasst, die sich in Wirklichkeit nicht im Fahrzeug befinden. Dies wird hauptsächlich durch parallel fahrende Bluetooth-Geräte verursacht, die sich aber in einem individuellen Verkehrsmittel (beispielsweise einem PKW) befinden.⁴⁴ Das Ausfiltern derartiger Fahrten ist praktisch unmöglich. Dies liegt daran, dass es keine Möglichkeit gibt, zu erkennen, ob ein Bluetooth-Gerät in oder außerhalb des Fahrzeuges ist.

5.3.3 Deskriptive Statistiken

Für eine erste Analyse der PARSON-Daten werden Methoden benötigt, die eine deskriptive Beschreibung der Daten ermöglichen. Es soll so ein erster Überblick über die Daten ermöglicht werden. Hier werden neben einfachen Auswertungen (beispielsweise Anzahl der Fahrten) auch komplexere Auswertungen (beispielsweise an jedem Tag erhobene Linien) zur Verfügung

⁴³In Einzelfällen kann das Einziehen eines Kurses in einen der Betriebshöfe länger als bis 24.30 Uhr dauern.

⁴⁴Es können auch fixe an einen Standort gebundene Bluetooth-Geräte erfasst werden. Diese sollten aber bei der Datenverarbeitung des PARSON-Systems erkannt und aussortiert werden.

gestellt. All diese Methoden werden in der Klasse Statistics gekapselt. Der Zugriff auf die Fahrten erfolgt über einen Zeiger auf die in der Klasse Analyzer gespeicherte Fahrtenliste – wird beim Konstruieren des Objektes mit übergeben. Die Verwendung eines Zeigers hat den Vorteil, dass die Daten nicht kopiert werden müssen, womit Speicherplatz gespart wird.⁴⁵ Nachteilig ist allerdings, dass die Daten (in der Klasse Analyzer) bei einer im Zuge der Erstellung einer Statistik notwendigen Sortierung neu sortiert werden – eine vom Anwender zuvor durchgeführte Sortierung geht also wieder verloren und muss erneut durchgeführt werden. Aufgrund der höheren zu erwartenden Anzahl an Datensätzen – Daten aus immerhin zwei Jahren – und dem Umstand, dass das Tool (vorerst) nur zur eigenen Verwendung genutzt wird, ist dieser Nachteil aber akzeptabel.

Es werden die folgenden Methoden zur Verfügung gestellt:

GetFirstDay Liefert das Datum (in der Form YYYYMMDD) des ersten Tages, von dem es Daten gibt, zurück.

GetLastDay Liefert das Datum (in der Form YYYYMMDD) des letzten Tages, von dem es Daten gibt, zurück.

GetNumDays Liefert die Anzahl der Tage für die es Daten gibt zurück. Fehlen bei den Daten zwischendurch Tage – es gibt also Tage an denen keine Erhebungsdaten vorliegen – werden diese Tage nicht mitgezählt. Für die Ermittlung der Tagesanzahl ist eine Sortierung nach dem Datum notwendig.

GetNumWeeks Liefert die Anzahl der Wochen, für die es Daten gibt, zurück. Fehlen bei den Daten zwischendurch ganze Wochen – es gibt also *ganze* Wochen an denen keine Erhebungsdaten vorliegen – werden diese Wochen nicht mitgezählt. Für die Ermittlung der Wochenanzahl ist eine Sortierung nach dem Datum notwendig.

GetNumRides Liefert entweder die Anzahl aller vorhandenen Fahrten – entspricht gleichzeitig auch der Anzahl der importierten Datensätze – oder die Anzahl der Fahrten jedes Tages zurück. Im ersten Fall kann hier einfach die Anzahl, der in der Fahrtenliste gespeicherten Elemente, zurück gegeben werden. Im zweiten Fall muss die Liste zuerst nach dem Datum sortiert werden und anschließend für jeden Tag die Anzahl der Fahrten getrennt berechnet werden. Zurück gegeben werden die so entstehenden Tageswerte in einer Map, die als Schlüssel den Tag und als Wert die jeweilige Fahrtenanzahl enthält.

GetNumBTIDs Liefert entweder die Anzahl aller vorhandenen Bluetooth-Adressen oder die Anzahl der Bluetooth-Adressen jedes Tages zurück. Im ersten Fall muss die Fahrtenliste nach der Bluetooth-Adresse sortiert werden, anschließend lässt sich die Anzahl der Adressen – mehrmals vorkommende gleichlautende Adressen sind dabei jeweils nur einmal zu zählen – berechnen. Im zweiten Fall muss die Fahrtenliste zuerst nach dem Tag und dann nach der Bluetooth-Adresse sortiert werden. Anschließend kann wieder, für jeden Tag getrennt, die Anzahl der Adressen berechnet werden. Die Rückgabe der Daten erfolgt hier wieder ähnlich wie in `GetNumRides` – als Wert wird nun die jeweilige Anzahl an Bluetooth-Adressen gespeichert.

GetNumRidesPerLine Liefert die Anzahl der Fahrten pro Linie zurück. Diese werden berechnet, indem die Fahrtenliste nach der Liniennummer sortiert wird und anschließend die jeweilige Fahrtanzahl berechnet wird.

⁴⁵Wobei hier im Endeffekt nur der Speicherplatz für die in der Liste gespeicherten Zeiger auf die jeweiligen Datensätze zu berücksichtigen ist.

GetNumBTIDsPerLine Liefert die Anzahl der Bluetooth-Adressen pro Linie zurück. Diese werden berechnet, indem die Fahrtenliste zuerst nach der Liniennummer und dann nach der Bluetooth-Adresse sortiert wird. Anschließend lässt sich für jede Linie die Anzahl der Adresen ermitteln.

GetLinesPerDay Liefert für jeden Tag eine Liste mit erhobenen Linien zurück. Dazu muss die Liste zuerst nach dem Datum und dann nach der Liniennummer sortiert werden. Anschließend lassen sich, für jeden Tag getrennt, die erhobenen Linien erfassen, indem jede neue noch nicht vorgekommene Liniennummer in einer Liste ergänzt wird.

GetNumCombinedRides Ermittelt die Anzahl der Wege mit Umstieg (mehrere Fahrten) und die Anzahl der Wege ohne Umstieg (eine Fahrt), wobei das Ergebnis von einem Eingangsparameter abhängt. Der Parameter definiert, wie lange die Zeit zwischen Ausstieg und Einstieg bei einem Umstieg maximal sein darf. Wird diese Zeit überschritten, wird der entsprechende Weg an dieser Stelle in zwei Wege aufgeteilt. Standardmäßig ist dieser Wert auf 10 Minuten eingestellt. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass das größte Intervall in Graz 15 Minuten beträgt (ausgenommen Abend- und Sonntagsverkehr). Nachdem es jedoch vorkommen kann, dass ein Fahrgast beispielsweise bei einer kurzen Erledigung schon nach kurzer Zeit wieder weiter fährt, ist eine Zeitspanne von 15 Minuten zu lange. Ein solches Ereignis würde dann fälschlicherweise als Umstieg klassifiziert, deshalb wird als Kompromiss 10 Minuten gewählt. Zusätzlich wird hier noch folgendes ermittelt:

- Anzahl Wege mit einem Umstieg
- Anzahl Wege mit zwei Umstiegen
- Anzahl Wege mit drei Umstiegen
- Anzahl Wege mit vier Umstiegen
- Anzahl Wege mit fünf Umstiegen
- Anzahl Wege mit mehr als fünf Umstiegen
- Anzahl Wege mit Umstiegen pro Tag
- Anzahl Wege ohne Umstieg pro Tag

Für die Ermittlung der Wegeanzahlen (mit/ohne Umstieg) pro Tag muss die Fahrtenliste zuerst nach dem Datum, dann nach der Bluetooth-Adresse und zuletzt nach der Zeit sortiert werden.⁴⁶ Anschließend werden jeweils zwei zeitlich benachbarte Fahrten überprüft – diese Nachbarschaft wird durch die zuvor erfolgte Sortierung garantiert. Zwei Fahrten stellen dann einen gemeinsamen Weg dar, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das Datum beider Fahrten ist gleich.
- Die Bluetooth-Adresse beider Fahrten ist gleich.
- Die Ausstiegshaltestelle der ersten Fahrt (zeitlich vorhergehende) ist gleich der Einstiegshaltestelle der zweiten Fahrt.
- Die Liniennummern sind nicht gleich.
- Die Fahrzeugnummern sind nicht gleich.

⁴⁶Wenn man nur die Werte für den gesamten Zeitraum ermitteln möchte, ist auch die Sortierung zuerst nach der Bluetooth-Adresse, dann nach Datum und zuletzt nach der Zeit möglich.

- Die Zeit zwischen Aus- und Einstieg darf die vorgegebene maximale Zeit (Parameter) nicht überschreiten.

Es wird nun also die sortierte Liste durch iteriert und dabei werden alle Nachbarn miteinander verglichen (vergleiche Abbildung 5.3). Bei Auftreten eines gemeinsamen Weges ist der Zähler für die Wege mit Umstieg um eins zu erhöhen und der Zähler für die Wege ohne Umstieg um eins zu vermindern.⁴⁷ Finden sich mehr Fahrten hintereinander, die einen gemeinsamen Weg darstellen, dürfen beide Zähler (Umstieg/kein Umstieg) jeweils nur einmal für diesen Weg verändert werden. Stellen zwei Fahrten keinen gemeinsamen Weg dar, ist der Zähler für die Fahrten ohne Umstieg zu erhöhen. Die Ermittlung der Wege mit/ohne Umstieg pro Tag läuft gleich ab, jedoch muss der Algorithmus die Partitionen – die einzelnen Tage – getrennt abarbeiten. Für die Ermittlung der Umstiegsanzahlen wird ein weiterer Zähler⁴⁸ benötigt. Dieser wird jedes Mal erhöht, wenn zwei Fahrten einen gemeinsamen Weg darstellen – also ein Umstieg erfolgt ist. Sobald zwei Fahrten keinen gemeinsamen Weg (mehr) darstellen, wird dieser Zähler ausgewertet und der entsprechende weitere Zähler für die jeweilige Umsteigehäufigkeit erhöht. Der ausgewertete Zähler ist anschließend auf 0 zurück zu setzen.

5.3.4 Datenaufbereitung für ein Verkehrsmodell

Um die PARSON-Daten in einem weiteren Schritt in ein Verkehrsmodell in VISUM importieren zu können, ist eine weitere Datenaufbereitung notwendig. Ausgangsbasis für alle weiteren Überlegungen ist die Tatsache, dass in einem Verkehrsmodell die Nachfrage mit einer Nachfragematrix – enthält die Menge aller Ortsveränderungen von den Quell- zu den Zielbezirken (Wege) – abgebildet wird. Die in das Analysetool importierten PARSON-Daten stellen aber zum Einen noch einzelne Fahrten – nicht zwangsläufig bereits ein gesamter Weg – dar und sind zum anderen noch haltestellenbezogen. Es ist also notwendig, die einzelnen Wege zu generieren, die Haltestellennummern in ihre zugeordneten Bezirksnummern⁴⁹ umzuwandeln, die Anzahlen jedes vorkommenden Weges zu berechnen und diese zuletzt in eine Matrix einzutragen. Die Daten werden dabei auch tage- und stundenweise partitioniert. Für die eigentliche Auswertung wird der stundenweise Durchschnitt von Montag bis Freitag einer Woche herangezogen, weshalb diese Durchschnittswerte vom implementierten Algorithmus zusätzlich berechnet werden. Die Abarbeitung der einzelnen notwendigen Schritte erfolgt in drei Stufen. Die Erstellung der Verkehrsnachfragematrix kann entfallen, da diese beim Importieren der Wege-Daten in VISUM automatisch erstellt wird.

Stufe 1 – Aufteilung der Daten

Zuerst müssen die Daten tage- und stundenweise partitioniert werden. Dies erfolgt, indem zunächst die Daten importiert werden⁵⁰. Danach werden beginnend mit dem ersten vorhandenen Tag bis zum letzten Tag die Daten jedes Tages stundenweise⁵¹ separiert. Um dies zu ermöglichen, wird die Fahrtenliste zuerst nach dem Datum, dann nach der Bluetooth-Adresse – um die einzelnen Wege berücksichtigen zu können – und zuletzt nach der Zeit sortiert.

⁴⁷Die erste Fahrt in der Liste stellt zu Beginn immer einen Weg ohne Umstieg dar, weshalb dieser Zähler mit 1 initialisiert wird.

⁴⁸Mit 0 initialisiert.

⁴⁹Ein Verkehrsmodell wird in Verkehrszellen – sogenannte Bezirke – unterteilt. Jede Haltestelle kann einem bestimmten Bezirk zugeordnet werden.

⁵⁰Diese müssen zuvor bereits einmal vom Analysetool exportiert worden sein.

⁵¹Eine Stunde ist hier immer von HH:00:00 bis HH:59:59 definiert.

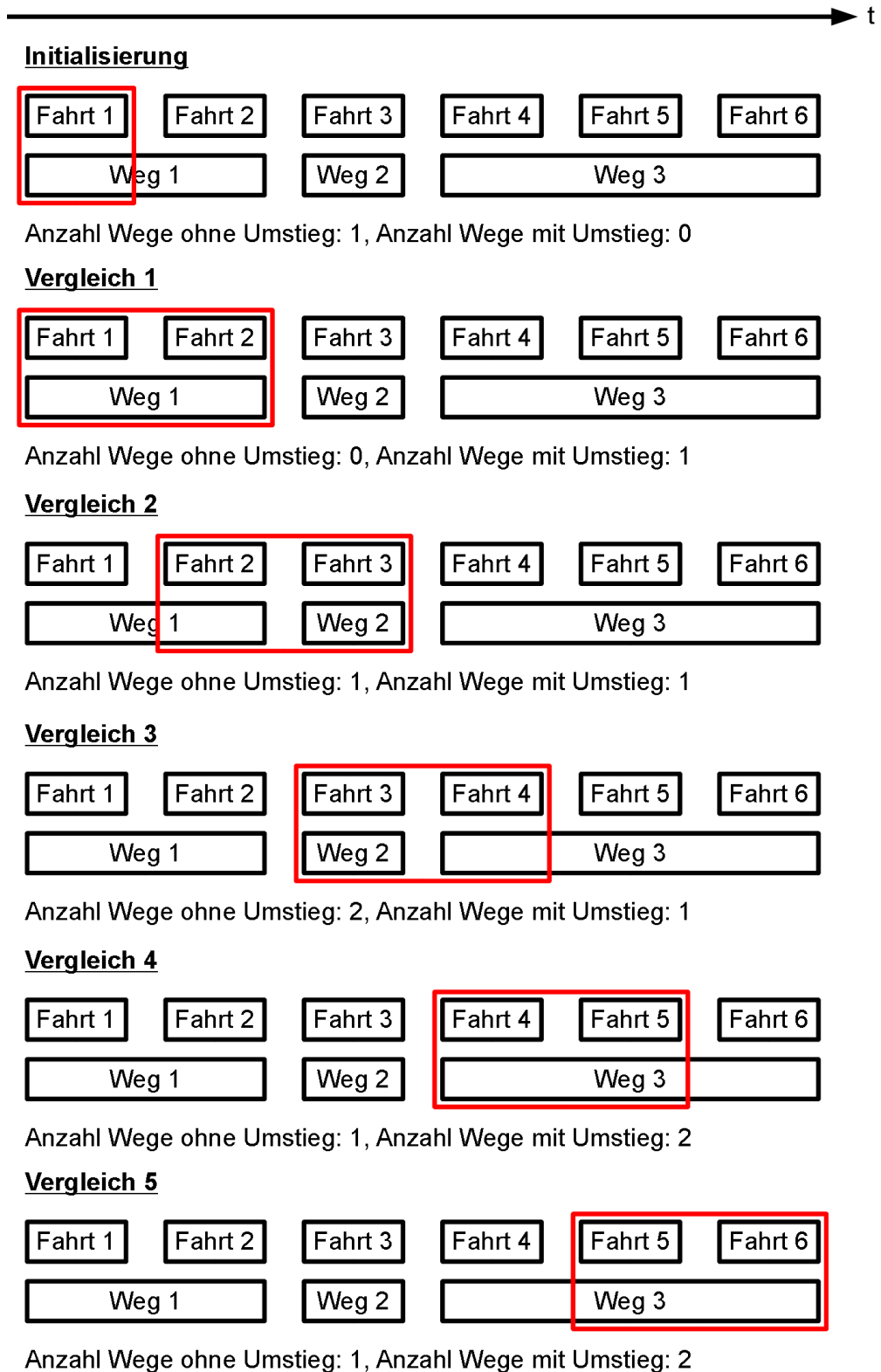


Abbildung 5.3: Algorithmus zur Ermittlung der Wegeanzahlen

Anschließend kann für jeden Tag getrennt, ein ähnlicher Algorithmus wie bei der Generierung der Umsteiger in Kapitel 5.3.3 verwendet werden. Der einzige Unterschied besteht nun darin, dass hier im Falle des Vorfindens zweier benachbarter Fahrten, die keinen gemeinsamen Weg darstellen, der zuvor gefundene Weg – enthält die erste Fahrt der Nachbarschaft – zu exportieren ist. Dies darf allerdings nur dann gemacht werden, wenn die erste Fahrt dieses Weges – Beginn des Weges – innerhalb des entsprechenden Zeitintervalls, das gerade erstellt werden soll, liegt.⁵² Somit ist sicher gestellt, dass auch Fahrten, die außerhalb des Intervalls begonnen haben, aber noch zu einem zu exportierenden Weg gehören, mit exportiert werden. Die maximal erlaubte Umsteigezeit wurde auch hier auf 10 Minuten festgelegt. Schlussendlich entsteht somit für jeden Tag und jede Stunde eine CSV-Datei mit den Fahrten des jeweiligen Intervalls⁵³, wobei diese in einem Ordner Namens „stage1“ abgelegt werden.

Weiters wird in dieser Stufe für jeden Tag die absolute Ganglinie (Anzahl der Wege pro Stunde) sowie die relative Ganglinie (Anzahl der Wege pro Stunde bezogen auf die Gesamtzahl der Wege am Tag) generiert. Dazu ist die Wegeanzahl für die jeweilige Stunde und den jeweiligen Tag mitzuzählen. Ähnliches wird auch für die Anzahl der Wege mit Umstiegen gemacht.

Stufe 2 – Weggenerierung

In dieser Stufe wird jede zuvor in Stufe 1 generierte CSV-Datei (Fahrten der einzelnen Tage/Stunden) getrennt bearbeitet, um für jedes Intervall die gefahrenen Wege zu ermitteln. Dies kann mit dem gleichen Algorithmus wie in Stufe 1 erfolgen – hier ist jetzt allerdings keine Prüfung, ob der Export erlaubt ist oder nicht, notwendig. Diese Stufe könnte auch in Stufe 1 integriert werden, es ist jedoch sinnvoll die Zwischenergebnisse aus Stufe 1 in vollständiger Form (alle Daten zu den jeweiligen Fahrten) zur Verfügung zu haben. Die Ausgabe der Daten erfolgt wiederum in CSV-Form im Verzeichnis „stage2“, das die folgenden Felder aufweist:

- Bluetooth-Adresse
- Quell-Haltestelle
- Ziel-Haltestelle
- Liniennummer
- Umstiegshaltestelle 1
- Umstiegslinie 1
- Umstiegshaltestelle 2
- Umstiegslinie 2
- Umstiegshaltestelle 3
- Umstiegslinie 3
- usw. bis der Weg beendet ist

Die Felder „Umstiegshaltestelle X“ und „Umstiegslinie X“ sind optional und nur dann vorhanden, wenn entsprechende Umstiege erfolgt sind.

⁵²Es muss hier der letzte Weg (Ende der Fahrtenliste erreicht) manuell exportiert werden. Auch dabei ist zu prüfen, ob der Export erlaubt ist.

⁵³Die Namensgebung für die CSV-Dateien erfolgt automatisch anhand des entsprechenden Zeitraumes.

Stufe 3 – Berechnung der Wegeanzahlen auf Bezirksbasis

Zuletzt ist noch die Anzahl der Wege zwischen den Bezirken zu ermitteln. Es werden wiederum die in Stufe 2 erzeugten CSV-Dateien getrennt abgearbeitet und zunächst die Haltestellennummern durch ihre zugeordneten Bezirksnummern ersetzt. Dies erfolgt, indem die vorhandene aus VISUM generierte Haltestellenliste um eine Zuordnung zwischen Haltestellennummer und Bezirksnummer ergänzt wird. Anschließend wird jedem Weg eine eindeutige Nummer – Code aus Quell- und Zielbezirk⁵⁴ – zugewiesen und für jeden Weg die Anzahl der Fahrten berechnet. Dies erfolgt indem eine Map aufgebaut wird, welche als Key den Code hält und als Wert die jeweilige Anzahl.⁵⁵ Zuletzt werden die Wegeanzahlen wieder in eine CSV-Datei exportiert. Die zuvor erstellte eindeutige Nummer wird dabei wieder in Quell- und Ziel-Bezirk aufgetrennt, es entsteht also eine CSV-Datei in der Form⁵⁶:

- Quell-Bezirk
- Ziel-Bezirk
- Wegeanzahl

In dieser Stufe werden zusätzlich noch die durchschnittlichen Wegeanzahlen von Montag bis Freitag für jede Woche berechnet, da diese in weiterer Folge benötigt werden. Für den Import in VISUM ist weiters noch ein Austausch des CSV-Kopfes notwendig. Ein CSV-Kopf für den Import in VISUM sieht beispielsweise folgendermaßen aus:

```

$O
* Von Bis
8.00 9.00
* Faktor
1.00
*
* 07.04.12
* Origin Destination Count

```

Entscheidend ist hier die erste Zeile, diese definiert welches VISUM-spezifische Matrixformat die Datei enthält. Zudem ist die Dateiendung auf „mtx“ zu ändern. Beide Schritte sind derzeit manuell durchzuführen, eine Automatisierung ist jedoch möglich. [Vis11a]

⁵⁴Da die Bezirksnummern nicht größer als zwei Byte sind, wurde ein unsigned Integer (4 Byte) verwendet. Die beiden höherwertigen Byte enthalten den Quell-Bezirk, die beiden niederwertigen Byte den Ziel-Bezirk.

⁵⁵Bei Erhöhen eines Wertes für einen Key, der bereits existiert, wird der existierende Wert bei der Addition berücksichtigt.

⁵⁶Als CSV-Trennzeichen wird hier ‚ ‚ anstatt des üblichen ‚;‘ verwendet.

6 Datenanalyse

6.1 Datenbestand

Für die Analyse stehen PARSON-Daten aus den Jahren 2009 und 2010 zur Verfügung, welche von der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH⁵⁷ bereit gestellt werden. Diese werden mit Hilfe des entwickelten Tools (siehe Kapitel 5) einer ersten Analyse unterzogen, wobei aufgrund der Datenmenge eine quartalsweise Unterteilung erforderlich ist.

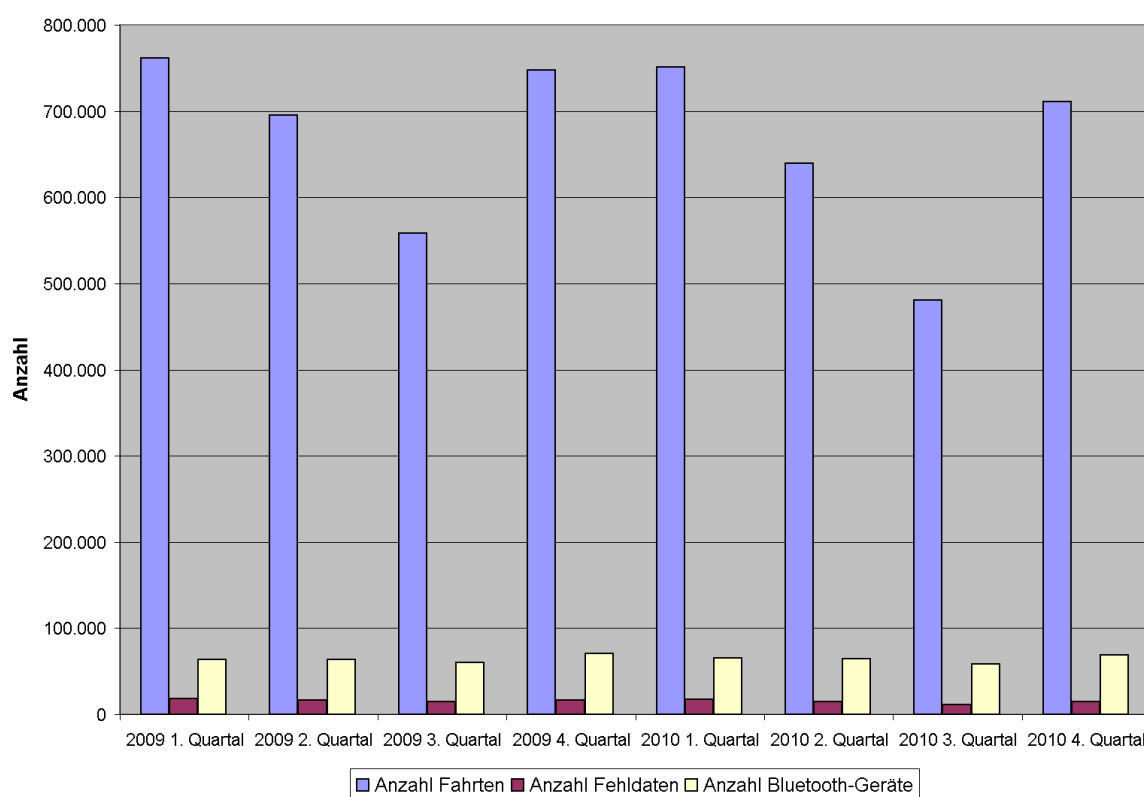


Abbildung 6.1: Mit PARSON erfasste Fahrten und Geräte

In den beiden Jahren wurden etwa 5,4 Millionen Fahrten vom System PARSON erfasst – entspricht einem Jahresdurchschnitt von 2,7 Millionen Fahrten⁵⁸. Davon wurden etwa 2,3 % bei der Plausibilitätsüberprüfung entfernt. Den größten Teil der zu entfernenden Daten stellen mit knapp 1,8 % Weiterfahrten an Endhaltestellen im selben Fahrzeug (siehe Kapitel 5.3.2) dar. Parallelfahrten in anderen Linien und wiederholte Fahrten im gleichen Fahrzeug entlang der gleichen Strecke machen jeweils knapp 0,2 % aus. Die grundsätzlichen Fehler und die aufgeteilten Fahrten schlagen sich mit knapp 0,1 % zu Buche. In Abbildung 6.1 lässt sich

⁵⁷Die Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH führt das Datenhosting für die Holding Graz Linien durch.

⁵⁸Im Jahr 2009 zählten die Graz Linen insgesamt 98 Millionen Fahrgäste. [Gra09]

erkennen, dass der Prozentsatz an Fehldaten – Daten die entfernt werden mussten – in allen Quartalen in etwa gleich hoch ist und somit der Durchschnittswert von 2,3 % bestätigt werden kann.

6.2 Auswertung

PARSON erfasste in den Jahren 2009 und 2010 durchschnittlich etwa 65 Tausend Geräte (siehe Abbildung 6.1), wobei die Anzahl der erfassten Bluetooth-Geräte – pro Quartal wird hier ein Gerät immer nur einmal gezählt – immer annähernd gleich hoch ist. Dieser Umstand lässt darauf schließen, dass zu einem Großteil immer dieselben Bluetooth-Geräte – also auch dieselben Fahrgäste – erfasst werden. Die Tabellen 6.1 und 6.2 zeigen jeweils die Anzahl der aus den Fahrten generierten Wege⁵⁹. Im Jahresdurchschnitt wurden etwa 2,5 Millionen Wege erfasst, wovon 92 % ohne Umstieg erfolgten und 8 % mit einem Umstieg. „Eine Studie unter den Benutzern des Grazer Liniennetzes, die verkehrsbetreiberübergreifend umsteigen, ergab hingegen, dass nur 28 % aller Fahrgäste nicht umsteigen.“ [Wal10] Für den Vergleich mit dem System PARSON ist dieser Wert allerdings zu erhöhen, nachdem PARSON nicht verkehrsbetreiberübergreifend arbeitet. Der Wert von nur 8 % Umsteigern bei PARSON ist im Vergleich zum Wert aus dem Verkehrsmodell der TU Graz (siehe Kapitel 7), der bei 56 % liegt, sehr nieder.

	2009 1. Quartal		2009 2. Quartal		2009 3. Quartal		2009 4. Quartal	
ohne Umstieg	637.649	91,3 %	585.156	91,5 %	474.865	92,0 %	655.762	92,2 %
1 Umstieg	58.957	8,4 %	52.517	8,2 %	39.866	7,7 %	53.660	7,6 %
2 Umstiege	1.869	0,3 %	1.505	0,3 %	1.124	0,3 %	1.584	0,2 %
mehr als 2 Umstiege	83	0,0 %	77	0,0 %	71	0,0 %	58	0,0 %
Summe	698.558		639.255		515.926		711.064	

Tabelle 6.1: Wege mit/ohne Umstiegen im Jahr 2009

	2010 1. Quartal		2010 2. Quartal		2010 3. Quartal		2010 4. Quartal	
kein Umstieg	632.705	91,5 %	549.367	92,5 %	419.579	93,3 %	609.548	92,4 %
1 Umstieg	56.718	8,2 %	43.593	7,3 %	29.327	6,5 %	48.963	7,4 %
2 Umstiege	1.672	0,3 %	1.025	0,2 %	662	0,2 %	1.213	0,2 %
mehr als 2 Umstiege	77	0,0 %	29	0,0 %	19	0,0 %	51	0,0 %
Summe	691.172		594.014		449.587		659.775	

Tabelle 6.2: Wege mit/ohne Umstiegen im Jahr 2010

Bei einer Analyse der pro Tag erhobenen Linien zeigt sich, dass es Linien gibt, für die an manchen Tagen keine Daten vorliegen.⁶⁰ Einerseits ist dies darauf zurückzuführen, dass auf der entsprechenden Linie wirklich keine Bluetooth-Geräte erfasst wurden. Andererseits ist dieses Fehlen jedoch auch auf die nicht vollständige Ausstattung mit PARSON-Sensoren – welche beim Bus noch gravierender ist (siehe Tabelle 4.1) – zurück zu führen. In solchen Fällen wird dann ein Weg nicht vollständig erfasst, weil ein oder mehrere Wegteile in einem Fahrzeug ohne PARSON-Sensor erfolgten. Große Auswirkungen hat ein fehlender PARSON-Sensor insbesondere auf Linien mit geringen Kurszahlen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit der Nichterfassung deutlich erhöht wird. Beispiele dafür sind die Linien 30⁶¹, 48, 50, 60 und

⁵⁹Ein Umstieg in eine andere Linie an der gleichen Haltestelle wird dann als Umstieg gewertet, wenn der Umstieg innerhalb von 10 Minuten erfolgt.

⁶⁰Linien, die an einem bestimmten Tag nicht verkehren, sind hier anzunehmen. In den Tabellen 6.3, 6.4 und 6.5 mit ‚-‘ gekennzeichnet.

⁶¹Auf der Linie 30 verkehren grundsätzlich keine Kurse mit PARSON-Sensor.

82. In weiterer Folge beeinflusst eine nicht vollständige Erfassung auch die zuvor ermittelte Umsteigehäufigkeit. Die Tabellen 6.3, 6.4 und 6.5 zeigen die Analyse der pro Tag erfassten Linien für die dritte Woche des Jahres 2009.

Linie	1	3	4	5	6	7	12	13	26	30	31	32	33	34	34E	36
Mo 12.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34	34E	36
Di 13.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34	34E	36
Mi 14.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34		36
Do 15.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34	34E	36
Fr 16.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34	34E	36
Sa 17.01.2009	1	3	4	5	6	7	-	13	26		31	32	33	34	34E	
So 18.01.2009	1	-	-	5	6	7	12	13	26	-	31	32	33		-	

Tabelle 6.3: Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 1 bis 36)

Linie	39	40	41	41/53	48	50	52	53	58	60	62	63	63A	64
Mo 12.01.2009	39	40					52	53		60	62	63	63A	64
Di 13.01.2009	39	40	41	41/53			52	53	58		62	63	63A	64
Mi 14.01.2009	39	40	41	41/53			52	53			62	63		64
Do 15.01.2009	39	40	41	41/53			52	53	58		62	63		64
Fr 16.01.2009	39	40	41	41/53				53	58	60	62	63	63A	64
Sa 17.01.2009		40		41/53			52	53			62	63	63A	64
So 18.01.2009	39	40	-	41/53		-	-	-			-	-	63A	-

Tabelle 6.4: Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 39 bis 64)

Linie	64E	67	74	74E	77	82	85
Mo 12.01.2009		67					85
Di 13.01.2009		67					
Mi 14.01.2009	64E	67	74	74E			
Do 15.01.2009	64E	67	74	74E	77		
Fr 16.01.2009		67	74	74E		82	
Sa 17.01.2009	-						
So 18.01.2009	-	-		-			85

Tabelle 6.5: Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 64E bis 85)

Eine Auswertung des Verhältnisses zwischen erfassten Fahrten in Straßenbahnlinien und erfassten Fahrten in Buslinien zeigt, dass durchschnittlich etwa 70 % der erfassten Fahrten pro Quartal in der Straßenbahn erfolgte. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch bei der Auswertung der Fahrtenanzahl der einzelnen Linien für das erste Quartal 2009 wieder. Abbildung 6.2 zeigt diese Fahrtenanzahl für die Straßenbahn- und Buslinien. Bei genauerer Analyse dieser Auswertung fällt auf, dass auch hier die Buslinien deutlich unterrepräsentiert sind. Deutlich wird dies unter anderem bei den Linien 32 und 63. Für diese Linien, die zu den stärksten belasteten Buslinien in Graz gehören, ist eine Fahrtenanzahl von etwa 20.000 Fahrten (Linie 32) bzw. 8.000 Fahrten (Linie 63) im Vergleich zu den am stärksten belasteten Straßenbahnlinien mit etwa 90.000 Fahrten deutlich zu wenig. Weiters ist feststellbar, dass (Bus-)Linien, die nur wenige Kurse aufweisen (beispielsweise 50, 60 und 77), sehr geringe Fahrtanzahlen aufweisen. Auch hier macht sich die nicht vollständige Ausrüstung mit PARSON-Sensoren bemerkbar. Generell spiegelt das Verhältnis der erfassten Fahrten von 70:30 zwischen Straßenbahn und Bus die Realität nicht gänzlich wieder. Eine Auswertung der DILAX-Daten (AFZS der Holding Graz Linien) aus dem Winter 2009 ergab ein Verhältnis von 55:45 zwischen Straßenbahn und Bus.

Abbildung 6.3 zeigt die absolute Tagesganglinien für die dritte Woche des Jahres 2009. Es zeigt sich, dass der Werktagverkehr deutlich gegenüber dem Samstags- und Sonntagsverkehr

6 Datenanalyse

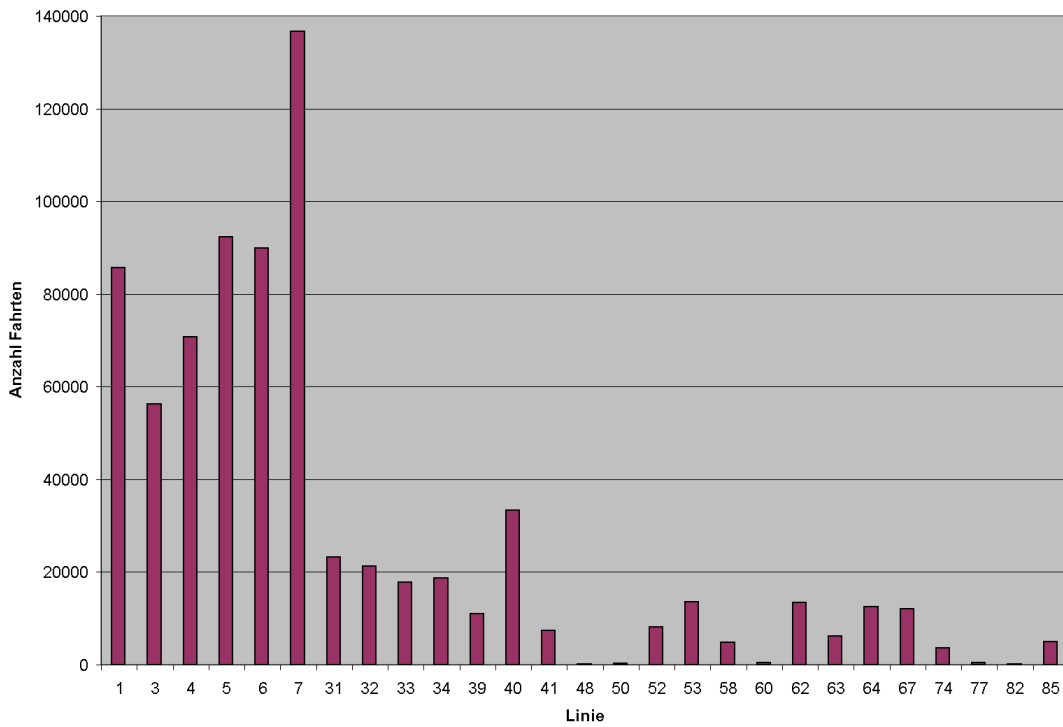


Abbildung 6.2: Erfasste Linienfahrten im ersten Quartal 2009

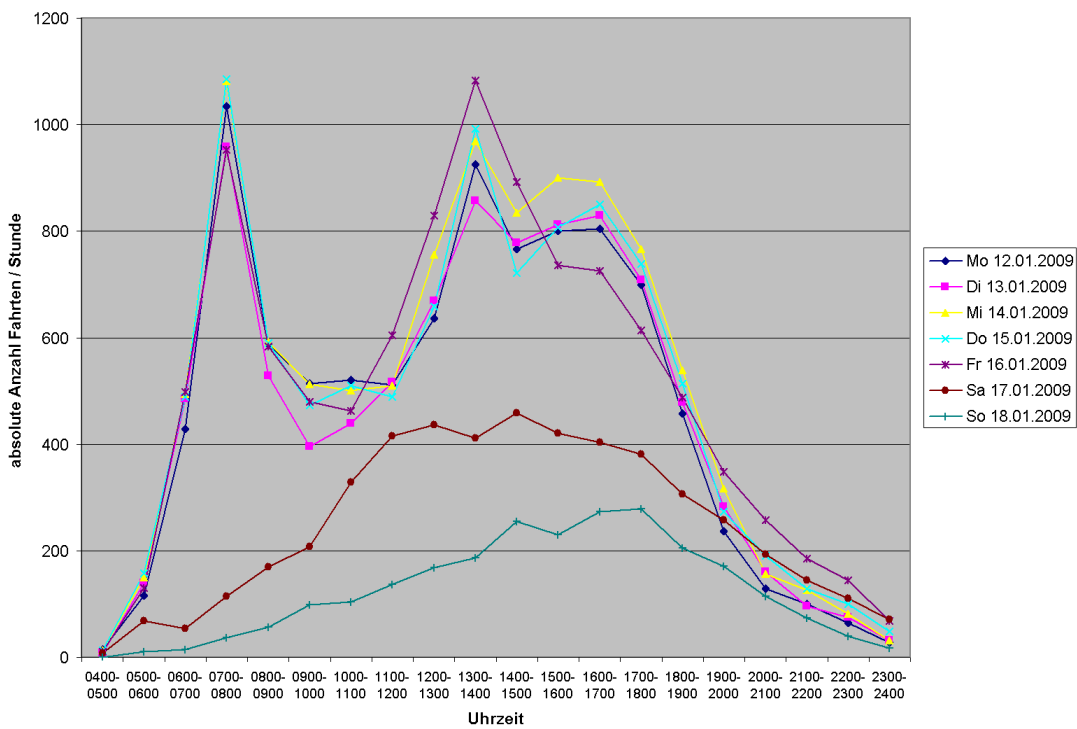


Abbildung 6.3: Absolute Tagesganglinien für die 3. Woche des Jahres 2009

dominiert. Gut erkennbar sind hier die morgendlichen und nachmittäglichen Spitzen – liegen im Schnitt bei etwa 1.000 Fahrten – wobei die Nachmittagsspitze am Freitag besonders ausgeprägt ist und erwartungsgemäß frühzeitiger zurück geht. Bei der Ganglinie für den Samstag fällt auf, dass die Fahrgastzahl erst ab etwa 10 Uhr ansteigt und dann bis etwa 17 Uhr annähernd gleich bleibt. Zudem ist die Fahrgastanzahl im Vergleich zu den Werktageskurven geringer – die Spitze liegt bei etwa 400 Fahrten. Sonntags steigt die Ganglinie kontinuierlich und sehr flach an, wobei die Tagesspitze zwischen 14 und 17 Uhr bei etwa 250 Fahrten liegt.

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

7.1 Verkehrsmodell Großraum Graz

Für die weitere Analyse der PARSON-Daten steht ein Verkehrsmodell in VISUM⁶² des Institutes für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Graz zur Verfügung, welches den ÖV für den Großraum Graz abbildet. Innerhalb von Graz ist das Modell in 290 Verkehrszellen gegliedert, die an den Wahlsprengeln angelehnt sind, jedoch noch feiner eingeteilt wurden. Im Grazer Umland entspricht die Zellaufteilung den Gemeinden, wobei größere Gemeinden in kleinere Zellen unterteilt wurden, womit sich pro Zelle ein Einwohneranteil von knapp 1.000 Einwohnern ergibt. [Wal10]

Für die Verkehrsmodellierung stehen 24 stundenfeine Nachfragematrizen zur Verfügung. Diese entstanden, indem mehrere verschiedene Wegeketten mit eigenen Ganglinien verwendet wurden, womit eine Abbildung der unterschiedlichen Verkehrszwecke erreicht wurde. Diese Daten wurden anschließend über Mobilitätsbefragungen und Haushaltsbefragungen geeicht. Weiters wurden die Fahrplandaten (entstammen der Datenbasis des Steirischen Verkehrsverbundes) und die Auslastungsdaten (Zählraten der Holding Graz Linien, ÖBB und GKB) einer Fahrplanperiode importiert. [Wal10]

Die Anbindung der Verkehrszellen an die Haltestellen des ÖV erfolgte über Verbindungen von den Zellenschwerpunkten zu den nächstgelegenen Haltestellen. Bei den Straßenbahnhaltestellen wurden jedoch wesentlich längere Anbindungsstrecken zugelassen. Dies erfolgte, „um abzubilden, dass Kunden eher geneigt sind, einen längeren Fußweg zur Straßenbahnhaltestelle in Kauf zu nehmen als eine Haltestelle mit dem Zubringerbus zu fahren.“ [Wal10]

7.2 Datenauswahl und -import

Für die Auswahl der PARSON-Daten, welche in das Verkehrsmodell importiert werden sollen, werden zunächst die absoluten und relativen Tagesganglinien (jeweils Montag bis Freitag) von fünf ausgewählten Wochen aus den Jahren 2009 und 2010 erstellt. Ausgewählt werden dabei jeweils:

- zwei Wochen im Jänner: Wochen 3 und 4
- eine Woche im Juni: Woche 25
- zwei Wochen im Oktober: Wochen 42 und 43

Die Erstellung der Tagesganglinien (absolut und relativ) erfolgt durch Nutzung des Analysetools (siehe Erklärung Stufe 1 in Kapitel 5.3.4). Bei der ersten Analyse der Ganglinien (vergleiche Abbildungen 7.1 und 7.2) ist folgendes aufgefallen:

- Die Woche 43 des Jahres 2010 ist für eine weitere Betrachtung nicht geeignet, da sie den Nationalfeiertag enthält. Somit ist die Ganglinie des Feiertages – der 26.10.2010

⁶²Es wurde die VISUM-Version 12.01-03 verwendet.

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

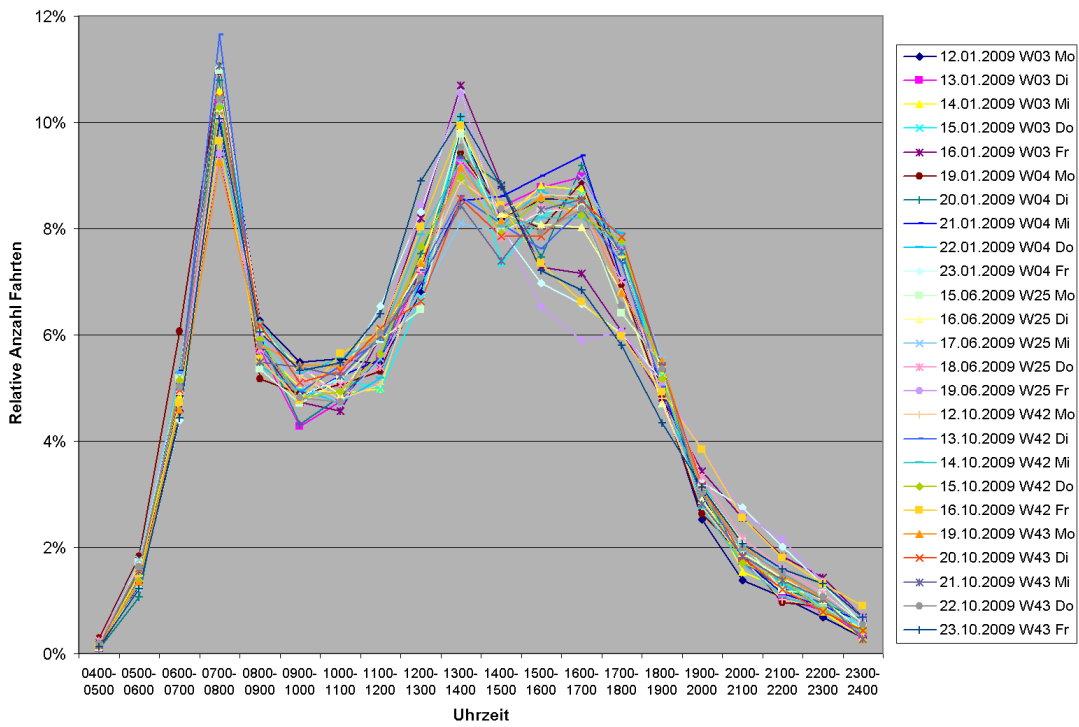


Abbildung 7.1: Relative Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2009

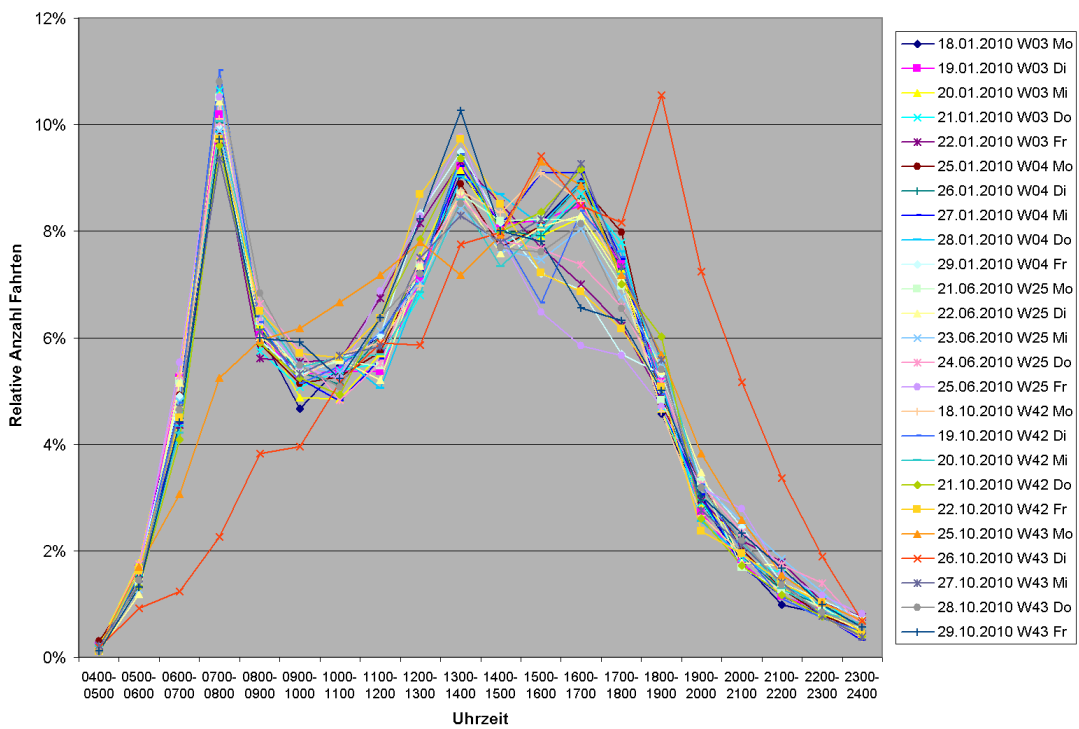


Abbildung 7.2: Relative Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2010

fiel auf einen Dienstag – aber auch die restlichen Ganglinien, aufgrund des geänderten Verkehrsverhaltens, nicht mit den Ganglinien aus den anderen Wochen vergleichbar.

- Das frühere Abflachen der Ganglinien am Freitagnachmittag ist insbesondere bei den relativen Ganglinien gut erkennbar. Auffällig ist jedoch, dass die Abflachung in den Juni-Wochen 2009 und 2010 stärker ausgeprägt ist. Dies ist teilweise auf geändertes Freizeitverhalten in den Sommermonaten zurückzuführen. In der Folge werden auch diese beiden Wochen von der weiteren Analyse ausgenommen.
- Die Ganglinien der restlichen Wochen (Jänner- und Oktober-Wochen) passen annäherungsweise überein.

In einem weiteren Schritt werden die durchschnittlichen Tagesganglinien einer Woche (werktags) erstellt. Da das Verkehrsmodell unter anderem auf Zähldaten aus der Fahrplanperiode Winter 2009⁶³ (durchschnittlicher Tageswert) basiert, kommen in weiterer Folge nur die beiden Jännerwochen 2009 für den Import in das Verkehrsmodell in Frage. Da sich die durchschnittlichen Wochenganglinien ähnlich sind (siehe Abbildung 7.3), wird die Woche 3 für den Import ausgewählt.

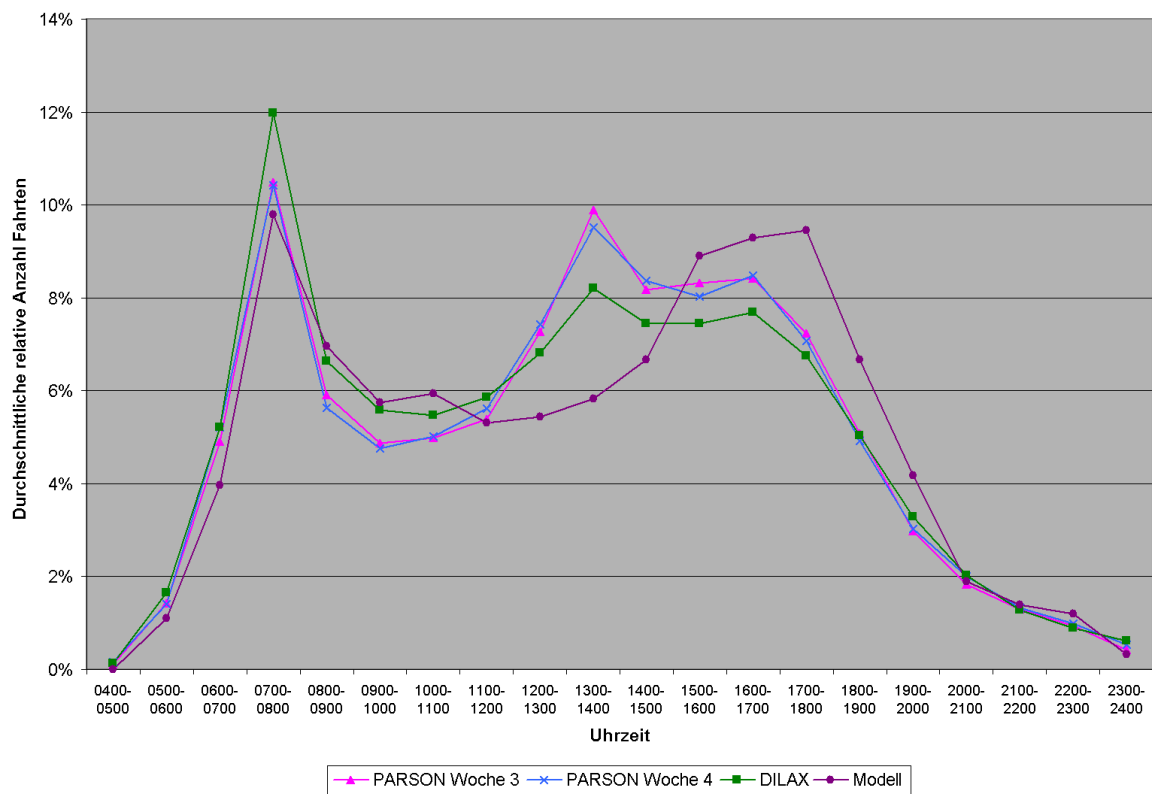


Abbildung 7.3: Durchschnittliche relative Tagesganglinien einer Woche (werktags) im Vergleich zu den durchschnittlichen Ganglinien aus DILAX und aus dem Modell

Bei der Aufbereitung der Daten für den Import ist zu beachten, dass die Daten im Verkehrsmodell Quelle-Ziel-Daten darstellen, welche anschließend umgelegt wurden, um die Verkehrsbelastung zu ermitteln. Aus den einzelnen Fahrten von PARSON sind somit für den

⁶³Die Fahrplanperiode Winter 2009 beinhaltet Zähldaten aus dem Zeitraum 7.1.2009 bis 3.4.2009.

Import die Wege (mit/ohne Umstieg) zu generieren und daraus anschließend die Quelle-Ziel-Beziehungen zu ermitteln. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass die Information zur Routenwahl, die PARSON inne wohnt, verloren geht. Daher ist auch für diese Daten eine Verkehrsumlegung durchzuführen. Da diese Berechnung unter anderem auf den Fahrplandaten basiert, sind die Quelle-Ziel-Daten von PARSON zusätzlich noch stundenfein aufzuteilen – wobei hier ein Weg immer zu der Stunde gezählt wird in der er beginnt. Nach der Umlegung lässt sich die mit PARSON erhobene Verkehrsbelastung im Modell ermitteln. Zu beachten ist dabei, dass diese nicht gänzlich mit der originalen von PARSON erfassten Verkehrsbelastung übereinstimmen muss. Unterschiede ergeben sich allerdings nur dann, wenn es mehrere zeitlich und fahrplanmäßig passende Alternativrouten gibt.

7.3 Quell-/Zielverkehr

Die Auswertung des mit Hilfe von PARSON erhobenen Quell- und Zielverkehrs zeigt, dass der Anteil an Quell- bzw. Zielfahrgästen in den Bezirken, die von einer oder mehreren Straßenbahnlinien angebonden werden, höher ist als in den Bezirken die über keine Straßenbahnbindung verfügen. Die Abbildungen 7.4 und 7.5 zeigen für jeden Bezirk den absoluten Anteil von mit PARSON erfassten Quell- und Ziel-Fahrgästen im Vergleich zu den Modellwerten und den von DILAX erfassten Ein- und Aussteigern. Anzumerken ist, dass die Ein- und Aussteigerzahlen aus DILAX nicht direkt mit den Quell-/Zielverkehrswerten aus PARSON und dem Modell verglichen werden können. Dies liegt daran, dass DILAX technisch bedingt keinen Unterschied zwischen einem Umsteiger und einem Quell-Ein- bzw. Ziel-Aussteiger macht. Ein Umsteiger generiert also bei DILAX mehre Ein- und Ausstiege, während bei PARSON und dem Modell nur ein Weg mit einem Quell-Einstieg und einem Ziel-Ausstieg vorhanden ist.

Gut zu erkennen ist, dass der Anteil von PARSON in den Innenstadtbezirken in etwa einem Zehntel des Anteils des Modells entspricht. In den restlichen Bezirken ist dieser Anteil deutlich niedriger. Diese Unterschiede lassen sich unter anderem mit dem PARSON-Ausrüstungsgrad bei den Bussen (siehe Kapitel 4.2.1) erklären. Gerade in Bezirken, in denen der Anteil an Buslinien höher als der Anteil an Straßenbahnlinien ist, erhöht sich somit die Wahrscheinlichkeit der Nichterfassung – womit auch der Anteil an erfassten Quell-/Ziel-Fahrgästen sinkt. Noch deutlicher wird dieses Bild, bei einer Auswertung des Anteils von PARSON gegenüber dem Modell auf Zellebene (siehe Abbildungen 7.6 und 7.7). Hier zeigt sich, dass einerseits dann ein PARSON-Anteil von über 5 % gegeben ist, wenn die Zelle von einer oder mehreren Straßenbahnlinien tangiert wird. Auffallend ist auch, dass der PARSON-Anteil auch dann höher ist, wenn in einer Zelle bzw. in dessen Nähe eine oder mehrere Schulen zu finden sind – Beispiele dafür sind die Schulen am Fröbelpark oder im Bereich des Hasnerplatzes. Dies ist ein Indiz dafür, dass insbesondere Schüler Bluetooth bei ihren Geräten aktiviert haben. Bestätigt wird dies bei einer genaueren Betrachtung des stundenfeinen PARSON-Quell-/Zielverkehrs (siehe Abbildungen A.7 ff). Gerade in der Morgenstunde von 7 bis 8 Uhr ist der PARSON-Zielverkehr sowie in der Mittagsstunde von 13 bis 14 Uhr der PARSON-Quellverkehr im Bereich von Schulen besonders stark ausgeprägt. Weitere Bluetooth-Nutzergruppen (beispielsweise Berufstätige) die von PARSON erfasst werden, gehen aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig hervor – es finden sich keine Zellen mit stärkeren Belastungen bei denen eine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten Nutzergruppe möglich ist.

Eine Verzerrung zugunsten von PARSON ergibt sich durch den Umstand, dass bei PARSON der Quell- bzw. Zielort immer der Zelle zugeordnet wird, an welcher sich die Quell-Ein-/Ziel-Ausstiegshaltestelle befindet. Im Verkehrsmodell hingegen müssen Quell- bzw. Zielort und Quellein- bzw. Zielausstieg nicht zwangsläufig in der gleichen Zelle liegen, da die Fahrgäste

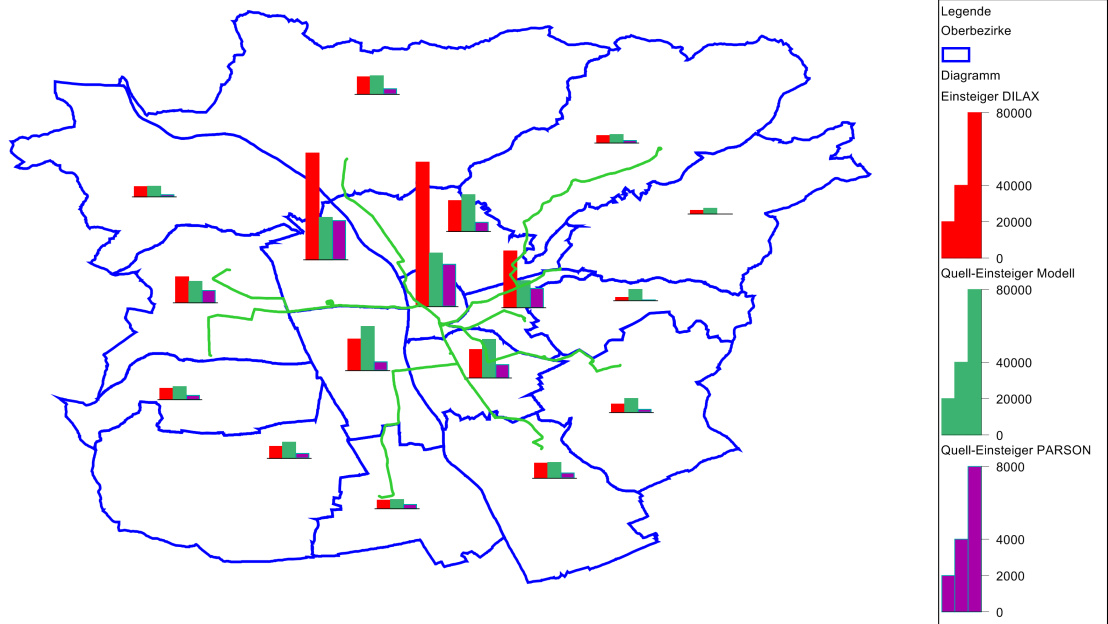


Abbildung 7.4: Quellverkehr absolut auf Bezirksebene

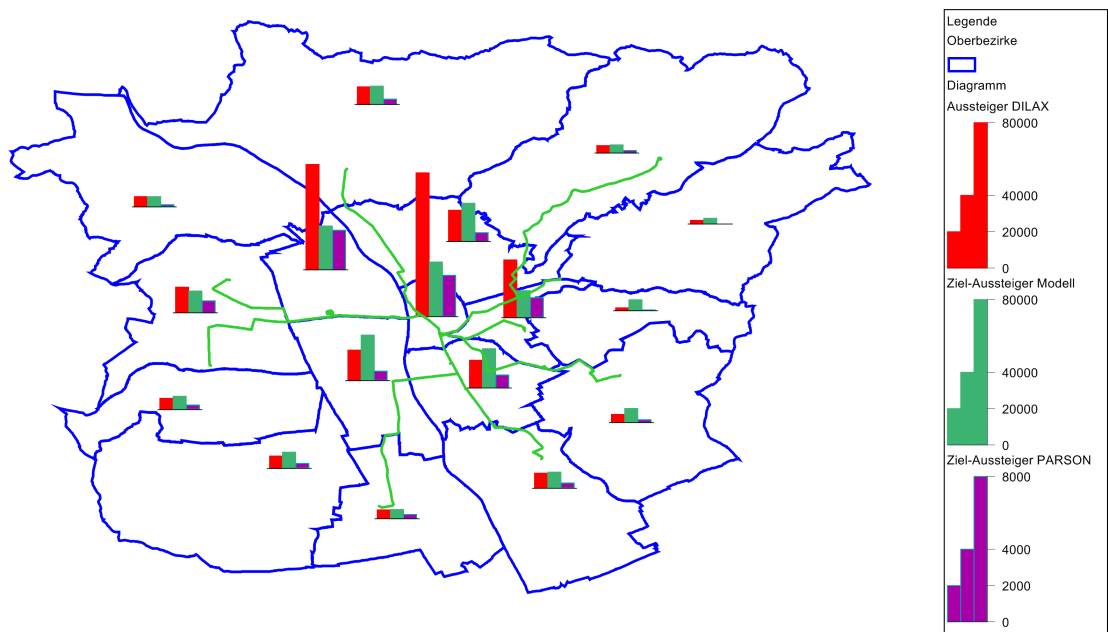


Abbildung 7.5: Zielverkehr absolut auf Bezirksebene

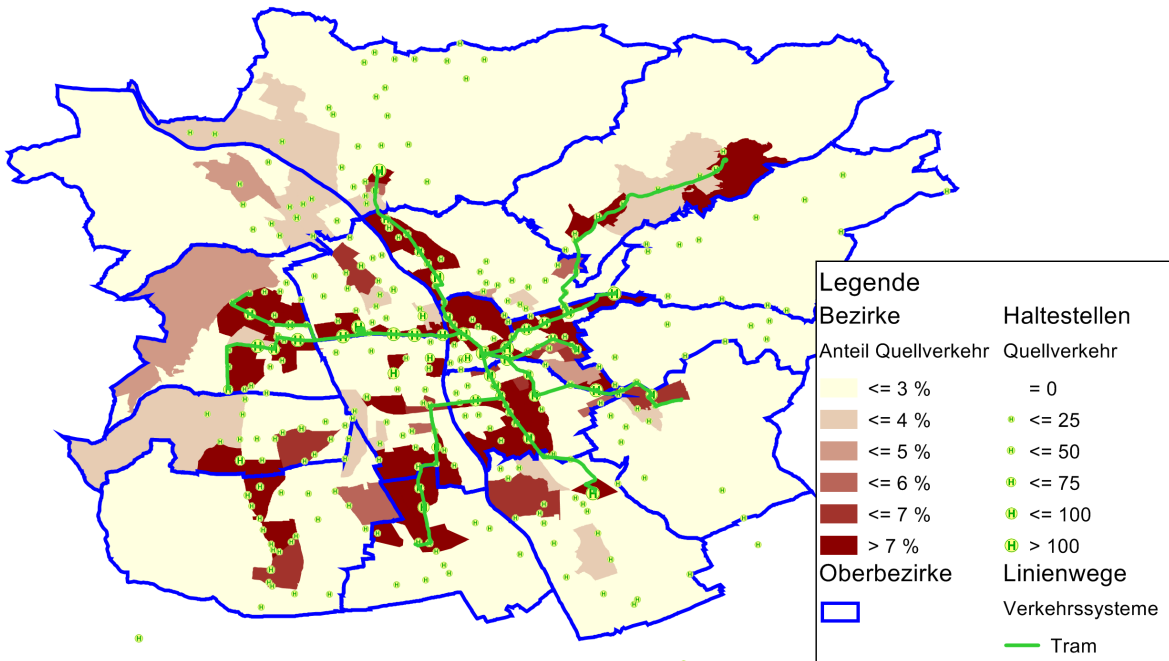


Abbildung 7.6: PARSON-Quellverkehrsanteil bezogen auf den Modellwert auf Zellebene

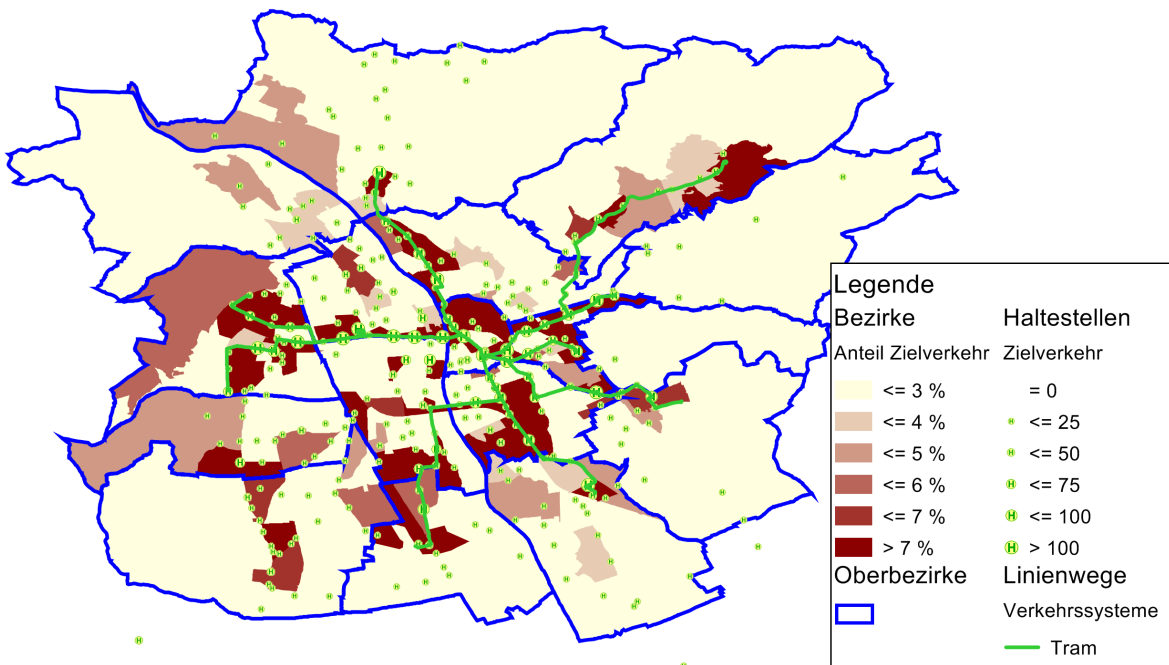


Abbildung 7.7: PARSON-Zielverkehrsanteil bezogen auf den Modellwert auf Zellebene

beispielsweise noch einen Fußweg zu/von ihrer Haltestelle zurücklegen. Dies bedeutet nun, dass es Zellen mit höherem PARSON-Anteil gibt, bei denen die Grundgesamtheit (Modellwert) für diese Zelle zu nieder ist. Beispiele dafür sind die Zellen rund um den IKEA (nähe Center West) oder die Zellen entlang der Grottenhofstraße, der Straßgangerstraße und der Peter-Rosegger-Straße. Eine weitere mögliche Erklärung für den höheren PARSON-Anteil im Bereich der Peter-Rosegger-Straße und der Straßgangerstraße ist der Umstand, dass die Linie 31 werktags nur mit 15 Meter-Bussen betrieben wird und sich hier die im schlimmsten Fall auftretende hohe Erhebungsquote (siehe Kapitel 4.2.1) bemerkbar macht. Dieses Phänomen müsste sich dann allerdings auch entlang der Linien 50 und 77 zeigen. Da dies jedoch nicht der Fall ist, kann diese Erklärung im Falle der Peter-Rosegger-Straße und der Straßgangerstraße nicht zutreffen.

Der deutlich unterschiedliche PARSON-Ausrüstungsgrad verfälscht in weiterer Folge auch die Auswertung des relativen Quell- und Zielverkehrs jeweils bezogen auf die Gesamtmenge (siehe Abbildungen 7.8 und 7.9). Auch hier ist der PARSON-Anteil in den innerstädtischen Bezirken deutlich zu hoch im Vergleich zum Modellwert und teilweise zu nieder in den anderen Bezirken. Unter Berücksichtigung der Auswertungen aus den Abbildungen 7.6 und 7.7 lässt sich folgende Überlegung anstellen:

Bei Vollausrüstung aller Fahrzeuge (Straßenbahn und Bus) mit PARSON werden zum Einen Wege erfasst, die bisher gar nicht erfasst werden, und zum Anderen ändern sich teilweise die Quell- und/oder Zielorte bisher erfasster Wege. In weiterer Folge steigen die absoluten Quell-/Zielverkehrszahlen in den derzeit unterbewerteten Bezirken deutlich an, während die Zahlen in den überbewerteten Bezirken ein wenig absinken. Zudem ergibt sich eine Erhöhung der gesamt erfassten Wege. Letzteres führt dazu, dass die relativen Quell- und Zielverkehrswerte generell absinken. Ersteres führt dazu, dass sich die PARSON-Anteile in den einzelnen Bezirken weiter dem Modellwert annähern – in den bisher deutlich überbewerteten Bezirken sinkt der PARSON-Anteil weiter, in den bisher unterbewerteten Bezirken steigt er wieder.

7.4 Streckenbelastungen

Der Vergleich der Streckenbelastungswerte aus PARSON und dem Modell ergibt ein ähnliches Bild wie in Kapitel 7.3. Auch hier zeigt sich, dass die mit PARSON ermittelten Belastungen entlang der Straßenbahnlinien deutlich höher sind, als entlang der Buslinien – mit Ausnahme einiger weniger Buskorridore (beispielsweise Linien 31, 32, 33 und 40). Die Abbildung 7.10 stellt diese Streckenbelastungen dar. Zusätzlich ist in dieser Abbildung eine Klassifizierung des PARSON-Anteils bezogen auf den Modellwert vorgenommen.

Zu erkennen ist, dass der PARSON-Anteil entlang der Straßenbahnkorridore etwa zwischen 3 % und 6 % liegt. Lediglich auf den äußeren Ästen der Straßenbahnlinien ist dieser Wert unter 3 %. Eine Analyse des PARSON-Anteils bei den Buslinien zeigt, dass der Anteil hier großteils unter 3 % liegt. Nur auf wenigen stärker belasteten Korridoren ist dieser Anteil höher. Anzumerken ist, dass die Belastungswerte für PARSON aus einer Verkehrsumlegung der in das Modell eingespielten PARSON-Quell-/Zielverkehrszahlen entstanden sind. Daher können in Abbildung 7.10 auch Wege vorkommen, die mit PARSON nicht erfassbar sind. Auffällig ist dies insbesondere bei den Eisenbahnlinien vom Hauptbahnhof in den Süden. Auf diesen Strecken darf es eigentlich gar keine PARSON-Belastung geben, da hier keine PARSON Aufzeichnung erfolgt.

Abbildung 7.11 zeigt die modellierte Streckenbelastung. Gut zu erkennen ist, dass die aus PARSON ermittelten Belastungen entlang der Straßenbahnlinien gut mit den Modellwerten

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

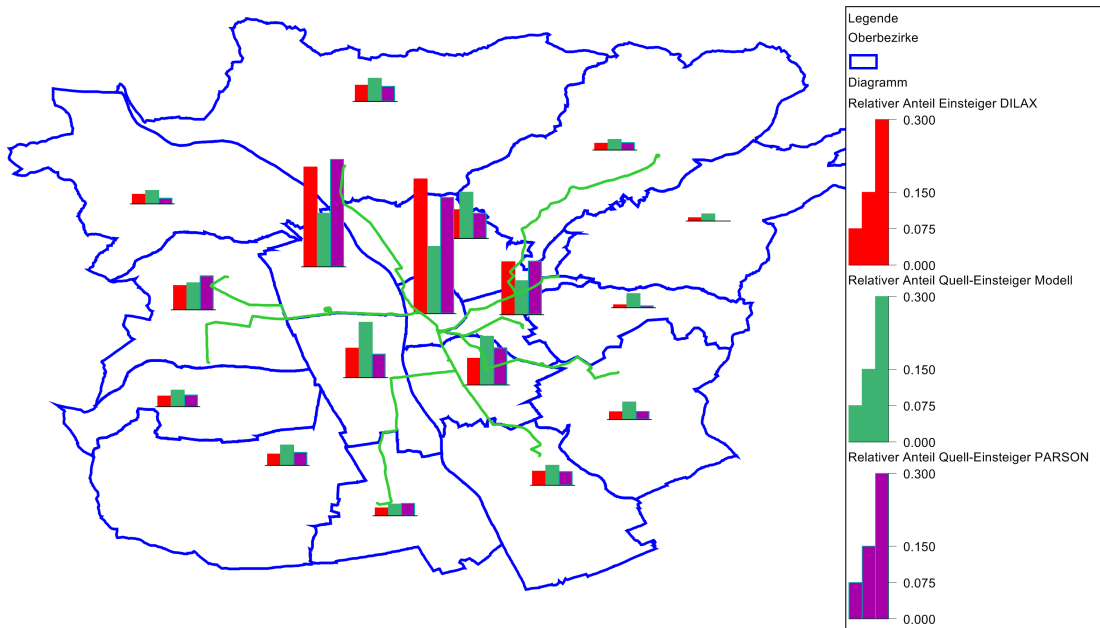


Abbildung 7.8: Quellverkehr relativ auf Bezirksebene bezogen auf die Gesamtmenge

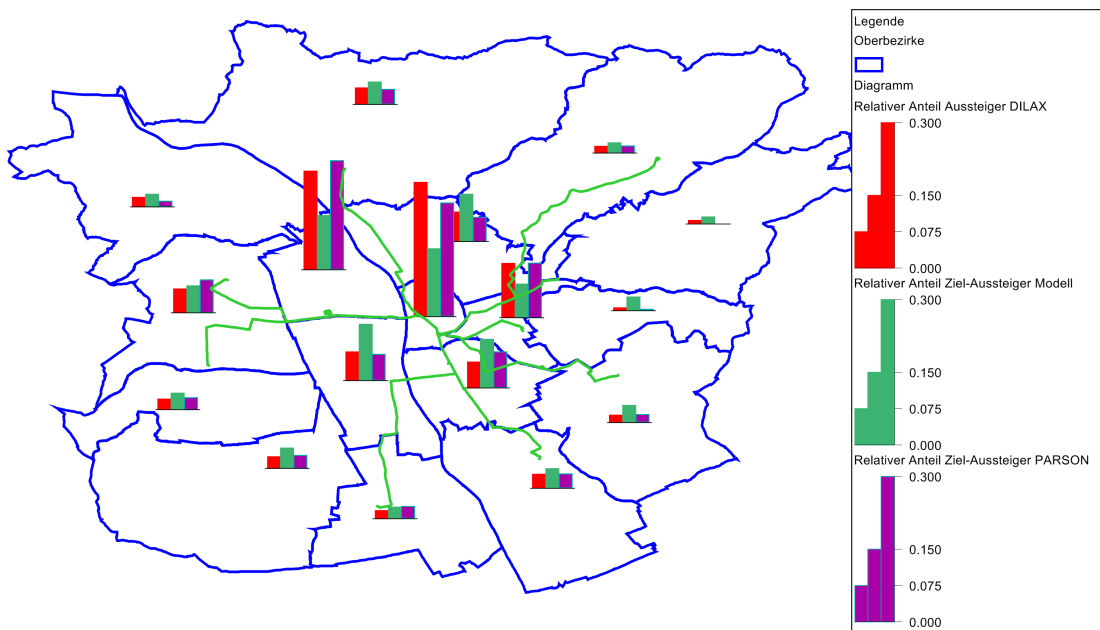


Abbildung 7.9: Zielverkehr relativ auf Bezirksebene bezogen auf die Gesamtmenge

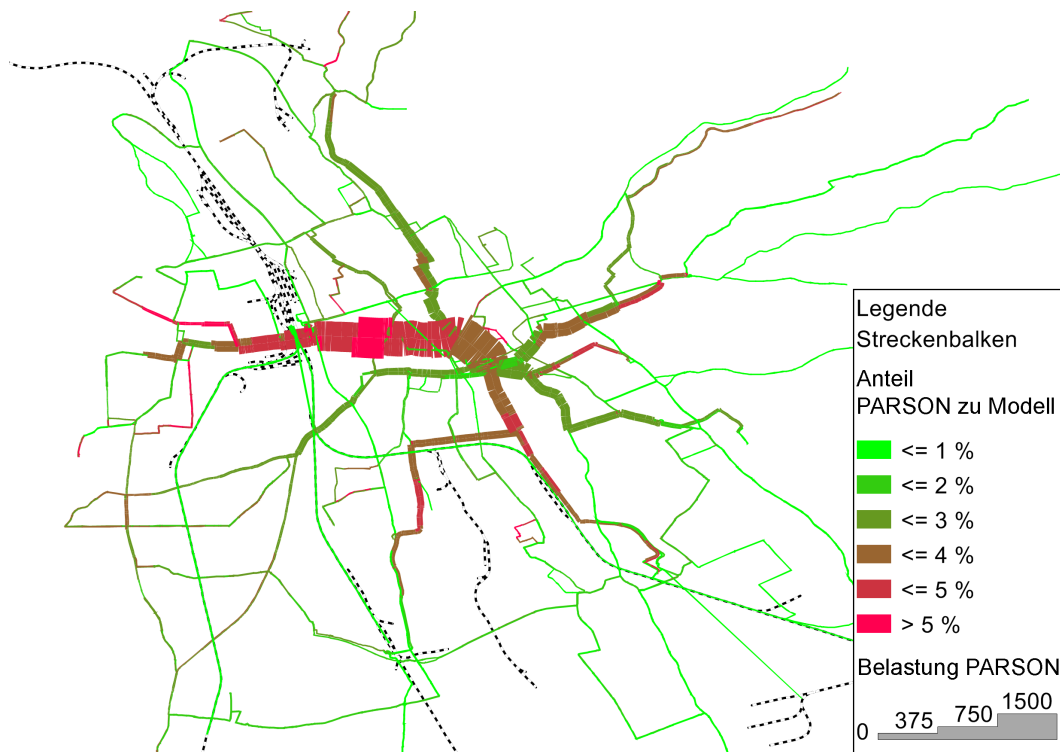


Abbildung 7.10: PARSON-Streckenbelastungen klassifiziert nach dem PARSON-Anteil bezogen auf den Modellwert

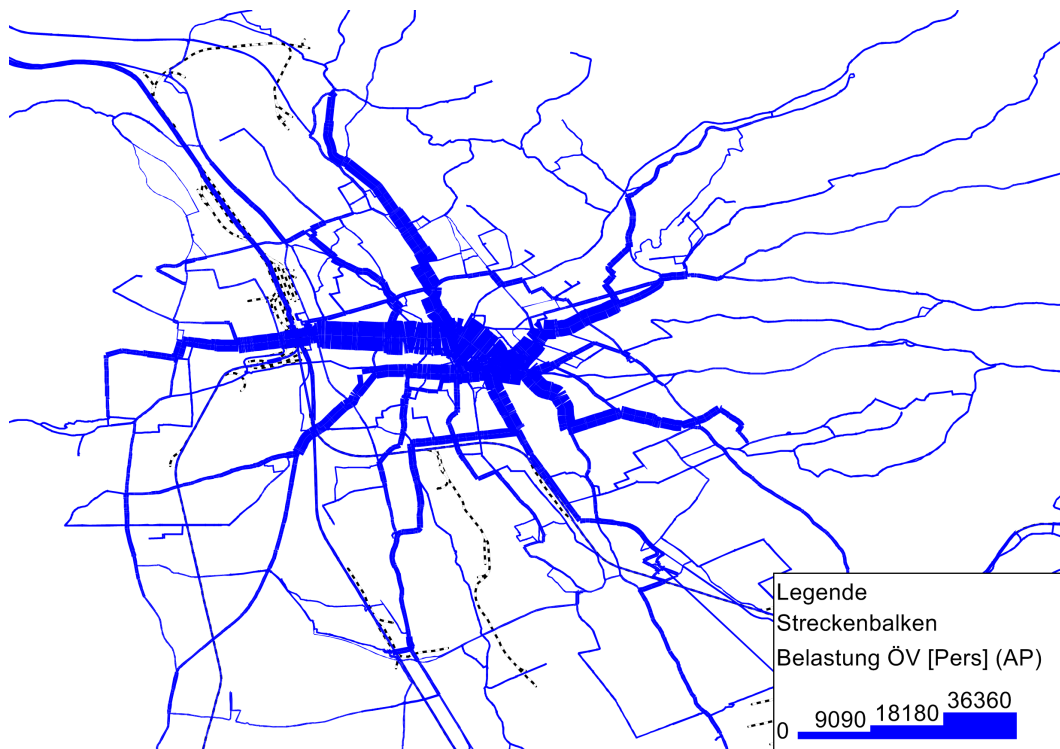


Abbildung 7.11: Modellierte Streckenbelastungen

übereinstimmen – abgesehen von dem Umstand, dass der PARSON-Wert etwa um den Faktor 20 geringer ist. Bei den Buslinien zeigt sich, dass insbesondere bei wichtigen Buskorridoren (beispielsweise Linien 58 und 63) der PARSON-Wert im Vergleich zum Modellwert zu gering ist.

7.5 Hochrechnung

Die Erhebung der Verkehrsnachfrage über das System PARSON stellt eine Teilerhebung dar. Dies liegt einerseits an dem Umstand, dass nicht alle Fahrgäste ein eingeschaltetes Bluetooth-Gerät mit sich führen und andererseits auch nicht alle Fahrzeuge der Holding Graz Linien über einen PARSON-Sensor verfügen. Für die Ermittlung der gesamten über PARSON erfassten Nachfrage ist demzufolge eine Hochrechnung des Teilergebnisses auf die Grundgesamtheit notwendig.

Hochrechnung auf Bezirksebene

Bei dieser Hochrechnungsmethode wird die Gesamtzahl des Quell- bzw. Zielverkehrs des Verkehrsmodells als Grundgesamtheit herangezogen und zunächst der Anteil des gesamten PARSON Quell- bzw. Zielverkehrs bezogen auf den Modellwert berechnet. Ausgehend von diesem Anteilswert wird in weiterer Folge der PARSON Verkehr auf 100 % hochgerechnet. Dies erfolgt, indem der Quell- bzw. Zielverkehr pro Bezirk durch den Anteilswert dividiert wird.

$$Q_{hochgerechnet} = \frac{Q}{\frac{Q_{PARSON ges}}{Q_{Modell ges}}} = Q \cdot \frac{Q_{Modell ges}}{Q_{PARSON ges}}$$

$$Z_{hochgerechnet} = \frac{Z}{\frac{Z_{PARSON ges}}{Z_{Modell ges}}} = Z \cdot \frac{Z_{Modell ges}}{Z_{PARSON ges}}$$

Q :	Quellverkehr PARSON auf Bezirksebene
Z :	Zielverkehr PARSON auf Bezirksebene
$Q_{hochgerechnet}$:	Quellverkehr PARSON hochgerechnet auf Bezirksebene
$Z_{hochgerechnet}$:	Zielverkehr PARSON hochgerechnet auf Bezirksebene
$Q_{PARSON ges}$:	Quellverkehr PARSON gesamt
$Z_{PARSON ges}$:	Zielverkehr PARSON gesamt
$Q_{Modell ges}$:	Quellverkehr Verkehrsmodell gesamt
$Z_{Modell ges}$:	Zielverkehr Verkehrsmodell gesamt

Als Hochrechnungsfaktor ergibt sich hier der Quotient von $Q_{Modell ges}$ zu $Q_{PARSON ges}$ bzw. $Z_{Modell ges}$ zu $Z_{PARSON ges}$. Diese einfache Hochrechnungsmöglichkeit bietet den Vorteil, den gesamten hochgerechneten Quell- und Zielverkehr pro Bezirk rasch ermitteln zu können. Sie hat aber auch wesentliche Nachteile:

- Es wird nur der Quell- bzw. Zielverkehr auf Oberbezirksebene hochgerechnet. Die Hochrechnung ist dadurch nicht sehr präzise.
- Der in den Bezirken doch deutlich unterschiedliche PARSON Quell- bzw. Zielverkehrsquotient (Verkehr pro Bezirk zu Gesamtverkehr, siehe Abbildungen 7.8 und 7.9) bleibt unberücksichtigt. Dies bedeutet, dass diese Unterschiede auch nach der Hochrechnung erhalten bleiben.

- Es wird davon ausgegangen, dass die Modellwerte die Verkehrslage widerspiegeln.

Die Abbildungen 7.12 und 7.13 zeigen den nach dieser Methode hochgerechneten PARSON-Quell- und Zielverkehr auf Bezirksebene. Dabei wurde der Quell bzw. Zielverkehr der Bezirke aus den Abbildungen 7.4 und 7.5 mit folgenden Faktoren hochgerechnet:

$$f_Q = \frac{Q_{Modell\ ges}}{Q_{PARSON\ ges}} = \frac{211.873}{9.681} = 21,9$$

$$f_Z = \frac{Z_{Modell\ ges}}{Z_{PARSON\ ges}} = \frac{214.927}{9.675} = 22,2$$

Insbesondere in den Bezirken, die eine höhere PARSON Erfassungsrate aufweisen und somit auch höhere Quell-/Zielverkehrswerte (Innere Stadt, Lend und St. Leonhard), liefert die Hochrechnung ein Ergebnis, das deutlich über den Modellwerten liegt. In einigen Randbezirken wiederum sind die hochgerechneten Werte unter den Modellwerten. Diese Unterschiede machen den Nachteil dieser Hochrechnungsmethode, dass unterschiedliche PARSON Quell- bzw. Zielverkehrsquotienten keine Berücksichtigung finden, äußerst deutlich. Eine getrennte Hochrechnung der Zahlen des Bezirks Innere Stadt ergibt einen Hochrechnungsfaktor von etwa 13 – in den Bezirken Lend und St. Leonhard liegt dieser Faktor in ähnlichen Bereichen. Der Verkehr in diesen Bezirken wird bei dieser Hochrechnungsmethode mit f_Q bzw. f_Z somit deutlich zu hoch berechnet.

Erweiterung der Hochrechnung auf Bezirksebene

Diese Erweiterung versucht den bei der Hochrechnung auf Bezirksebene bestehenden Nachteil, dass unterschiedliche PARSON Quell- bzw. Zielverkehrsquotienten unberücksichtigt bleiben, zu umgehen. Dies erfolgt, indem der Hochrechnungsfaktor aus dem Kehrwert des Mittelwertes der einzelnen PARSON Anteile der Bezirke berechnet wird.

$$Q_{hochgerechnet} = Q \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{Modell\ ges\ Bezirk\ i}}{Q_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}}}{n} \right)^{-1}$$

$$Z_{hochgerechnet} = Z \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_{Modell\ ges\ Bezirk\ i}}{Z_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}}}{n} \right)^{-1}$$

$Q_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}$:	Quellverkehr PARSON gesamt von Bezirk i
$Z_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}$:	Zielverkehr PARSON gesamt von Bezirk i
$Q_{Modell\ ges\ Bezirk\ i}$:	Quellverkehr Verkehrsmodell gesamt von Bezirk i
$Z_{Modell\ ges\ Bezirk\ i}$:	Zielverkehr Verkehrsmodell gesamt von Bezirk i
n:	Anzahl Bezirke

Diese Hochrechnung lässt sich allerdings nur dann anwenden, wenn sich die Hochrechnungsfaktoren der einzelnen Bezirke nicht zu stark unterscheiden, denn es würden sonst Bezirke mit sehr niedrigen bzw. hohen Quell- bzw. Zielverkehrsquotienten und somit sehr hohen bzw. sehr niedrigen Hochrechnungsfaktoren das Ergebnis der Hochrechnung verfälschen. Aus diesem Grund lassen sich die PARSON-Daten mit dieser Methode nicht hochrechnen.

Hochrechnung auf Zellebene

Diese Hochrechnungsmethode stellt eine Verfeinerung der Hochrechnung auf Bezirksebene dar. Dabei wird der PARSON Quell- bzw. Zielverkehr jeder Zelle mit einem Hochrechnungsfaktor

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

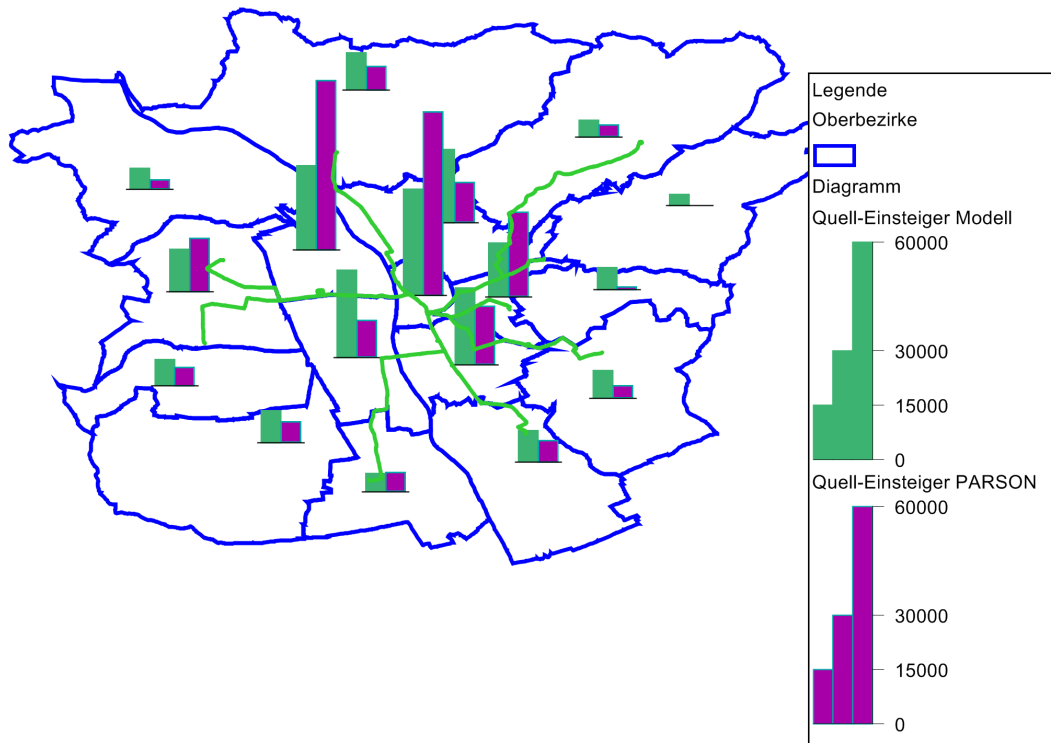


Abbildung 7.12: Hochrechnung des PARSON-Quellverkehrs auf Bezirksebene

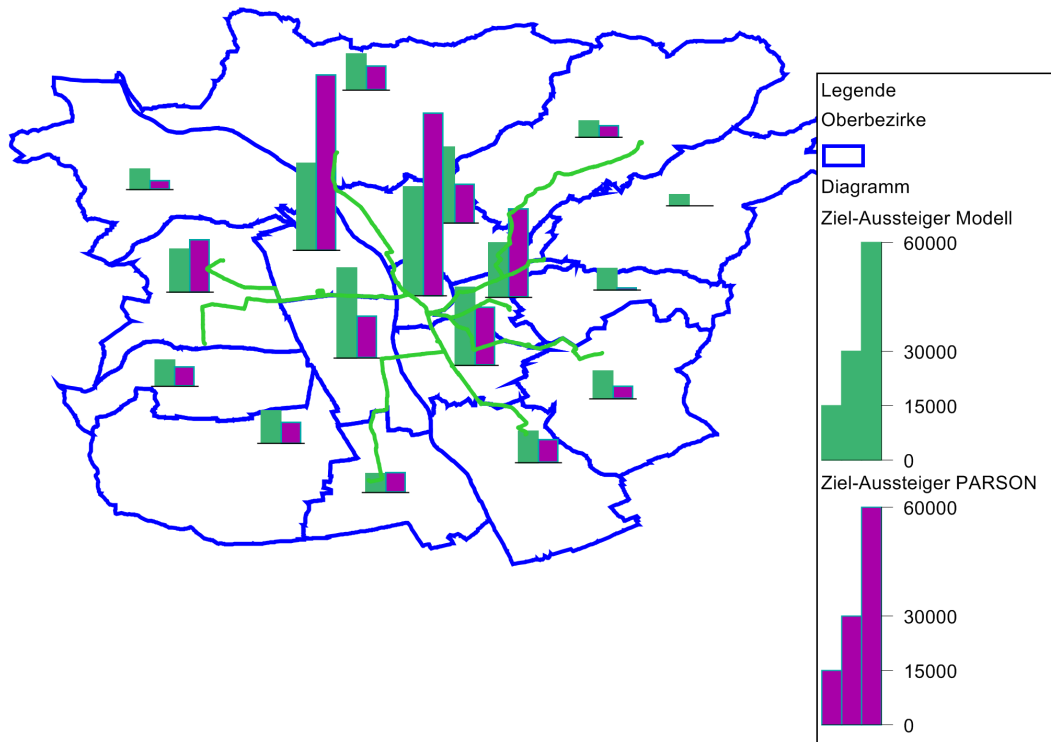


Abbildung 7.13: Hochrechnung des PARSON-Zielverkehrs auf Bezirksebene

multipliziert.

$$Q_{Zelle\ hochgerechnet} = Q_{Zelle} \cdot f_{ij}$$

$$Z_{Zelle\ hochgerechnet} = Z_{Zelle} \cdot f_{ij}$$

$Q_{Zelle\ hochgerechnet}$:	Quellverkehr PARSON hochgerechnet auf Zellebene
$Z_{Zelle\ hochgerechnet}$:	Zielverkehr PARSON hochgerechnet auf Zellebene
Q_{Zelle} :	Quellverkehr PARSON auf Zellebene
Z_{Zelle} :	Zielverkehr PARSON auf Zellebene
f_{ij} :	Hochrechnungsfaktor j des Bezirkes i

Als Hochrechnungsfaktor sind dabei denkbar:

- der Kehrwert des PARSON-Anteils in Bezug auf den Gesamtbezirksverkehr im Modell des jeweiligen Bezirkes

$$f_{i1} = \left(\frac{Q_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}}{Q_{Modell\ ges\ Bezirk\ i}} \right)^{-1}$$

- die Einwohneranzahl des jeweiligen Bezirkes, beispielsweise

$$f_{i2} = \left(1 - \frac{EW_{ges\ Bezirk\ i}}{EW_{ges\ Graz}} \right)^{-1}$$

- eine Kombination aus PARSON-Anteil und Einwohneranzahl, beispielsweise

$$f_{i3} = f_{i1} \cdot \frac{2}{3} + f_{i2} \cdot \frac{1}{3}$$

$Q_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}$:	Quellverkehr PARSON gesamt für Bezirk i
$Z_{PARSON\ ges\ Bezirk\ i}$:	Zielverkehr PARSON gesamt für Bezirk i
$EW_{ges\ Bezirk\ i}$:	Einwohner des Bezirkes i
$EW_{ges\ Graz}$:	Einwohner Graz gesamt

Vorteilhaft bei dieser Hochrechnungsmethode ist, dass die bezirksfeinen Hochrechnungsfaktoren eine Berücksichtigung unterschiedlicher Eigenschaften der einzelnen Bezirke ermöglichen. So lassen sich beispielsweise die unterschiedlichen PARSON Quell- bzw. Zielverkehrsquotienten auf Bezirksebene ausgleichen (Hochrechnungsfaktor f_{i1}). Auch bei dieser Hochrechnungsmethode bleibt der Nachteil bestehen, dass die Modellwerte als Grundlage für die Hochrechnung herangezogen werden.

Streckenfeine Hochrechnung

Alle zuvor gezeigten Hochrechnungsmethoden haben den Nachteil, dass jeweils nur der Quell- bzw. Zielverkehr hochgerechnet wird. Dies bedeutet, dass die erhobene Streckenwahl unberücksichtigt bleibt. Für die Belastung eines Strecken-/Linienabschnittes ist jedoch gerade diese Information von großer Bedeutung. Aus diesem Grund ist eine Hochrechnung der erhobenen Streckenbelastungen notwendig. Dazu sind zwei Möglichkeiten denkbar:

1. Hochrechnung über die Gesamtzahl der durchgeführten Fahrten und des Bluetooth-Verwendungsgrades

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

2. Hochrechnung über die mit DILAX ermittelten Ein- oder Aussteiger

Bei der ersten Methode werden zunächst die erhobenen Streckenbelastungen mit dem Verhältnis der gesamt durchgeführten Fahrten zu den gesamt erhobenen Fahrten hochgerechnet. Anschließend werden die errechneten Streckenbelastungen nochmals durch den Bluetooth-Verwendungsgrad dividiert.

$$B_{\text{hochgerechnet}} = B \cdot \frac{N_{\text{Fahrten durchgeführt}}}{N_{\text{Fahrten erhoben}}} \cdot \frac{1}{1-G}$$

B :	Streckenbelastung
$B_{\text{hochgerechnet}}$:	Streckenbelastung hochgerechnet
$N_{\text{Fahrten durchgeführt}}$:	Anzahl durchgeführter Fahrten
$N_{\text{Fahrten erhoben}}$:	Anzahl erhobener Fahrten
G :	Verwendungsgrad von Bluetooth

Der erste Schritt ist erforderlich, um die Teilausrüstung mit PARSON zu berücksichtigen. Es muss beachtet werden, dass dabei von einer zufälligen und gleichmäßigen Verteilung der PARSON-Fahrzeuge ausgegangen wird. Der zweite Schritt dient zur Berücksichtigung des Bluetooth-Verwendungsgrades – nicht jedes Gerät/jeder Nutzer hat Bluetooth ständig aktiviert. Die Durchführung dieser Hochrechnungsmethode scheitert allerdings an der Ermittlung des Bluetooth-Verwendungsgrades. Dies liegt daran, dass es keine Daten zur Nutzung von Bluetooth gibt und sich diese Nutzung auch nur schwer durch eine Befragung erheben lässt.⁶⁴ Ein weiterer Grund, warum diese Hochrechnung im Falle der PARSON-Daten nicht angewandt werden kann, ist die Tatsache, dass der Straßenbahnpark der Holding Graz Linien im Gegensatz zum Buspark praktisch vollständig mit PARSON ausgestattet ist. Damit ist auch keine gleichmäßige Verteilung der Fahrzeuge mehr gegeben. In weiterer Folge ergibt sich das Problem, dass eine Aufteilung der Daten in Straßenbahn und Bus erforderlich wird und jeder Betriebszweig getrennt hochgerechnet werden müsste. Dies darf allerdings aufgrund dessen, dass es sich um zusammen gehörende Wegedaten handelt, nicht gemacht werden. Es würden sonst Teilwege unterschiedlich hochgerechnet werden und somit auch die hochgerechneten Wege verfälscht werden.

Es muss also eine andere Hochrechnungsmethode zum Einsatz kommen. Als alternativer Hochrechnungsfaktor bietet sich die Verwendung der mit Hilfe von DILAX ermittelten Einsteiger – alternativ können auch die Aussteiger verwendet werden – an. Die Hochrechnung erfolgt indem die erhobenen Streckenbelastungen mit dem Verhältnis der Gesamtanzahl an Einsteigern aus DILAX zur erhobenen Anzahl an Teilwegen (jeder Teilweg entspricht einem Einstieg) multipliziert wird.

$$B_{\text{hochgerechnet}} = B \cdot \frac{N_{\text{Einsteiger DILAX}}}{N_{\text{Teilwege PARSON}}}$$

$N_{\text{Einsteiger DILAX}}$:	Anzahl Einsteiger DILAX
$N_{\text{Teilwege PARSON}}$:	Anzahl Teilwege PARSON

Mit dieser Methode ist es möglich, das Problem des nicht bekannten Bluetooth-Verwendungsgrades zu umgehen. Zu beachten ist allerdings, dass die Ein- bzw. Aussteigerzahlen von DILAX

⁶⁴Alleine die Frage „Haben Sie ein Mobiltelefon mit ständig aktiviertem Bluetooth?“ bleibt von einem Gutteil der Bevölkerung unbeantwortet, da sie es entweder einfach nicht wissen oder mit dem Wort Bluetooth gar nichts anfangen können.

selbst aus einer Hochrechnung gewonnen werden. Dies bedeutet, dass die Grundgesamtheit (Ein-/Aussteiger DILAX) von der Genauigkeit der verwendeten Hochrechnung für die Fahrgastzählung abhängt.

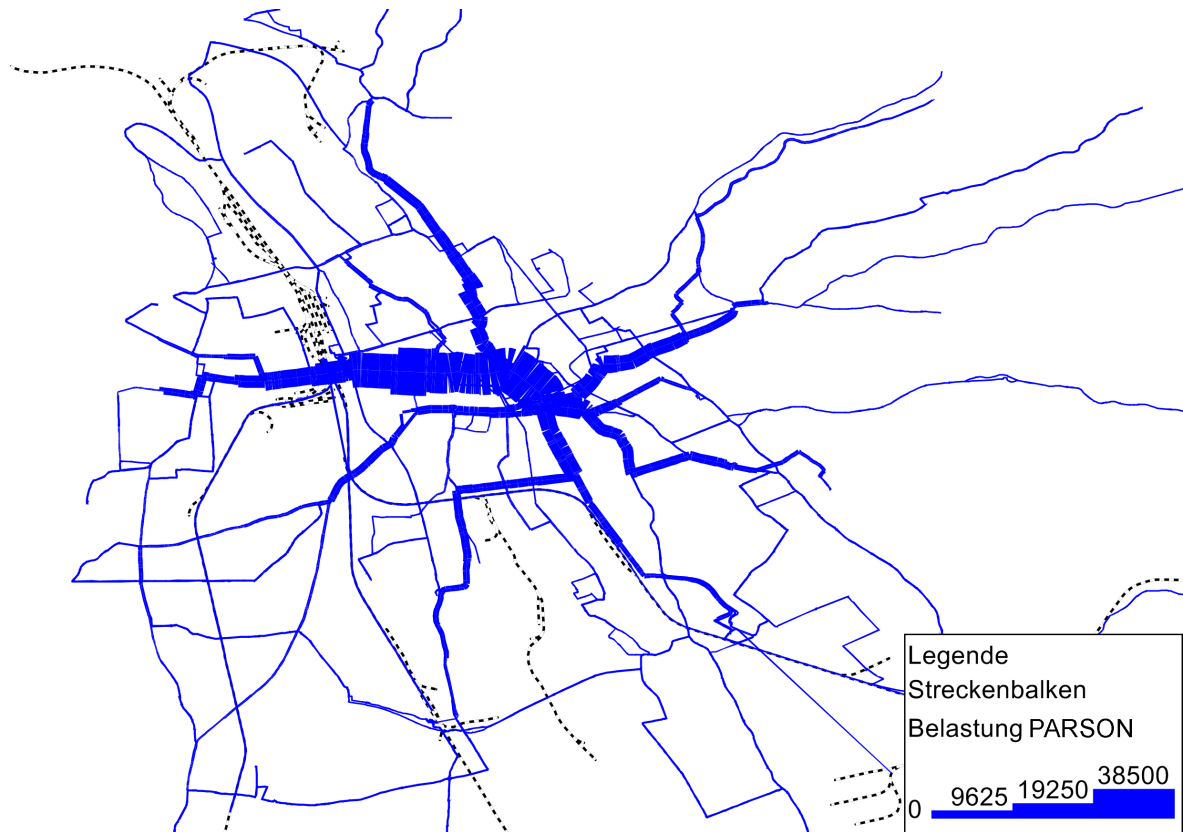


Abbildung 7.14: Hochrechnung der PARSON-Streckenbelastungen

Abbildung 7.14 zeigt die mit dieser Methode hochgerechneten PARSON Streckenbelastungen. Als Hochrechnungsfaktor ergibt sich:

$$f = \frac{N_{\text{Einsteiger DILAX}}}{N_{\text{Teilwege PARSON}}} = \frac{286.091}{10.683} = 26,8 \text{ oder}$$

$$f = \frac{N_{\text{Aussteiger DILAX}}}{N_{\text{Teilwege PARSON}}} = \frac{285.065}{10.683} = 26,7$$

Zu erkennen ist, dass die Belastungen auf einem Großteil der Strecken, die von Straßenbahnen bedient werden, höher sind als die Modellwerte. Auf wichtigen Buskorridoren – beispielsweise Rösselmühlgasse–Lissagasse (Linien 31, 32, 33 und 40) oder Keppelerstraße–Geidorfplatz–Universität (Linien 58 und 63) – liegen die hochgerechneten Belastungen wiederum deutlich unter den Modellwerten. Die unterschiedliche Erhebungsrate zwischen Straßenbahn und Bus lässt den Schluss zu, dass der Hochrechnungsfaktor auch hier zu hoch ist und das Ergebnis der Hochrechnung somit verfälscht. Des Weiteren zeigt sich, dass auf Straßenbahnstrecken auch nur dann eine hohe PARSON-Erfassungsrate gegeben ist, wenn diese stark befahren ist und/oder eine starke Fahrgastfrequenz aufweist. Dies ist insbesondere auf dem Ast der Straßenbahnlinie 1 von der Haltestelle Reiterkaserne in Richtung Mariatrost zu erkennen – hier liegen die hochgerechneten PARSON-Werte unter denen aus dem Modell.

7.6 Knotenstromanalyse

Die Analyse der Ströme an einem Knotenpunkt (z. B. Hauptplatz) stellt eine weitere wichtige Datengrundlage dar. Dabei wird ermittelt, welche Strombeziehungen (Durchfahrer, Umsteiger, Quell-Ein- oder Ziel-Aussteiger) an einem Knoten vorliegen und wie häufig diese auftreten. Werden die Streckenbelastungen mit diesen Daten ergänzt, kann das Angebot eines Liniennetzes einem Vergleich zwischen Bestand und Realität unterzogen werden. Die Knotenstromanalyse ist insbesondere interessant, um Umsteigebeziehungen zu optimieren und somit die Umsteigehäufigkeit zu senken. Die Analyse der Ströme an einem Knoten kann nach der folgenden Methode erfolgen:

1. Zuordnung der Linien die an jedem Knotenarm verkehren.
2. Ermittlung der Ein- und Aussteiger am Knoten jeweils getrennt nach Linie und Richtung.⁶⁵ Es sind dabei zusätzlich die MAC-Adressen, Fahrzeugnummern sowie die Ein- bzw. Ausstiegs-Zeitpunkte zu speichern.
3. Ermittlung der Durchfahrer am Knoten je Linie und Richtung.
4. Generierung der Umsteiger aus 2 abhängig von den Aus- und Wiedereinstiegszeitpunkten. Die Umsteiger sind dabei linien- und richtungsfine aufzuteilen.
5. Berechnung der Ein- und Aussteiger für die in Schritt 4 keine zeitlich passende Kombination aus Aus- und Wiedereinstieg gefunden werden konnte. Bei diesen Fahrgästen handelt es sich um Quell-Ein- bzw. Ziel-Aussteiger in eine Linie.

Da diese Analyse einen sehr großen Implementierungsaufwand benötigt, wird auf die Umsetzung selbiger verzichtet. Stattdessen werden die Umlegungsergebnisse von PARSON mit jenen des Modelles verglichen. Die Tabellen 7.1 und 7.2 zeigen das Verhalten, der an der Haltestelle Hauptplatz ankommenden und abfahrenden Fahrgäste. Gut zu erkennen ist, dass der Anteil der durchfahrenden Fahrgäste bei PARSON und dem Modell in einem ähnlichem Bereich (etwa 72 %) liegt. Weiters zeigt sich, dass der Anteil der Umsteiger bei PARSON deutlich niedriger als im Modell ist.

	Fahrgäste	Ziel-Aussteiger	Umsteiger	Durchfahrer
Modell	63.071	17,4 %	9,6 %	73,0 %
PARSON	2.609	25,7 %	3,6 %	70,7 %

Tabelle 7.1: Verhalten der Fahrgäste die mit der Straßenbahn an der Haltestelle Hauptplatz ankommen

	Fahrgäste	Quell-Einsteiger	Umsteiger	Durchfahrer
Modell	63.296	17,6 %	9,6 %	72,8 %
PARSON	2.564	24,3 %	3,7 %	72,0 %

Tabelle 7.2: Verhalten der Fahrgäste die mit der Straßenbahn an der Haltestelle Hauptplatz abfahren

⁶⁵Um diese Information aus den PARSON-Daten gewinnen zu können, ist die Reihenfolge der Haltestellen jeder Linie zu erstellen. Anschließend kann für jeden PARSON-Teilweg ermittelt werden, ob ein Teilweg an einem zu testenden Knoten beginnt, endet oder durchgeht.

Von	Nach	Umsteiger Modell	Umsteiger PARSON	Differenz zum Modell
Alte Poststraße	Andritz	10,4 %	9,0 %	-1,4 %
Alte Poststraße	Jakominigürtel	11,3 %	13,4 %	2,1 %
Alte Poststraße	St. Peter	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Andritz	Alte Poststraße	11,8 %	12,4 %	0,7 %
Andritz	Andritz	0,2 %	0,1 %	-0,1 %
Andritz	Hauptbahnhof	7,5 %	11,6 %	4,1 %
Andritz	Jakominigürtel	0,0 %	0,1 %	0,1 %
Andritz	Krenngasse	12,6 %	8,4 %	-4,2 %
Andritz	Reiterkaserne	12,5 %	10,6 %	-1,8 %
Andritz	St. Peter	10,8 %	5,9 %	-4,9 %
Hauptbahnhof	Andritz	13,2 %	11,1 %	-2,1 %
Hauptbahnhof	Jakominigürtel	8,1 %	17,2 %	9,1 %
Jakominigürtel	Alte Poststraße	0,1 %	-	-0,1 %
Jakominigürtel	Hauptbahnhof	0,0 %	-	0,0 %
Jakominigürtel	Krenngasse	-	0,0 %	0,0 %
Krenngasse	Alte Poststraße	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Krenngasse	Andritz	0,1 %	-	-0,1 %
Krenngasse	Reiterkaserne	-	0,0 %	0,0 %
Reiterkaserne	Alte Poststraße	0,0 %	-	0,0 %
Reiterkaserne	Andritz	1,0 %	0,0 %	-0,9 %
St. Peter	Alte Poststraße	0,1 %	-	-0,1 %
St. Peter	Andritz	0,4 %	0,1 %	-0,3 %

Tabelle 7.3: Analyse der Umsteiger an der Haltestelle Hauptplatz

7 Vergleich zum Verkehrsmodell

Tabelle 7.3 zeigt eine Analyse der Umsteiger an der Haltestelle Hauptplatz. Es zeigt sich, dass die erfassten Umsteigerrelationen von PARSON im Großen und Ganzen gut mit denen aus dem Modell übereinstimmen. Es gibt nur einige wenige Relationen (beispielsweise Hauptbahnhof–Jakominigürtel oder Andritz–St. Peter) bei denen es zu großen Abweichungen zwischen PARSON und dem Modell kommt.

Für die zuvor aufgezeigten Unterschiede kann es mehrere Ursachen geben. Einerseits besteht die Möglichkeit, dass die Daten im Modell nicht mit der Realität übereinstimmen oder die PARSON-Daten fehlerhaft sind. Andererseits kann der Umstand, dass PARSON großteils nur Schüler erfasste, eine weitere Erklärung für die vorgefundenen Unterschiede sein. Dies liegt daran, dass Schüler ein anderes Quell/Ziel-Verhalten und somit auch ein geändertes Umsteigeverhalten aufweisen können.

8 Resümee

Die Nachfrageermittlung auf Basis von Bluetooth-Daten mit Hilfe des Systems PARSON bietet die Möglichkeit den Fahrgaststrom in einem Liniennetz mit Hilfe eines technischen Systems zu ermitteln. Es entfällt somit die Notwendigkeit der Durchführung von manuellen Befragungen, welche personal-, arbeits- und kostenintensiv sind. Vorteilhaft bei diesem System ist zudem der Umstand, dass mit Bluetooth eine Technik verwendet wird, die in praktisch jedem Mobiltelefon vorhanden ist und somit bei vielen Fahrgästen vorhanden ist. Die einzige Voraussetzung zur Erfassung eines von einem Fahrgast mitgeführten Mobiltelefones oder anderen Bluetooth-fähigen Gerätes stellt die ständige Aktivierung der Bluetooth-Schnittstelle dar. Die Anonymität des Fahrgastes bleibt dabei dadurch gewahrt, dass von PARSON nur die MAC-Adresse aufgezeichnet wird, welche nicht (oder nur mit sehr viel Aufwand) mit anderen Identifikationsmerkmalen des Mobiltelefons (beispielsweise der Telefonnummer oder dem Namen) in Verbindung gebracht werden kann.

Die Auswertung der PARSON-Daten der Holding Graz Linien aus den Jahren 2009 und 2010 zeigt ein differenziertes Bild. Die Anzahl der pro Quartal erfassten Geräte⁶⁶ ist mit 65 Tausend immer annähernd dieselbe. Es lässt sich somit der Schluss ziehen, dass zu einem großen Teil immer dieselben Nutzer erfasst werden. Auch der Prozentsatz an Fehldaten liegt mit durchschnittlich 2,3 % in einem vertretbarem Bereich. PARSON erfasste pro Jahr durchschnittlich 2,7 Millionen Fahrten bzw. 2,5 Millionen Wege. Die Tagesganglinien der erhobenen Fahrten zeigen ein erwartetes Bild – deutliche HVZ-Spitzen Werktags, die Spitze am Freitag ist stärker ausgeprägt und flacht früher ab, die Kurven von Samstag und Sonntag sind deutlich niedriger. Durch den deutlich unterschiedlichen PARSON-Ausrüstungsgrad bei Straßenbahn (88 %) und Bus (31 %) ergibt sich jedoch das Problem, dass die Erhebung nicht gleichverteilt erfolgt. Die Wahrscheinlichkeit der Erfassung ist damit in einer Straßenbahnlinie deutlich höher als in einer Buslinie. Dies spiegelt sich einerseits im Umstand wieder, dass 70 % der Fahrten in Straßenbahnlinien erfasst wurden – realistisch müsste dieser Wert bei 55 % liegen. Andererseits zeigt sich dies zudem im Umstand, dass der Anteil des PARSON-Quell- bzw. Zielverkehrs bezogen auf den Modellwert zu einem großen Teil in den Bezirken bzw. Zellen, die von einer Straßenbahn durchfahren werden, deutlich höher ist als in Bezirken bzw. Zellen die nur von Bussen durchfahren werden. Deutlich wird dies insbesondere auch bei der Analyse der Streckenbelastungen wichtiger Buslinien (beispielsweise Linien 32 oder 63), welche im Vergleich zur Straßenbahn deutlich zu niedrige Belastungen aufweisen. In weiterer Folge hat dieses Ungleichgewicht auch Auswirkungen auf den ermittelten Umsteigefaktor. Dieser liegt bei den mit PARSON erhobenen Daten bei etwa 8 %. Dies ist deutlich zu niedrig – realistisch sind etwa 55 %. Die Erklärung für diesen niedrigen Wert liegt im Umstand, dass Wege⁶⁷ gar nicht oder nicht vollständig erfasst werden. Insbesondere letzteres kann an Umsteigepunkten, bei welchen vom Bus zur Straßenbahn bzw. umgekehrt umgestiegen werden kann, gehäuft auftreten. Auffallend ist auch, dass die Gruppe der Schüler in den Daten überrepräsentiert ist. Es liegt somit der Schluss nahe, dass Bluetooth großteils nur von Schülern verwendet wird und die Erhebung somit nicht vollständig ist.

⁶⁶Jedes Gerät wird hier in einem Quartal immer nur einmal gezählt.

⁶⁷Es kann sich auch um Wege mit Umstiegen handeln.

Die Hochrechnung der PARSON-Daten ist möglich. Es zeigt sich jedoch, dass sich für die Belastungen auf Straßenbahnlinien teilweise zu hohe Werte ergeben und für die Belastung auf Buslinien großteils zu niedrige Werte. Hier macht sich erneut, das Ungleichgewicht im PARSON-Ausstattungsgrad zwischen Straßenbahn und Bus bemerkbar. Bei getrennter Betrachtung von Straßenbahn und Bus ergibt sich für die Straßenbahn ein wesentlich niedrigerer Hochrechnungsfaktor als für den Bus. Eine getrennte Hochrechnung von Straßenbahn und Bus ist allerdings nicht erlaubt – es würden sonst Teilwege unterschiedlich hochgerechnet werden. Es bleibt somit nur die Verwendung des gemittelten Hochrechnungsfaktor von Straßenbahn und Bus, welcher jedoch immer noch höher ist als der Hochrechnungsfaktor der Straßenbahn. In der Folge wird die Belastung auf Straßenbahnlinien zu hoch berechnet und die Belastung auf Buslinien zu nieder.

Die Ermittlung der Verkehrsnachfrage mit Hilfe des System PARSON stellt grundsätzlich einen guten Ansatz dar und kann durchaus nützliche Informationen hervorbringen. Es ist allerdings jedenfalls darauf zu achten, dass die Vorgaben zur statistischen Qualität der erhobenen Daten bei der System-Konzeption beachtet werden. Andernfalls können die erhobenen Daten nicht für eine repräsentative Erhebung verwendet werden.

Ein Problem, das sich zusätzlich seit geraumer Zeit stellt, ist die Tatsache, dass aus Sicherheits- und Energiespargründen bei vielen neueren Geräten die Sichtbarkeit von Bluetooth nicht mehr ständig aktiviert werden kann. Daraus folgt, dass diese für PARSON nicht mehr erfassbar sind. Somit wird in der Zukunft auch die Anzahl der erfassten Geräte sinken und die Qualität der Erhebung negativ beeinflussen. Es muss also eine Nachfolgetechnik für dieses System angedacht werden, das diese Probleme umgeht. Global System for Mobile Communications (GSM) oder ähnliche Techniken scheiden als Alternative aus, da einerseits die Gewährleistung des Datenschutzes nicht gegeben ist – bei GSM ist die Verbindung zum Kunden sehr einfach herzustellen – andererseits ist die feine Auflösung der Bewegungsdaten eines GSM-Teilnehmers nicht immer möglich. Eine denkbare Alternative stellt das Anbieten eines freien Wireless Local Area Network (WLAN)-Zuganges in den Bussen und Straßenbahnen dar. Diese Technik könnte einerseits den Kunden einen ständigen Informationskanal (beispielsweise mit aktuellen Störungsmeldungen) bieten und andererseits den Verkehrsbetrieben weiterhin die Möglichkeit der anonymen Erhebung⁶⁸ der Fahrgastströme geben.

⁶⁸Gleich wie bei Bluetooth braucht nur die MAC-Adresse des WLAN-Clients aufgezeichnet zu werden. Auch diese lässt sich nicht (oder nur mit größerem Aufwand) mit anderen Identifikationsmerkmalen eines Gerätes verknüpfen.

Abkürzungsverzeichnis

- AFZS** Automatisches Fahrgastzählssystem
- BTID** Bluetooth Identification bzw. Bluetooth-Adresse
- CAN** Controller Area Network
- CSV** Comma-Separated Values
- DFÜ** Datenfernübertragung
- FHSS** Frequency Hopping Spread Spectrum
- GFSK** Gaussian Frequency Shift Keying
- GKB** Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH
- GSM** Global System for Mobile Communications
- HVV** Hamburger Verkehrsverbund
- HVZ** Hauptverkehrszeit
- IBIS** Integriertes Bordinformationssystem
- IRMA** InfraRed Most Accurate (Slogan für ein Infrarot-Fahrgastzählssystem der Firma IRIS)
- ISM** Industrial Scientific and Medical
- ISO** Internationale Organisation für Normung, engl. International Organization for Standardization
- ITCS** Intermodal Transport Control System (früher als RBL bezeichnet)
- IV** Individuelle Verkehrsmittel
- LBF** Linienbeförderungsfall
- LKW** Lastkraftwagen
- MAC** Media Access Control
- ÖBB** Österreichische Bundesbahnen
- ÖPNV** Öffentlicher Personennahverkehr
- ÖV** Öffentlicher Verkehr
- PCU** Passenger Counting Unit
- Pkm** Personenkilometer

Abkürzungsverzeichnis

PKW Personenkraftwagen

RBL Rechnergestütztes Betriebsleitsystem

RES Reisendenerfassungssystem

RFID Radio-Frequency Identification

UBF Unternehmensbeförderungsfall

UTC Coordinated Universal Time

WLAN Wireless Local Area Network

Glossar

Access Point Zugangspunkt in einem WLAN-Netzwerk

Bit Kleinste Maßeinheit in der Digitaltechnik: Ein Bit kann entweder 0 oder 1 sein.

Bluetooth Funktechnik die dazu dient räumlich nahestehende Geräte kabellos miteinander zu verbinden.

Byte Maßeinheit in der Digitaltechnik bzw. Informatik: Ein Byte besteht aus 8 Bit.

C++ Genormte Programmiersprache

CAN-Bus Feldbus der eine asynchrone, serielle Datenübertragung über weitere Strecken (bis zu 2 km) ermöglicht.

DILAX Automatisches Fahrgastzählsystem der Firma DILAX

Erhebung Bei einer Erhebung wird der aktuelle Zustand in einem Liniennetz durch Zählungen und/oder Befragungen analysiert.

Ethernet Standardisiertes kabelgebundenes Datennetz mit Übertragungsgeschwindigkeiten ab 10 Megabit/s

Extrapolation Die Übertragung der Ergebnisse auf erweiterte Bezugsgesamtheiten ist eine Extrapolation. Der Unterschied zu einer Hochrechnung besteht darin, dass bei der Extrapolation auch solche Bereiche mitbetrachtet werden, die in der Stichprobe von vornherein ausgeschlossen sind. Hauptanwendungsfall ist die Übertragung von Ergebnissen von kurzzeitigen Erhebungen auf größere Zeiträume. [Vdv10]

Fahrgaststromanalyse Analyse des Verhaltens der Fahrgäste in einem Liniennetz. Dabei werden die auftretenden/geführten Routen im Netz erhoben.

Fahrgastzählung Zählung der ein-/aussteigenden Fahrgäste in einem Verkehrsmittel.

Uhrzeitformat 24+ Bei Verkehrsbetrieben teilweise übliche Darstellung der Uhrzeit. Die Nachtstunden ab 0 Uhr bis Betriebsschluss, die logisch noch zum vorhergehenden Tag gehören, werden von 24 Uhr beginnend weiter fortgesetzt – 2.05 Uhr wird dann zum Beispiel als 26.05 Uhr codiert.

Grundgesamtheit Als Grundgesamtheit wird in der Statistik die Menge aller statistischen Einheiten bezeichnet, welche die selben Identifikationsmerkmale aufweisen (beispielsweise die Menge der Einwohner einer Stadt).

Hochrechnung Die Übertragung von Mittelwerten aus einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit, die aus der die Stichprobe berechnet wurde, wird Hochrechnung genannt. [Vdv10]

- Integer** Vorzeichenbehafteter Datentyp in der Informatik: Ein Integer besteht aus 4 Byte (-32.768 – 32.767).
- Kurs** Ein Kurs bezeichnet bei Öffentlichen Verkehrsmitteln ein einzelnes Fahrzeug, das eine Linie bedient. Auf jeder Linie gibt es 1 bis n Kurse. Die Anzahl dieser Kurse hängt u.a. von der Länge der Linie ab.
- Map** Datentyp in der Informatik: Mit dieser wird ein Verzeichnis von Schlüssel-Werte (Key-Value) Paaren ermöglicht, wobei jeder Schlüssel eindeutig sein muss.
- Modal Split** Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf die verschiedenen Verkehrsmittel
- PARSON** Automatisches Fahrgaststromanalyse-System entwickelt von der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH. PARSON steht für „Passenger Registration System Based On Bluetooth and Satellite Navigation“.
- pyroelektrisch** Von der Pyroelektrizität abgeleiteter Begriff. Bei dieser wird die Eigenschaft von einigen Kristallen ausgenutzt, dass diese auf eine Temperaturveränderung mit einer Ladungstrennung und somit mit einer Spannungsveränderung reagieren.
- RS232** Standardisierte serielle Schnittstelle zur Datenübertragung. Diese wird bei Computern oft verwendet.
- RS485** Standardisierte differentielle, serielle Schnittstelle zur Datenübertragung. Diese zeichnet sich durch eine höhere Toleranz gegenüber elektromagnetischen Störungen aus. Im Gegensatz zu anderen Schnittstellen sind bei der RS485 nur die elektrischen Übertragungsspezifikationen definiert, das verwendete Protokoll muss vom Anwender selbst definiert werden.
- statistischer Bezirk** Unter einem statistischen Bezirk wird die Unterteilung einer Stadt, eines Bezirkes oder eines Landes in einen politischen Sprengel verstanden.
- std::string** Datencontainer für einen String (eine Zeichenkette) aus der C++-Standardbibliothek
- Strukturgröße** Die Strukturgrößen bilden die Eigenschaften eines räumlichen Gebietes ab. Zu ihnen zählen die Bevölkerungsdaten, die Raumstrukturdaten und die Gelegenheiten (die Ziele) eines Gebietes.
- Unsigned Integer** Nicht vorzeichenbehafteter Datentyp in der Informatik: Ein unsigned Integer besteht aus 4 Byte (0 – 65.535).
- Verkehrsmodell** Ein Modell das zur Modellierung der Verkehrsnachfrage dient.
- VISUM** Software zur Generierung von Verkehrsmodellen

Abbildungsverzeichnis

2.1	Kategorisierung von Ortsveränderungen	15
2.2	Befragungsbogen für eine Fahrgastbefragung	17
2.3	Prinzip der Fahrgastzählung Szenario 1	18
2.4	Prinzip der Fahrgastzählung Szenario 2	19
2.5	Prinzip der Fahrgaststromanalyse Szenario 1	20
2.6	Prinzip der Fahrgaststromanalyse Szenario 2	21
2.7	Beispiel für Tagesganglinien im Stadtverkehr	23
2.8	Routenwahl zwischen zwei Verkehrszellen	25
3.1	Untersuchungsfeld einer Erhebung mittels AFZS	27
3.2	Aspekte zum Einsatz von AFZS	29
3.3	Statistische Anforderungen von AFZS	30
3.4	Struktur statistischer Fehler	31
3.5	Struktur der Messfahrtenplanung	32
3.6	Stichproben- und Ausrüstungsumfang	32
3.7	Zufällige Auswahl der Messfahrten	34
3.8	Systemaufbau eines AFZS	36
3.9	Erfassungsbereiche der aktiven und passiven Komponente eines Infrarot-Sensors	38
3.10	Charakteristisches Höhenprofil einer Person	38
3.11	Bild eines Stereobild-Kamerasystems und erzeugtes Höhenprofil	39
4.1	Generierung der Personenfahrten aus E-Ticketing-Daten	42
4.2	Funktionsprinzip von PARSON	44
4.3	Gültige und ungültige Bluetooth Geräte bei Bedienung aller Haltestellen . . .	45
4.4	Gültige und ungültige Bluetooth Geräte bei Durchfahren einer Haltestelle . .	45
5.1	Mögliche Parallelfahrt von Fahrzeugen auf zwei Linien	53
5.2	Zeitliche Abfolge einer Parallelfahrt	54
5.3	Algorithmus zur Ermittlung der Wegezahlen	59
6.1	Mit PARSON erfasste Fahrten und Geräte	63
6.2	Erfasste Linienfahrten im ersten Quartal 2009	66
6.3	Absolute Tagesganglinien für die 3. Woche des Jahres 2009	66
7.1	Relative Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2009 . .	70
7.2	Relative Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2010 . .	70
7.3	Durchschnittliche relative Tagesganglinien einer Woche (werktags) im Vergleich zu den durchschnittlichen Ganglinien aus DILAX und aus dem Modell	71
7.4	Quellverkehr absolut auf Bezirksebene	73
7.5	Zielverkehr absolut auf Bezirksebene	73
7.6	PARSON-Quellverkehrsanteil bezogen auf den Modellwert auf Zellebene . . .	74
7.7	PARSON-Zielverkehrsanteil bezogen auf den Modellwert auf Zellebene	74

7.8	Quellverkehr relativ auf Bezirksebene bezogen auf die Gesamtmenge	76
7.9	Zielverkehr relativ auf Bezirksebene bezogen auf die Gesamtmenge	76
7.10	PARSON-Streckenbelastungen klassifiziert nach dem PARSON-Anteil bezogen auf den Modellwert	77
7.11	Modellierte Streckenbelastungen	77
7.12	Hochrechnung des PARSON-Quellverkehrs auf Bezirksebene	80
7.13	Hochrechnung des PARSON-Zielverkehrs auf Bezirksebene	80
7.14	Hochrechnung der PARSON-Streckenbelastungen	83
A.1	Absolute Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2009 . .	102
A.2	Absolute Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2010 . .	102
A.3	Relative Tagesganglinien (Montag bis Freitag) für die 3. Woche des Jahres 2009	103
A.4	Relative Tagesganglinien (Samstag und Sonntag) für die 3. Woche des Jahres 2009	103
A.5	Modellierte Streckenbelastungen	104
A.6	Hochrechnung der PARSON-Streckenbelastungen	104
A.7	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 4 bis 5 Uhr	105
A.8	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 4 bis 5 Uhr	105
A.9	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 5 bis 6 Uhr	106
A.10	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 5 bis 6 Uhr	106
A.11	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 6 bis 7 Uhr	107
A.12	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 6 bis 7 Uhr	107
A.13	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 7 bis 8 Uhr	108
A.14	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 7 bis 8 Uhr	108
A.15	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 8 bis 9 Uhr	109
A.16	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 8 bis 9 Uhr	109
A.17	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 9 bis 10 Uhr	110
A.18	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 9 bis 10 Uhr	110
A.19	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 10 bis 11 Uhr	111
A.20	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 10 bis 11 Uhr	111
A.21	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 11 bis 12 Uhr	112
A.22	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 11 bis 12 Uhr	112
A.23	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 12 bis 13 Uhr	113
A.24	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 12 bis 13 Uhr	113
A.25	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 13 bis 14 Uhr	114
A.26	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 13 bis 14 Uhr	114
A.27	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 14 bis 15 Uhr	115
A.28	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 14 bis 15 Uhr	115
A.29	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 15 bis 16 Uhr	116
A.30	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 15 bis 16 Uhr	116
A.31	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 16 bis 17 Uhr	117
A.32	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 16 bis 17 Uhr	117
A.33	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 17 bis 18 Uhr	118
A.34	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 17 bis 18 Uhr	118
A.35	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 18 bis 19 Uhr	119
A.36	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 18 bis 19 Uhr	119
A.37	Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 19 bis 20 Uhr	120
A.38	Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 19 bis 20 Uhr	120

A.39 Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 20 bis 21 Uhr	121
A.40 Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 20 bis 21 Uhr	121
A.41 Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 21 bis 22 Uhr	122
A.42 Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 21 bis 22 Uhr	122
A.43 Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 22 bis 23 Uhr	123
A.44 Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 22 bis 23 Uhr	123
A.45 Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 23 bis 0 Uhr	124
A.46 Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 23 bis 0 Uhr	124

Tabellenverzeichnis

2.1	Aufbau einer Nachfragematrix	22
4.1	Fahrzeuge der Holding Graz Linien die über PARSON/DILAX verfügen . . .	43
4.2	Busse der Holding Graz Linien die über PARSON verfügen	43
6.1	Wege mit/ohne Umstiegen im Jahr 2009	64
6.2	Wege mit/ohne Umstiegen im Jahr 2010	64
6.3	Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 1 bis 36) . .	65
6.4	Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 39 bis 64) . .	65
6.5	Pro Tag erfasste Linien in der 3. Woche des Jahres 2009 (Linien 64E bis 85) .	65
7.1	Verhalten der Fahrgäste die mit der Straßenbahn an der Haltestelle Hauptplatz ankommen	84
7.2	Verhalten der Fahrgäste die mit der Straßenbahn an der Haltestelle Hauptplatz abfahren	84
7.3	Analyse der Umsteiger an der Haltestelle Hauptplatz	85
A.1	Umsteiger zwischen den einzelnen Linien an der Haltestelle Hauptplatz Teil 1	125
A.2	Umsteiger zwischen den einzelnen Linien an der Haltestelle Hauptplatz Teil 2	126

Literaturverzeichnis

- [Bas10] Martin Bastians. „Pragmatische Lösungen zu AFZS bei großen Flotten“. Hamburger Hochbahn AG. In: *Seminar „Einsatz automatischer Fahrgastzählssysteme in der Praxis des ÖPNV“*. beka GmbH. 5. Mai 2010.
- [Bim04] *Fragebogen für eine Fahrgastbefragung*. B.I.M. OG, 2004.
- [Dil08] *Datenblatt Tür-Sensor IRS-320. Version 1.0*. DILAX Intelcom GmbH, 24. Apr. 2008.
- [Dil09a] *Datenblatt Steuergerät BBM-WEB/ETH. Version 1.5*. DILAX Intelcom GmbH, 5. Jän. 2009.
- [Dil09b] *Datenblatt Türslave TSL-998. Version 1.8*. DILAX Intelcom GmbH, 30. Juni 2009.
- [Dil10] *Fahrgastzählung und Fahrgastverlaufsanalyse*. DILAX Intelcom GmbH, 2010. URL: http://www.dilax.com/pdf/Fahrgastzaehlung_DE.pdf.
- [Dil11] *Datenblatt Passenger Counting Unit (PCU)-250. Version 3.1*. DILAX Intelcom GmbH, 23. Aug. 2011.
- [Fel10] Martin Fellendorf. *Skriptum zur Vorlesung „Verkehrsplanung“*. Wintersemester 2010/2011. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, TU Graz, 2010.
- [FSE08] Kurt Fallast, Antony Scholz und Heinrich W. Ekam. „Sichere Basis für Verkehrsplanung. Erfassung von Fahrgastströmen via Bluetooth“. In: *Der Nahverkehr 9-2008* (2008), S. 72–74.
- [Ger10] Marian Gerstenbruch. „Verwendung von Zähldaten unterschiedlicher Quellen für unterschiedliche Anforderungen“. DB Vertrieb GmbH. In: *Seminar „Einsatz automatischer Fahrgastzählssysteme in der Praxis des ÖPNV“*. beka GmbH. 6. Mai 2010.
- [Gra09] *Geschäftsbericht 2009*. Graz AG, 2009. URL: <http://www.holding-graz.at/dl.php?file=fileadmin/holdinggraz/HoldingGraz/Geschaeftsbericht-web.pdf>.
- [Hof11] Georg Hofer. „Verkehrsnachfrageermittlung mittels Bluetooth Erfassung im ÖV-Netz der Graz Linien“. In: *Trends in der ÖPNV-Planung*. Tagungsband 9. Sommerakademie. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, TU Graz. Sep. 2011.
- [Iri09] *Technische Dokumentation IRMA der 4. Generation. Teil: Infrarotsensoren 8xxx: 8Ko01, 8Ko04, 8Ko05*. iris-GmbH, Feb. 2009. URL: http://www.irisgmbh.de/pdf/DB_8Ko01-8Ko04-8Ko05-20090202-d.pdf.
- [Iri10a] *IRMA MATRIX Technische Information. iris infrared intelligent sensors*. iris-GmbH, Sep. 2010. URL: http://www.irisgmbh.de/pdf/IRMA%20Matrix_de.pdf.
- [Iri10b] *Technische Dokumentation IRMA der 4. Generation. Teil: Infrarotsensoren 8xxx: 8KT01, 8KT04*. iris-GmbH, 7. Sep. 2010. URL: http://www.irisgmbh.de/pdf/DB_8KT01-8KT04-20100907-d.pdf.

- [ISO04] *International Standard ISO 8601. Data elements and interchange formats – Information interchange – Representation of dates and times*. Third Edition. International Organization for Standardization (ISO). 1. Dez. 2004.
- [Kep+05] Bernhard Keppeler u. a. „Nutzung des E-Ticketings für die Analyse der Verkehrsnachfrage. Demonstration am Beispiel Tampere in Finnland“. In: *Der Nahverkehr* 6/2005 (2005), S. 3–10.
- [Mgi10] *Datenblatt EYEONEsmart Personenzählsensor*. MG Industrieelektronik GmbH, Sep. 2010.
- [Olt10] Christine Oltrogge. „Erkenntnisse zu Nachfrageganglinien aus automatischen Zählgeräten“. WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH. In: *Seminar „Einsatz automatischer Fahrgastzählssysteme in der Praxis des ÖPNV“*. beka GmbH. 6. Mai 2010.
- [Rab08] Manfred Rabe. „Nachfrageschwankungen im ÖPNV sicher ermitteln und bewerten“. In: *Der Nahverkehr* 6/2008 (2008), S. 41–44.
- [RKS08] Anna Barbara Remund, Anke Kronacher und Andreas Schmidt. „Automatische Fahrgastzählung erhöht Genauigkeit und Effizienz“. In: *Der Nahverkehr* 5/2008 (2008): *Schwerpunkt Automatisierung*, S. 25–30.
- [Sau08] Martin Sauter. *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme. Von UMTS und HSD-PA, GSM und GPRS zu Wireless LAN und Bluetooth Piconetzen*. 3. erweiterte Auflage. Friedrich Vieweg & Sohn Verlag und GWV Fachverlage GmbH, 2008.
- [SOC10] Rainer R. Stephan, Achim Oberwörmeier und Sadik Cakmak. „Wie zuverlässig sind Zählsysteme?“. In: *Der Nahverkehr* 7-8/2010 (2010), S. 25–29.
- [Sta10] Manfred Starck. „Handhabung von AFZS in Zugverbänden mit Mehrfachtraktion“. Hamburger Verkehrsverbund (HVV). In: *Seminar „Einsatz automatischer Fahrgastzählssysteme in der Praxis des ÖPNV“*. beka GmbH. 5. Mai 2010.
- [Tøn12] Claus Tøndering. *The Week. How can I calculate the week number?* Juni 2012. URL: <http://www.tondering.dk/claus/cal/week.php#calcweekno>.
- [Vdv07] Arbeitsgruppe Automatische Fahrgastzählssysteme (AFZS) des Ausschusses für Informationsverarbeitung, Hrsg. *VDV Schrift* 457 (2007-05): *Rahmenlastenheft Automatische Fahrgastzählssysteme (AFZS)*.
- [Vdv10] Arbeitsgruppe „Datengewinnung“ des Unterausschusses „Statistik“ des Ausschusses für Recht und Wirtschaft, Hrsg. *VDV Schrift* 951 (2010-08): *Gewinnung und Verknüpfung von Nachfragedaten im ÖPNV*.
- [Vis11a] *VISUM 12.0 Benutzerhandbuch*. PTV AG, 23. Nov. 2011.
- [Vis11b] *VISUM 12.0 Grundlagen*. PTV AG, 23. Nov. 2011.
- [Wal10] Stefan Walter. „Nachfrageorientierte Liniennetzoptimierung am Beispiel Graz“. Masterarbeit. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, TU Graz, Sep. 2010.
- [WH08] Johannes Weinzerl und Wolfgang Hagemann. „Automatische Erfassung von Umsteigern per Bluetooth-Technologie“. In: *Nahverkehrs-praxis* 3-2008 (2008), S. 27–28.

Anhang A: Grafische Darstellungen und tabellarische Auswertungen der PARSON-Daten

Anhang A: Darstellungen und Auswertungen der PARSON-Daten

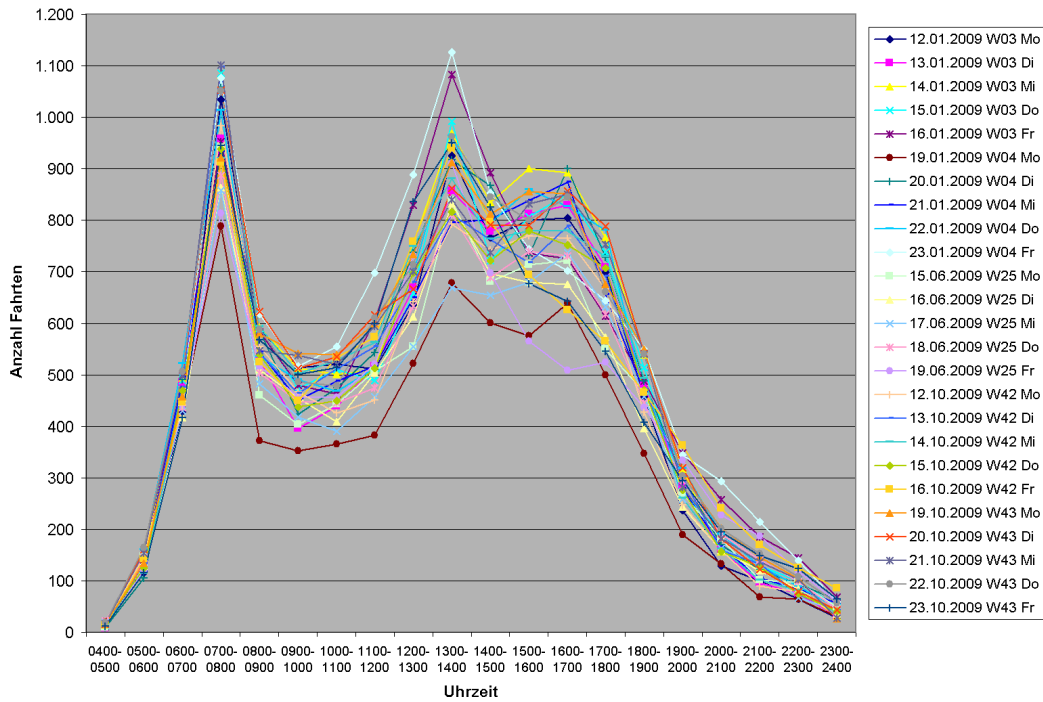


Abbildung A.1: Absolute Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2009

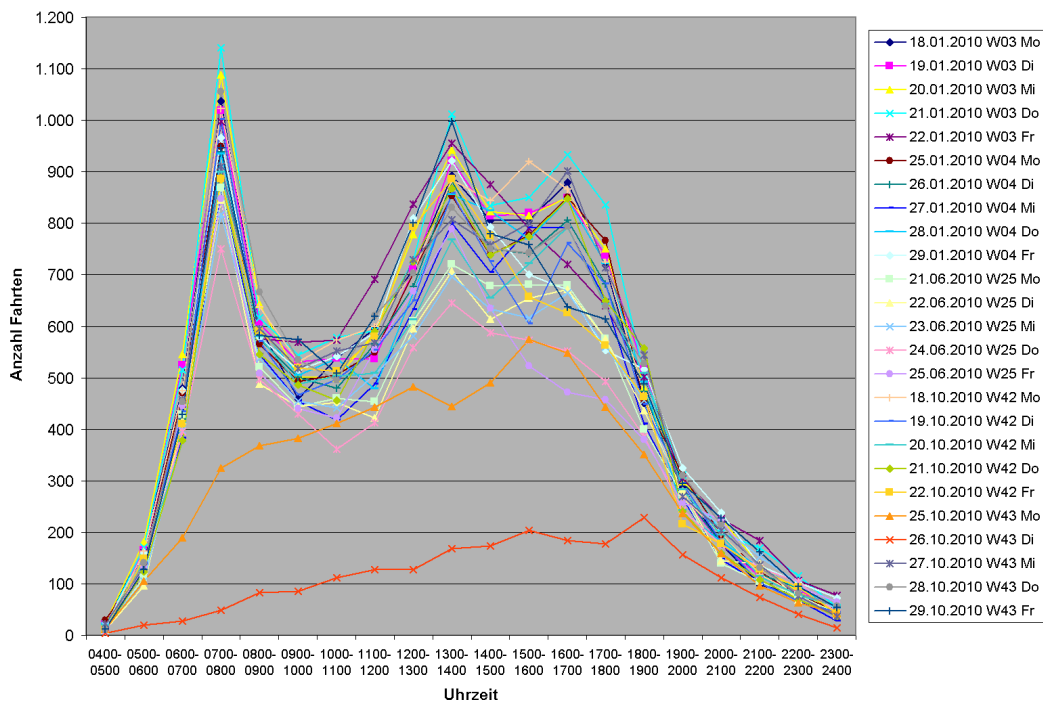


Abbildung A.2: Absolute Tagesganglinien der Wochen 3, 4, 25, 42 und 43 des Jahres 2010

Anhang A: Darstellungen und Auswertungen der PARSON-Daten

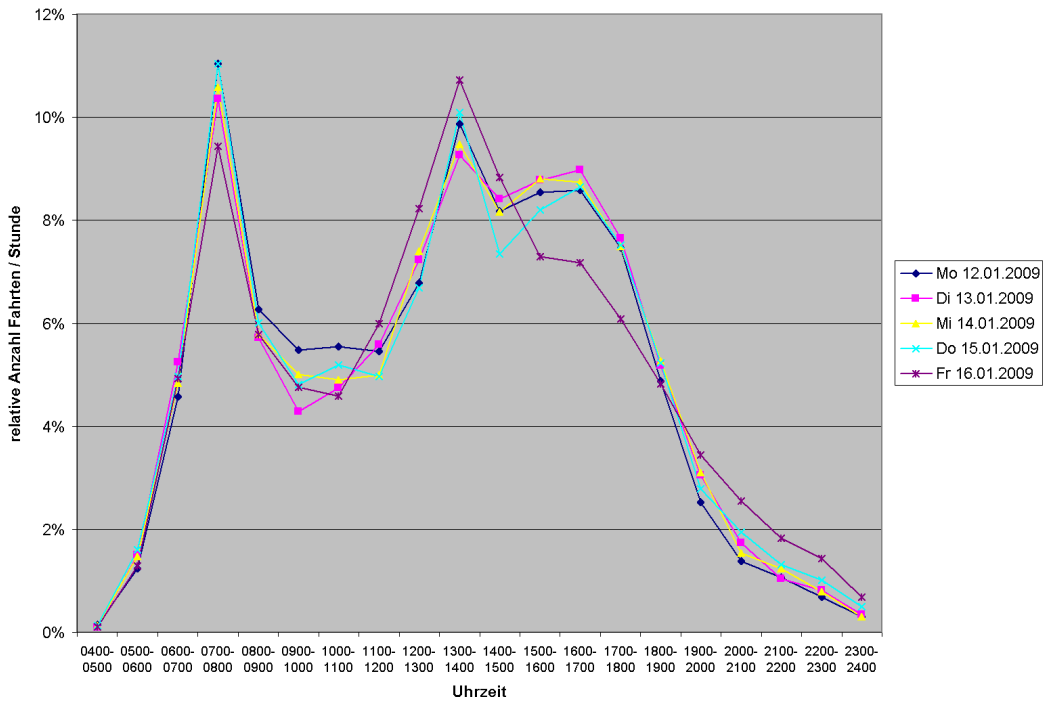


Abbildung A.3: Relative Tagesganglinien (Montag bis Freitag) für die 3. Woche des Jahres 2009

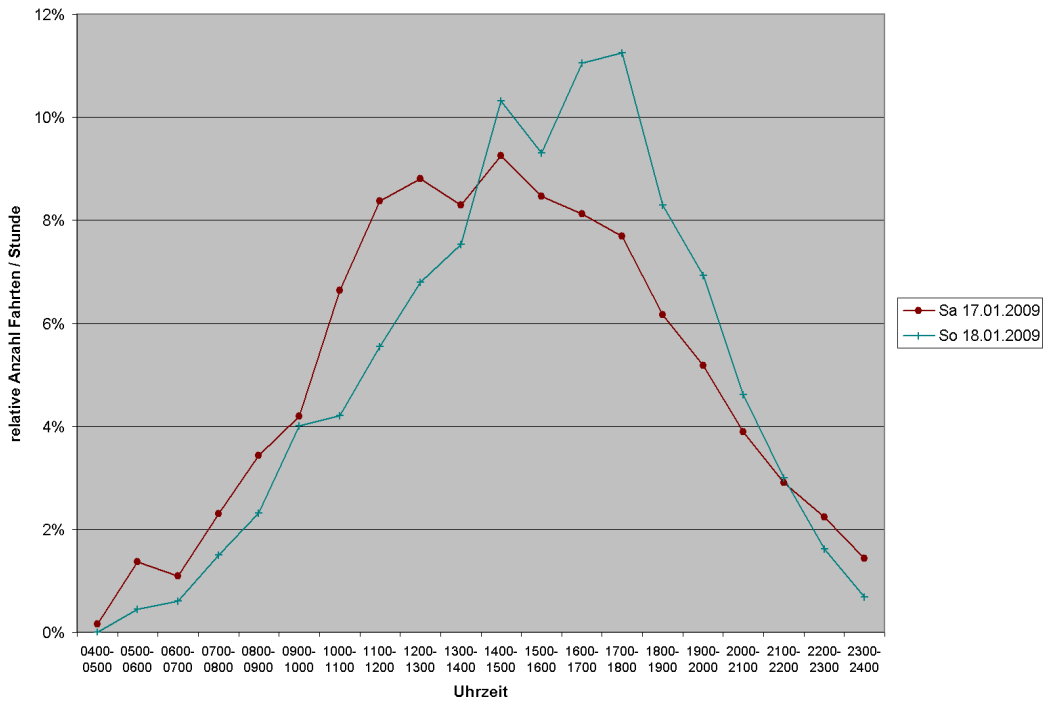


Abbildung A.4: Relative Tagesganglinien (Samstag und Sonntag) für die 3. Woche des Jahres 2009

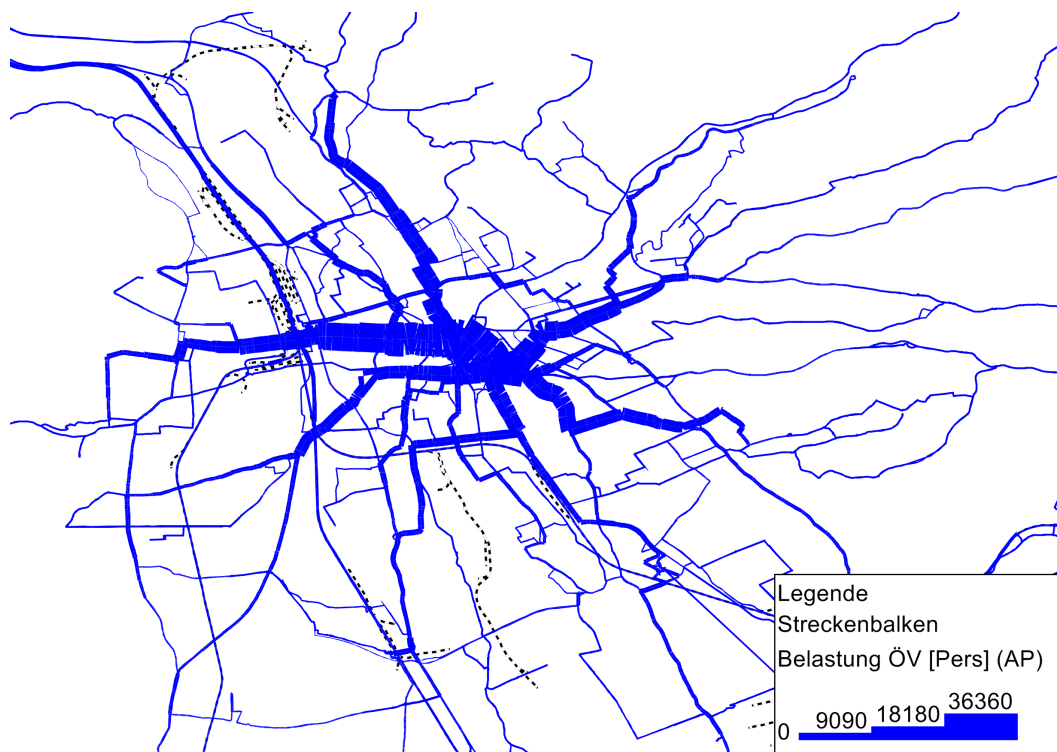


Abbildung A.5: Modellierte Streckenbelastungen

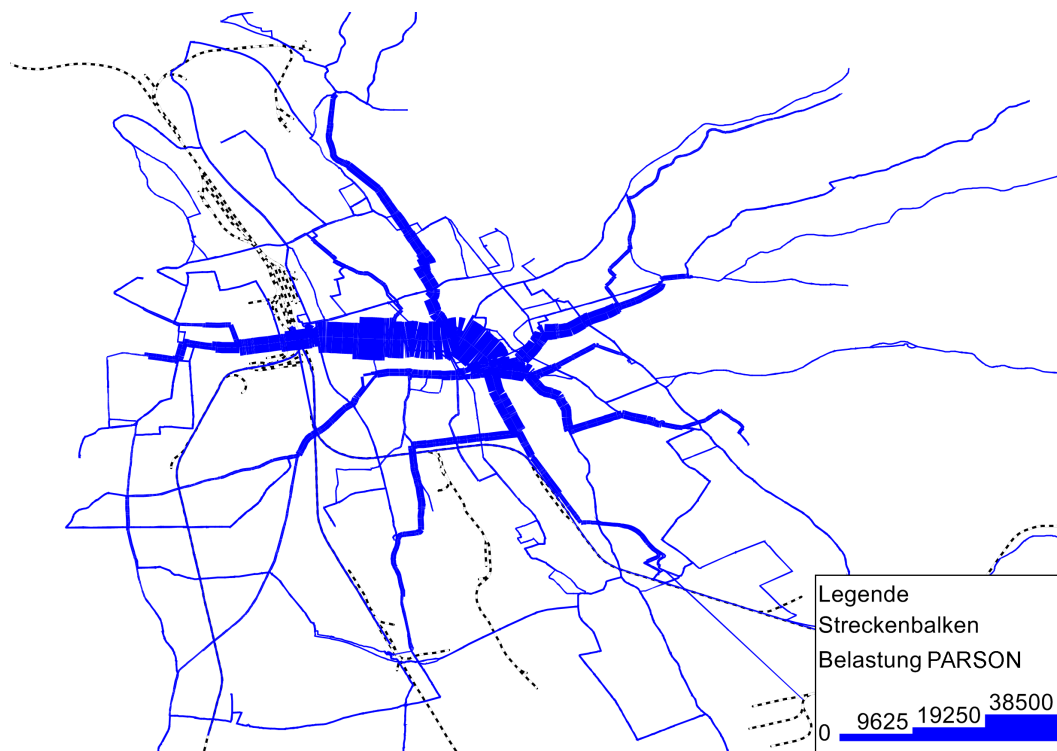


Abbildung A.6: Hochrechnung der PARSON-Streckenbelastungen

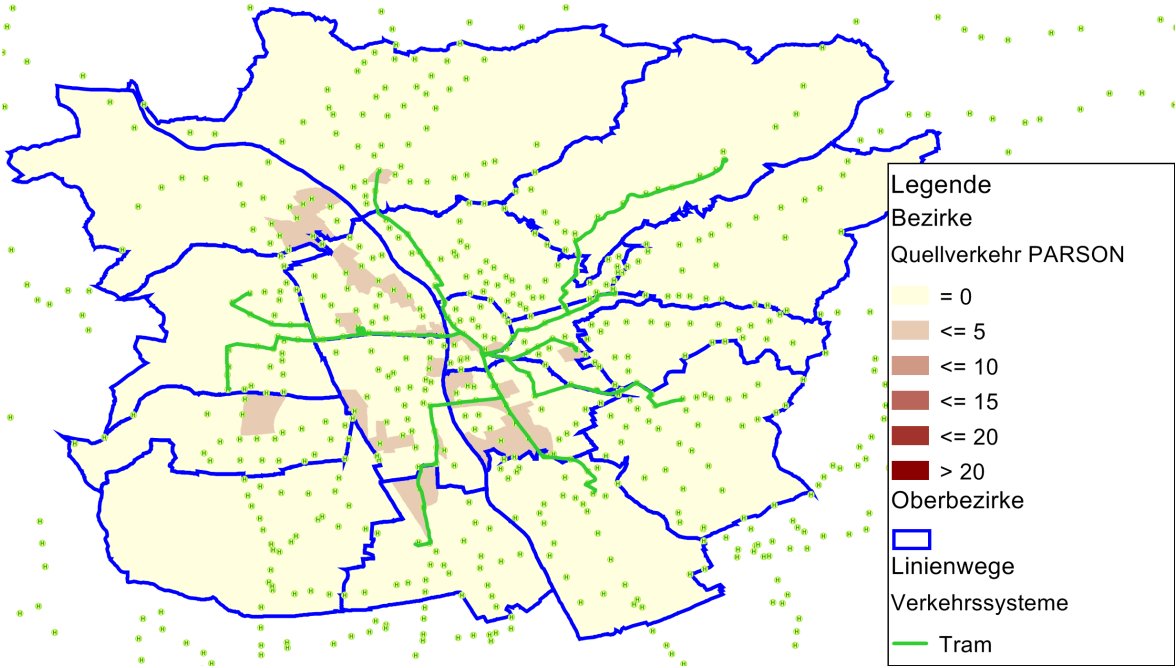


Abbildung A.7: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 4 bis 5 Uhr

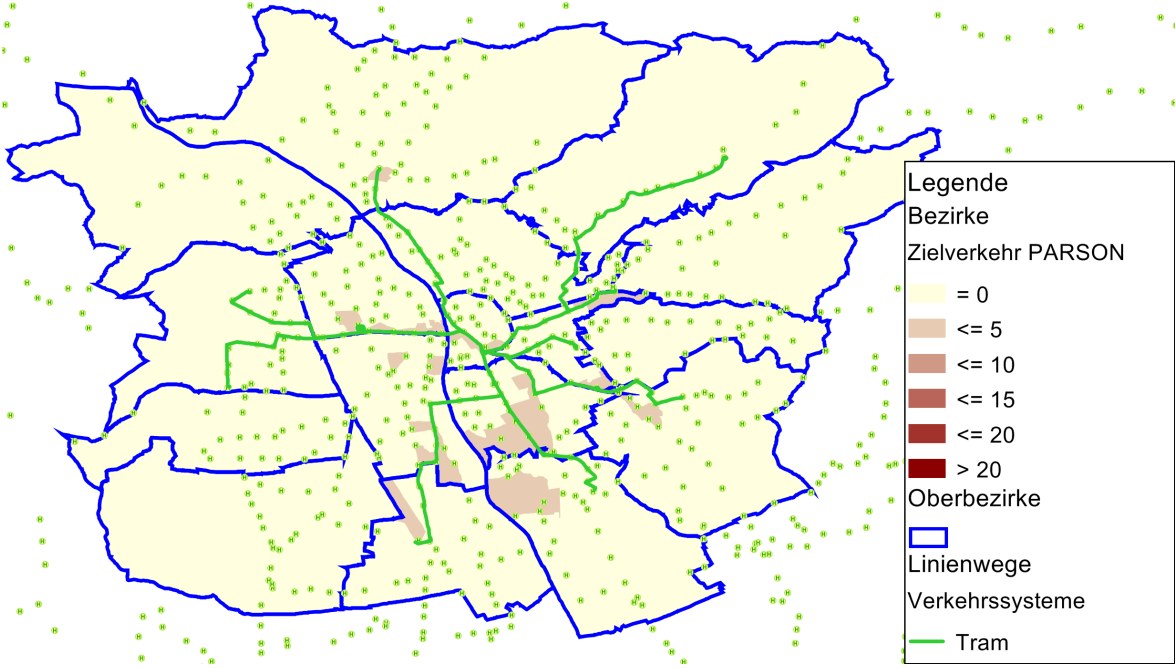


Abbildung A.8: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 4 bis 5 Uhr

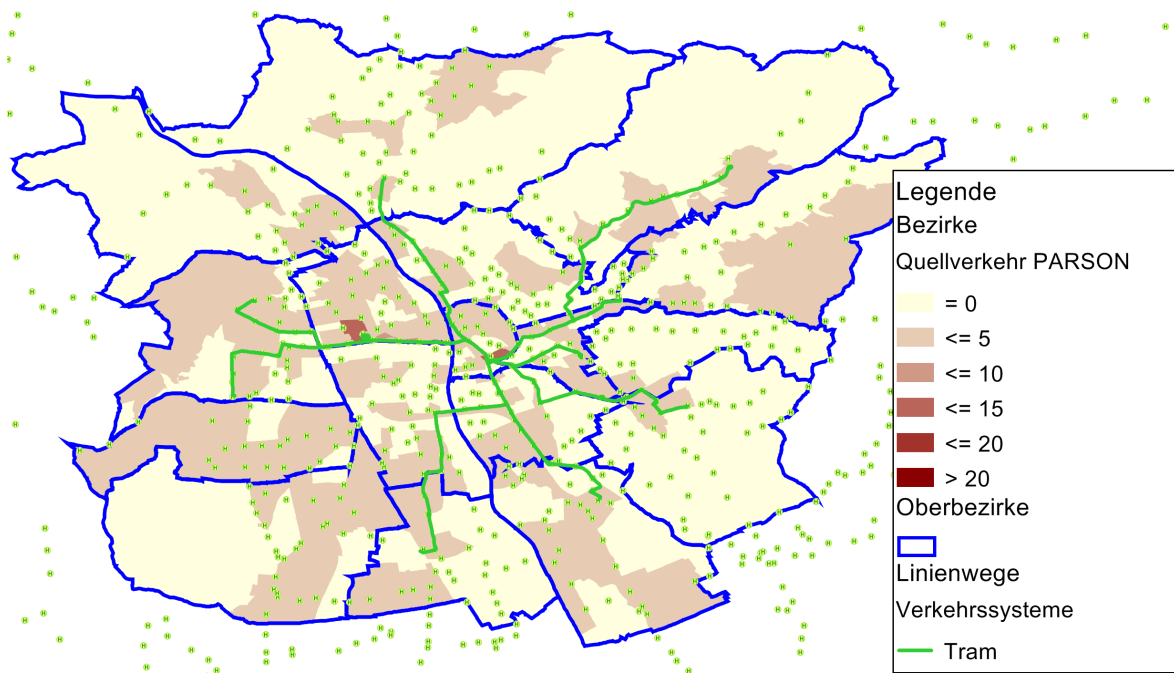


Abbildung A.9: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 5 bis 6 Uhr

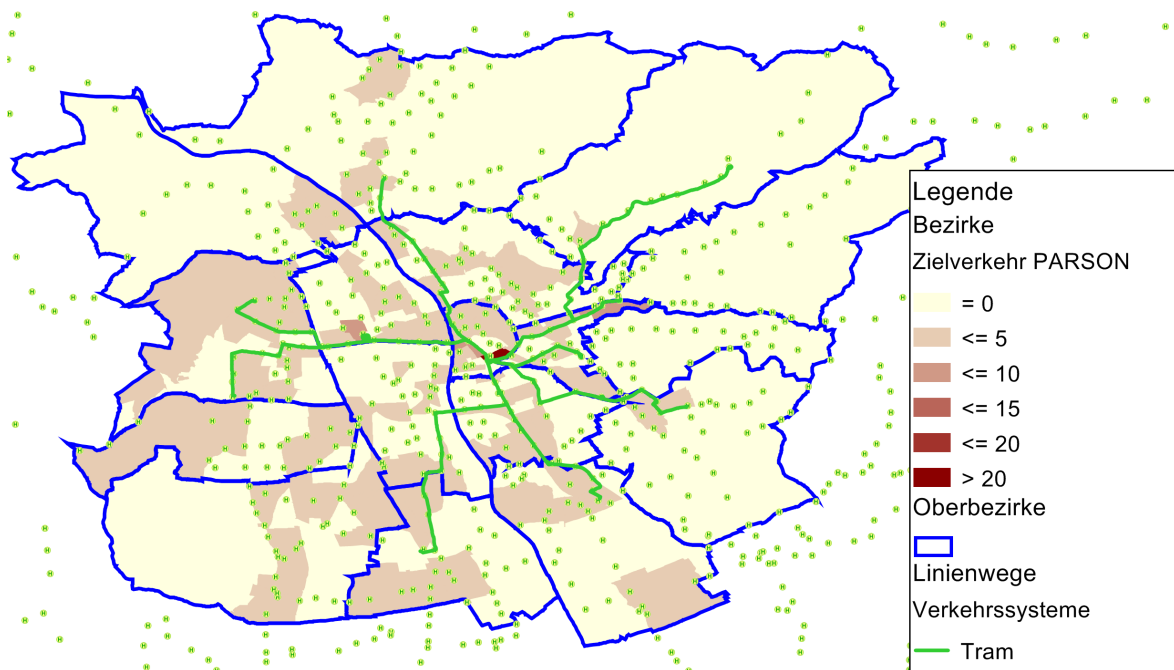


Abbildung A.10: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 5 bis 6 Uhr

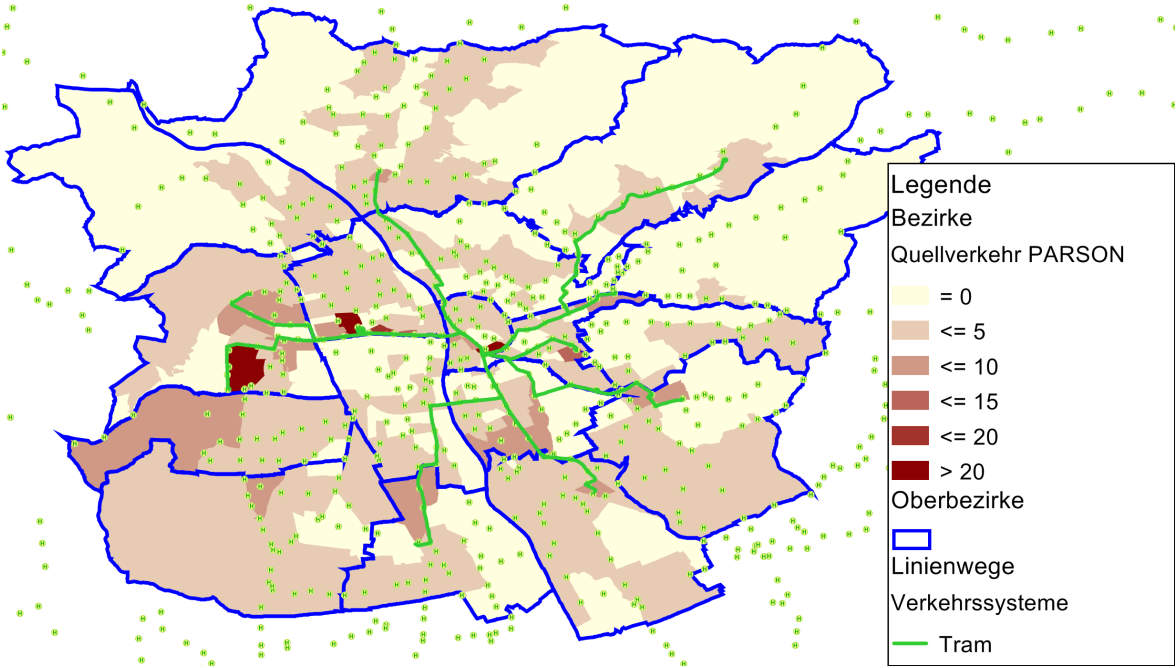


Abbildung A.11: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 6 bis 7 Uhr

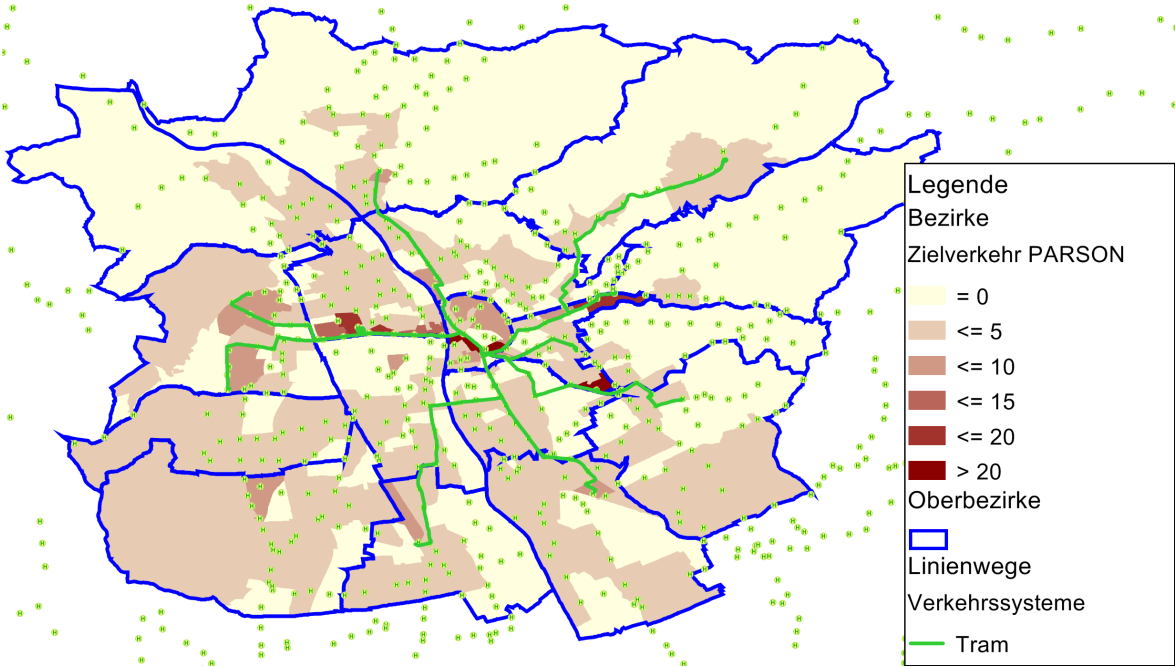


Abbildung A.12: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 6 bis 7 Uhr

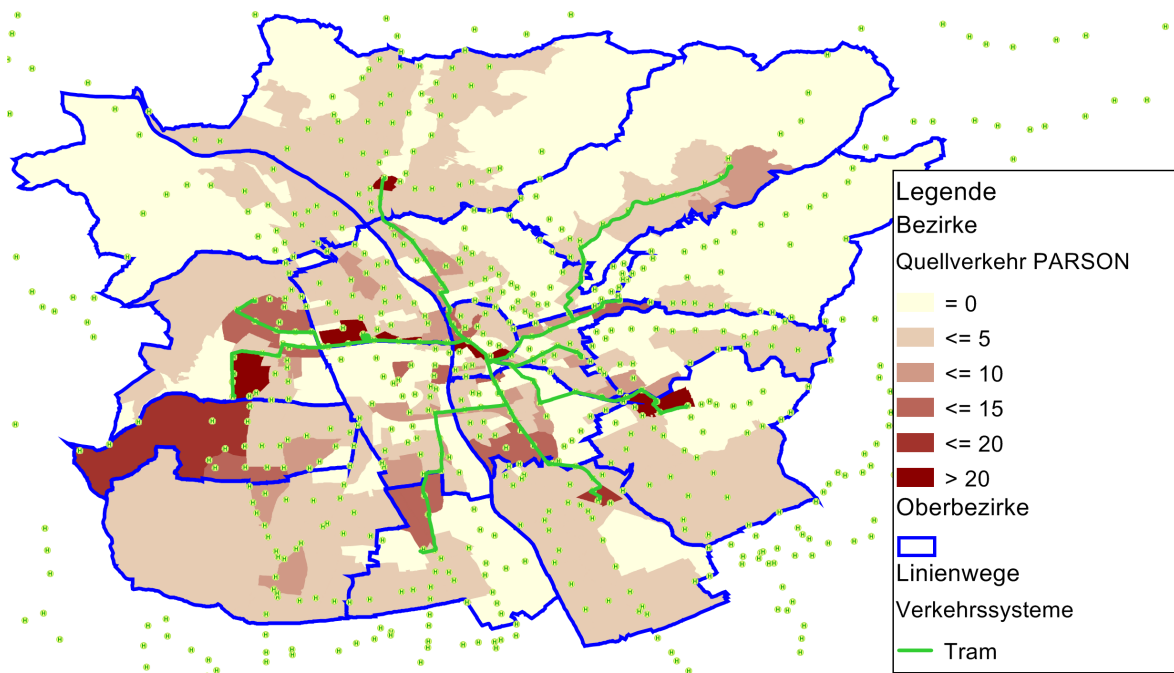


Abbildung A.13: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 7 bis 8 Uhr

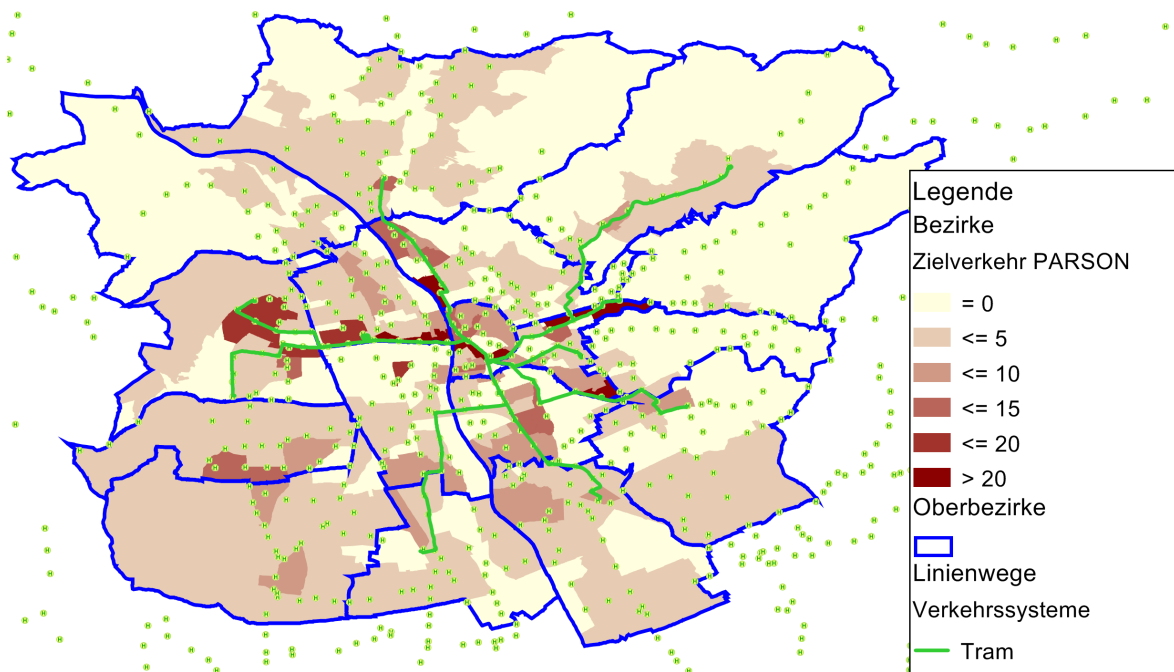


Abbildung A.14: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 7 bis 8 Uhr

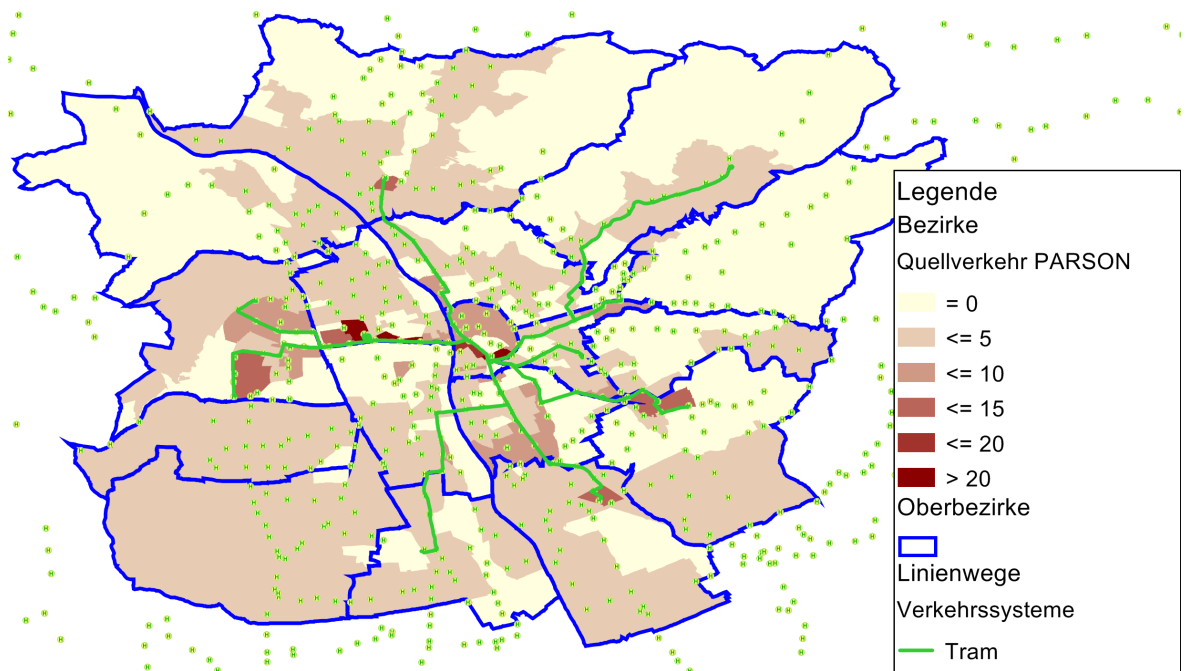


Abbildung A.15: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 8 bis 9 Uhr

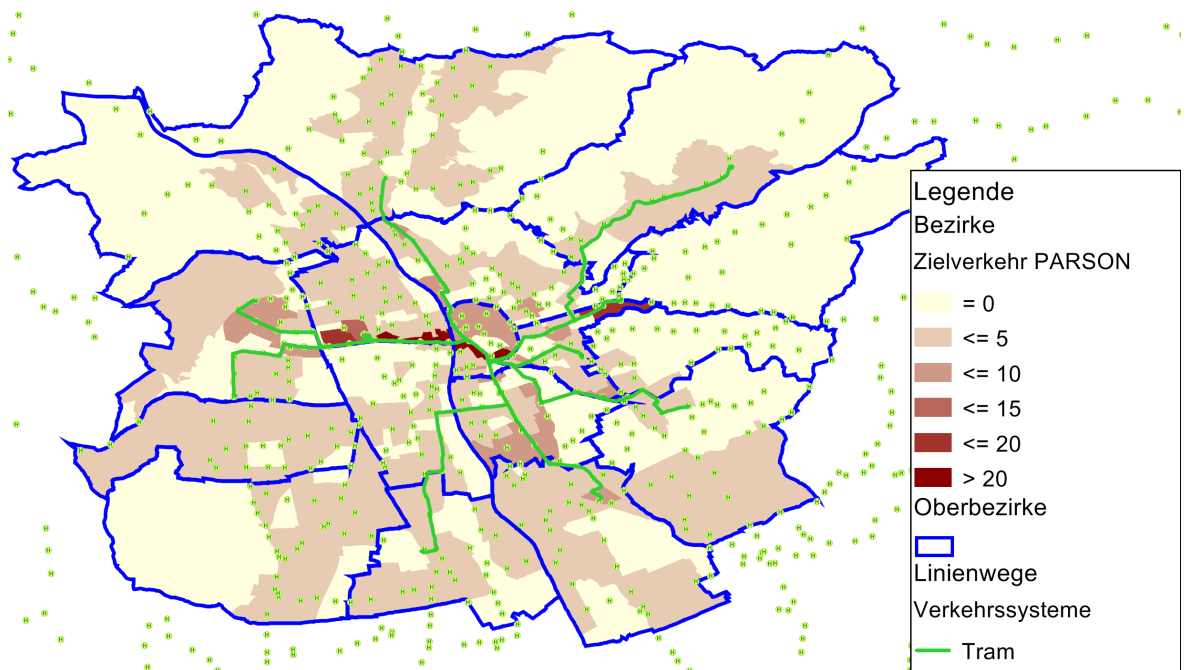


Abbildung A.16: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 8 bis 9 Uhr

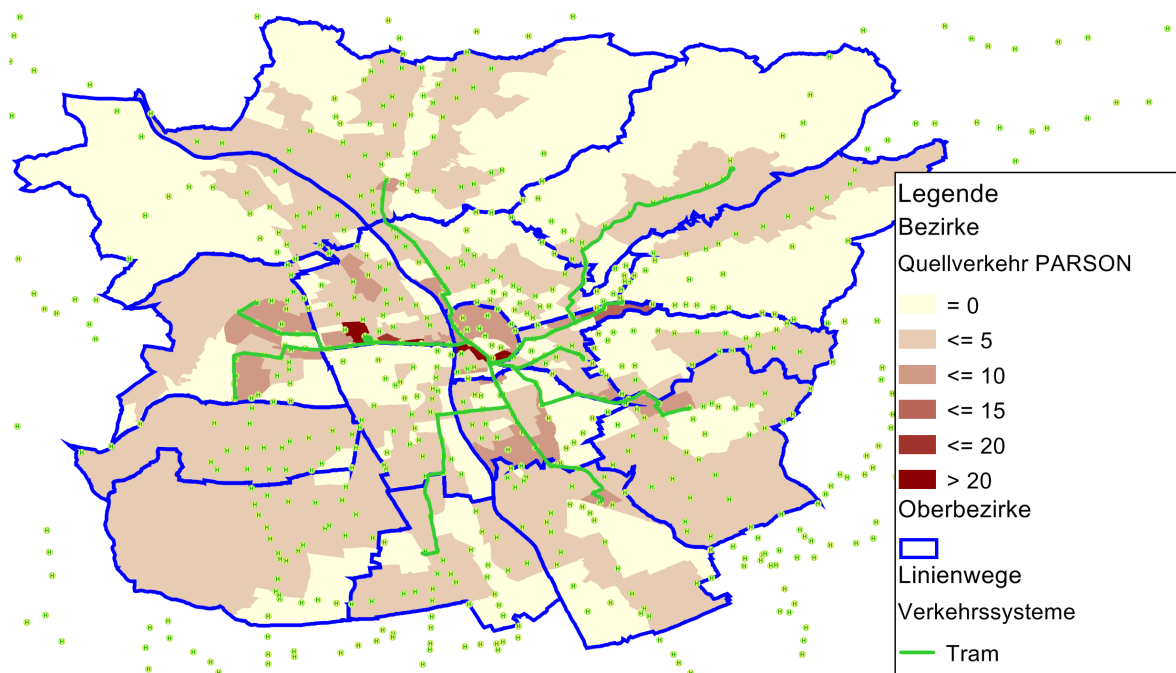


Abbildung A.17: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 9 bis 10 Uhr

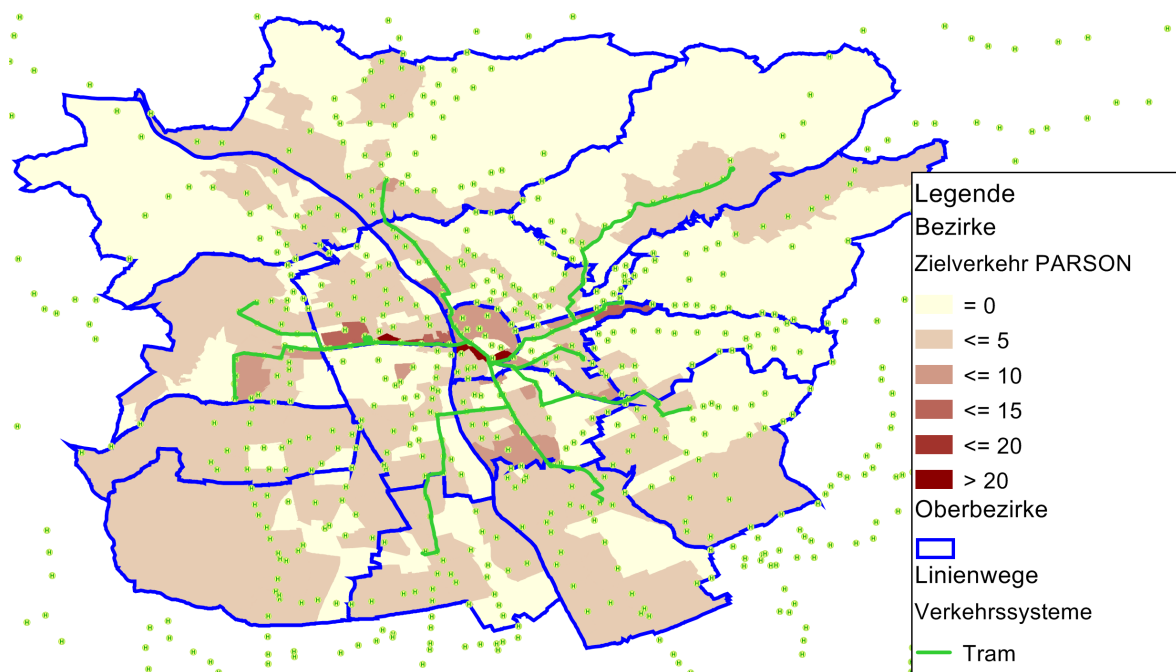


Abbildung A.18: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 9 bis 10 Uhr

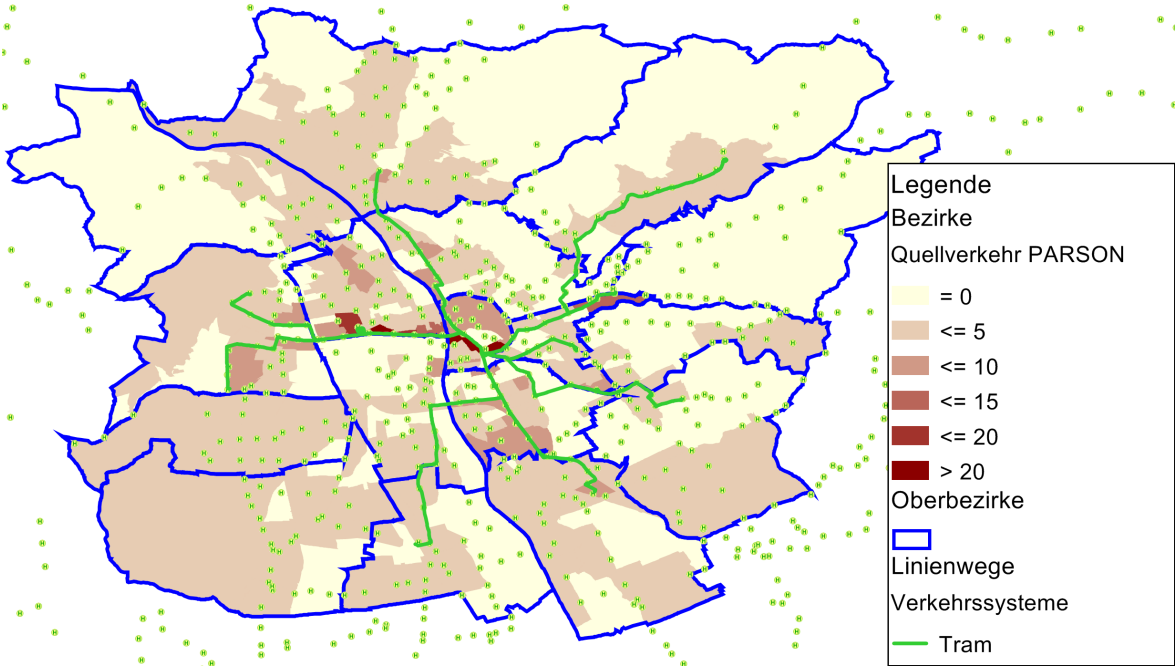


Abbildung A.19: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 10 bis 11 Uhr

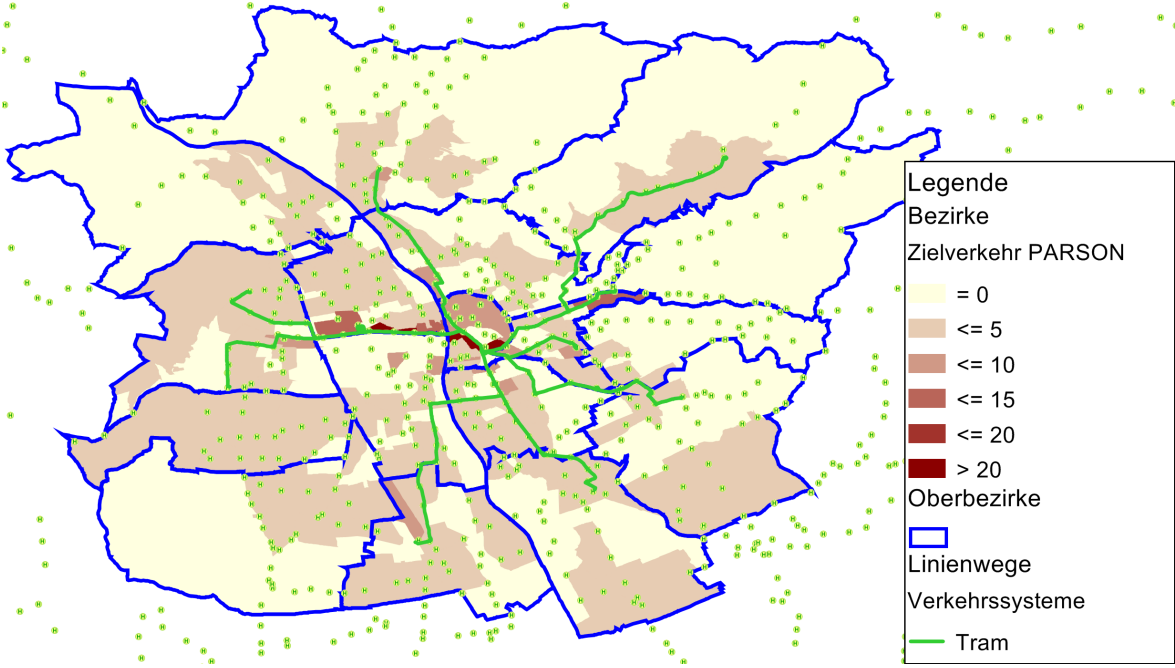


Abbildung A.20: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 10 bis 11 Uhr

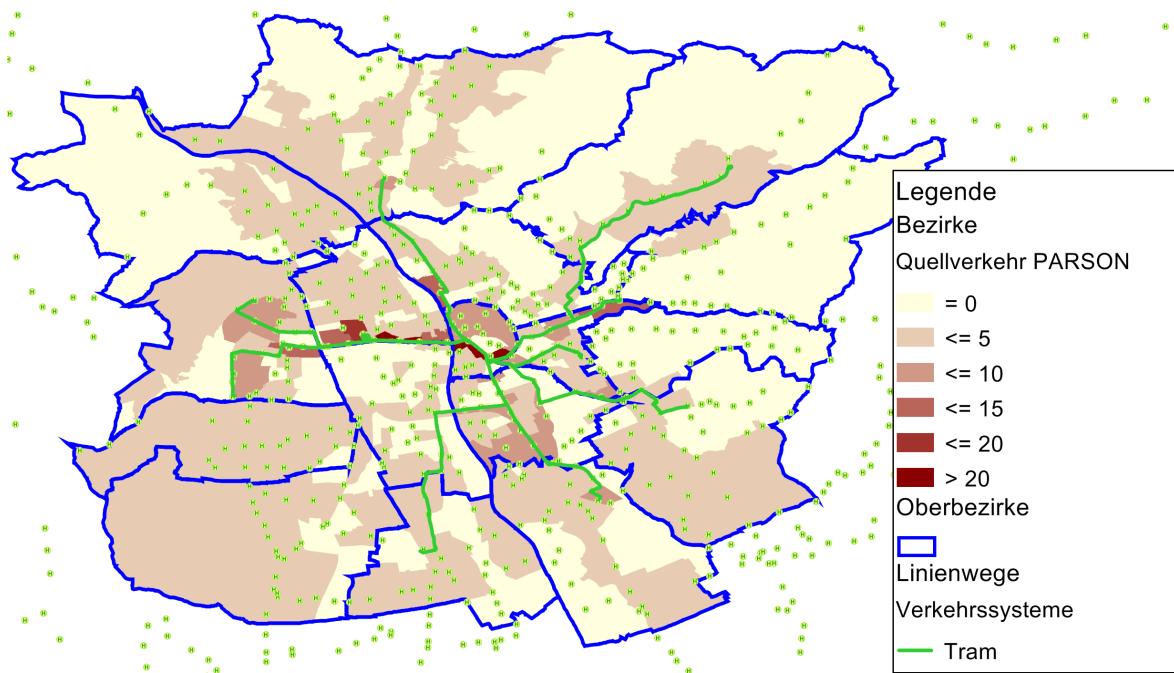


Abbildung A.21: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 11 bis 12 Uhr

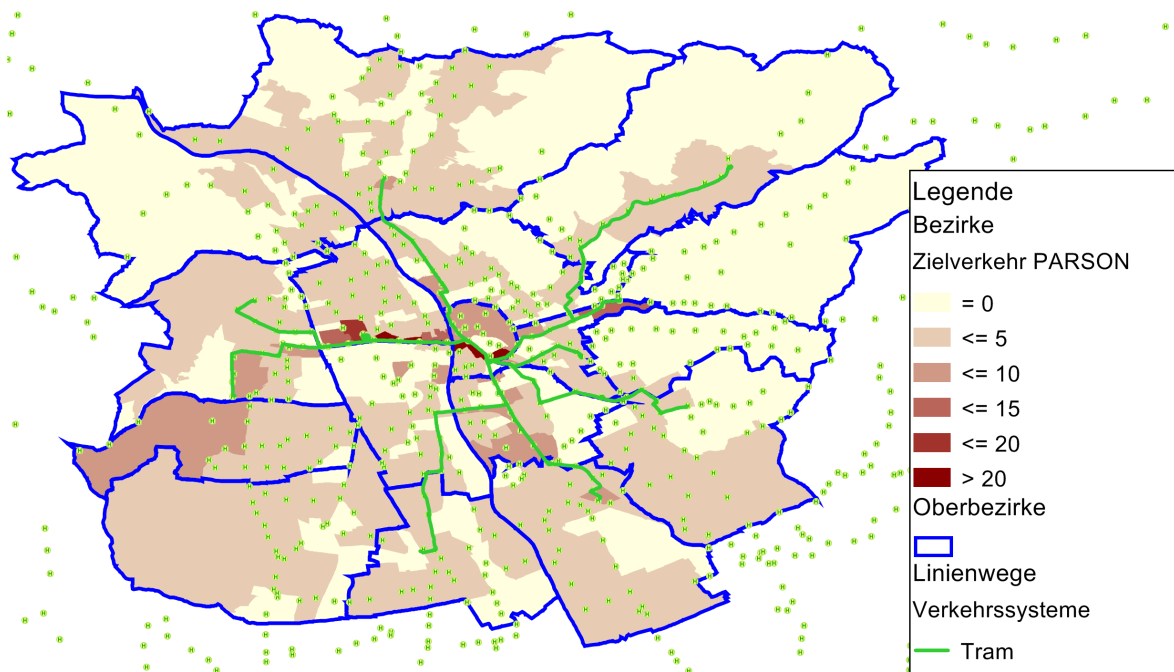


Abbildung A.22: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 11 bis 12 Uhr

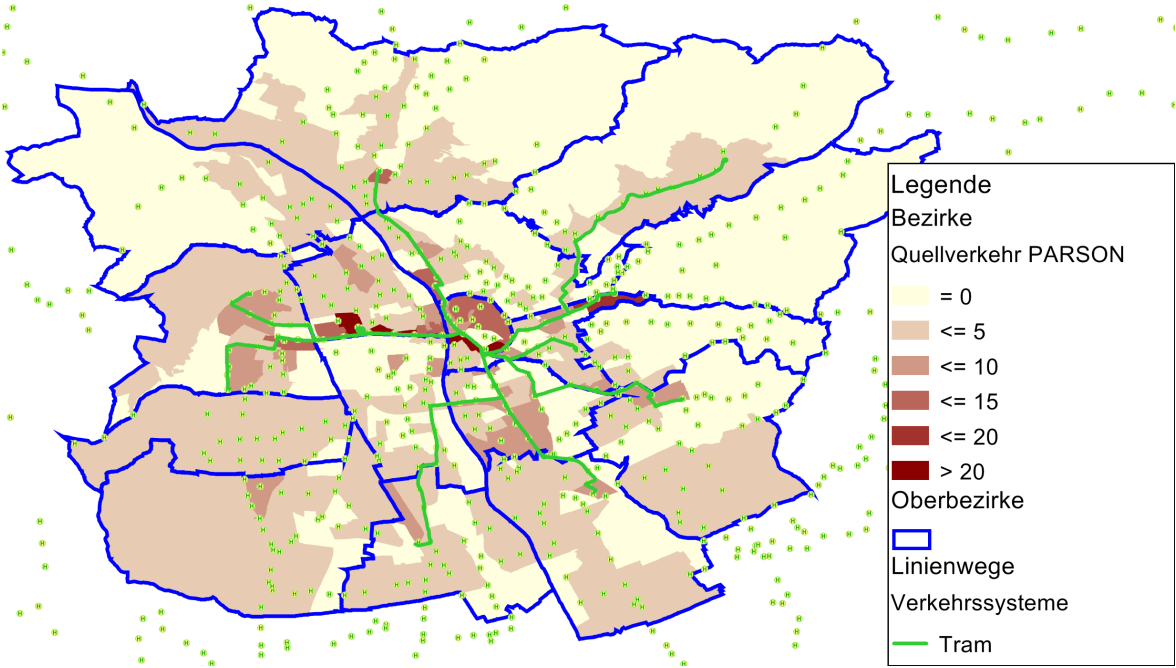


Abbildung A.23: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 12 bis 13 Uhr

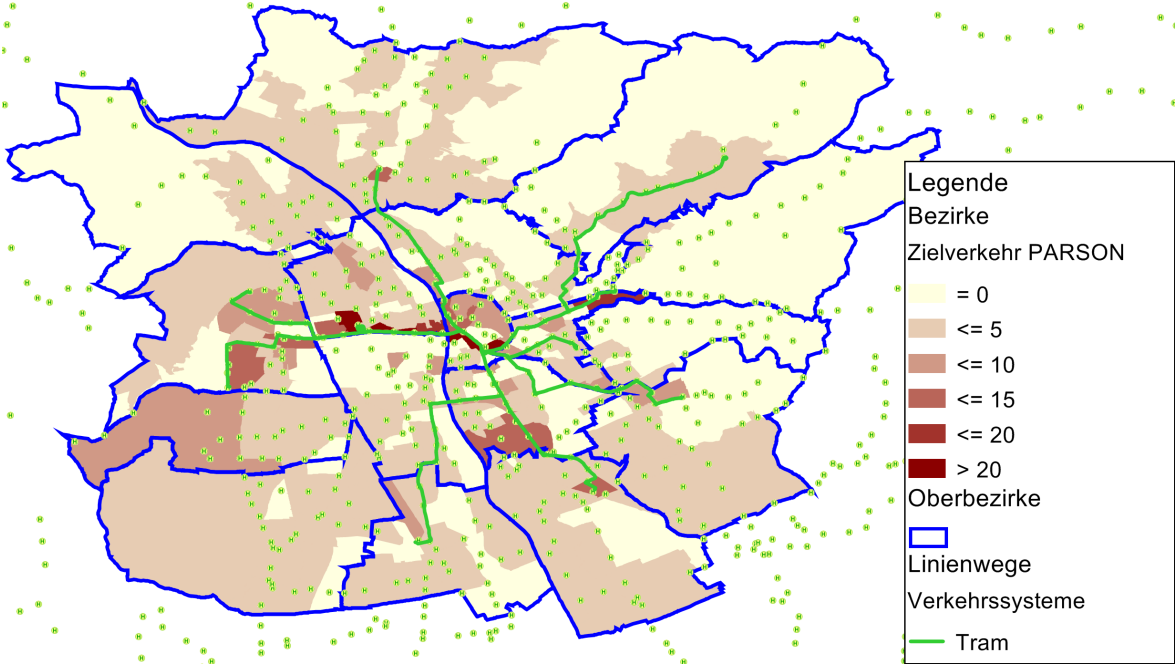


Abbildung A.24: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 12 bis 13 Uhr

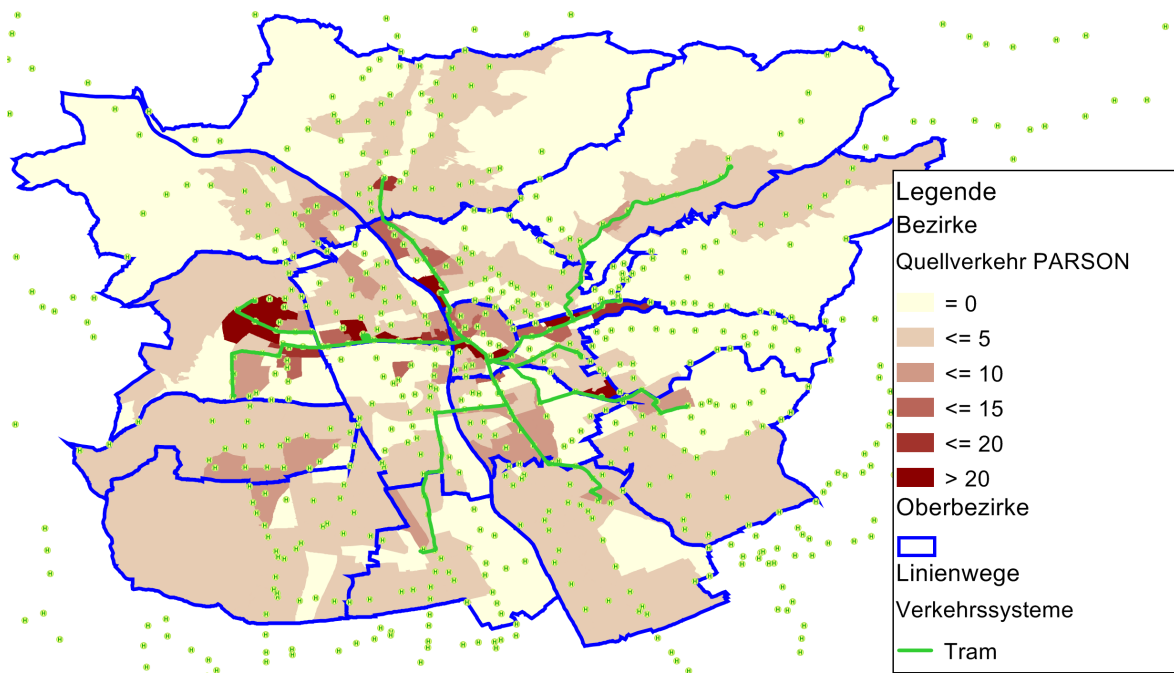


Abbildung A.25: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 13 bis 14 Uhr

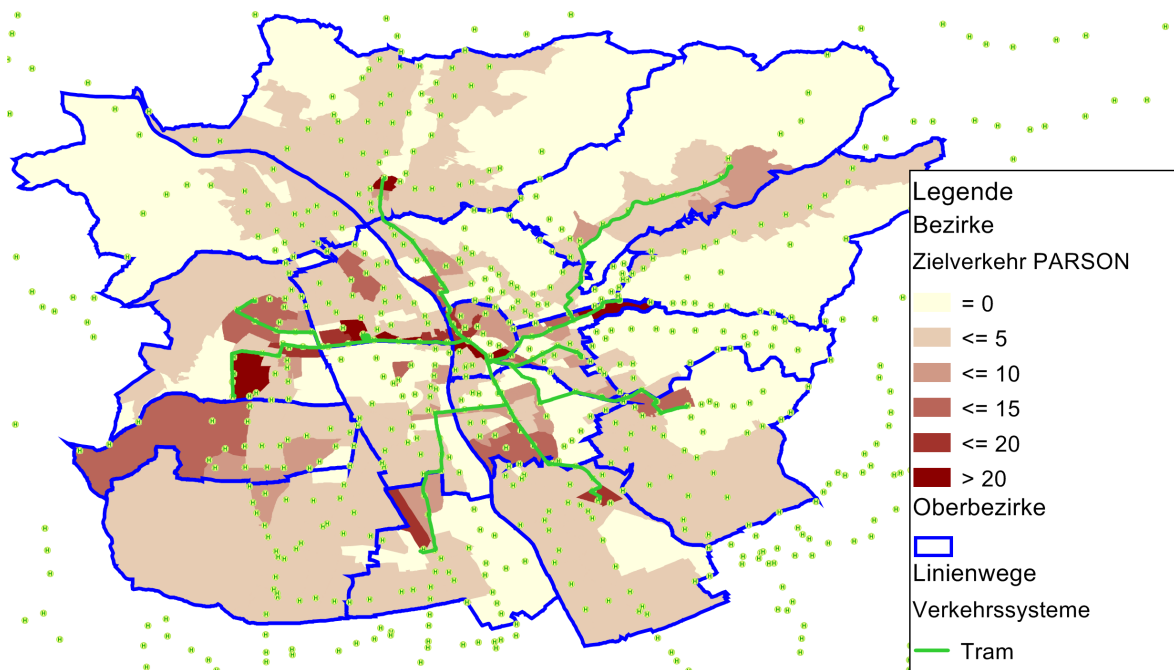


Abbildung A.26: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 13 bis 14 Uhr

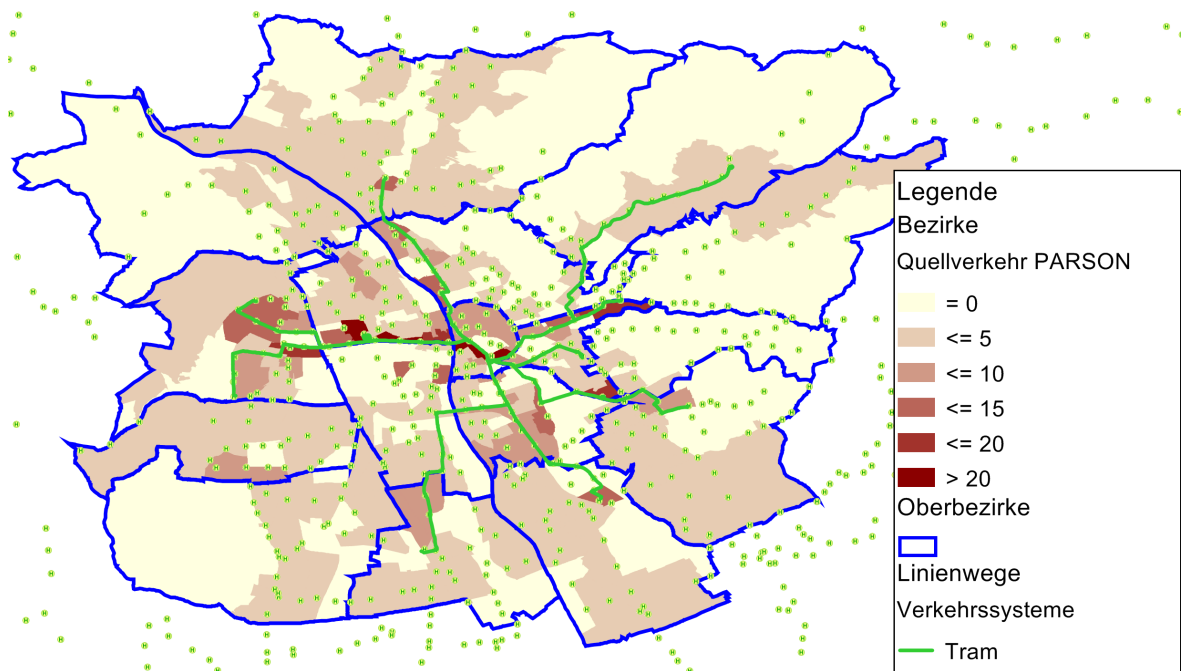


Abbildung A.27: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 14 bis 15 Uhr

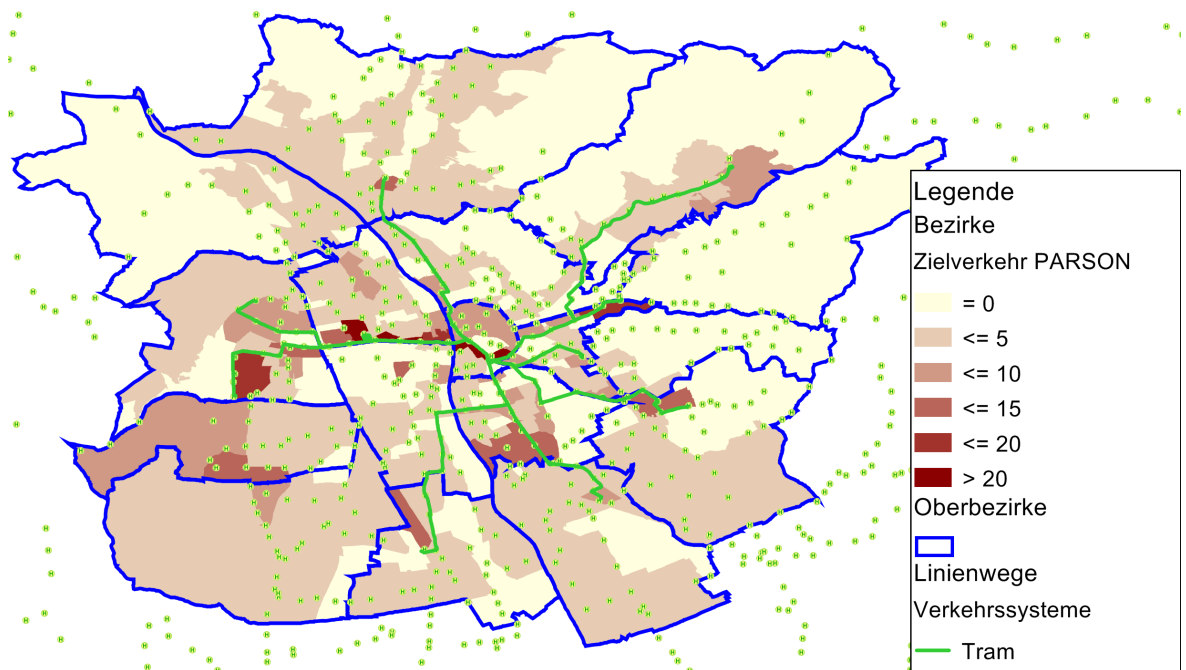


Abbildung A.28: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 14 bis 15 Uhr

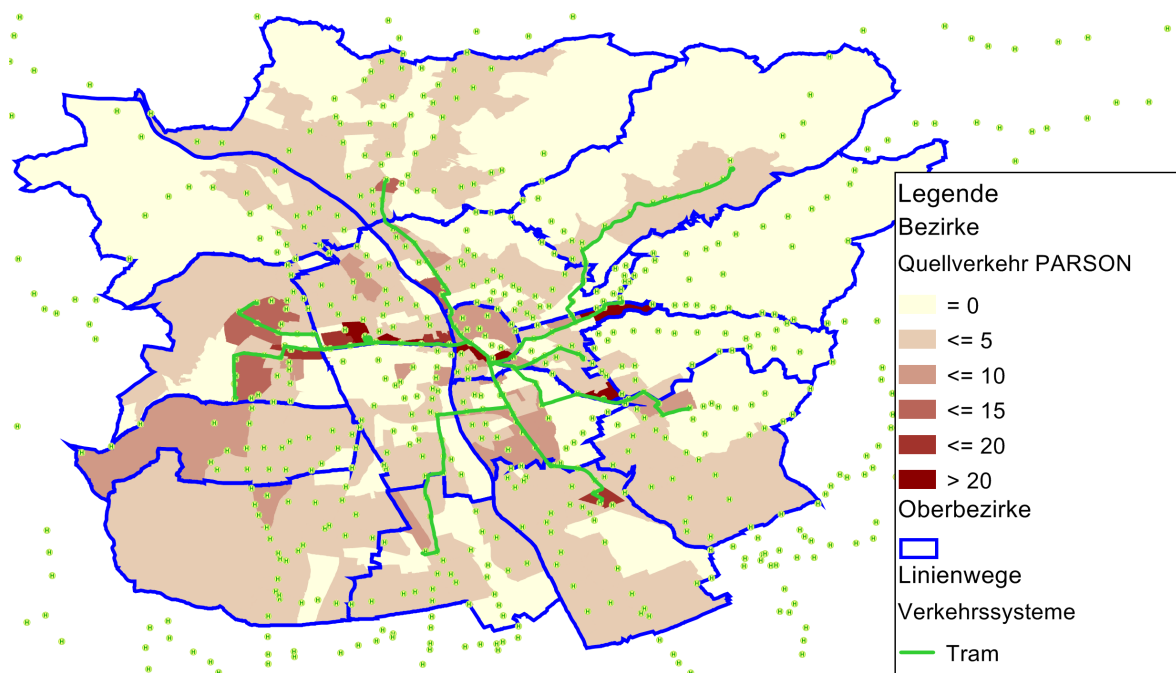


Abbildung A.29: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 15 bis 16 Uhr

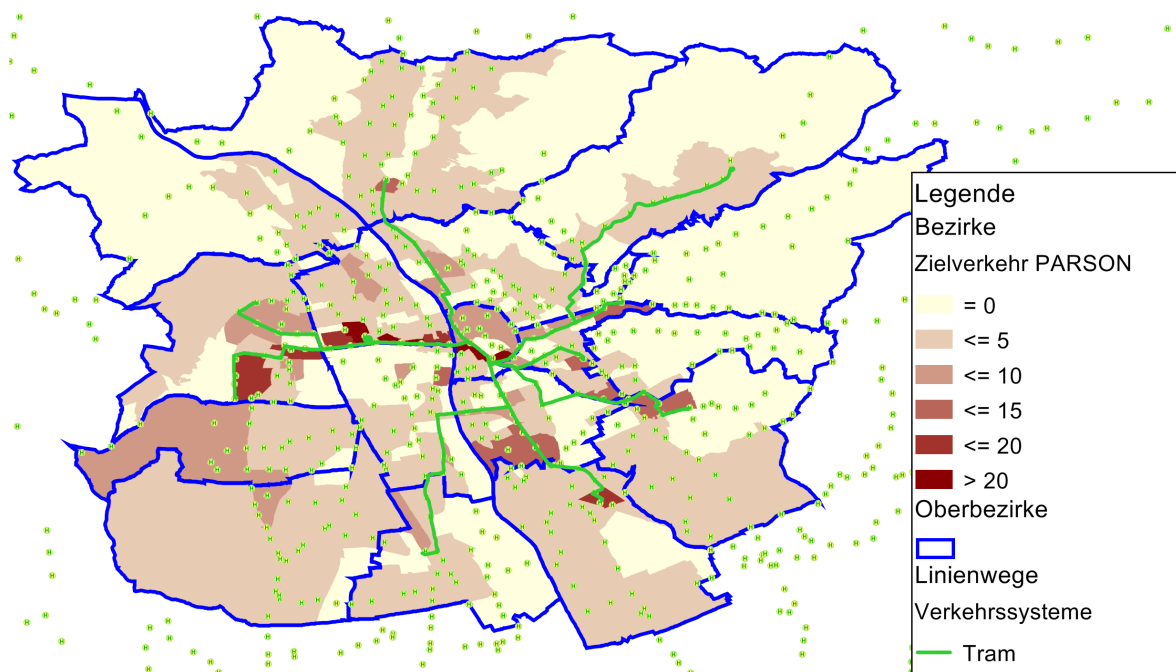


Abbildung A.30: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 15 bis 16 Uhr

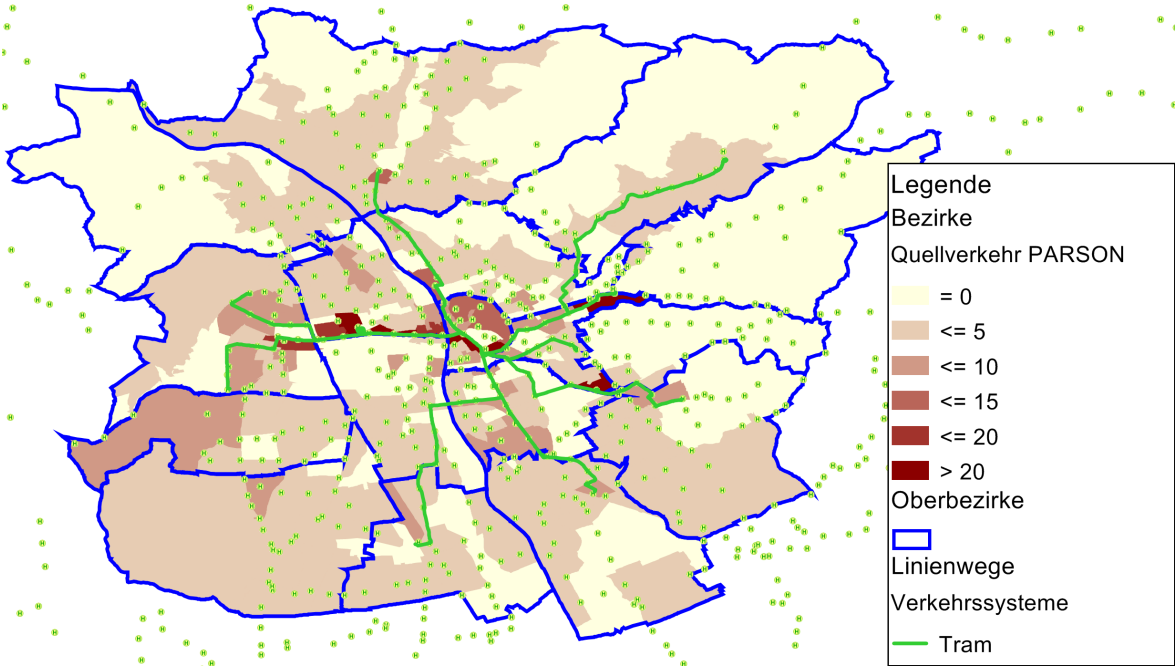


Abbildung A.31: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 16 bis 17 Uhr

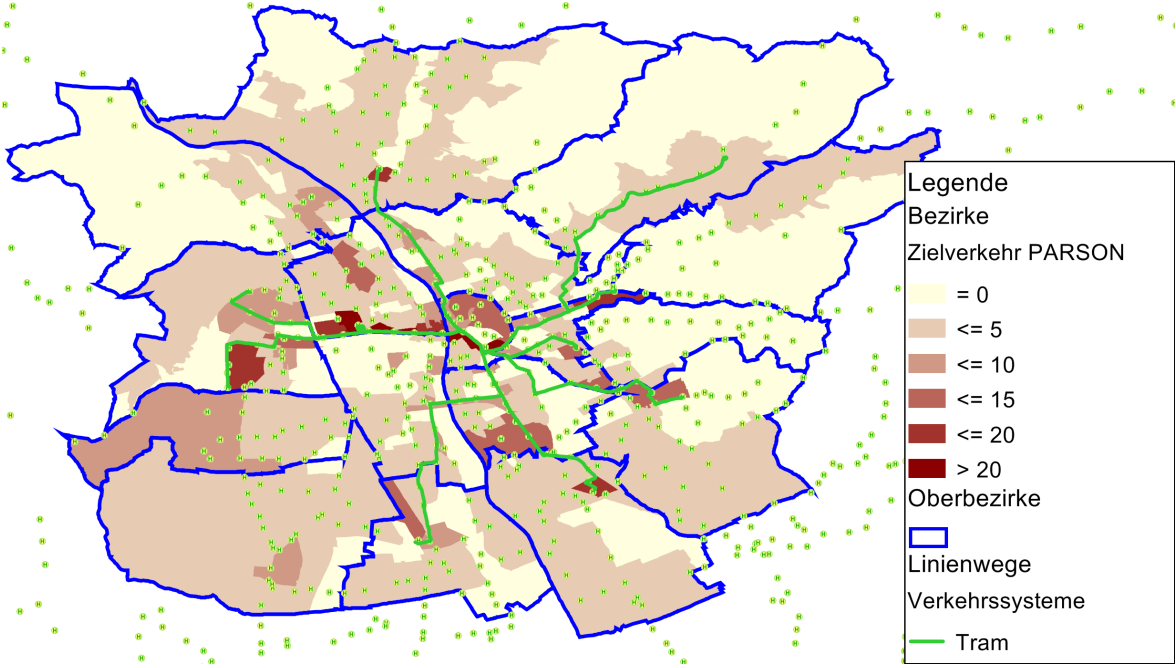


Abbildung A.32: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 16 bis 17 Uhr

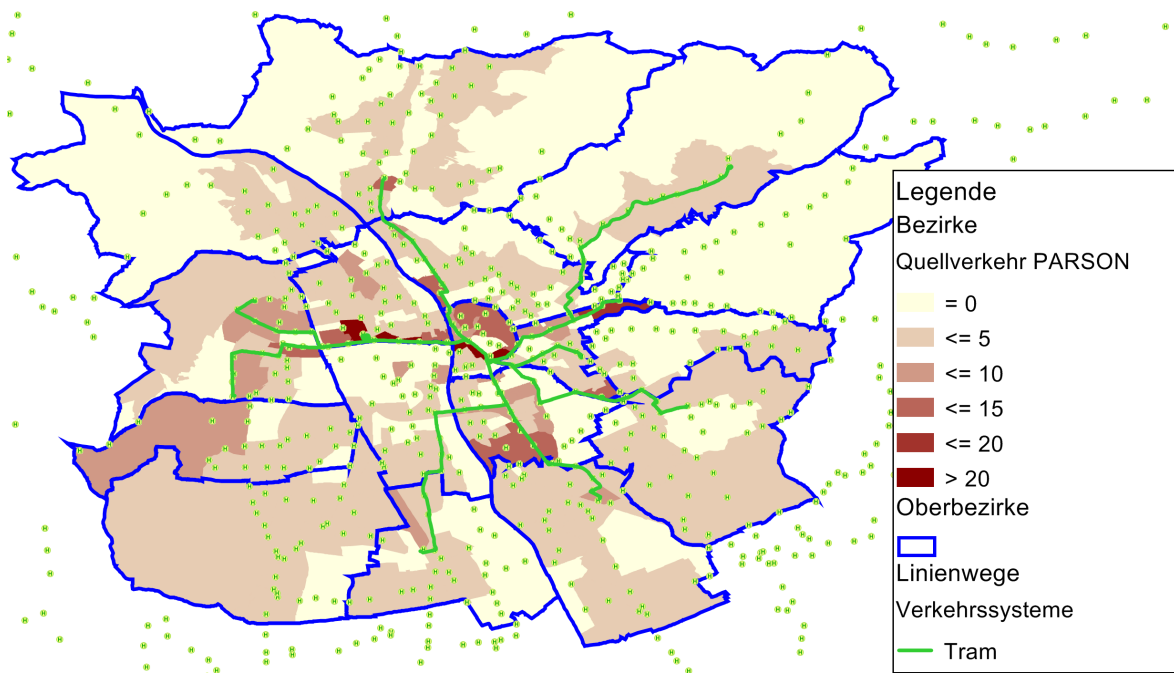


Abbildung A.33: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 17 bis 18 Uhr

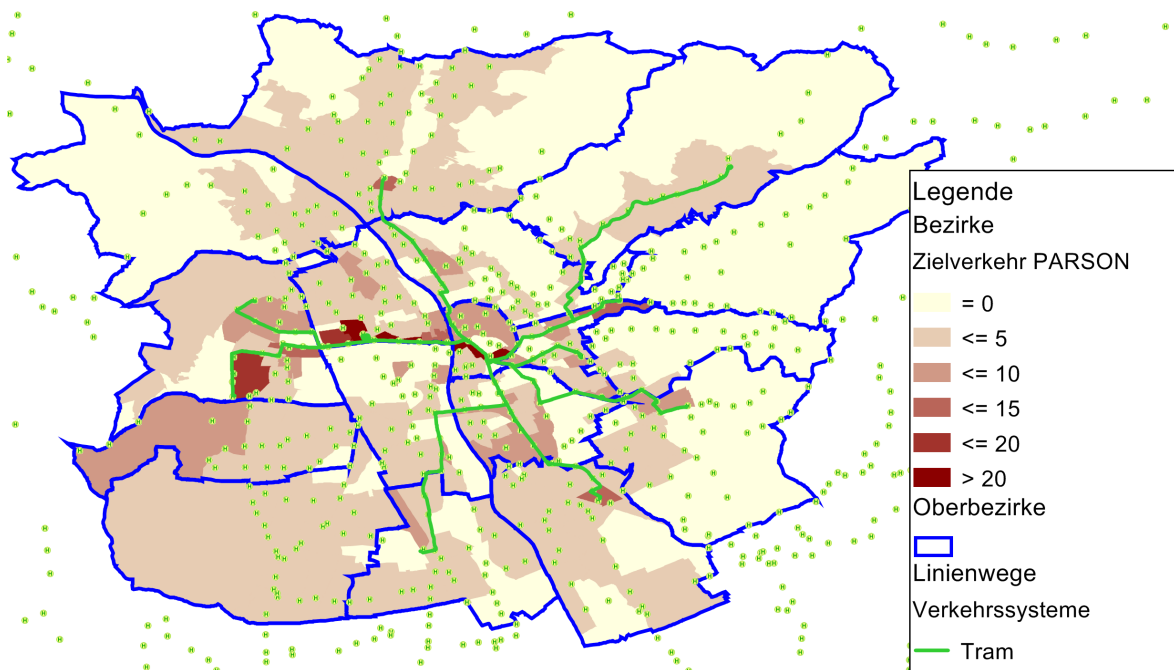


Abbildung A.34: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 17 bis 18 Uhr

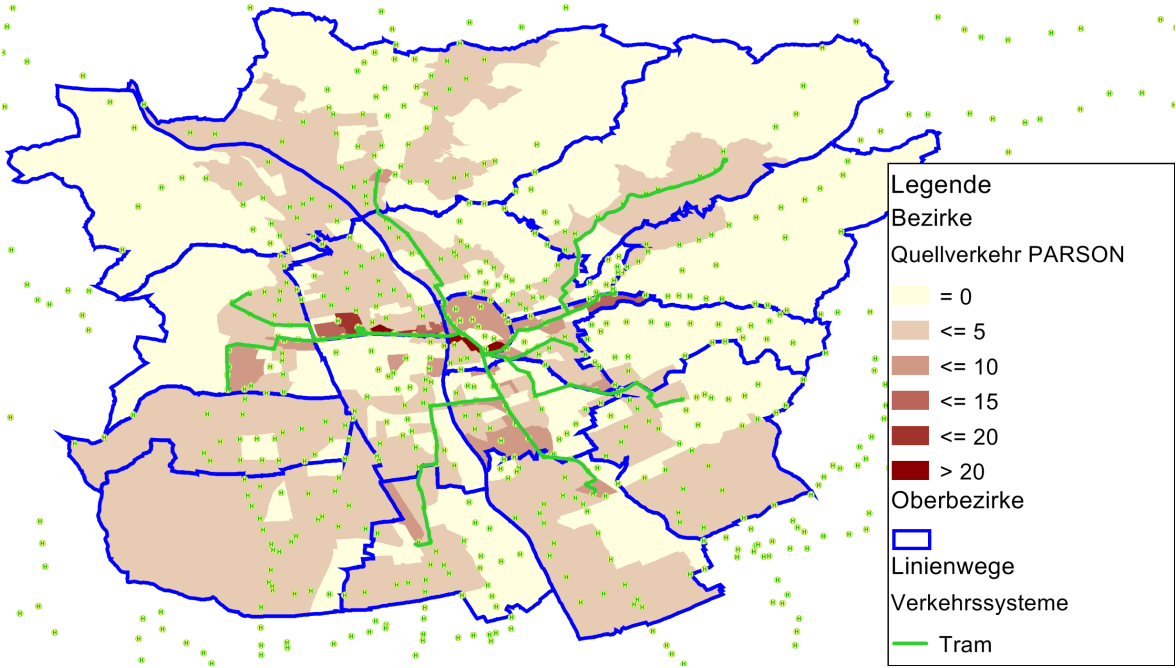


Abbildung A.35: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 18 bis 19 Uhr

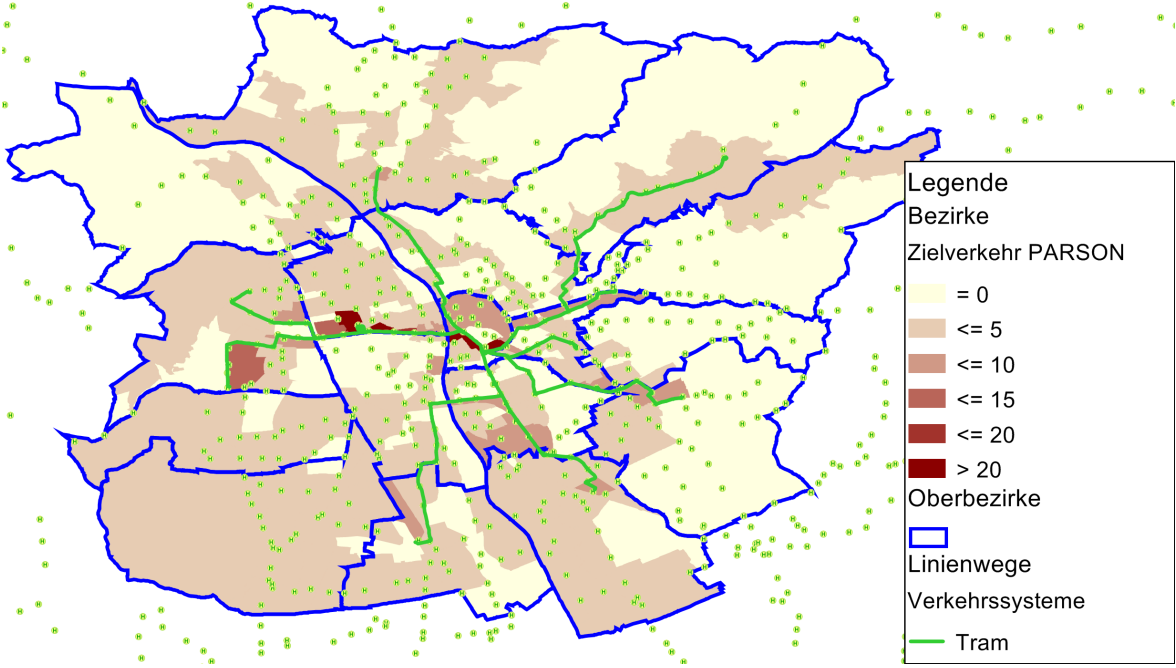


Abbildung A.36: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 18 bis 19 Uhr

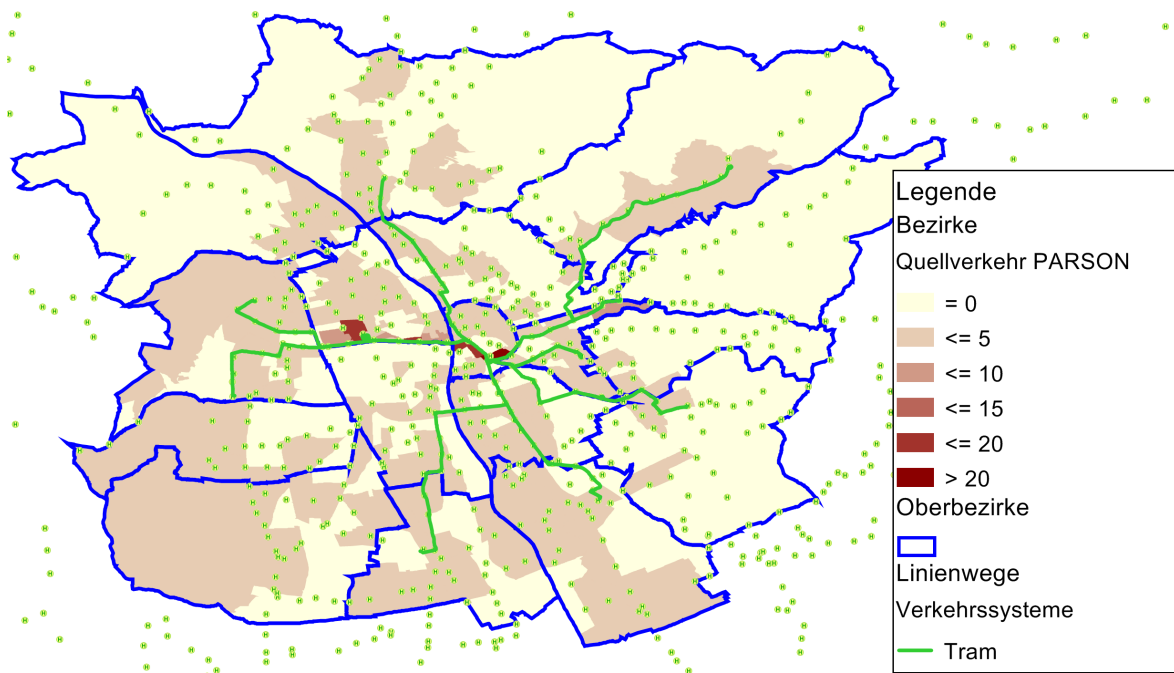


Abbildung A.37: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 19 bis 20 Uhr

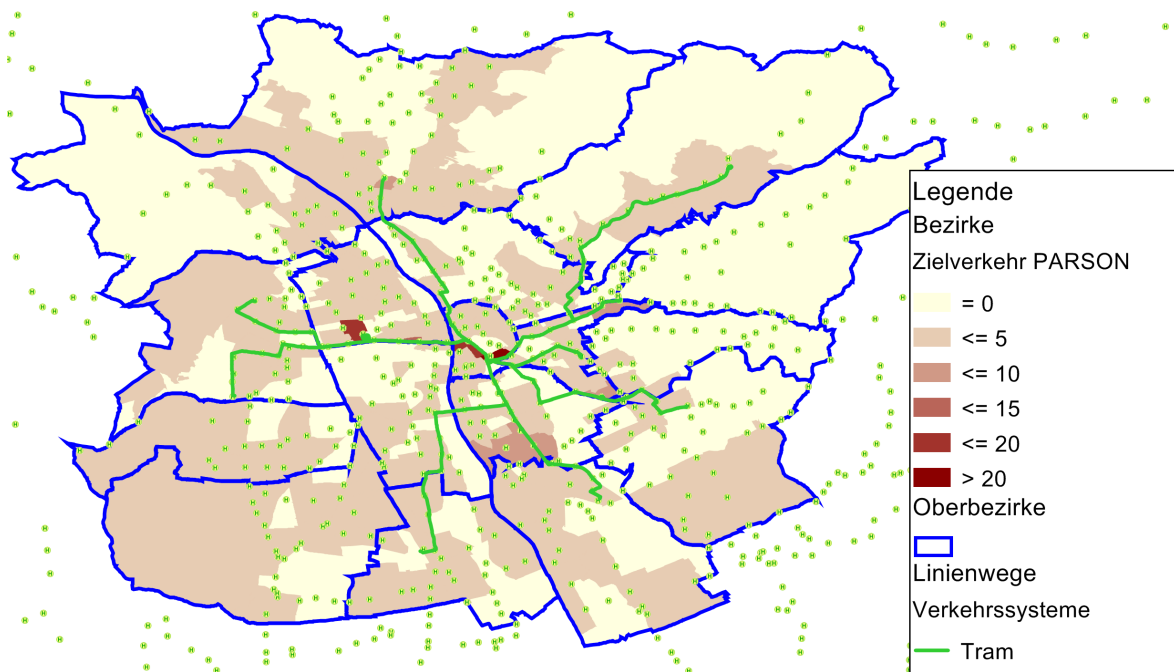


Abbildung A.38: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 19 bis 20 Uhr

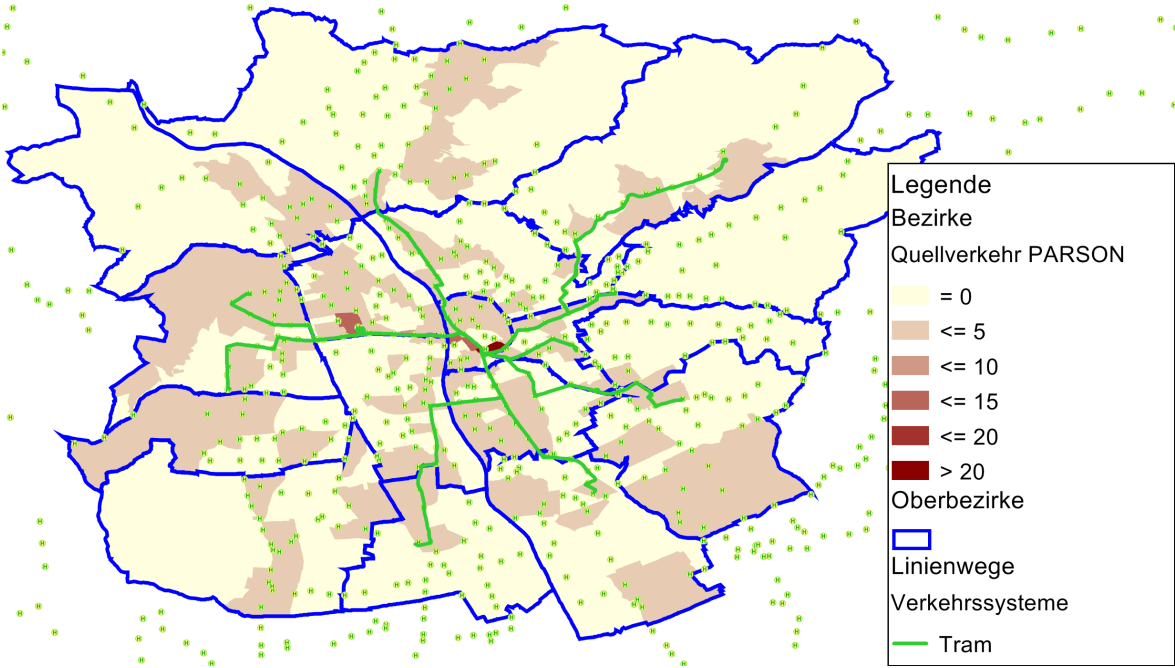


Abbildung A.39: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 20 bis 21 Uhr

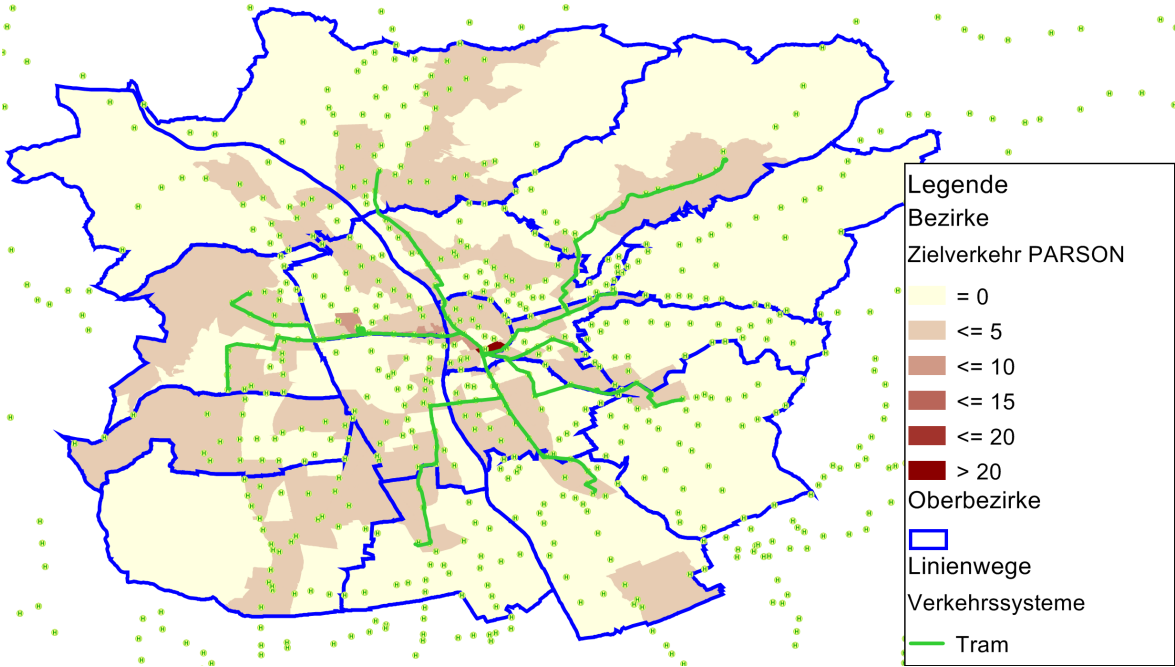


Abbildung A.40: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 20 bis 21 Uhr

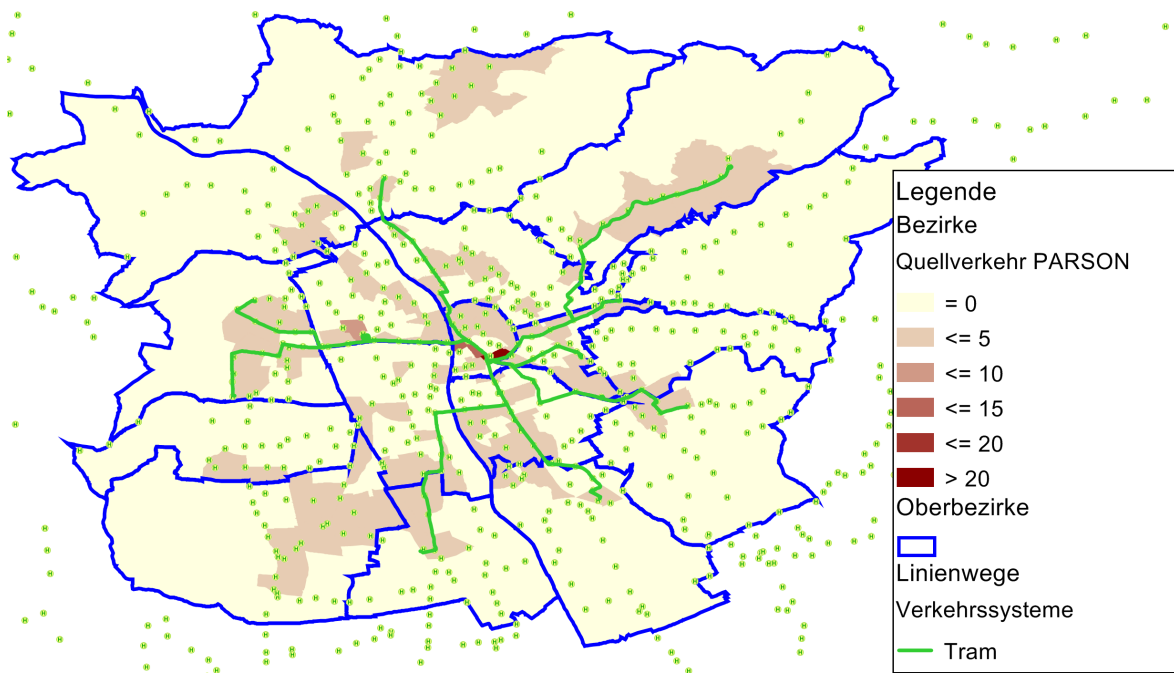


Abbildung A.41: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 21 bis 22 Uhr

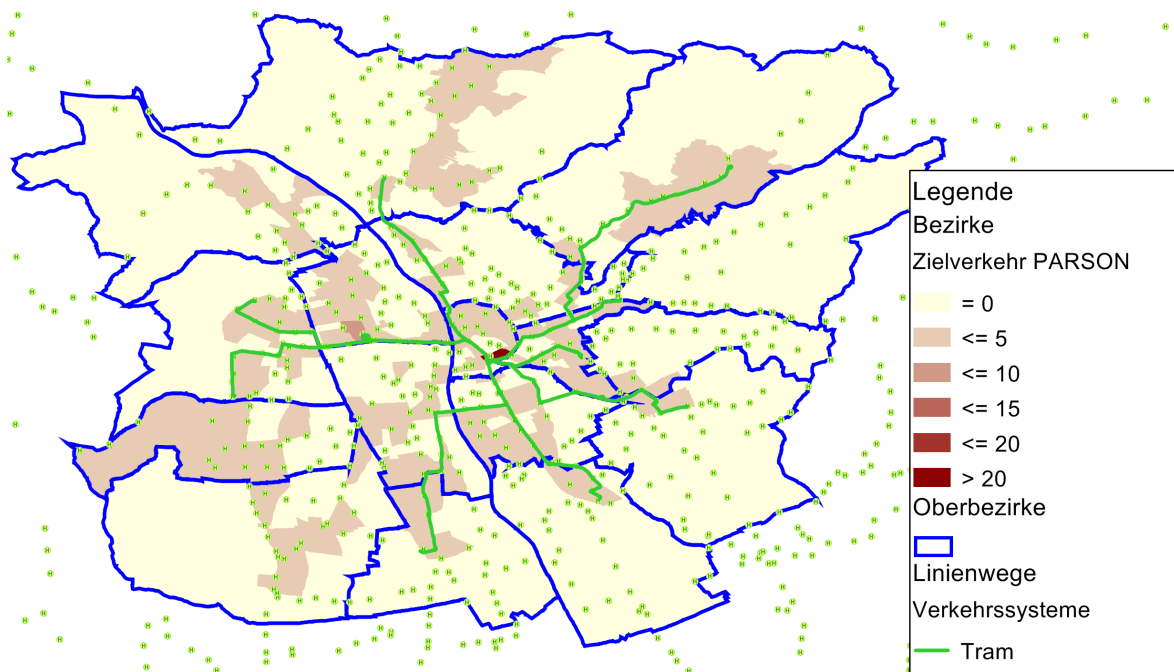


Abbildung A.42: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 21 bis 22 Uhr

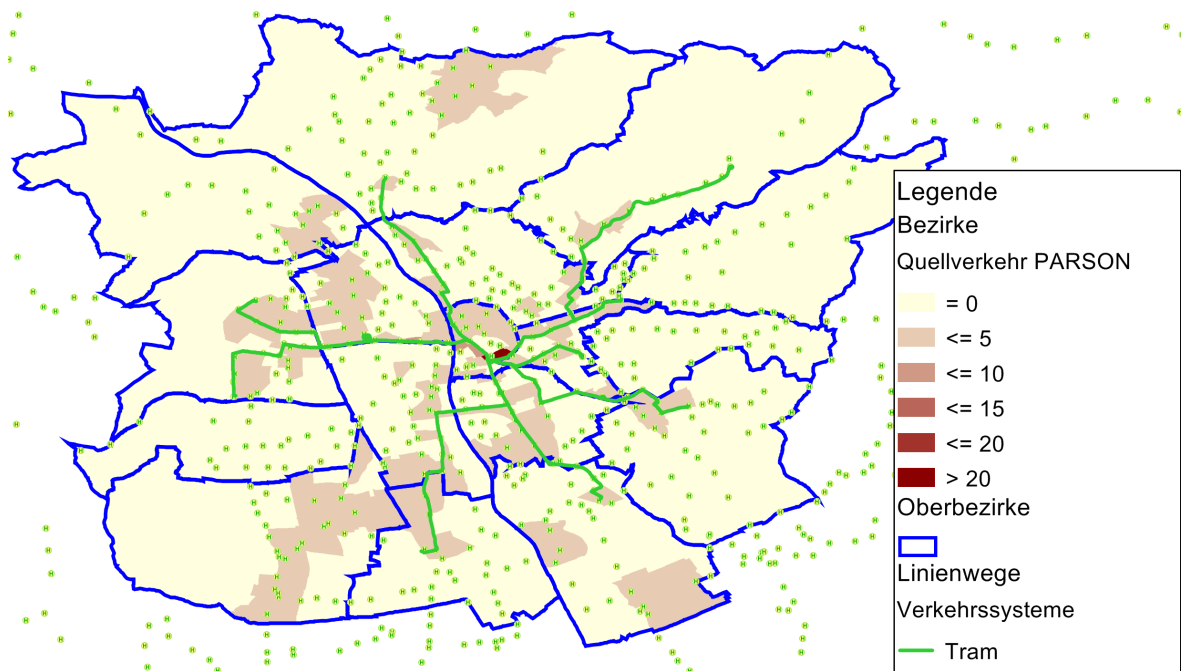


Abbildung A.43: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 22 bis 23 Uhr

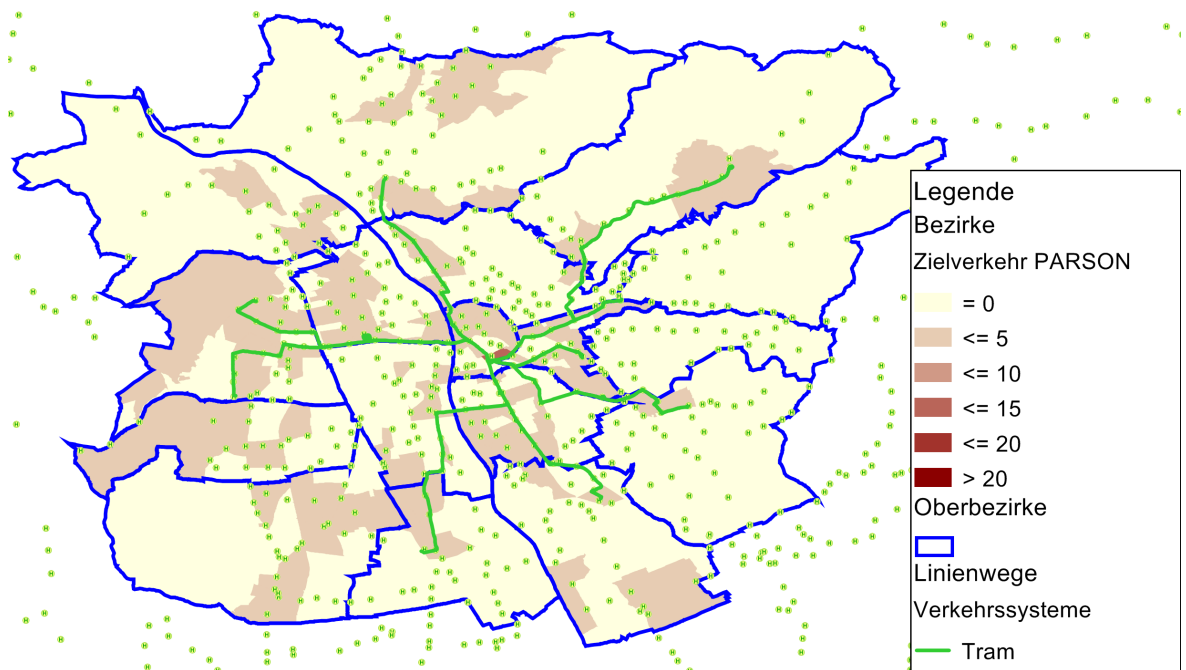


Abbildung A.44: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 22 bis 23 Uhr

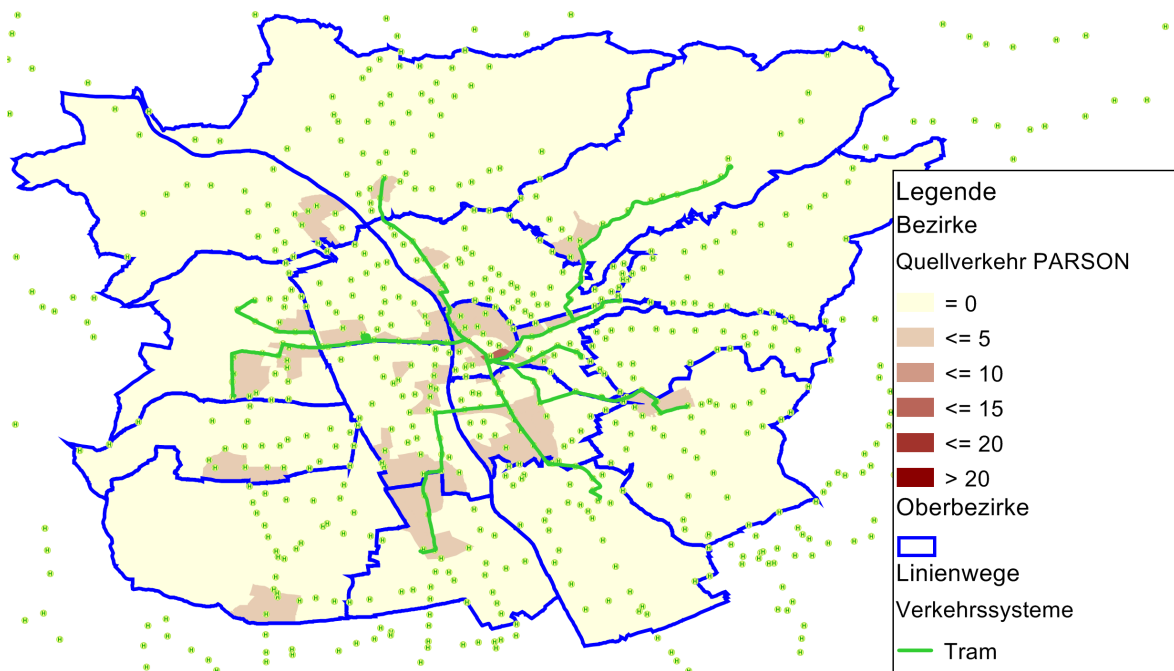


Abbildung A.45: Erfasster PARSON-Quellverkehr in der Stunde von 23 bis 0 Uhr

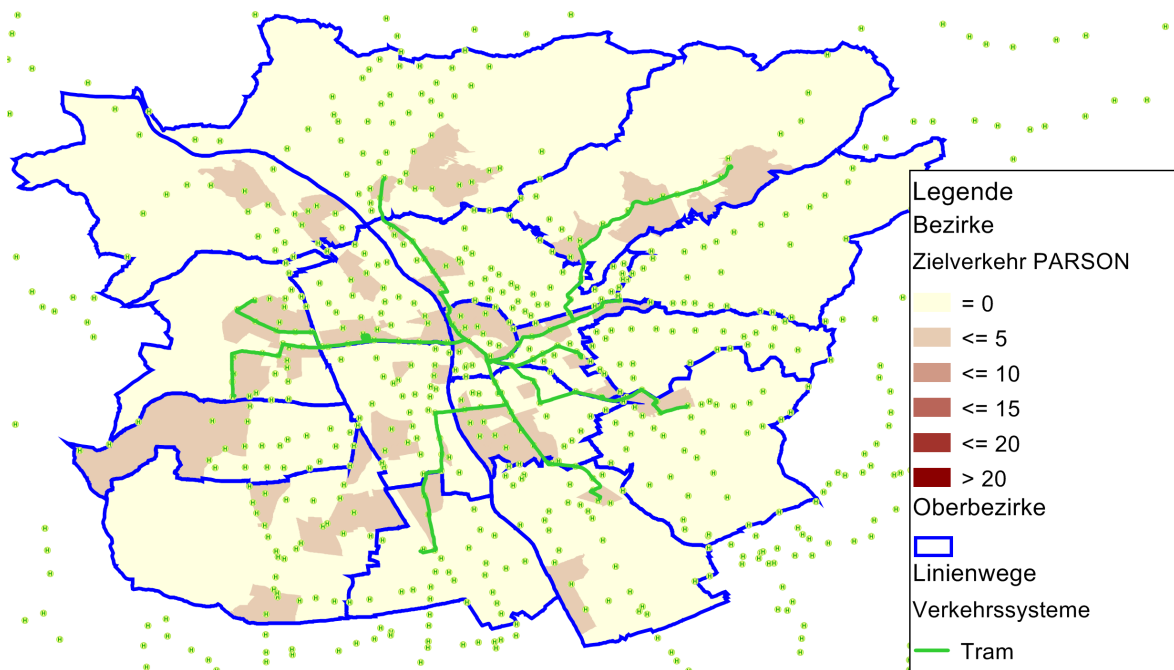


Abbildung A.46: Erfasster PARSON-Zielverkehr in der Stunde von 23 bis 0 Uhr

Von	Nach	Umsteiger Modell	Umsteiger PARSON	Differenz zum Modell
1 Eggenberg/UKH	4 Andritz	0,2 %	0,2 %	0,0 %
1 Eggenberg/UKH	4 Liebenau Murpark	1,5 %	1,8 %	0,2 %
1 Eggenberg/UKH	5 Andritz	-	1,3 %	1,3 %
1 Eggenberg/UKH	5 Puntigam Bf	0,3 %	0,7 %	0,4 %
1 Mariatrost	5 Andritz	0,9 %	-	-0,9 %
3 Hauptbahnhof	4 Andritz	1,6 %	1,9 %	0,3 %
3 Hauptbahnhof	4 Liebenau Murpark	3,1 %	6,3 %	3,2 %
3 Hauptbahnhof	5 Andritz	3,7 %	1,6 %	-2,1 %
3 Hauptbahnhof	5 Puntigam Bf	1,7 %	3,5 %	1,9 %
3 Krenngasse	1 Eggenberg/UKH	0,0 %	-	0,0 %
3 Krenngasse	1 Mariatrost	-	0,0 %	0,0 %
3 Krenngasse	4 Andritz	0,1 %	-	-0,1 %
3 Krenngasse	5 Andritz	0,0 %	-	0,0 %
3 Krenngasse	7 Wetzelsdorf	0,0 %	0,0 %	0,0 %
4 Andritz	1 Eggenberg/UKH	0,1 %	0,1 %	0,0 %
4 Andritz	1 Mariatrost	0,3 %	0,7 %	0,4 %
4 Andritz	3 Hauptbahnhof	2,7 %	4,3 %	1,6 %
4 Andritz	3 Krenngasse	6,5 %	4,3 %	-2,1 %
4 Andritz	5 Andritz	0,1 %	0,1 %	0,0 %
4 Andritz	5 Puntigam Bf	0,0 %	0,1 %	0,1 %
4 Andritz	6 Hauptbahnhof	1,7 %	2,0 %	0,4 %
4 Andritz	6 St. Peter	5,7 %	2,9 %	-2,8 %
4 Andritz	7 St. Leonhard/LKH	2,2 %	2,3 %	0,1 %
4 Andritz	7 Wetzelsdorf	3,2 %	3,5 %	0,4 %
4 Liebenau Murpark	1 Eggenberg/UKH	0,1 %	-	-0,1 %
4 Liebenau Murpark	3 Hauptbahnhof	0,0 %	-	0,0 %
4 Liebenau Murpark	3 Krenngasse	-	0,0 %	0,0 %
4 Liebenau Murpark	6 Hauptbahnhof	0,0 %	-	0,0 %
4 Liebenau Murpark	7 Wetzelsdorf	0,0 %	-	0,0 %

Tabelle A.1: Umsteiger zwischen den einzelnen Linien an der Haltestelle Hauptplatz Teil 1

Anhang A: Darstellungen und Auswertungen der PARSON-Daten

	Von	Nach	Umsteiger Modell	Umsteiger PARSON	Differenz zum Modell
5	Andritz	Eggenberg/UKH	3,4 %	3,9 %	0,5 %
5	Andritz	Mariarost	7,0 %	4,4 %	-2,6 %
5	Andritz	Hauptbahnhof	1,8 %	3,7 %	1,9 %
5	Andritz	Kreuzgasse	6,1 %	4,1 %	-2,0 %
5	Andritz	Andritz	0,0 %	-	0,0 %
5	Andritz	Andritz	0,1 %	0,1 %	0,0 %
5	Andritz	Hauptbahnhof	1,4 %	1,6 %	0,2 %
5	Andritz	St. Peter	5,1 %	3,0 %	-2,1 %
5	Andritz	St. Leonhard/LKH	3,0 %	3,3 %	0,3 %
5	Andritz	Wetzelsdorf	5,1 %	4,9 %	-0,2 %
5	Puntigam Bf	Eggenberg/UKH	0,0 %	-	0,0 %
5	Puntigam Bf	Hauptbahnhof	0,0 %	-	0,0 %
5	Puntigam Bf	Wetzelsdorf	0,0 %	-	0,0 %
6	Hauptbahnhof	Andritz	4,3 %	4,2 %	-0,2 %
6	Hauptbahnhof	Liebenau Murpark	2,3 %	4,5 %	2,2 %
6	Hauptbahnhof	Andritz	3,5 %	3,4 %	-0,2 %
6	Hauptbahnhof	Puntigam Bf	0,9 %	2,8 %	1,9 %
6	St. Peter	Eggenberg/UKH	0,0 %	-	0,0 %
6	St. Peter	Andritz	0,1 %	0,0 %	-0,1 %
6	St. Peter	Andritz	0,3 %	0,0 %	-0,2 %
6	St. Peter	Wetzelsdorf	0,1 %	-	-0,1 %
7	St. Leonhard/LKH	Eggenberg/UKH	0,0 %	-	0,0 %
7	St. Leonhard/LKH	Andritz	0,0 %	-	0,0 %
7	St. Leonhard/LKH	Andritz	0,0 %	0,0 %	0,0 %
7	Wetzelsdorf	Andritz	3,7 %	2,7 %	-1,0 %
7	Wetzelsdorf	Liebenau Murpark	4,3 %	5,9 %	1,6 %
7	Wetzelsdorf	Andritz	6,5 %	4,8 %	-1,7 %
7	Wetzelsdorf	Puntigam Bf	5,2 %	5,1 %	-0,1 %
7	Wetzelsdorf	St. Peter	0,0 %	0,0 %	0,0 %
16	Hauptbahnhof	Liebenau Murpark	-	0,0 %	0,0 %
16	Hauptbahnhof	Andritz	0,0 %	0,1 %	0,0 %

Tabelle A.2: Umsteiger zwischen den einzelnen Linien an der Haltestelle Hauptplatz Teil 2