



Graz University of Technology

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Modellierung des Verkehrsablaufs einer Grazer Hauptverkehrsstraße unter Einbeziehung des Radverkehrs

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Maximilian Slowiok, BSc

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:

Alex van Dulmen, BBE MSc

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, 29. Juli 2021

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senats am 01.12.2008

Eidesstattliche 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 wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, _____

Maximilian Slowiok, BSc

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.

Graz, _____

Maximilian Slowiok, BSc

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während meiner Studienzeit begleitet haben und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dabei gilt in erster Linie Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese sehr praxisnahe Diplomarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen zu verfassen. Ich möchte mich für die Bereitstellung sämtlicher Ressourcen sowie die fachkundige Betreuung durch Herrn Alex van Dulmen, BBE MSc bedanken, welcher mir immer wieder Ideen und Impulse zur weiteren Bearbeitung gab.

Ein weiterer Dank gilt einerseits Herrn Dipl.-Ing. (FH) Bernd Cagran-Hohl, MSc vom Referat Verkehrssteuerung und Straßenbeleuchtung der Stadt Graz und andererseits Herrn Dipl.-Kfm. Martin Schmidt, MSc, Leiter der Stabstelle Linien- und Verkehrsentwicklung der Holding Graz, welche neben der Bereitstellung von Daten auch ihre Expertise in Besprechungen eingebracht haben.

Ein gebührender Dank gilt auch meinen Studienkollegen, die ich in den vergangenen Jahren kennenlernen durfte, und die mir in manch schwieriger Situation zur Seite standen. Insbesondere gilt dies den Kollegen vom Verkehrswesenzeichensaal, wo intensive fachliche Diskussionen stattfanden.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir nicht nur mit finanzieller Unterstützung sondern auch motivierend Beiseite standen. Ohne euch wäre ich heute nicht an dieser Stelle. Ebenso gilt Dank meinen Brüdern Sebastian und Lukas, die mir ebenso immer mit Rat und Tat zur Seite stehen. Zum Schluss möchte ich mich noch bei meiner Freundin Selina bedanken, die mich über all die Jahre begleitet hat und speziell in den letzten Monaten stets gut zugesprochen hat und mich dadurch immer motivieren konnte.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Maximilian Slowiok

Graz, 16.12.2020

Verkehrsablauf einer städtischen Hauptverkehrsstraße unter Einbeziehung des Radverkehrs

Problemstellung

Die fortwährende Urbanisierung des steirischen Kernballungsraumes erfordert besonderes Augenmerk in verkehrsplanerischer Hinsicht. Die wachsende Bevölkerung im Großraum Graz bringt auch eine Steigerung der Mobilität mit sich, welche durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen ausgedrückt wird. Auf den Hauptverkehrsachsen kommt es daher in Stoßzeiten zu Systemüberlastungen, welche nicht nur in Zeitverlusten der Verkehrsteilnehmer resultieren, sondern viel mehr auch in Lärm- und Schadstoffbelastungen der Anrainer. Diese unbefriedigende Situation wird von Interessensvertretungen kritisiert und erfährt durch die „Klimadebatte“ erhöhten Stellenwert in der Bevölkerung. Die Politik wird somit aufgefordert Lösungen, Ziele und Strategien für den Ausbau von Verkehrsinfrastruktur zu entwickeln.

Im städtischen Bereich bietet das Verkehrsmittel Fahrrad Potenzial zur Verlagerung des Verkehrs, da sich Wege mit dem Fahrrad schnell und kostengünstig erledigen lassen. Im Gegensatz zum motorisierten Individualverkehr müssen keine Umwege in Anspruch genommen oder Parkgebühren bezahlt werden. Zudem ergeben sich Vorteile in der Anschaffung sowie der Instandhaltung. Das Fahrrad überzeugt als klimaneutrales und gesundheitsförderndes Verkehrsmittel, welches in der Regel nur einen Bruchteil an Platzbedarf gegenüber eines PKWs benötigt. Die Verbesserung der Radinfrastruktur in urbanen Gebieten stellt somit ein wichtiges Instrument zur Veränderung des Modal-Splits dar.

Das Land Steiermark will mit seiner „Radverkehrsstrategie Steiermark 2025“ einen Beitrag zur Veränderung der Verkehrsinfrastruktur leisten. Mit diesem Strategiepapier sollen neben der Reduktion des CO₂-Ausstoßes die Belebung der Ortszentren sowie die Förderung der Multimodalität gelingen. Bis dato stellt das Fahrrad eine Ergänzung zu den traditionellen Verkehrsmitteln dar. Nun soll die Radverkehrsplanung ein fixer Bestandteil von Mobilitätsentwicklungsplänen werden und das Fahrrad auch als anerkanntes Verkehrsmittel etabliert werden. In der Landeshauptstadt Graz soll die Erhöhung des Radverkehrsanteils durch den Masterplan „RADMOBIL Graz 2030“ umgesetzt werden. Als Hauptziele der Mobilitätsoffensive werden die Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie die Verbesserung der Lebensqualität definiert. Als Grundlage dient eine Radnetzstudie des steirischen Kernballungsraumes, in der ein Idealnetz, bestehend aus Radschnellwegen, Verbindungswegen und Zufahrtswegen, festgelegt wurde. Anhand dieses Idealnetzes sollen bis 2030 Investitionen in Höhe von 100 Mio. Euro in den Ausbau der Radinfrastruktur fließen und somit zur Steigerung des Radverkehrsanteils beitragen.

Einen Teil dieses Idealnetzes bildet die Verbindung Geidorfplatz – WKO Steiermark (Bergmannngasse) im Osten von Graz, welcher als Radschnellweg kategorisiert wurde. Der Standort WKO Steiermark zusammen mit dem WIFI Steiermark und dem FH CAMPUS 02 bietet hohes Potenzial für den Radverkehr, welches bisher noch nicht ausgeschöpft wurde. Gründe für dieses geringe Verkehrsaufkommen sind einerseits die fehlende Bereitschaft zum Umstieg, sowie die unzureichende Anbindung an die bestehende Radinfrastruktur. Die Bergmannngasse führt als zweistreifige Hauptverkehrsstraße mit angrenzenden Parkstreifen Richtung Norden und wird aufgrund hoher Geschwindigkeiten und fehlender Verkehrssicherheit von Radfahrenden gemieden.

Aufgabenstellung

In dieser Masterarbeit soll eine fahrradfreundliche Umgestaltung der Bergmannngasse zwischen dem Geidorfplatz und der WKO Steiermark ausgearbeitet werden. Die Querschnittsveränderungen in der Bergmannngasse ziehen verkehrliche Auswirkungen in den umliegenden Straßen nach sich. Die Arbeit gliedert sich in zwei sequenziell ablaufende Stufen.

Im ersten Schritt sollen durch makroskopische Untersuchungen mit dem bestehenden Grazer Verkehrsmodell GUARD 20 Veränderungen der Routenwahl im motorisierten Individualverkehr durch Kapazitätseinschränkungen der Bergmannngasse analysiert werden. Nach erfolgter Nachkalibrierung sollen Planfallszenarien entwickelt und mittels verkehrlichen Kenngrößen verglichen werden.

Darauffolgend werden mithilfe einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation detaillierte Auswirkungen im Verkehrsablauf der Bergmannngasse betrachtet. So können Reisezeitveränderungen der Kfz sowie der Busse über den Verlauf der Bergmannngasse vertieft untersucht werden.

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

- **Datenbeschaffung sowie Festlegung des Untersuchungsgebietes**
Beschaffung von Zähldaten aus Knotenstromzählungen zur Kalibrierung auf das Basisjahr 2020. Einholung von Planunterlagen der Stadt Graz zur weiteren Verarbeitung.
- **Kalibrierung Basisjahr 2020**
Mithilfe der Zähldaten soll die Kalibrierung des Teilnetzes auf das Basisjahr 2020 für die Spitzenstunden (07:00 – 08:00 und 16:00 – 17:00) durchgeführt werden.
- **Modellierung, Berechnung und Auswertung makroskopischer Planfallszenarien**
Anhand der Planungsunterlagen der Stadt Graz sollen Planfallszenarien in der Bergmannngasse modelliert werden. Dieser Schritt beinhaltet die Modellierung der Szenarien sowie die Berechnungen und Auswertungen von verkehrlichen Kenngrößen.
- **Modellierung, Berechnung und Auswertung mikroskopischer Planfallszenarien**
Auf Basis ausgewählter makroskopischer Modellszenarien werden mikroskopische Verkehrsflussmodelle aufgebaut, kalibriert und ausgewertet. Mikroskopische Verkehrsszenarien ermöglichen eine detaillierte Betrachtung über die Bergmannngasse sowie die umliegenden Streckenzüge.
- **Analyse der Planfallszenarien**
Die Ergebnisse der einzelnen Planfallszenarien werden gegenübergestellt und ihre verkehrlichen Auswirkungen verglichen.

Für die Bearbeitung der Masterarbeit stehen die Verkehrsplanungssoftware VISUM bzw. VISSIM der ptv AG am Institut für Straßen- und Verkehrswesen zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die Software sowie die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse der zur Verwendung gestellten Daten Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Betreuer

Alex van Dulmen, BBE MSc
Tel. 0316 873 6726
alex.vandulmen@tugraz.at
Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Modellierung des Verkehrsablaufs einer Grazer Hauptverkehrsstraße unter Einbeziehung des Radverkehrs

175 Seiten, 159 Abbildungen, 39 Tabellen

Diese Arbeit befasst sich mit dem Thema Verkehrsmodellierung, wobei anhand eines praktischen Beispiels die verkehrlichen Auswirkungen einer Kapazitätsreduktion für den motorisierten Individualverkehr einer Grazer Hauptverkehrsstraße untersucht wurden.

In der Stadt Graz soll mithilfe des Masterplans „RADMOBIL Graz 2030“ die Erhöhung des Radverkehrsanteils gelingen, wodurch sich eine Verbesserung der Verkehrssicherheit sowie der Lebensqualität ergeben soll. Die Grundlage dafür liefert die Radnetzstudie des steirischen Zentralraumes, in der ein Idealnetz, bestehend aus Radschnellwegen, Verbindungswegen und Zufahrtswegen, festgelegt wurde. Einen Teilabschnitt dieses kategorisierten Netzes bildet der Abschnitt Geidorfplatz – Wirtschaftskammer Steiermark über die Bergmannngasse, wo der Entfall eines Fahrstreifens in der Bergmannngasse, Platz für einen Zweirichtungsradweg schaffen soll.

Eine wesentliche Aufgabe der Arbeit war der Nachweis der Leistungsfähigkeit der Bergmannngasse mit einem Fahrstreifen. Dazu wurde aus dem bereits bestehenden makroskopischen Verkehrsmodell GUARD ein Teilnetz generiert. Mit einem makroskopischen Verkehrsmodell in möglichst hoher Auflösung sollten Aussagen über Verlagerungseffekte in einem relativ kleinen Untersuchungsgebiet getroffen werden. Dazu wurde im erzeugten Teilnetz die Anzahl der Anbindungen pro Bezirk erhöht und die Routenwiderstandsberechnung für drei relevante Knoten mittels Knotenwiderstandsanalyse durchgeführt. Zudem wurde die Kapazität der Bergmannngasse anhand einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation ermittelt, um eine möglichst realitätsnahe Widerstandsberechnung des makroskopischen Modells zu ermöglichen. Das angepasste Verkehrsmodell wurde mit Zählraten aus dem Jahr 2019 kalibriert, woraus in weiterer Folge Maßnahmeplanfälle entwickelt und danach in Form von Verkehrsstromanalysen sowie Verkehrsspinnen analysiert wurden.

In einer mikroskopischen Verkehrssimulation wurde einerseits eine Kapazitätsanalyse der Bergmannngasse durchgeführt. Die Kapazität der Bergmannngasse wird von beidseits angrenzenden Parkstreifen und Ab- sowie Einbiegemanövern beeinflusst, wodurch eine Modellierung der Parkplätze notwendig war. Über einen vorgegebenen Parkdruck sowie einer definierten Parkdauer konnte die Kapazität der Bergmannngasse für einen bzw. zwei Fahrstreifen ermittelt werden. Es folgt daraus, dass die Kapazität der Bergmannngasse vom stromaufwärts liegenden signalisierten Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße diktiert wird, die Streckenkapazitäten betragen 1300 Kfz/h für einen bzw. 3100 Kfz/h für zwei Fahrstreifen.

Andererseits erfolgte noch die mikroskopische Simulation des Verkehrsablaufes des gesamten Planungsgebietes, um Änderungen bei den Reise- bzw. Wartezeiten an den Knoten aufzuzeigen. Das angepasste Netz wurde um das Verkehrsmittel Bus erweitert, da dieses den Verkehrsablauf maßgeblich beeinflusst. Unter Verwendung der makroskopischen Belastungen erfolgte die Entwicklung von Maßnahmeplanfällen, bei denen die Führung des Radverkehrs sowie die der Buslinien variiert wurden. Eine Anpassung der Signalzeiten an den wesentlichen Knoten führt zu einer höheren Verkehrsleistung aber nicht zur Erhöhung der Wartezeiten. Durch das gezielte Einsetzen von Busstreifen kann eine Reduktion der Reisezeiten erreicht werden.

Abstract

Simulation of an urban road including bicycle traffic

175 pages, 159 figures, 39 tables

This master thesis deals with the topic of transport modelling, whereby the traffic effects of a capacity reduction for motorised individual traffic of an urban main road are to be examined on the basis of a practical example.

In the city of Graz, the master plan "RADMOBIL Graz 2030" aims to increase the share of bicycle traffic, which should result in an improvement of traffic safety and quality of life. The basis for this is provided by the cycle network study of the Styrian central region, in which an ideal network consisting of cycle expressways, connecting routes and access routes was defined. One section of this categorised network is the section Geidorfplatz – WKO Steiermark via Bergmannngasse, where the elimination of a lane in Bergmannngasse is to free up space for a cycle path.

An essential task of the work was to prove the performance of Bergmannngasse with one lane. For this purpose, a subnetwork was generated from the already existing macroscopic travel demand model GUARD. With a macroscopic travel demand model in a high resolution as possible, statements were to be made about displacement effects in a relatively small study area. For this purpose, the number of connections per district was increased in the generated subnetwork and the route resistance calculation for three relevant nodes was carried out by means of node resistance analysis. In addition, the capacity of Bergmannngasse was determined using a microscopic traffic flow simulation in order to enable a realistic resistance calculation. The adjusted travel demand model was calibrated using count data from 2019, from which planning scenarios were subsequently developed and then analysed using traffic flow analyses.

In a microscopic traffic simulation, a capacity analysis of Bergmannngasse was carried out on the one hand, whereby the network elements were imported from the macroscopic model. The capacity of Bergmannngasse is influenced by adjacent parking lanes on both sides and turning manoeuvres, which made it necessary to model the parking spaces. The capacity of Bergmannngasse could be determined for one or two lanes using a given parking pressure and a defined parking duration. It follows that the capacity of Bergmannngasse is governed by the upstream signalized intersection 503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße where the roadway capacities are 1300 vehicles/hour for one lane and 3100 vehicles/hour for two lanes.

Afterwards, the microscopic simulation of the traffic flow of the entire planning area was carried out in order to be able to show changes in the travel times and delays at the nodes. The adapted network was extended to include the bus mode of transport, as this has a significant influence on the traffic flow. Using the macroscopic loads, planning scenarios were developed in which the routing of bicycle traffic and bus lines was varied. Adjusting the signal times at the main nodes leads to a higher traffic performance but not to an increase in waiting times. A reduction in travel times can be achieved through the use of bus lanes.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungen.....	viii
1 Einleitung.....	1
1.1 Hintergrund.....	1
1.2 Problemstellung.....	1
1.3 Methodik.....	2
1.4 Aufbau der Arbeit.....	2
2 Ausgangssituation.....	4
2.1 Grazer Radverkehr.....	4
2.2 Politische Rahmenbedingungen.....	7
2.2.1 Verkehrspolitische Leitlinie 2020.....	7
2.2.2 Grazer Mobilitätskonzept 2020.....	9
2.2.3 RADMOBIL Graz 2030.....	12
2.3 Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark.....	16
2.3.1 Planfälle.....	19
3 Makroskopisches Verkehrsmodell.....	22
3.1 Methodische Grundlagen Verkehrsnachfragemodelle.....	22
4-Stufen Algorithmus.....	22
3.2 GUARD Modell.....	24
3.2.1 Räumliche Eingrenzung.....	24
3.2.2 Zeitliche Eingrenzung.....	26
3.2.3 Struktur des Verkehrsmodells.....	26
3.3 Untersuchungsgebiet.....	28
3.3.1 Räumliche Abgrenzung.....	28
3.3.2 Zeitliche Abgrenzung.....	29
3.4 Ablauf Modellierung.....	30
3.5 Teilnetz.....	30
3.5.1 Generierung Teilnetz.....	31
3.5.2 Anbindungen.....	33
3.5.3 Zählraten.....	39
3.5.4 Nachfrageskalierung.....	41
3.5.5 Matrixkorrektur.....	42

3.5.6	Widerstände.....	44
3.6	Umlegung Basisfall	55
3.7	Umsetzung Planfall.....	62
4	Mikroskopische Verkehrssimulation.....	63
4.1	Modellaufbau	63
4.1.1	Netzmodell.....	65
4.1.2	Verhaltenstypen.....	72
4.1.3	Parkplätze.....	73
4.1.4	ÖV-Linien.....	75
4.1.5	Radfahrer.....	76
4.1.6	Fußgänger.....	77
4.1.7	Simulationsparameter.....	77
5	Ergebnisse.....	78
5.1	Makroskopische Modellergebnisse.....	78
5.1.1	Verkehrsverlagerungen.....	78
5.2	Mikroskopische Modellergebnisse.....	91
5.2.1	Kapazität Bergmanngasse	91
5.2.2	Knoten - Level of Service	93
5.2.3	Reisezeitmessungen Bus	117
6	Schlussfolgerung.....	119
6.1	Fazit	119
6.2	Ausblick.....	120
	Literaturverzeichnis.....	121
	Anhang	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modal Split 2018 (ZIS+P 2019)	4
Abbildung 2: Verkehrsmittelaufteilung nach Alter 2018 (ZIS+P 2019)	4
Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der MIV-Wege im Vergleich zur mittleren Wegelänge von anderen Verkehrsmitteln (ZIS+P 2019).....	5
Abbildung 4: Hauptradroutennetz Graz (Stadt Graz 2021b).....	7
Abbildung 5: Entwicklung des Modal Split in Graz mit Zielgrößen für 2021 (Stadt Graz 2012).....	9
Abbildung 6: Attraktivität des Bestandnetzes aus GPS-Radverkehrsdaten (Kofler et al. 2020)	14
Abbildung 7: Kategorisiertes Idealnetz 2019 für den Radverkehr im steirischen Kernballungsraum (Kofler et al. 2020).....	15
Abbildung 8: Grabenviertel mit Potenzialen (Degros et al. 2020)	17
Abbildung 9: Ausschnitt Radkarte Stadt Graz (Stadt Graz 2019)	18
Abbildung 10: Planvariante Bergmannngasse.....	21
Abbildung 11: Untersuchungsgebiet GUARD	25
Abbildung 12: Untersuchungsgebiet – Planungsgebiet Radkorridor Geidorf.....	29
Abbildung 13: Flussdiagramm zur Methodik des Modellaufbaus.....	30
Abbildung 14: Parameter Teilnetzgenerator.....	32
Abbildung 15: Darstellung des mittels Teilnetzgenerator erstellten Gebiets samt Strecken	33
Abbildung 16: Modellierung von Anbindungen in Visum (PTV AG 2021b)	36
Abbildung 17: Ablauf Anbindungserzeugung	37
Abbildung 18: Einstellungen Anbindungserzeugung.....	38
Abbildung 19: Neu erzeugte Anbindungen im Teilnetz	39
Abbildung 20: Zählstellen der Stadt Graz inklusive Planungsgebiet (Stadt Graz 2020)	40
Abbildung 21: Tagesganglinie Zählstelle 207 Heinrichstraße (Stadt Graz 2020)	41
Abbildung 22: Verfahren zur Matrixkorrektur mittels VStromFuzzy (PTV AG 2021b)	42
Abbildung 23: Ablauf Kapazitätsanalyse bei signalisierten Knoten (PTV AG 2021b)	47
Abbildung 24: Orthofoto Knoten 504 – Geidorfplatz (Land Steiermark 2021)	48
Abbildung 25: VISUM Geometrie Knoten 504 - Geidorfplatz	48
Abbildung 26: Ablauf der Umlegung mittels ICA (PTV AG 2021b)	56
Abbildung 27: Ermittlung Kapazität Bergmannngasse mittels VISSIM.....	58
Abbildung 28: Knotenstromplan Knoten 502.....	60
Abbildung 29: Knotenstromplan Knoten 504.....	60
Abbildung 30: Verkehrsbelastung Basisfall Abendspitze	61
Abbildung 31: Knotenstromplan Basisfall Abendspitze	62
Abbildung 32: Schematischer Programmaufbau in VISSIM nach Barceló (2010)	64
Abbildung 33: erweiterte Modellstruktur der mikroskopischen Verkehrssimulation	65
Abbildung 34: Knoten 504 – Geidorfplatz in Fahrstreifenansicht.....	66
Abbildung 35: Knoten 504 – Geidorfplatz in Gitteransicht	66
Abbildung 36: Angepasstes Streckennetz	66
Abbildung 37: Konfliktflächen am Knoten 504 - Geidorfplatz	67
Abbildung 38: Konfliktflächen am Knoten 502 – Grabenstraße/Humboldtstraße.....	67
Abbildung 39: Langsamfahrbereich für Rechts- bzw. Linksabbieger	68
Abbildung 40: Schematischer Definition eines Langsamfahrbereichs für Rechtsabbieger	68

Abbildung 41: Kfz-Zuflüsse	69
Abbildung 42: Fahrzeugroute 7 Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldstraße	70
Abbildung 43: Fahrzeugteilroute 7-3 mit Dummy-Konnektor Knoten 503	70
Abbildung 44: Signalgeber Knoten 502	71
Abbildung 45: Signalzeiten Knoten 502 (Stadt Graz 2021a)	71
Abbildung 46: Signalgeber Knoten 503	71
Abbildung 47: Signalzeiten Knoten 503 (Stadt Graz 2021a)	71
Abbildung 48: Signalgeber Knoten 504	72
Abbildung 49: Signalzeiten Knoten 504 (Stadt Graz 2021a)	72
Abbildung 50: Modellierte Längsparker Bergmannngasse	74
Abbildung 51: Parkende Fahrzeuge Bergmannngasse	74
Abbildung 52: Haltestellen am Busstreifen Knoten 504	75
Abbildung 53: Dummy-Haltestelle zur Einfahrtsverteilung	75
Abbildung 54: Radverkehrsführung PF2-1	76
Abbildung 55: Radverkehrsführung PF2-2 bzw. PF2-3	77
Abbildung 56: Struktur der Ergebnisse	78
Abbildung 57: Planfall 1, Zu-/Abnahme des MIV	79
Abbildung 58: Streckenspinne Bergmannngasse - Basisfall	80
Abbildung 59: Streckenspinne Bergmannngasse – Planfall 1	81
Abbildung 60: Streckenspinne Humboldstraße - Basisfall	82
Abbildung 61: Streckenspinne Humboldstraße – Planfall 1	82
Abbildung 62: Streckenspinne Franckstraße - Basisfall	82
Abbildung 63: Streckenspinne Franckstraße – Planfall 1	82
Abbildung 64: Streckenspinne Körblergasse - Basisfall	82
Abbildung 65: Streckenspinne Körblergasse – Planfall 1	82
Abbildung 66: Streckenspinne Wickenburggasse - Basisfall	83
Abbildung 67: Streckenspinne Wickenburggasse – Planfall 1	84
Abbildung 68: Streckenspinne Korösistraße - Basisfall	84
Abbildung 69: Streckenspinne Korösistraße – Planfall 1	84
Abbildung 70: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße - Basisfall	85
Abbildung 71: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße – Planfall 1	85
Abbildung 72: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse - Basisfall	85
Abbildung 73: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse – Planfall 1	85
Abbildung 74: Planfall 2, Zu-/Abnahme des MIV	86
Abbildung 75: Streckenspinne Bergmannngasse – Planfall 2	87
Abbildung 76: Streckenspinne Wickenburggasse – Planfall 2	88
Abbildung 77: Streckenspinne Korösistraße – Planfall 2	89
Abbildung 78: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße – Planfall 2	89
Abbildung 79: Verkehrsbelastung Planfall 2	90
Abbildung 80: Messquerschnitte Kapazitätsanalyse Bergmannngasse	92
Abbildung 81: Fahrstreifenaufteilung Basisfall	94
Abbildung 82: Fahrstreifenaufteilung Planfall 2-1	98
Abbildung 83: Signalgruppen Knoten 503 – PF2-1	98
Abbildung 84: Signalzeiten Knoten 503 – PF2-1	98
Abbildung 85: Buslinienführung PF2-1, adaptiert von (Graz Linien 2021a)	101

Abbildung 86: Fahrstreifenaufteilung PF2-2	102
Abbildung 87: Fahrstreifenaufteilung PF 2-3	105
Abbildung 88: Signalgruppen Knoten 504 – PF2-3.....	106
Abbildung 89: Signalzeiten Knoten 504 PF2-3	106
Abbildung 90: Knoten 502 – Differenz Verkehrsbelastung	109
Abbildung 91: Knoten 502 – Rückstaulängen.....	110
Abbildung 92: Knoten 502 – mittlere Wartezeiten ÖV	110
Abbildung 93: Knoten 502 – mittlere Wartezeiten MIV	111
Abbildung 94: Knoten 503 – Differenz Verkehrsbelastung	111
Abbildung 95: Knoten 503 – Mittlere Rückstaulänge	112
Abbildung 96: Knoten 503 – Mittlere Wartezeit ÖV	113
Abbildung 97: Knoten 503 – Mittlere Wartezeit MIV	113
Abbildung 98: Knoten 504 – Differenz Verkehrsbelastung	114
Abbildung 99: Knoten 504 – Mittlere Rückstaulänge	115
Abbildung 100: Knoten 504 – Wartezeiten ÖV	115
Abbildung 101: Knoten 504 – Mittlere Wartezeit MIV	116
Abbildung 102: Mittlere Reisezeiten Bus	117
Abbildung 103: Tagesganglinie Zählstelle 206 – Parkstraße.....	123
Abbildung 104: Tagesganglinie Zählstelle 207 – Heinrichstraße Richtung Westen	123
Abbildung 105: Tagesganglinie Zählstelle 207 – Heinrichstraße Richtung Osten	123
Abbildung 106: Signallageplan Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse.....	126
Abbildung 107: Signalprogramm S8 Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse.....	127
Abbildung 108: Signallageplan Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße	128
Abbildung 109: Signalprogramm S8 Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße	129
Abbildung 110: Signalprogramm S8_adaptiert Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße	129
Abbildung 111: Signallageplan Knoten 504 – Geidorfplatz.....	130
Abbildung 112: Signalprogramm S8 Knoten 504 – Geidorfplatz.....	131
Abbildung 113: Signalprogramm S8 lokal Knoten 504 – Geidorfplatz	131
Abbildung 114: Signalprogramm PF2-3 Knoten 504 – Geidorfplatz	132
Abbildung 115: Verkehrsbelastung Basisfall	133
Abbildung 116: Verkehrsbelastung Planfall 1	134
Abbildung 117: Differenz Verkehrsbelastung Planfall 1.....	135
Abbildung 118: Verkehrsbelastung Planfall 2	136
Abbildung 119: Differenz Verkehrsbelastung Planfall 2.....	137
Abbildung 120: Streckenspinne Bergmannngasse Basisfall	138
Abbildung 121: Streckenspinne Franckstraße Basisfall.....	139
Abbildung 122: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Basisfall	140
Abbildung 123: Streckenspinne Humboldtstraße Basisfall	141
Abbildung 124: Streckenspinne Körblergasse Basisfall.....	142
Abbildung 125: Streckenspinne Korösistraße Basisfall	143
Abbildung 126: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße Basisfall	144
Abbildung 127: Streckenspinne Wickenburggasse Basisfall	145
Abbildung 128: Streckenspinne Bergmannngasse Planfall 1	146
Abbildung 129: Streckenspinne Franckstraße Planfall 1	147
Abbildung 130: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Planfall 1	148

Abbildung 131: Streckenspinne Humboldtstraße Planfall 1.....	149
Abbildung 132: Streckenspinne Körblergasse Planfall 1	150
Abbildung 133: Streckenspinne Korösisstraße Planfall 1	151
Abbildung 134: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße Planfall 1	152
Abbildung 135: Streckenspinne Wickenburggasse Planfall 1.....	153
Abbildung 136: Streckenspinne Bergmannngasse Planfall 2	154
Abbildung 137: Streckenspinne Franckstraße Planfall 2	155
Abbildung 138: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Planfall 2	156
Abbildung 139: Streckenspinne Humboldtstraße Planfall 2.....	157
Abbildung 140: Streckenspinne Körblergasse Planfall 2	158
Abbildung 141: Streckenspinne Korösisstraße Planfall 2	159
Abbildung 142: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße Planfall 2	160
Abbildung 143: Streckenspinne Wickenburggasse Planfall 2.....	161
Abbildung 144: Verkehrsbelastung Knoten 502.....	163
Abbildung 145: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 502.....	163
Abbildung 146: Mittlere Rückstaulänge Knoten 502	164
Abbildung 147: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 502.....	164
Abbildung 148: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 502	165
Abbildung 149: Verkehrsbelastung Knoten 503.....	167
Abbildung 150: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 503.....	167
Abbildung 151: Mittlere Rückstaulänge Knoten 503	168
Abbildung 152: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 503.....	168
Abbildung 153: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 503	169
Abbildung 154: Verkehrsbelastung Knoten 504.....	171
Abbildung 155: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 504.....	171
Abbildung 156: Mittlere Rückstaulänge Knoten 504	172
Abbildung 157: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 504.....	172
Abbildung 158: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 504	173
Abbildung 159: Reisezeiten Bus	175

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hauptradrouten Graz.....	6
Tabelle 2: Übergeordnete Ziele aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012)	9
Tabelle 3: Ziele für die Nahmobilität aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012) ...	10
Tabelle 4: Qualitative Ziele aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012)	10
Tabelle 5: Netzhierarchie des Radnetzes des steirischen Kernballungsraums (Kofler et al. 2020)	13
Tabelle 6: Kriterien zur Variantenbewertung (Degros et al. 2020)	19
Tabelle 7: Bewertung Planungsvarianten Radkorridor WKO (Degros et al. 2020)	20
Tabelle 8: Eckdaten makroskopisches Verkehrsmodell GUARD	25
Tabelle 9: Verkehrsmodi im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b).....	26
Tabelle 10: Verhaltenshomogene Gruppen im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b)	26
Tabelle 11: Aktivitäten im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b).....	27
Tabelle 12: Dauerzählstellen im Planungsgebiet (Stadt Graz 2020)	39
Tabelle 13: Strecken CR-Funktionen	45
Tabelle 14: Abbiegezeiten VISUM	45
Tabelle 15: ICA - Fahrtbeziehungsbelastungen	48
Tabelle 16: ICA - Fahrstreifenbelastungen	49
Tabelle 17: ICA - Sättigungsverkehrsstärke	50
Tabelle 18: Grenzwerte für LOS an signalisierten Knoten (HCM 2010)	52
Tabelle 19: ICA – Kapazität, Wartezeit und LOS.....	53
Tabelle 20: ICA - Staulängen.....	54
Tabelle 21: Ergebnisse des kalibrierten Streckennetzes	59
Tabelle 22: Belastungen Messquerschnitte Kapazitätsanalyse.....	92
Tabelle 23: Knoten 502 – LOS BF.....	95
Tabelle 24: Knoten 503 – LOS BF.....	95
Tabelle 25: Knoten 504 – LOS BF.....	96
Tabelle 26: Knoten 502 – PF2-1 LOS.....	99
Tabelle 27: Knoten 503 – LOS PF2-1.....	99
Tabelle 28: Knoten 504 – LOS PF2-1.....	100
Tabelle 29: Knoten 502 – LOS PF2-2.....	103
Tabelle 30: Knoten 503 – LOS PF2-2.....	103
Tabelle 31: Knoten 504 – LOS PF2-2.....	104
Tabelle 32: Knoten 502 – LOS PF2-3.....	106
Tabelle 33: Knoten 503 – LOS PF2-3.....	107
Tabelle 34: Knoten 504 – LOS PF2-3.....	107
Tabelle 35: Auswahl Nachmittagsspitze.....	124
Tabelle 36: Knoten 502 – Level of Service.....	162
Tabelle 37: Knoten 503 – Level of Service.....	166
Tabelle 38: Knoten 504 – Level of Service.....	169
Tabelle 39: Busreisezeiten.....	173

Abkürzungen

BPR	Bureau of Public Roads
BF	Basisfall
CR-Funktion	Capacity Restrain-Funktion
FamoS	Fahrradverkehrsmodell als Planungsinstrument zur Reorganisation des Straßenraums
GEH-Wert	Anpassungsgütemaß in der Verkehrsmodellierung
GUARD	Guaranteed Ride Home
HCM	Highway Capacity Manual
ICA	Intersection Capacity Analysis
IV	Individualverkehr
KONTIV	Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten
LOS	Level of Service
LQI	Lebensqualität-Indikatoren
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NMIV	Nicht motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PF	Planfall
QZD-Verkehr	Quell-, Ziel- und Durchgangs-Verkehr
RVS	Richtlinie und Vorschriften für das Straßenwesen
VISEM	Verkehrsplanungsmodul Verkehr in Städten: Erzeugungsmodell
VISSIM	Verkehrssimulationssoftware Verkehr in Städten: Simulation
VISUM	Verkehrsplanungssoftware Verkehr in Städten: Umlegung
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
VOT	Value of Time

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Als zweitgrößte Stadt bildet die steirische Landeshauptstadt Graz einen wichtigen Ballungsraum für Österreich. Neben der Attraktivität als Wirtschaftsstandort ist Graz als Studentenstadt bekannt. Die fortwährende Urbanisierung lässt sich anhand der steigenden Bevölkerungsanzahl darstellen. Laut einer Bevölkerungsprognose der Stadt Graz (2015) sollen im Jahr 2030 rund 321.000 Einwohner in Graz leben. Am 1.1.2020 zählte die Stadt Graz (2020) rund 295.000 Einwohner, wobei sich die Zahl der Studierenden auf rund 61.000 belief. Das Bevölkerungswachstum lässt sich ebenso im Grazer Straßennetz beobachten. Zu den Stoßzeiten kommt es auf den Pendlerstrecken vermehrt zu Verkehrsüberlastungen, welche nicht nur in Zeitverlusten der Verkehrsteilnehmer resultieren, sondern viel mehr noch in Lärm- und Schadstoffbelastungen der Anrainer. Aufgrund der geografischen Lage gilt Graz als Feinstaub-Hochburg, wobei die Schadstoffbelastung durch den Kfz-Verkehr verstärkt wird. Diese unbefriedigende Situation wird von Interessensvertretungen kritisiert und erfährt durch die „Klimadebatte“ erhöhten Stellenwert. Die Politik wird somit aufgefordert Lösungen, Ziele und Strategien zum Ausbau der Verkehrsinfrastruktur zu entwickeln.

1.2 Problemstellung

Die Stadt Graz will mit ihrer Radoffensive RADMOBIL 2030 den Radverkehrsanteil weiter steigern, um verkehrlichen Herausforderungen entgegenzusteuern. Mit rund 19 % Radverkehrsanteil (ZIS+P 2019) liegt die steirische Landeshauptstadt im nationalen Vergleich nur knapp hinter Salzburg (20 %) an zweiter Stelle. Um eine höhere Verkehrssicherheit sowie eine Verbesserung der Lebensqualität zu erreichen, wurde ein Idealnetz mit verschiedenen Netzelementen definiert, das bis 2030 mit Investitionen in Höhe von 100 Millionen Euro realisiert werden soll.

Einen Teil dieses Idealnetzes bildet der Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark im Osten von Graz, welcher in der Radnetzstudie des steirischen Kernballungsraums als Kategorie A Radnetz (Radschnellweg) definiert wurde. Einerseits soll eine radiale Verbindung beginnend vom Geidorfplatz (Innenstadtring) Richtung Norden geschaffen werden und andererseits bietet der Standort WKO Steiermark zusammen mit dem WIFI Steiermark und dem FH CAMPUS 02 Potenzial für den Radverkehr, welches bisher noch nicht ausgeschöpft wurde. Als direkte Verbindung Richtung Norden zeigt die Bergmanngasse mit zwei Fahrstreifen wenig Attraktivität für den Radverkehr. Ziel dieser Arbeit ist es, einen fahrradfreundlichen Verbindungskorridor zwischen Geidorfplatz und WKO Steiermark auszuarbeiten, wobei die verkehrlichen Auswirkungen aufgrund von Querschnittsveränderungen untersucht werden sollen.

Eine Kernaufgabe dieser Arbeit besteht in der Ermittlung von Verlagerungseffekten des motorisierten Individualverkehrs im Untersuchungsgebiet. Aus dem bestehenden makroskopischen Verkehrsmodell GUARD soll ein hochauflösendes Teilmodell generiert werden, welches die verkehrlichen Verlagerungen in einem relativ kleinen Gebiet ermitteln soll. Das ausgeschnittene Teilgebiet soll durch die Erhöhung der Anzahl der Anbindungen sowie der Einführung der Knotenwiderstandsberechnung realitätsnahe Ergebnisse liefern. Zudem wird das Modell anhand von Zählraten kalibriert. Als Ergebnis sollen die Verkehrsbelastungen gegenübergestellt und daraus Schlüsse gezogen werden.

Unter Verwendung einer mikroskopischen Verkehrssimulation soll einerseits die Kapazität der betrachteten Hauptverkehrsstraße ermittelt werden. Nach erfolgtem Import des Netzes sollen durch

die Modellierung von Parkplätzen und Ein- bzw. Abbiegemanövern Rückschlüsse auf die Kapazität der Bergmannngasse gezogen werden, welche danach im makroskopischen Modell zur Routenwiderstandsberechnung verwendet werden. Andererseits soll der Verkehrsablauf im Planungsgebiet simuliert werden, um die Leistungsfähigkeit der Knoten sowie Änderungen der Reisezeiten von Bussen festzustellen.

1.3 Methodik

In Abstimmung mit der Stadt Graz sollen Planfallszenarien für den Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark entwickelt werden, welche in weiterer Folge mithilfe des Verkehrsnachfragemodells GUARD analysiert werden sollen. Durch Querschnittsveränderungen kommt es zu Verlagerungseffekten und daher zu möglichen Leistungsfähigkeitsproblemen. Dazu sollten Lösungsansätze erarbeitet werden.

Die Ermittlung der Verlagerungseffekte wird mithilfe des Verkehrsnachfragemodells GUARD durchgeführt. Dazu wird aus dem bestehenden Modell des steirischen Zentralraums ein Teilnetz, welches den nordöstlichen Quadranten des Grazer Stadtgebietes abbildet, ausgeschnitten. Anschließend sollen Feinjustierungen am makroskopischen Modell zu einem hochauflösenden und maßnahmesensitiven Teilmodell führen, welches detaillierte Änderungen im Netz abbilden kann. Diese Anpassung geschieht durch die Erhöhung der Anzahl der Anbindungen, der Kalibrierung mithilfe des Zusatzmoduls „VStromFuzzy“ sowie durch den Einsatz von Knotenwiderstandsfunktionen. Das daraus resultierende Modell bildet die Grundlage für alle weiteren Untersuchungen. Die zuvor entwickelten Planfälle werden danach implementiert und hinsichtlich ihrer verkehrlichen Auswirkungen analysiert.

Um die Kapazität der Bergmannngasse zu ermitteln, wird ein Teilnetz in die Software VISSIM exportiert. Anhand einer mikroskopischen Verkehrssimulation erfolgt danach unter Einbeziehung der Parkvorgänge sowie Ab- und Einbiegemanöver eine Kapazitätsanalyse der Bergmannngasse. Die ermittelten Kapazitäten können danach wieder in das makroskopische Modell rückgeführt werden. In einem weiteren Schritt soll der Verkehrsablauf mittels mikroskopischer Verkehrssimulation im Planungsgebiet modelliert werden. Dazu wird das zuvor importierte Netz angepasst und die betroffenen Buslinien implementiert. Anhand der unterschiedlichen Planfälle sollen Belastungen sowie Wartezeiten und Rückstaulängen an den Knoten verglichen werden. Zudem kann die Änderung der Busreisezeiten analysiert werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Diplomarbeit gliedert sich in sechs Kapitel, wobei anfangs die Ausgangssituation des Grazer Radverkehrs erläutert wird.

Im zweiten Abschnitt widmet sich die Arbeit dem Grazer Radverkehrsnetz. Einerseits wird auf das Radverkehrsaufkommen sowie die radverkehrspolitischen Ziele der Stadt Graz eingegangen und andererseits wird die bestehende Radverkehrsinfrastruktur beschrieben. Danach wird auf das konkrete Beispiel, dem Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark eingegangen. Die Änderung der vorhandenen Querschnitte führt zu Verlagerungseffekten im Netz.

Das Herzstück der Diplomarbeit bildet die Erstellung eines makroskopischen Verkehrsmodells, in welchem die verkehrlichen Wirkungen der Querschnittsveränderungen untersucht werden. Der Aufbau und die Methodik des Verkehrsmodells werden anschließend näher erläutert. Dieses kann in die Erstellung des Teilnetzes, die Adaptierung der Anbindungen, die Aufbereitung der Zählraten, der

Matrixkorrektur, dem gewählten Umlegungsverfahren sowie der Implementierung der Planfälle gegliedert werden.

Das vierte Kapitel beschreibt den Modellaufbau der mikroskopischen Verkehrssimulation, bei welcher zuerst die Kapazität der Bergmannngasse bestimmt wird und im Anschluss verkehrliche Kenngrößen an den betrachteten Knoten ausgewertet werden.

Im Kapitel 5 werden die Ergebnisse in makro- bzw. mikroskopische Modellergebnisse gegliedert. Anhand des makroskopischen Verkehrsmodells zeigen Verkehrsverlagerungen die Änderungen im Netz an. Als Resultat der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation stehen die Kapazität der Bergmannngasse, die verkehrlichen Kenngrößen an den Knoten sowie die Reisezeiten der Busse zur Verfügung.

Im letzten Kapitel wird ein Fazit dieser Arbeit gezogen.

2 Ausgangssituation

2.1 Grazer Radverkehr

Die Stadt Graz sticht im bundesweiten Vergleich im Alltagsverkehr als fahrradfreundlich heraus. Aufgrund ihrer kompakten Struktur, welche durch das Hügelland gegeben ist, ergeben sich kurze Wege im Alltag. Zudem gilt Graz als Universitätsstadt, wodurch insbesondere der Radverkehrsanteil deutlich beeinflusst wird.

Mobilitätsbefragung

Die letzte Mobilitätsbefragung nach der standardisierten KONTIV-Methode wurde 2018 durchgeführt, wobei der Radverkehrsanteil von 14,5 % im Jahr 2013 auf 19,3 % im Jahr 2018 gesteigert wurde. Die Zunahme des Radverkehrs ist einerseits auf die Verkehrspolitik zurückzuführen und andererseits auf das außergewöhnlich niederschlagsarme Wetter während des Befragungszeitraums im Herbst 2018 (ZIS+P 2019). Die Wegeanteile des ÖVs sowie des Fußgängerverkehrs stagnieren, wodurch sich insgesamt eine Steigerung des Umweltverbundes auf 58,4 % ergibt. In ihrer Mobilitätsstrategie will die Stadt Graz das Verhältnis MIV zu Umweltverbund bis 2021 auf 37:63 erhöhen (siehe 2.2.2).

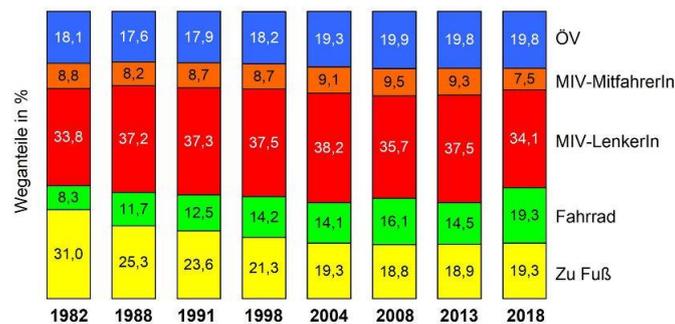


Abbildung 1: Modal Split 2018 (ZIS+P 2019)

Ein Blick auf die Verkehrsmittelverteilung nach Alter bestätigt den hohen Radverkehrsanteil zwischen 16 und 25 Jahren, welcher auf die Stellung der Studierenden im Grazer Verkehrsalltag hindeutet. Im Gegensatz dazu fällt der Radverkehrsanteil in der Altersgruppe 11 – 15 Jahre deutlich geringer aus und ist dementsprechend im ÖV höher. Die Gruppe 36 – 65 Jahre bestimmt die Verteilung des Modal Split maßgeblich, wobei hier der Radverkehrsanteil im Gegensatz zu 2013 von 14 % auf 17 % erhöht werden konnte. Ab 65 Jahren reduziert sich der Radverkehrsanteil zu Gunsten des ÖV bzw. des Fußgängerverkehrs.

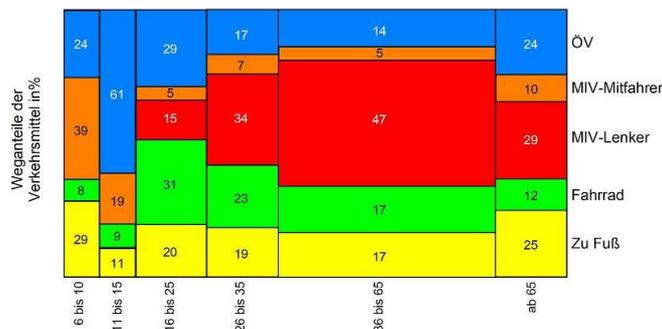


Abbildung 2: Verkehrsmittelaufteilung nach Alter 2018 (ZIS+P 2019)

Der Anteil der MIV-Wege im Verhältnis zur durchschnittlichen Wegelänge der anderen Verkehrsmittel gibt Auskunft über einen potenziellen Verkehrsmittelumstieg. 52 % der MIV-Wege unterschreiten die durchschnittliche „Tür-zu-Tür“ Wegentfernung 5,9 km für den öffentlichen Verkehr. Es ergibt sich somit nur eine geringfügig höhere Reisegeschwindigkeit von 13 km/h gegenüber 10 km/h des ÖVs. 21 % der MIV-Wege weisen eine Reiseweite unter 2,9 km auf, was der durchschnittlichen Fahrraddistanz entspricht. Hier ergibt sich eine Reisegeschwindigkeit von 10 km/h für den MIV sowie von 12 km/h für den Radverkehr.

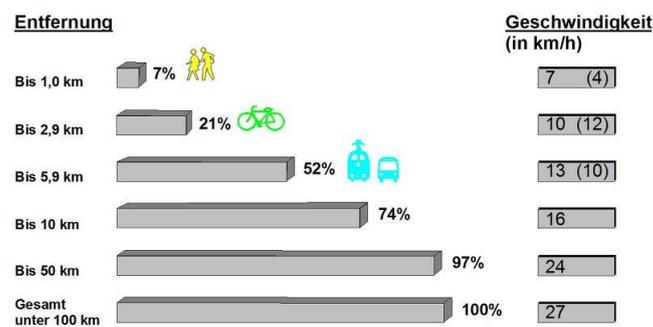


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der MIV-Wege im Vergleich zur mittleren Wegelänge von anderen Verkehrsmitteln (ZIS+P 2019)

Gerade für Wegelängen unter 6 km ergeben sich somit Reisezeitvorteile für den Umweltverbund.

Grazer Radnetz

Die Ursprünge des Grazer Radnetzes gehen auf ein politisches Umdenken im Jahre 1979 zurück, wo der Beschluss zur Erweiterung des Radverkehrsnetzes gefasst wurde. Aufgrund eines Platzmangels wurde so das Radfahren gegen die Einbahn in der Zinzendorfsgasse ermöglicht, was zum damaligen Zeitpunkt einzigartig in Österreich war. Im Allgemeinen gab es aufgrund der Kfz-freundlichen Verkehrsplanung der 1970er Jahre nur beschränkt Möglichkeiten Radverkehr in der Stadt Graz zu etablieren. Die Keplerstraße wurde 1984 verschmälert, um einen Zweirichtungsradweg zu errichten. Zu dieser stetigen Entwicklung trug wesentlich eine flächendeckende „Tempo 30“-Regelung außerhalb von Vorrangstraßen bei. Zusätzlich wurden radiale Radrouten ins Umland realisiert, wobei der Grazer Hauptplatz als Ausgangspunkt dieser Routen gilt. Im Zuge des Velocity Congress im Jahr 1999 wurden weitere Verbindungen geschaffen, woraus schließlich im Jahr 2007 das Grazer Hauptradroutennetz mitsamt seiner heutigen Beschilderung entstand. Ein Blick auf den Radverkehrsanteil in Abbildung 1 bestätigt die stetige Steigerung des Radverkehrsangebots seit den 1980er Jahren (TU Graz 2019).

Die Stadt Graz etablierte im Jahr 2007 ihr heute bekanntes Radverkehrsnetz, welches aus 13 sogenannten Hauptradrouten besteht. Die Führung der Hauptradrouten wurde im Zuge des steirischen Radschwerpunktes 2007/08 unter Einhaltung folgender Kriterien festgelegt:

1. bevorrangt: räumlich gegenüber Kfz-Verkehr
2. möglichst kreuzungsfrei
3. Mischverkehr vermeidend, in freier Natur
4. frei von Konflikten mit anderen Verkehrsarten
5. möglichst barrierefreie Verbindung
6. Erfüllung von Bürgerwünschen
7. attraktiv (Erlebnis, Zeitersparnis, Bequemlichkeit)
8. Sicherheit

9. hohe Nutzerfrequenz und hohes Nachfragepotenzial (Anbindung an öffentliche Einrichtungen und Naherholungsgebiete)
10. schnellste Verbindung von A nach B

Die bestehenden Hauptradrouten weisen qualitativ Differenzen auf, wobei im Allgemeinen die Anforderung an durchgängige Radschnellwege nicht erfüllt wird. So gibt es auf einigen Routen, vor allem an Kreuzungspunkten, Problem- bzw. Gefahrenzonen. Dadurch ergeben sich erhöhte Reisezeiten, welche die Attraktivität der Hauptradrouten senken. Die 13 Hauptradrouten sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 1: Hauptradrouten Graz

Route	Startpunkt	Endpunkt	Länge
HR1	Hauptbrücke	Gratwein	13,3 km
HR2	Hauptbrücke	Gratkorn	12 km
HR3	Ortweingasse	Stattegg	4,8 km
HR4	Rotmoosweg	Weinitzen	5,5 km
HR5	Stadtspark	Mariatrost	5,7 km
HR6	Grazer Oper	Ragnitz	4,7 km
HR7	Jakominiplatz	Raaba	7,4 km
HR8	Hauptbrücke	Gössendorf	10,6 km
HR9	Hauptbahnhof	Thalerhof	9,2 km
HR10	Puntigam	Pirka	5,7 km
HR11	Bertha von Suttner-Brücke	Straßganger Bad	6,8 km
HR12	Keplerbrücke	Schloss Eggenberg	3,3 km
HR13	Gösting	Thaler See	4,9 km

Alle Routen starten in der Grazer Innenstadt und verlaufen radial ins suburbane Umland, womit sie den Pendlerverkehr ansprechen sollen. Im Gegensatz dazu finden sich bis dato keine Tangenten im Hauptradroutennetz.

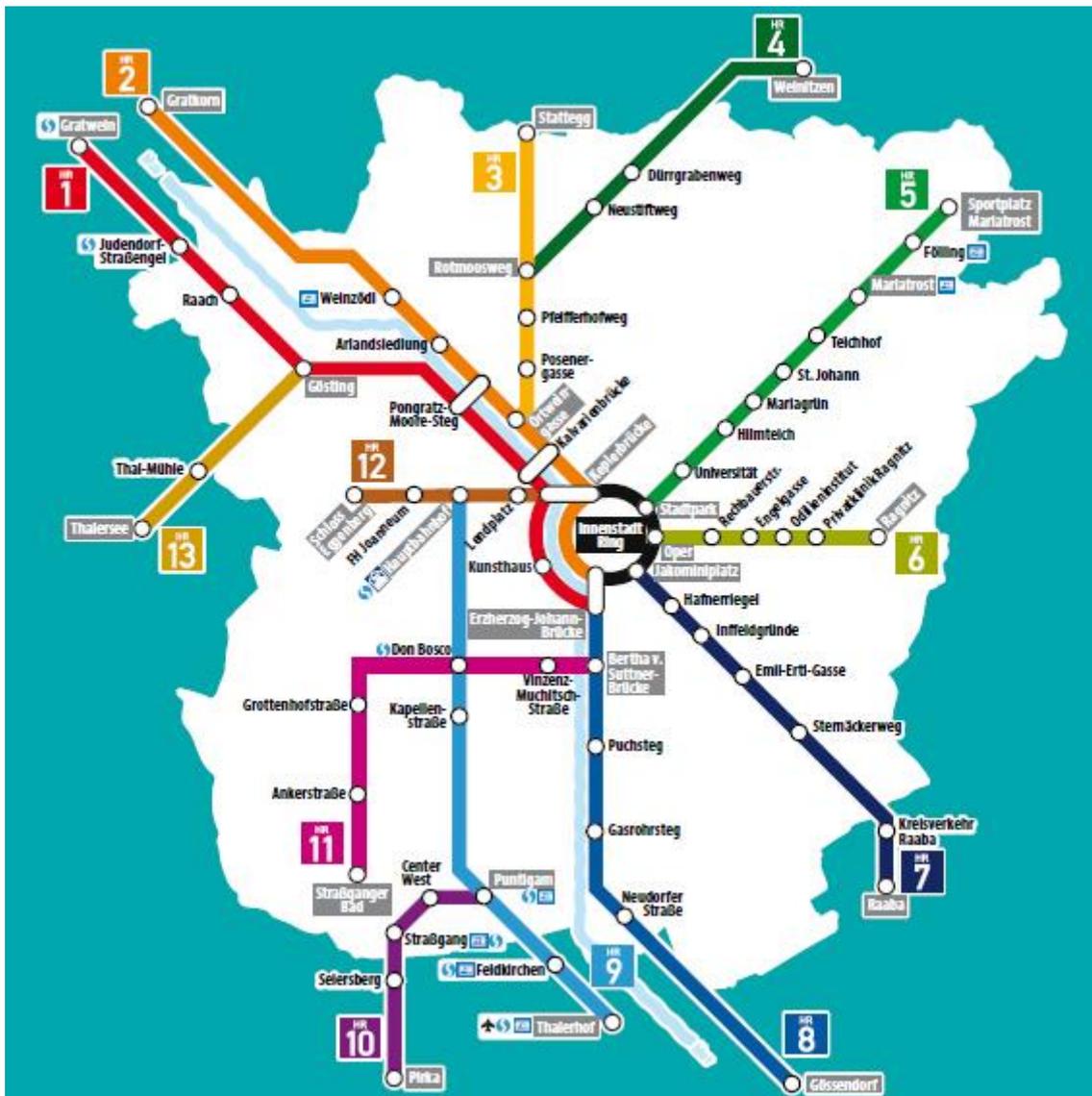


Abbildung 4: Haupttradroutennetz Graz (Stadt Graz 2021b)

2.2 Politische Rahmenbedingungen

Die Stadt Graz hat ihre verkehrspolitischen Ziele bereits 1992 in ihrer „Verkehrspolitischen Leitlinie 2000“ festgelegt. Aufkommende Diskussionen um den Klimawandel, Veränderungen der Bevölkerungsstruktur, Digitalisierung der Wirtschaftswelt sowie der steigende Energiebedarf bringen neue Herausforderungen. Damit einher gehen eine Bodenknappheit in städtischen Gebieten durch steigende Siedlungsnachfrage, eine starke Abwanderung von ländlichen Räumen sowie ein überregionaler Konkurrenzettbewerb. Die Mobilitätsstrategie der Stadt Graz ist in den Strategiepapieren „Verkehrspolitische Leitlinie 2020“ sowie „Grazer Mobilitätskonzept 2020“ definiert.

2.2.1 Verkehrspolitische Leitlinie 2020

Mit der „Verkehrspolitischen Leitlinie 2020“ vom 23.09.2010 will die Stadt Graz ihren Zielen zu einer lebenswerten Stadt in einem ökologisch und ökonomisch gut entwickelten Umfeld gerecht werden (Richtlinie A10/8-014637/2010/0004). In der Leitlinie wurden folgende Grundsätze definiert:

Nachhaltigkeit steht im Mittelpunkt

Das Mobilitätsverhalten soll künftig mit Blick auf seine Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt betrachtet und diskutiert werden. Neben der Erhaltung von Kultur- und Naturräumen sollen volkswirtschaftliche sowie umwelt- und energiepolitische Ziele vor einzelwirtschaftliche Interessen gestellt werden. Die Mobilitätsfreiheit muss auch für künftige Generationen gewährleistet werden, wobei Verhaltensveränderungen durch „soft-policies“-Maßnahmen verstärkt werden sollen. Der Planungsprozess von gewichtigen Maßnahmen soll durch Bürgerbeteiligung möglichst transparent gestaltet werden.

Graz als Stadt der kurzen Wege

Verkehr soll lediglich Mittel zum Zweck sein. Verschiedene Standorte für unterschiedliche Aktivitäten sind ein Potenzial für Mobilität. Kompakte Siedlungsstrukturen mit ausgewogener Durchmischung verschiedener Nutzungen soll eine Stadt der kurzen Wege ermöglichen. Hinsichtlich der Stadtentwicklung soll Zwangsmobilität vermieden werden und eine attraktive Nahmobilität sichergestellt werden. Neben dem Ausbau von Fuß- und Radwegeinfrastruktur soll im ÖPNV-Netz auf den Ausbau der Straßenbahn gesetzt werden. Innerhalb eines Nahversorgungsbereichs sollen attraktive Wege für den NMIV bereit stehen.

Mobilität ist in ihrer Gesamtheit zu betrachten

Eine ganzheitliche Betrachtung aller Verkehrsarten, auch über die Stadtgrenze hinaus, soll wechselseitige Beziehungen zwischen den Verkehrsmitteln miteinbeziehen. Ein nachhaltiges Mobilitätsangebot gewährleistet die Erreichbarkeit von Graz sowohl innerstädtisch als auch regional. Durch „push- und pull“-Maßnahmen können stadtverträgliche Verkehrsarten bevorzugt und unerwünschte Entwicklungen verzögert werden. Die „Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs“ bezieht sich künftig nicht nur auf den MIV, sondern auch auf den öffentlichen Verkehr sowie den Fuß- und Radverkehr. Um den Austausch zwischen Verkehrsträgern besser zu gestalten, ist den Schnittstellen, besonders zwischen städtischem und überregionalem Verkehr erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

Mobilität im urbanen Raum bedeutet Vorrang für sanfte Mobilität

Der Trendentwicklung einer weiteren Zunahme des MIV soll mit einer Stärkung der umweltfreundlichen Verkehrsformen entgegengewirkt werden. Entsprechend dem Ziel des Regionalen Verkehrskonzeptes Graz – Graz Umgebung soll das Verhältnis zwischen motorisiertem Individualverkehr und Umweltverbund von 45:55 (2008) auf 37:63 verschoben werden. Die nachhaltigen Verkehrsformen des Umweltverbundes sollen langfristig gegenüber dem motorisierten Individualverkehr priorisiert werden. Der Ausbau neuer Verkehrsinfrastruktur soll den Maßnahmen zur Effizienzsteigerung unterliegen. Des Weiteren ist den bereits erwähnten Punkten der attraktiven Nahmobilität sowie der Bewusstseinsbildung der Bevölkerung mitsamt der Einbindung von Mobilitätskonzepten erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Zudem sollen alle verkehrsrelevanten Maßnahmen vor ihrer Umsetzung auf ihre Übereinstimmung mit der „Verkehrspolitischen Leitlinie 2020“ überprüft werden.

Graz als Teil einer Region setzt auf Kooperation

Als Kernstadt des steirischen Zentralraums soll auf Kooperation in der Mobilitätspolitik gesetzt werden, da die Stadt allein nur beschränkte Möglichkeiten besitzt um auf den Gesamtverkehr einzuwirken. Dazu ist neben der Abstimmung von Planungsmaßnahmen mit anderen übergeordneten Planungsträgern (Land Steiermark, ÖBB, etc.) das Regionale Verkehrskonzept Graz – Graz Umgebung als Basis für zukünftige Verkehrsplanungsprojekte in der Region heranzuziehen. Um einer

fortschreitenden Zersiedelung des Grazer Umlandes entgegenzuwirken, sollen durch geeignete raumordnungspolitische und wirtschaftspolitische Instrumente neue Anreize zur Entwicklung des Ballungszentrums Graz geschaffen werden.

2.2.2 Grazer Mobilitätskonzept 2020

Im zweiten Teil, dem „Grazer Mobilitätskonzept 2020“, werden Ziele mit quantifizierbaren Messgrößen definiert. Einen weiteren Bestandteil bildet die Verkehrsplanungsrichtlinie, welche als verbindliche Handlungsanleitung zur Umsetzung von verkehrlichen Maßnahmen dienen soll. Daraus wird schlussendlich ein Maßnahmenpaket ausgearbeitet, damit eine möglichst ausgewogene Wirkung über alle Verkehrsarten erzielt werden kann.

Ziele

Als übergeordnetes Ziel für den Verkehr in Graz soll die Verschiebung des Modal Splits zwischen dem motorisierten Individualverkehr und dem Umweltverbund (ÖPNV, Rad, Fuß) von 45:55 (2008) auf 37:63 angestrebt werden.



Abbildung 5: Entwicklung des Modal Split in Graz mit Zielgrößen für 2021 (Stadt Graz 2012)

Tabelle 2: Übergeordnete Ziele aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012)

Übergeordnete Ziele			
Ziel	Messgröße	Ausgangswert	Zielwerte für 2021
Stärkung der Verkehrsmittel des Umweltverbundes	Modal Split, Verhältnis MIV : Umweltverbund	2008 = 45:55	37:63
Erhöhung des ÖV-Anteils	ÖV-Anteil - Modal Split	2008: 19,9 %	24 %
Erhöhung des Radverkehr-Anteils	Radverkehr-Anteil – Modal Split	2008: 16,1 %	20 %
Stabilisierung des FußgängerInnen-Anteils	FußgängerInnen-Anteil – Modal Split	2008: 18,8 %	19%
Reduktion des MIV-Anteils im BerufspendlerInnen-Verkehr	MIV-Anteil BerufspendlerInnenverkehr – Modal Split	2008: 45 %	40 %

Reduktion der Anzahl der Kfz Wege trotz Bevölkerungszuwachs	Kfz Wege pro Tag	2008: 360.800	330.990
Steigerung des Besetzungsgrades von PKW	Pkw-Besetzungsgrad	2008: 1,27	1,5
Erhöhung der Verkehrssicherheit: Reduktion der Verkehrsunfälle mit Personenschaden	Anzahl Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden	2010: 2.036	-40 %

Neben diesen übergeordneten Zielen, soll die Entwicklung der städtischen Nahmobilität über die fußläufige Entfernung (300 m) zu Einrichtungen des täglichen Lebens überprüft werden. Die Anzahl der Grazer Wohnbevölkerung, welche Lebensmittelgeschäfte, Kinderbetreuungseinrichtungen oder ÖV-Haltestellen in fußläufiger Entfernung erreichen, wird als Kennzahl zur Nahmobilität verwendet. Dabei steht diese Kennzahl nicht nur in Zusammenhang mit dem Ausbau des Nahverkehrs, sondern auch mit der Siedlungs- und Stadtentwicklung (Stadt Graz 2012).

Tabelle 3: Ziele für die Nahmobilität aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012)

Ziele für die Nahmobilität			
Ziel	Messgröße	Ausgangswert 2011	Zielwerte 2021
Verbesserung der fußläufigen Erreichbarkeit von Nahversorgungseinrichtungen	Prozent der Wohnbevölkerung, die eine Nahversorgungseinrichtung im Umkreis von 300m Wegentfernung haben	36,4 %	42 %
Verbesserung der fußläufigen Erreichbarkeit von ÖV-Haltestellen	Prozent der Wohnbevölkerung, die eine ÖV-Haltestelle im Umkreis von 300m Wegentfernung haben	63,3 %	70 %
Verbesserung der fußläufigen Erreichbarkeit von Kinderbetreuungseinrichtungen und Volksschulen	Prozent der Wohnbevölkerung, die eine Kinderbetreuungseinrichtung oder VS im Umkreis von 300m Wegentfernung haben	42,9 %	48 %

Daneben finden sich noch qualitative Ziele, welche auf die Zufriedenheit der Bevölkerung in verkehrlicher Hinsicht sowie in Bezug auf die Luftqualität schließen lassen.

Tabelle 4: Qualitative Ziele aus der Mobilitätsstrategie der Stadt Graz (Stadt Graz 2012)

Qualitative Ziele			
Ziel	Messgröße	Ausgangswert	Zielwerte 2021
Erhöhung Zufriedenheit bei Sicherheit für FußgängerInnen	Zufriedenheit bei Sicherheit für FußgängerInnen bei LQI-Befragung	2009: 50,6 %	60 %

Erhöhung Zufriedenheit bei Sicherheit für RadfahrerInnen	Zustimmung beim Fahrradklimatest	2010: 2,8	2,2
Erhöhung Zufriedenheit mit ÖV	Zufriedenheit mit ÖV	2010: 2,8	2,5
Stabilisierung Zufriedenheit bei Parkplätzen in Wohnumgebung	Zufriedenheit bei Parkplätzen in Wohnumgebung bei LQI-Befragung	2009: 47 %	47 %
Keine Abnahme der Zufriedenheit bei Luftqualität	Zufriedenheit bei Luftqualität bei LQI-Befragung	2009: 33,5 %	33 %

Verkehrsplanungsrichtlinie

Mithilfe dieser Planungsrichtlinie soll die Umsetzung von Maßnahmen im Verkehrsbereich erleichtert werden. Die Richtlinie baut auf geltenden Normen auf und soll insbesondere „Graubereiche“ minimieren, damit Schnittstellen zwischen einzelnen Abteilungen besser abgegrenzt sind (Stadt Graz 2011). Inhaltlich finden sich Planungs- und Ausführungshinweise für die relevanten Verkehrsmittel, welche im Wesentlichen den einschlägigen Fachnormen folgen. Daneben sind Ausführungen zur grundsätzlichen Straßenraumgestaltung im städtischen Bereich, welche sich auf Verkehrsberuhigung, Knotenpunkte sowie Straßenentwässerung konzentrieren, enthalten. Verkehrsrechtliche Aspekte, wie die Anforderungen an Verfahrensabläufe sowie straßenrechtliche oder –polizeiliche Verfahren, werden im letzten Abschnitt erläutert.

Anhand des Verkehrsmittels Fahrrad soll der Inhalt der Verkehrsplanungsrichtlinie beispielhaft erläutert werden. Die Stadt Graz definierte gemeinsam mit dem Land Steiermark Hauptradrouten, welche einerseits sternförmig angeordnet sind und andererseits möglichst schnelle Verbindungen zwischen dem Stadtzentrum und dem Umland darstellen sollen. Diese Hauptradrouten sind auch während Baustellen prioritär zu halten. Die Organisation und Dimensionierung folgt der RVS 03.02.13, wobei die einzelnen Führungsformen des Radverkehrs beschrieben werden. Hinsichtlich des ruhenden Radverkehrs verweist die Verkehrsplanungsrichtlinie auf ihren Leitfaden „Mobilität für Bauvorhaben“ (Stadt Graz 2016).

Maßnahmen

Nach Definition der Ziele des Mobilitätskonzeptes wurde ein Maßnahmenplan erstellt, welcher den Rahmenbedingungen folgt und die verkehrlichen Ziele der Stadt Graz bestmöglich erfüllt. Im Endbericht des Maßnahmenprogramms werden die Kategorien strategische Maßnahmen, örtlich zuordenbare Maßnahmen sowie sonstige Maßnahmen unterschieden (Fallast und Huber 2015).

Strategische Maßnahmen

Die strategischen Maßnahmen beeinflussen das „verkehrspolitische Klima“ maßgeblich. Gegenüber baulichen Maßnahmen fallen sie eher kostengünstig aus, bilden aber das Rückgrat der verkehrspolitischen Ziele. Die Stadt Graz verfolgt eine Erhöhung des Anteils des Umweltverbundes (Fuß, Rad, ÖV), wobei die Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr zum Umweltverbund nicht nur vom tatsächlichen Verhältnis der Reisezeit und Kosten abhängt, sondern auch vom subjektiven Empfinden jedes Einzelnen. Nachfolgend werden die strategischen Maßnahmen gemäß des Endberichts (Fallast und Huber 2015) angeführt:

- ÖV-Offensive
- Rad-Offensive
- Offensive zur Nahmobilität

- Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung
- Förderung der multimodalen Mobilität
- Offensive für Elektro-Mobilität
- Stellplatz-Strategie

Da sich diese Diplomarbeit mit dem Ausbau der Radinfrastruktur befasst, wird dieser Punkt ausführlicher beschrieben. Um den Trend der Erhöhung des Radverkehrsanteils beizubehalten, ist es notwendig, die Investitionen in den Radverkehr weiter zu forcieren.

- Ausbau der Radinfrastruktur
Die Radinfrastruktur ist auf einem hohen Standard zu halten bzw. zu verbessern und Ausbaumaßnahmen in den zugeordneten Bereichen sind auszuführen.
- Berücksichtigung des Radverkehrs im Kreuzungsbereich
Ein entscheidender Vorteil des Radverkehrs ist die kurze Wartezeit an Kreuzungspunkten. In Fällen von Neu- oder Umplanungen von VLSA-geregelten Knoten ist eine Priorisierung des Radverkehrs anzustreben, wobei dies zu Lasten der Leistungsfähigkeit des Kfz-Verkehrs geschehen kann. Das Erreichen der verkehrspolitischen Zielsetzung ist jedenfalls einzuhalten.
- Wegweisung für den Radverkehr
Die Wegweisung dient nicht nur aktuellen Nutzern, sondern auch zukünftigen Radfahrenden, wobei die Hinweisschilder auch die Stellung des Radverkehrs im öffentlichen Raum signalisieren.
- Instandhaltung des Radwegenetzes
Ein bestehendes Radwegenetz muss regelmäßig überprüft und bei Bedarf etwaige Mängel beseitigt werden.
- Zugänglichkeit zum bestehenden Radverleih
Die Verfügbarkeit eines Fahrrads sollte überall gegeben sein. Somit können auch spontane Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt werden bzw. neue Nutzer gewonnen werden. Radverleihstationen sind an multimodalen Verkehrsknotenpunkten vorzusehen.

Lokal zuordenbare Maßnahmen

In diesem Kapitel sind konkrete Maßnahmenpakete der Planungsgebiete für die verschiedenen Verkehrsmittel angegeben. Erhöhter Stellenwert wird dabei den Stadtentwicklungsgebieten Reininghaus oder Smart City Graz – Waagner Biro Straße beigemessen. Danach werden allgemeine Maßnahmenpakete für den ÖV und Radverkehr sowie Bebauungspläne angeführt.

2.2.3 RADMOBIL Graz 2030

Im Juni 2020 wurde die Fahrradoffensive „RADMOBIL Graz 2030 – Masterplan für die Landeshauptstadt“ gestartet. Mithilfe dieser Verkehrsstrategie soll die Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie die Verbesserung der Lebensqualität in der Stadt Graz gelingen. Als Grundlage dient die Radnetzstudie des steirischen Kernballungsraums, in der ein Idealnetz mit verschiedenen Streckentypen definiert wurde (Kofler et al. 2020).

Tabelle 5: Netzhierarchie des Radnetzes des steirischen Kernballungsraums (Kofler et al. 2020)

Netzhierarchie für den steirischen Kernballungsraum	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
Räumliche Funktion	Verbindung von Gemeinden oder Stadtteilen	Flächige Erschließung	Ergänzende Erschließung
Planungsprinzip	Hohe Geschwindigkeit am gesamten Streckenzug, Konkurrenzfähigkeit z. Pkw	Netzwerk	Erschließung von Potenzialen
Organisationsform*	<ul style="list-style-type: none"> • Trennprinzip bei $v_{\max} > 30$ km/h • Trenn-/Mischprinzip bei $v_{\max} \leq 30$ km/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Trennprinzip bei $v_{\max} > 30$ km/h • Trenn-/Mischprinzip bei $v_{\max} \leq 30$ km/h 	Mischprinzip
Linienführung	direkt, geringe Steigung	nach Erfordernis	nach Erfordernis
Führung im Knotenbereich	bevorzugt, wenn erforderlich planfrei	bevorzugt	nach Erfordernis
Projektierungsgeschwindigkeit	mind. 30 km/h	mind. 25 km/h	mind. 20 km/h
Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit	25 bis 30 km/h	15 bis 25 km/h	bis 25 km/h
Querschnittsform	Überholen ist möglich	für entsprechend hohe Kapazitäten ausgelegt	ohne nähere Definition
Anmerkung: Grundsätzlich gilt, dass vom Anforderungsprofil vor allem in der Grazer Innenstadt im Sinne der sanften Mobilität abgewichen werden kann.			
*angelehnt an CROW, design manual for bicycle traffic, NL, 2017			

Kategorie A (Radschnellwege)

Die höchstrangigen Netzelemente der Kategorie A bilden Radschnellwege, welche Stadtteile mit Nachbargemeinden verbinden und somit mit getrennten Richtungsfahrbahnen sowie priorisierten Kreuzungsbereichen ausgeführt werden sollen. Dieser Netztyp soll im Trennprinzip geführt werden, wobei ein Überholen möglich sein soll (Kofler et al. 2020).

Kategorie B (Verbindungswege)

Als nächstes Element in der Hierarchie dienen Verbindungswege zur flächigen Erschließung, um ein Verteilen und Sammeln auf Ortsteilebene zu ermöglichen. Im Vordergrund stehen hier direkte Beziehungen zwischen Quellen und Zielen, welche durch das Radnetz der Kategorie A (Radschnellwege) nicht abgedeckt werden. Diese Routen sollen für ein hohes Radverkehrsaufkommen dimensioniert werden, wobei die Netzwerkung zusammen mit der Kapazität die Hauptkriterien

darstellen. Außerhalb von dicht bebauten Gebieten sollen wichtige Quellen und Ziele wie Schulen, Ortszentren oder ÖV-Knotenpunkte angebunden werden (Kofler et al. 2020).

Kategorie C (Zufahrtswege)

Das Radnetz der Kategorie C (Zufahrtswege) dient zur ergänzenden Erschließung innerhalb der einzelnen Stadtbereiche. Im ländlichen Bereich können auch geeignete Straßen und Wege des untergeordneten Straßennetzes zur Netzgestaltung verwendet werden (Kofler et al. 2020).

Ergebnisse der Radnetzstudie für den steirischen Kernballungsraum

Die Grundlage für die Radoffensive bildet die Radnetzstudie des steirischen Kernballungsraums, worin ein Idealnetz anhand eines Nachfragemodells abgeleitet wurde. Um mögliche Planungen vergleichen zu können, wurde die IST-Situation des bestehenden Netzes mittels GPS-Radverkehrsdaten erhoben. Gemäß nachfolgender Abbildung werden gerade die Hauptverkehrsstraßen Kärntner Straße, Triester Straße, Lazarettgasse, Annenstraße, Liebenauer Hauptstraße, Petersgasse, Elisabethstraße, Plüddemangasse sowie die St.Peter-Hauptstraße gemieden, obwohl sie die kürzesten Verbindungen für den Radverkehr darstellen. Dies sind jene Straßen, welche ein hohes Kfz-Verkehrsaufkommen aufweisen und für den Kfz-Verkehr optimiert wurden (Kofler et al. 2020).

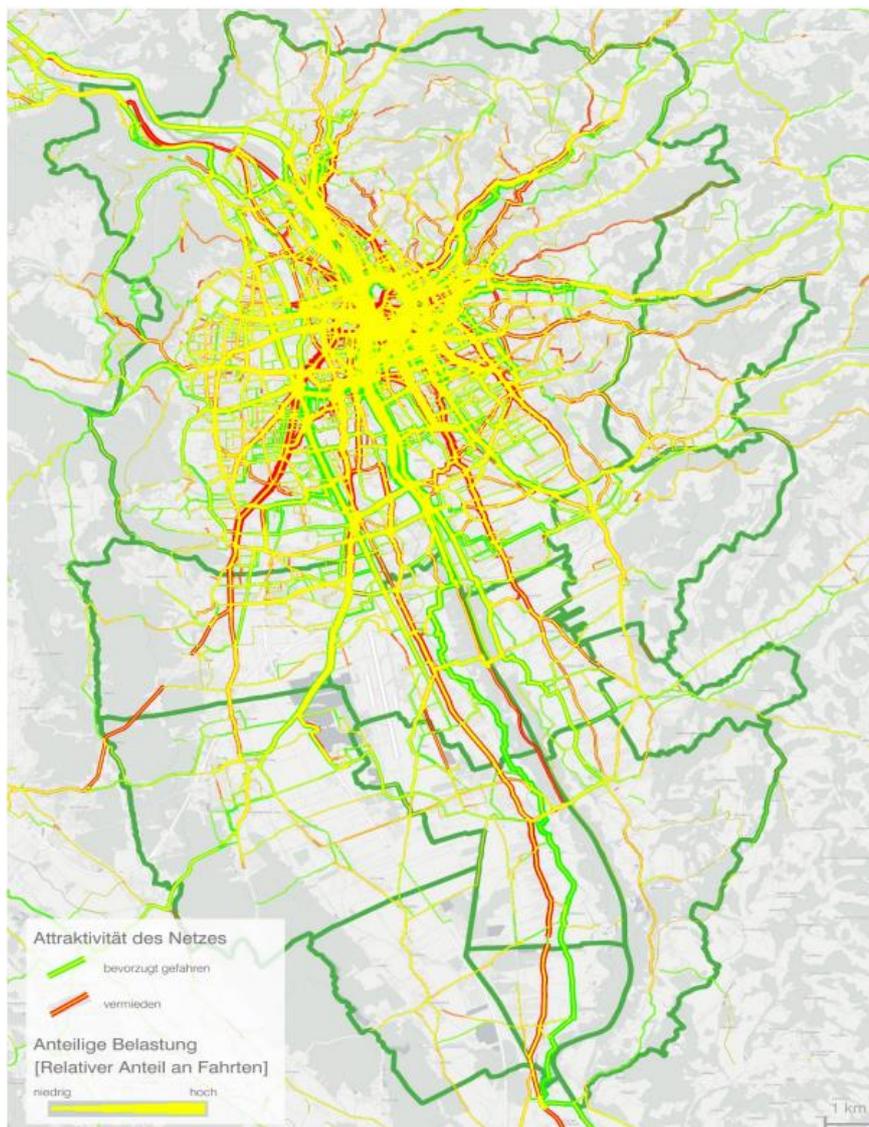


Abbildung 6: Attraktivität des Bestandnetzes aus GPS-Radverkehrsdaten (Kofler et al. 2020)

Danach wurde anhand des multimodalen Verkehrsnachfragemodells FamoS ein Verkehrsnetz mit 25 % bzw. 40 % Radverkehrsanteil modelliert, wobei die neuen Nachfragematrizen auf den Straßengraphen umgelegt wurden. In diesem Idealnetz wurden keine Netzeigenschaften inkludiert, die Ergebnisse stellen also den Radverkehr unter Idealbedingungen dar. Als Ergebnis daraus resultiert ein Netzplan mit den vorher beschriebenen Radnetzkatgorien A (rot) und B (blau), welcher in Expertenworkshops erarbeitet wurde (Kofler et al. 2020).

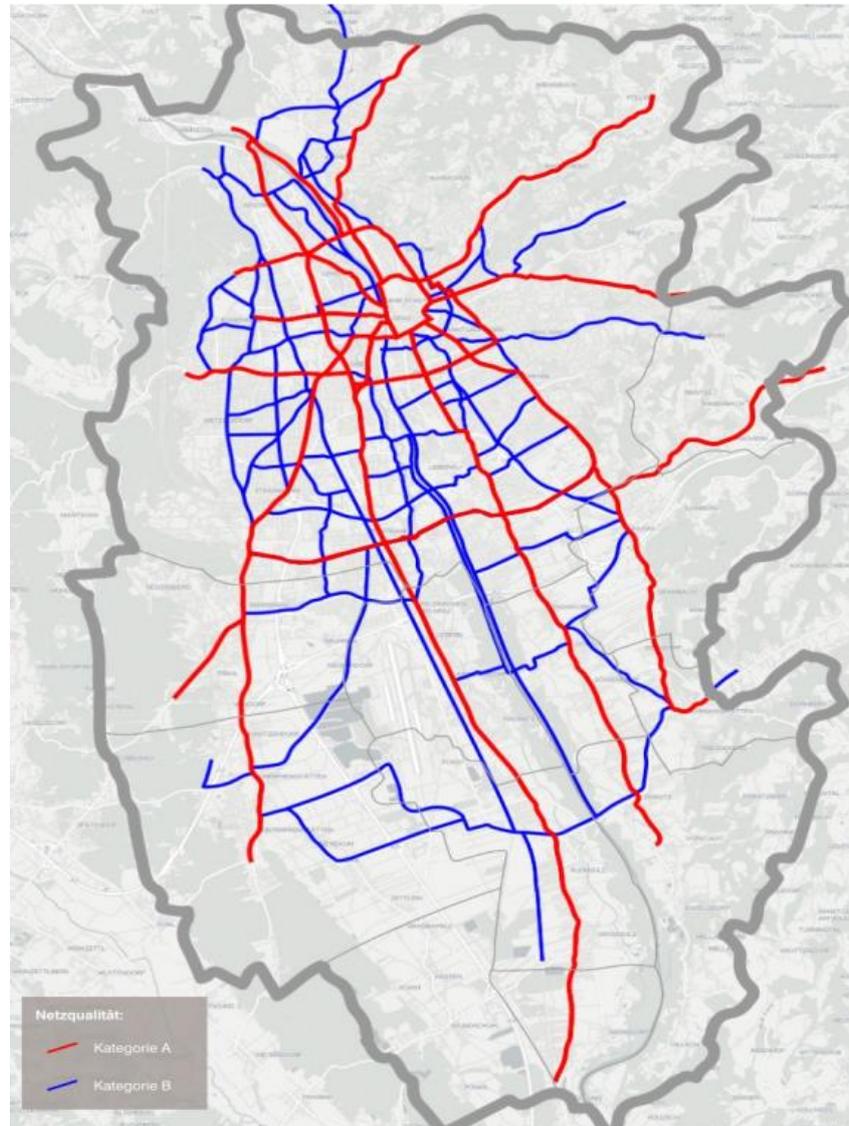


Abbildung 7: Kategorisiertes Idealnetz 2019 für den Radverkehr im steirischen Kernballungsraum (Kofler et al. 2020)

Hochrangige Verbindungen verlaufen auf direktem Wege Richtung Stadtzentrum, wobei die Durchgängigkeit gewährleistet werden soll. Darüber hinaus sollen West-Ost-Verbindungen die natürliche Barriere der Mur brechen und die Radverkehrsnachfrage bedienen. In Bezug auf den bestehenden Murradweg ist seine Führung durch unbewohntes Gebiet zu berücksichtigen, welche in geringer Attraktivität resultiert. Im Idealnetz 2030 werden folgende Verbindungskorridore genannt, wobei vor allem den Nord-Süd/Süd-Nord sowie West-Ost/Ost-West-Verbindungen eine tragende Rolle zukommt.

Nord-Süd/Süd-Nord-Verbindungen:

- Grazer Stadtzentrum – Straßgang – Seiersberg – Unterpremstätten

- Grazer Stadtzentrum – Puntigam – Feldkirchen – Kalsdorf – Werndorf
- Grazer Stadtzentrum – Liebenau – Thondorf (Magna Steyr) – Gössendorf – Fernitz
- Grazer Stadtzentrum – St. Peter – Raaba – Grambach – Hausmannstätten

West-Ost/Ost-West-Verbindungen:

- Straßgang/Seiersberg – Hart bei Graz
- Steinberg – Grazer Stadtzentrum

Auf Basis dessen wurden Sektorenplaner bestimmt, welche Machbarkeits- und Variantenstudien für die einzelnen Achsen ausarbeiten sollen. Die Innenstadt innerhalb des Rings soll zu einer verkehrsberuhigten Zone werden. Es soll dort Platz für Fußgänger und Radfahrer entstehen, wobei die benötigten Flächen durch Umnutzung geschaffen werden können. Trotz Aufteilung in Sektoren soll die Umsetzung der Achsen gesamtheitlich betrachtet werden, um die Durchgängigkeit der Netze zu gewährleisten.

2.3 Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark

Im Zuge der Radoffensive „RADMOBIL Graz 2030“ soll ein kategorisiertes Idealnetz für den Grazer Radverkehr umgesetzt werden. Dieses Idealnetz wurde auf Basis eines multimodalen Verkehrsnachfragemodells unter Einbeziehung von Experten definiert. In Abbildung 7 ist die Linienführung der einzelnen Netzelemente ersichtlich. Die hochrangigen Schnellverbindungen laufen einerseits radial von peripheren Bezirken in die Innenstadt und münden in den Innenstadtring. Andererseits sollen tangentielle Verbindungen die Geradlinigkeit des Netzes gewährleisten, sodass keine Umwege entstehen und der Zeitvorteil gegenüber anderen Verkehrsmitteln erhalten bleibt. Im Bezirk Geidorf soll eine dieser hochrangigen Verbindungen entstehen, welche die Anbindung des Standortes der Wirtschaftskammer Steiermark bzw. des WIFI Steiermark an den Innenstadtring ermöglicht, sowie in weiterer Folge die Verlängerung dieses Korridors Richtung Norden (Grabengürtel) sicherstellt.

Der 3. Stadtbezirk von Graz heißt Geidorf und liegt im Stadtzentrum nördlich der Innenstadt. Im Osten wird der Bezirk durch das LKH-Universitätsklinikum abgegrenzt und im Westen bildet die Mur die Grenze zum Stadtteil Lend. Nördlich von Geidorf liegt der Stadtteil Andritz, welcher erst zu einem späteren Zeitpunkt in die Stadt Graz eingegliedert wurde. Das Geidorfviertel beheimatet die Karl-Franzens-Universität, weshalb in diesem Areal eine starke Belebung herrscht. Östlich der Universität befindet sich die Wohngegend „Leech“ mit angrenzender Freizeitstätte Hilmteich, welche als Ausflugsziel am Wochenende dient. Nördlich des Schloßbergs bzw. Stadtparks befindet sich das Grabenviertel, welches einerseits als Wohngebiet fungiert, wo aber auch Geschäftslokale sowie Schulen und die pädagogische Hochschule ansässig sind. Einen weiteren wichtigen Standort neben den Schulen stellt das WIFI bzw. die WKO Steiermark sowie die FH CAMPUS 02 im Norden des Bezirkes dar.

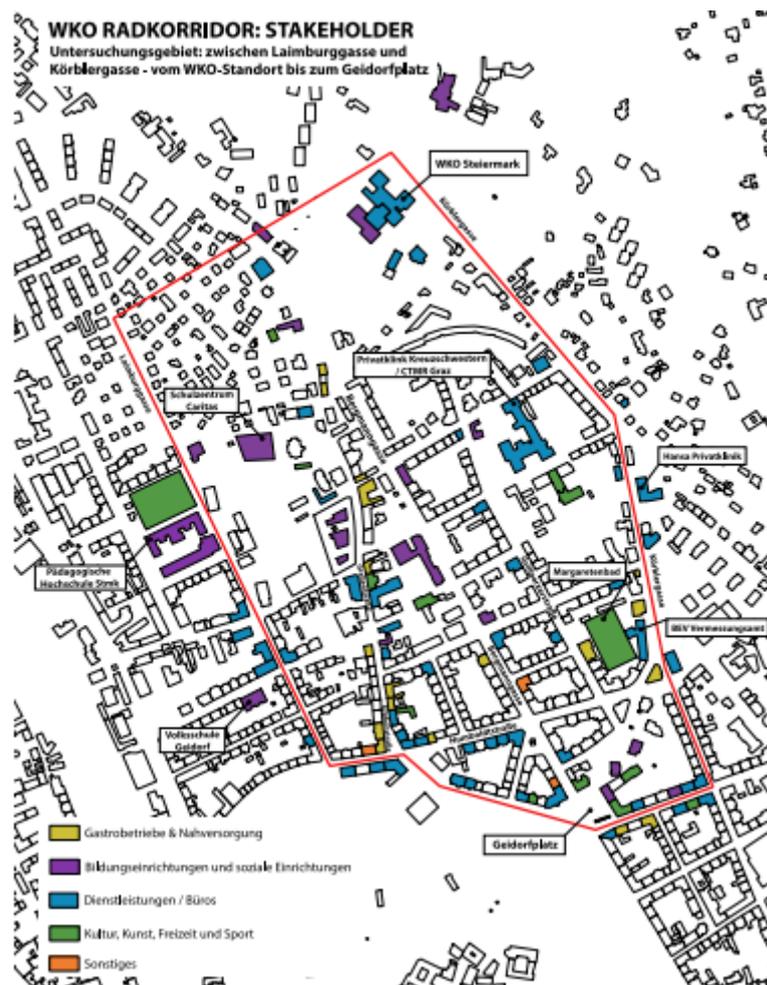


Abbildung 8: Grabenviertel mit Potenzialen (Degros et al. 2020)

Die Betrachtungen des Radkorridors Geidorf – WKO Steiermark beziehen sich auf das Grabenviertel weshalb dieses näher beschrieben wird. Das südliche Ende dieses „Grätzels“ bilden der Schloßberg sowie der Stadtpark, wobei die Hauptverkehrsstraßen Wickenburggasse, Humboldtstraße und Parkstraße in West-Ost Richtung eine räumliche Trennung zwischen den Bezirken bilden. Nördlich dieser Achse ist das Gebiet durch gründerzeitliche Blockrandbebauung charakterisiert, wobei die beiden Hauptverkehrsstraßen Bergmannsgasse und Grabenstraße in Nord-Süd Richtung diese Region bestimmen. In Richtung Norden lockert sich die Bebauung insofern, als hier Einfamilienhäuser das Bild prägen. Der Grabengürtel unterbricht diese Bebauung nicht, da er unterirdisch verläuft. Neben zahlreichen kleineren Erschließungsstraßen sind die Korösisstraße sowie die Theodor-Körner-Straße wichtige Zubringer für dieses Wohngebiet. Der Bereich des Grabenviertels stellt später auch das Planungsgebiet dar, in welchem verkehrliche Maßnahmen durchgeführt werden sollen. Hinsichtlich des Fahrradpotenzials stehen neben dem Wohngebiet auch andere Einrichtungen zur Verfügung. Im Süden bietet der Geidorfplatz mit täglichem Markt und angrenzendem Geidorfokino Potenzial für Radverkehr. In Richtung Norden gelten neben dem Margaretenbad die Schulen samt pädagogischer Hochschule als potenzielle Ziele für den Radverkehr. Im Norden bietet die WKO bzw. das WIFI Steiermark und die FH CAMPUS 02 ebenfalls Potenzial für den Radverkehr, welches bis dato noch nicht ausgeschöpft werden konnte.

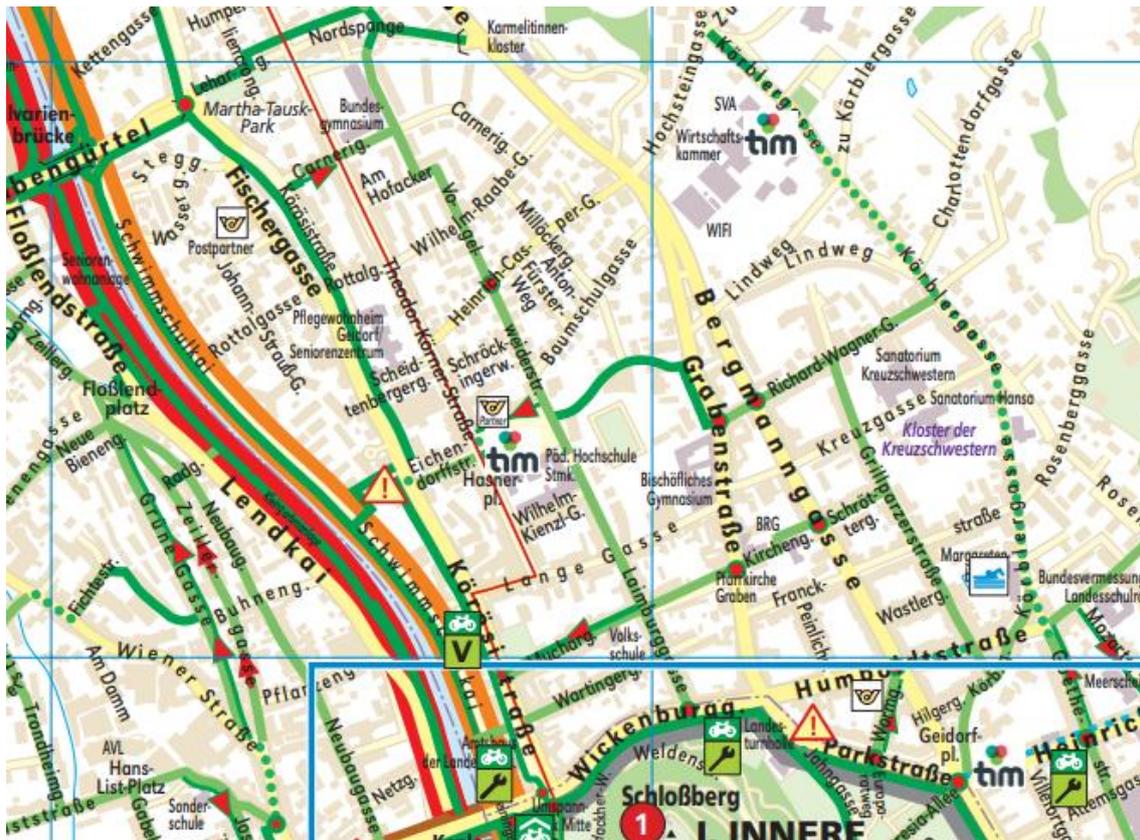


Abbildung 9: Ausschnitt Radkarte Stadt Graz (Stadt Graz 2019)

Hinsichtlich Radverkehr sind in diesem Bereich folgende Radwege bzw. Radrouten ausgewiesen. Von Westen beginnend bildet die Hauptradroute HR3 entlang der Mur eine wichtige durchgängige Nord-Süd-Verbindung. Ausgeführt ist diese Strecke als Zweirichtungs-Geh- und Radweg, welcher planfrei über diverse Knotenpunkte geführt wird. In der Korösisstraße stellt ein Zweirichtungsradweg mit Vorfahrtregelung für den Radverkehr eine Alternative zum Murradweg dar, nur ein Knoten im Bereich des Grabengürtels ist ampelregelt. Als nächstwestliche Verbindung stellt die Theodor-Körner-Straße keine Radinfrastruktur zur Verfügung, da der Verkehrsraum für die Straßenbahn sowie den motorisierten Individualverkehr freigehalten wird. Erst in der nächsten Straße, der Laimburggasse, welche als Tempo 30 Zone ausgeführt ist, führt gemäß Grazer Radkarte (2019) eine Radroute. Gemäß RVS 03.02.13 ist die Führung im Mischsystem für geringe Verkehrsaufkommen sowie niedrige Geschwindigkeiten zulässig. Danach folgen die beiden Hauptverkehrsstraßen Grabenstraße Richtung Süden sowie Bergmannsgasse Richtung Norden, welche keine nennenswerte Radinfrastruktur aufweisen. Eine weitere Erschließungsstraße für Wohngebiete stellt die Grillparzerstraße dar, die als Einbahnstraße Richtung Süden (ausgenommen Radverkehr) geführt wird und als Radroute ausgewiesen ist. Die östlichste Nord-Süd Verbindung in diesem Gebiet bildet die Körblergasse, welche als sekundäre Nord-Süd Verbindung gesehen werden kann und für Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h zugelassen ist. Neben diesen Längsverbindungen sollen einzelne Querverbindungen Umwege reduzieren bzw. als Zubringer zu den Hauptradrouten dienen. Die südlichste Querverbindung verläuft über die Kirchengasse bzw. die Muchargasse. Eine weitere Querverbindung ist durch die Richard-Wagner-Gasse über den Hasnerplatz zum Murradweg gegeben. Im Bereich der Nordspange (Grabengürtel) wurde ebenfalls ein Zweirichtungsradweg errichtet. Für die ersten beiden Querverbindungen gilt, dass sie die Hauptverkehrsachsen in Nord-Süd Richtung über geregelte Querungen passieren und im Kreuzungsbereich nachrangig geführt sind, weshalb es zu Zeitverzögerungen kommt.

Auf Basis der steirischen Radnetzstudie soll in diesem Areal eine Radschnellverbindung entstehen, wobei von der definierten Ideallinie bis zu 300 m abgewichen werden kann, sofern dies der Zielsetzung nützlich ist. In Abbildung 7 liegt diese Strecke in der Bergmannsgasse, wobei daneben noch die Körblergasse, Grillparzerstraße, Grabenstraße sowie die Laimburggasse für die Planung eines Radschnellweges in Betracht gezogen werden können.

2.3.1 Planfälle

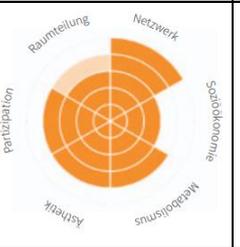
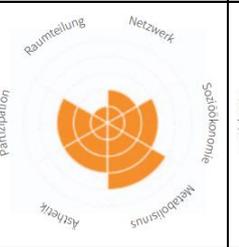
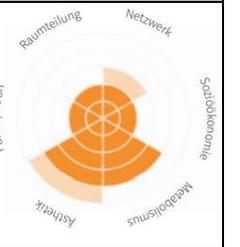
Im Zuge des Projektes „Urban Mobility Lab“ sollte die Planung eines neuen Radkorridors unter ganzheitlicher Betrachtung mehrerer Fachbereiche erfolgen. Beteiligt sind die Institute für Städtebau sowie Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, Vertreter der Stadt und Holding Graz sowie ein Vertreter eines externen Zivilingenieurbüros. Für die Planungen gilt es, die Anforderungen verschiedenster Interessensgruppen zu vereinen und so unter Einbeziehung der Bürger eine möglichst verträgliche Lösung zu finden. In einem ersten Variantenworkshop im November 2020 wurden die oben angeführten Varianten nach folgenden sechs Kriterien durch die Experten bewertet.

Tabelle 6: Kriterien zur Variantenbewertung (Degros et al. 2020)

	Kriterium	Ziele	Indikatoren
Städtebauliche Aspekte	Sozioökonomie	Betroffene Personen und Dienstleistungen Beitrag zur Wirtschaft	Anzahl Anrainer Anzahl Beschäftigter Geschäftsfläche Dienstleistungseinrichtungen
	Metabolismus	Ökologischer Beitrag	Grad der Versiegelung Anzahl an Bäumen Angrenzende Grünräume Luftqualität Lärm
	Ästhetik	Soziale Sicherheit Attraktives Umfeld	Einsehbarkeit, Beleuchtung Shared Space Nutzung öffentlicher Raum Erlebnisfaktor
Verkehrliche Aspekte	Netzwerk	Durchgängigkeit Kürzeste Route Fahrkomfort Verkehrssicherheit	Anschluss Radwege Steigung / Höhenunterschied Unfallhäufungspunkte
	Raumteilung	Anpassungsbedarf Parkplätze	Kosten / Aufwand Auswirkung Parkstreifen Änderung Buslinien
Anrainer Aspekte	Partizipation	Akzeptanz / Image Lebensqualität	Stimmungslage Subjektive Einschätzung Interessensvertreter

Unter Betrachtung dieser Gesichtspunkte wurde für jedes Kriterium 1 bis 5 Punkte vergeben und somit das Potenzial für die jeweilige Planungsvariante ermittelt.

Tabelle 7: Bewertung Planungsvarianten Radkorridor WKO (Degros et al. 2020)

Laimburggasse	Grabenstraße	Bergmannngasse	Grillparzerstraße	Körblergasse
				
18 – 20 Punkte	13 – 17 Punkte	24 Punkte	15 Punkte	16 – 17 Punkte

Als Ergebnis dieser Potenzialanalyse geht die Variante Bergmannngasse als Sieger hervor. Es sei darauf verwiesen, dass diese Form eines Variantenvergleichs in gewisser Hinsicht auf der Subjektivität der Entscheider beruht, da die Kriterien nur qualitativ erfasst werden. Trotzdem können durch diese Methode offensichtlich schlechtere Varianten im Voraus schon ausgeschieden werden.

Bergmannngasse

Für die weitere Bearbeitung wurde die Führung in der Bergmannngasse genauer analysiert. Derzeit ist der Straßenraum in der Bergmannngasse durch zwei Fahrstreifen mit anschließenden Längsparkern organisiert. Anschließend daran befinden sich Gehsteige, welche an Vorgärten der Gründerzeithäuser angrenzen. Der Radverkehr läuft hier im Mischprinzip mit dem MIV mit, nur zwei vollwertige Druckknopfampeln als Querungshilfe ermöglichen das Queren der Bergmannngasse. Die Kreuzung Humboldtstraße ist von der Wormgasse kommend für den Radverkehr signalgeregelt. Aus verkehrlicher Sicht stellt sich nun die Frage, inwiefern der Straßenraum umorganisiert werden kann. Mithilfe eines Verkehrsmodells soll der Nutzen von zwei Fahrstreifen ermittelt werden. Als bevorzugte Variante soll ein Fahrstreifen (Westen) entfernt werden, wodurch Platz für einen Zweirichtungsradweg gewonnen wird.

Nachstehende Abbildung zeigt die Verhältnisse für den Radverkehr unter Einbeziehung des neuen Radkorridors Geidorf (rot). In Grün dargestellt sind die vorgeschlagenen Radrouten der Grazer Radkarte (2019), welche im Mischverkehr geführt werden. Bestehende Geh- und Radwege bzw. Radwege werden in Grau dargestellt. Von Süden kommend bildet der bestehende Radweg entlang des Stadtparks eine wichtige Achse im Grazer Radwegenetz. Der Knotenpunkt Geidorfplatz ist signalgesteuert und die Kreuzung Parkstraße/Jahngasse ist vorfahrtgeregelt für den Kfz-Verkehr. Die Wormgasse ist in der Radkarte als Radroute ausgewiesen, wobei hier Radfahren gegen die Einbahn erlaubt ist. Eine Druckknopfampel am Ende der Wormgasse ermöglicht das Queren der Parkstraße, um auf den Innenstadtring zu gelangen. Der neu geplante Radweg in der Bergmannngasse soll ab dem Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße am westlichen Fahrbahnrand durchgängig bis zur WKO geführt werden. Das Signalprogramm des Knoten 503 muss dafür geringfügig adaptiert werden. In Richtung Norden bildet die Kreuzung Bergmannngasse/Franckstraße den ersten vorfahrtgeregelteten Knotenpunkt, wobei hier dem Radverkehr mittels Radfahrerüberfahrt Vorfahrt gewährt wird.

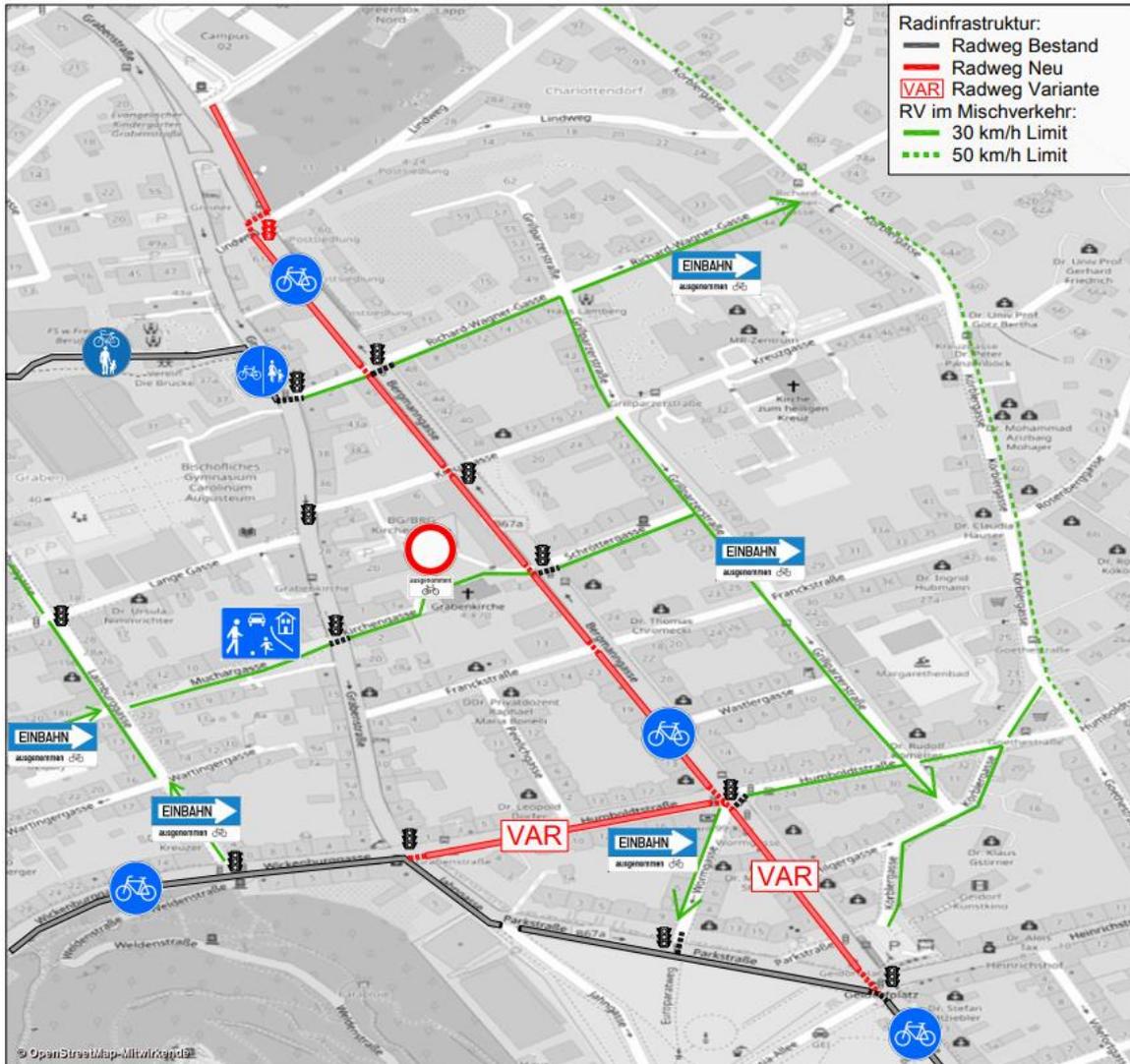


Abbildung 10: Planvariante Bergmannngasse

Der nächste Knotenpunkt Bergmannngasse/Schröttergasse ist mit einer Druckknopfampel ausgestattet, wodurch dem Radverkehr (Radroute) das Queren der Bergmannngasse erleichtert wird. Zudem befindet sich hier das BG/BRG Kirchengasse. Die nächste Druckknopfampel stromaufwärts (Kreuzgasse) ist primär für den Fußgängerverkehr relevant. Als weitere Querverbindung steht die Achse Richard-Wagner-Gasse zur Verfügung, wobei hier das Queren der Bergmannngasse bzw. der Grabenstraße ebenso durch eine Druckknopfampel ermöglicht wird. Diese drei Druckknopfampeln sind schon bestehend, wobei diese für den neu geplanten Radweg nur eine untergeordnete Rolle spielen. Am Knoten Bergmannngasse/Lindweg soll nördlich des Lindwegs eine neue Querungshilfe mittels Druckknopfampel installiert werden. Der Bebauungsplan des WKO-Geländes sieht einen Radweg am östlichen Fahrbahnrand der Bergmannngasse vor, wodurch ein Lückenschluss mit dem Radkorridor gelingt. Die Trasse in der Bergmannngasse bietet somit einerseits eine durchgängige Verbindung in Nord-Süd-Richtung und andererseits können die bestehenden quer verlaufenden Radrouten im untergeordneten Netz angeschlossen werden. In der Mikrosimulation wird eine Variante mit direkter Führung über die Bergmannngasse untersucht.

3 Makroskopisches Verkehrsmodell

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage für den Verbindungskorridor Geidorfplatz – WKO Steiermark erläutert. Dazu erfolgt zunächst eine Einführung in die makroskopischen Verkehrsnachfragemodelle.

3.1 Methodische Grundlagen Verkehrsnachfragemodelle

Im Allgemeinen sollen Verkehrsnachfragemodelle die Realität in vereinfachter Weise darstellen, wobei mit ihnen qualitative Verkehrsprognosen durchgeführt werden können, welche als Grundlage zur Dimensionierung von Verkehrsnetzen dienen. Die Entstehung von Verkehr ist an Bedürfnisse gebunden, welche nicht am jeweiligen Ort befriedigt werden können. Aufgrund dieser Tatsache entsteht ein Bedarf an Aktivitäten, welcher durch das soziale Umfeld beeinflusst wird. Daneben wird die Ausübung von Aktivitäten auch von Raum- und Siedlungsstruktur bzw. von den verfügbaren Verkehrssystemen beeinflusst. Somit ergeben sich einerseits Einflussfaktoren, welche demographische und sozioökonomische Merkmale einer Person repräsentieren und andererseits räumliche, sachliche und zeitliche Merkmale, welche die Verfügbarkeit des Verkehrssystems darstellen. Erst durch das Zusammenspiel dieser genannten Faktoren entstehen Wege bzw. Wegeketten, welche die Grundlage von Verkehrsnachfragemodellen bilden (Steierwald et al. 2005).

4-Stufen Algorithmus

Ein makroskopisches Verkehrsnachfragemodell besteht im Wesentlichen aus zwei Bestandteilen. Auf der einen Seite steht das Verkehrsangebot, welches durch die im Untersuchungsraum verteilten Potenziale (Quellen und Ziele) sowie der dazugehörigen Verkehrsinfrastruktur gegeben ist. Auf der anderen Seite bildet die Verkehrsnachfrage das Bedürfnis bzw. die Aktivitäten einer Person ab. Es entsteht eine Wechselbeziehung zwischen den beiden, da beispielsweise die Verkehrsnachfrage aufgrund einer Reisezeiterhöhung durch das Volllaufen des Systems abnimmt und umgekehrt. In Modellen wird durch lokale Verkehrszustände ein Gesamtgleichgewicht des Systems hergestellt, wobei als Grundlage der sogenannte 4-Stufen Algorithmus zur Anwendung kommt. Dieser setzt sich aus der Verkehrserzeugung, der Verkehrsverteilung, der Verkehrsmittelwahl sowie der Verkehrsumlegung zusammen (Lohse 2011).

Verkehrserzeugung

Der Zweck der Verkehrserzeugung ist die Ermittlung des Quell- bzw. Zielverkehrsaufkommen innerhalb eines Planungsgebietes. Das Verkehrsaufkommen kann über Raumaggregatmodelle oder Individualverhaltensmodelle erzeugt werden, wobei die Wegehäufigkeit für verhaltenshomogene Personengruppen und vordefinierte Wegeketten als empirische Daten vorliegen (Steierwald et al. 2005).

Das Quellverkehrsaufkommen, auch Produktionsrate, beschreibt die Anzahl der Wege einer Nachfrageschicht, die von einer Verkehrszelle ausgehen.

$$Q_i = \sum_k \alpha_k * x_{ik} \quad (1)$$

mit: Q_i Quellverkehrsaufkommen in Zelle i
 α_m Erzeugungsrate für Strukturgröße k
 x_{ik} Strukturgröße k

Das Zielverkehrsaufkommen, auch Attraktionsrate, gibt die Ortsveränderung für eine Strukturgröße zur Verkehrszelle hin an und wird in gleicher Weise wie das Quellverkehrsaufkommen berechnet. Das Quell- Q_i bzw. Zielaufkommen Z_j entspricht der Randsumme der Verkehrsnachfragematrix, wobei die Summe über alle Bezirke für Quell- und Zielverkehrsaufkommen in den meisten Fällen ident sind.

$$\sum_i Q_i = \sum_j Z_j \quad (2)$$

mit: Z_j Zielverkehrsaufkommen in Zelle j

Verkehrsverteilung

Die Verkehrsverteilung beschreibt die Auswahl von möglichen Zielen einer Nachfrageschicht bei gegebener Quelle oder umgekehrt die Auswahl einer Quelle für ein gegebenes Ziel. Die Art und Größe einer Verkehrsbeziehung ist einerseits vom zuvor ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen abhängig und andererseits vom Widerstand einer Ortsveränderung. Die Formulierung dieser Quell-Ziel-Beziehung erfolgt in folgender Weise (Steierwald et al. 2005).

$$F_{ij} = Q_i * \frac{Z_j * f(w_{ij})}{\sum Z_i * f(w_{ij})} \quad (3)$$

mit: F_{ij} Fahrten von Zelle i nach j

$f(w_{ij})$ Akzeptanzfunktion abhängig vom Wegewiderstand

Hier wird ein quellgekoppeltes System verwendet, welches durch die Einführung von Lagefaktoren zu einem quell- und zielgekoppelten Modell erweitert werden kann. Die Definition der Widerstandsfunktion erfolgte lange Zeit mittels Gravitationsmodell, welches in Analogie zu Newtons Gravitationsgesetz entwickelt wurde. Heute kommen in der Regel Logit-Modelle zur Anwendung, welche der mikroökonomischen Entscheidungstheorie diskreter Alternativen folgen. Hier wird eine negative Exponentialfunktion zur Beschreibung des Widerstandes verwendet (Steierwald et al. 2005).

Verkehrsmittelwahl

Die Auswahl eines Verkehrsmittels wird mit Hilfe von Verkehrsaufteilungsmodellen ermittelt. Es ergeben sich also Anteile der Verkehrsarten am Gesamtverkehrsaufkommen, wobei die Auswahl für ein jeweiliges Verkehrsmittel von den Eigenschaften des Verkehrsmittels und des Verkehrsteilnehmers sowie von Faktoren der Ortsveränderung abhängen (Lohse 2011). Ähnlich zur Verkehrsverteilung spielen Widerstandsfunktionen, welche im Wesentlichen die Reisezeit widerspiegeln, eine tragende Rolle. Die Verkehrsmittelwahl kann mit Modellen der diskreten Entscheidungstheorie beschrieben werden, wobei die Auswahl einer Alternative aufgrund von unterschiedlichen Merkmalen festgelegt wird. Hier kommt wieder ein Logit-Modell zum Einsatz, welches den spezifischen Nutzen eines Weges von einer Verkehrszelle in eine andere für ein spezifisches Verkehrsmittel ermittelt (Steierwald et al. 2005).

$$U_{ijm} = b - \alpha * w_{ij} \quad (4)$$

mit: U_{ijm} Nutzen von Weg der Zelle i nach j mit Verkehrsmittel m

b Bruttonutzen der Aktivität

α Konstante

w_{ij} Wegewiderstand

Durch den Einsatz des Logit-Modells kann die Wahrscheinlichkeit einer Fahrt von Zelle i nach j für das Verkehrsmittel m folgendermaßen beschrieben werden.

$$p_{m \ ij} = \frac{e^{-\alpha * w_{ijm}}}{\sum e^{-\alpha * w_{ijm}}} \quad (5)$$

$$F_{ijm} = p_{m \ ij} * F_{ij} \quad (6)$$

mit: p_{mij} Auswahlwahrscheinlichkeit des Weges von Zelle i nach j mit Verkehrsmittel m
 F_{ijm} Fahrten von Zelle i nach j mit Verkehrsmittel m

In der Praxis werden hierarchische Verkehrsmittelwahlmodelle verwendet, welche eine bedingte Auswahlwahrscheinlichkeit nach dem multinominalen nested Logit-Model bestimmen.

Verkehrsumlegung

Die Verkehrsumlegung beschreibt die Routenwahl einer Fahrt von Zelle i nach j mit dem Verkehrsmittel m . Im öffentlichen Verkehr spielt die Routenwahl keine Rolle, da diese aufgrund der Linienführung vorgegeben ist. Für den Individualverkehr bildet die aktuelle Reisezeit das Hauptkriterium der Routenwahl, welches mit Nebenkriterien wie beispielsweise einer Straßenbenützungsg Gebühr oder dem Treibstoffverbrauch erweitert werden kann. Die Umlegung der gewählten Routen kann belastungsabhängig oder belastungsunabhängig erfolgen, wobei mehrere Verfahren existieren (Fellendorf 2019/20).

Das Sukzessivverfahren simuliert ein Volllaufen des Systems in mehreren Teilschritten. Es wird die kürzeste Route für jede Quell-Ziel-Beziehung gesucht, welche durch die Erhöhung der Netzauslastung veränderlich ist. Entscheidend für die Qualität der Ergebnisse ist die Anzahl und Größe der Teilschritte (PTV AG 2021b).

Das Gleichgewichtsverfahren wendet das Wardrop'sche Prinzip an, bei welchem jeder Verkehrsteilnehmer seine Route so wählt, dass sich durch einen Wechsel auf eine andere Route kein Vorteil ergibt. Es wird davon ausgegangen, dass der Verkehrsteilnehmer volles Wissen über die Routen besitzt, welches ein streng am Nutzen orientiertes Verhaltensprinzip darstellt.

Im Gegensatz dazu steht das Gleichgewichtsverfahren unter Verwendung eines Systemoptimums, bei dem das Produkt aus Widerstand und Belastung minimal gewählt wird.

In der Praxis finden sich noch weitere Umlegungsverfahren, welche abhängig vom Einsatzzweck verwendet werden. Als Ergebnis des 4-Stufen Algorithmus steht am Ende eine gefüllte Matrix, welche die Fahrten auf einer Route r mit einem bestimmten Verkehrsmittel m zwischen den Verkehrszellen i und j repräsentiert.

3.2 GUARD Modell

Das makroskopische, multimodale und disaggregierte Verkehrsnachfragemodell GUARD (Guaranteed Ride Home) wurde im Zuge eines Forschungsprojektes in den Jahren 2008-2010 am Institut für Straßen- und Verkehrswesen an der TU Graz entwickelt und wird seither kontinuierlich weiterentwickelt, sodass zum heutigen Zeitpunkt das überarbeitete Verkehrsmodell GUARD 20 die aktuellste Version darstellt. Das Modell bildet den steirischen Zentralraum ab und wurde zur Verbesserung von durchgehenden Verbindungen im öffentlichen Verkehr zwischen Stadt und Umgebung entwickelt. Daneben bietet es aber auch die Möglichkeit Veränderungen im Individualverkehr abzubilden und zu analysieren (Grössl et al. 2011b).

3.2.1 Räumliche Eingrenzung

Das Verkehrsmodell GUARD umfasst das Gebiet der gesamten Südoststeiermark, wobei die Grenze zur Obersteiermark den nördlichen Rand bildet. Im Westen folgt der Modellrand der Grenze zu Kärnten.

Im Süden wird das Modell durch die slowenische Grenze markiert und im Osten bilden das Burgenland sowie Ungarn den Modellrand.

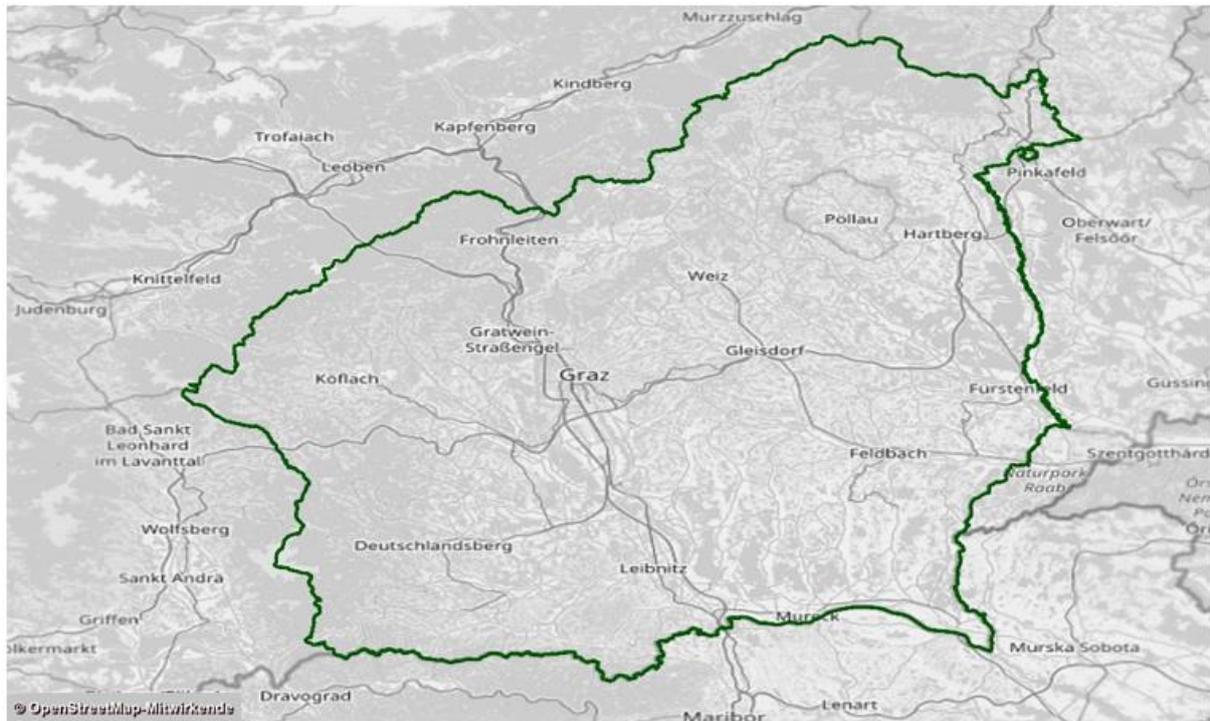


Abbildung 11: Untersuchungsgebiet GUARD

Somit ergeben sich folgende Eckdaten für das makroskopische Verkehrsmodell des steirischen Zentralraums:

Tabelle 8: Eckdaten makroskopisches Verkehrsmodell GUARD

Modellierte Elemente	Werte
Fläche [km ²]	6.825
Strecken	145.298
Knoten	57.118
Bezirke	986
Einwohner	rd. 900.000
Verhaltenshomogene Gruppen	26
Aktivitäten	8
ÖV-Linien	618
ÖV-Haltestellen	21.362

Zur Erstellung des Verkehrsmodells müssen an den Modellrändern sogenannte Kordonbezirke eingefügt werden, welche den Verkehr aus dem Untersuchungsgebiet hinaus bzw. in das Untersuchungsgebiet hinein abbilden. Wege, die ihren Ursprung im Untersuchungsgebiet haben und außerhalb enden, erzeugen Quellverkehr (QV). Umgekehrt liegt Zielverkehr (ZV) vor, sofern ein Weg außerhalb des Untersuchungsgebiets beginnt und innerhalb sein Ziel findet. Daneben stellt Durchgangsverkehr (DV) jenen Verkehr dar, welcher außerhalb des Untersuchungsgebiets beginnt und endet, wobei seine Route durch das Untersuchungsgebiet führt. Die Summe aus QV, ZV und DV wird als Quell-, Ziel-, Durchgangsverkehr (QZD-Verkehr) bezeichnet, wobei diese Anteile aus

vorangegangenen Betrachtungen als Eingangsparameter für das Verkehrsmodell GUARD zur Verfügung stehen. Zusätzlich dazu berücksichtigt der Außenverkehr (AV) jenen Anteil, welcher seine Quelle und sein Ziel außerhalb des Untersuchungsgebiets besitzt und dessen Route nicht durch das Untersuchungsgebiet führt.

3.2.2 Zeitliche Eingrenzung

Das Modell wurde auf 24 Stunden Basis implementiert. Die Struktur der Quell- und Zielmatritzen erfolgte zu Beginn in Zeitscheiben zu je einer Stunde. Diese Auflösung ermöglichte eine genaue Abbildung der zeitlichen Variabilität des Verkehrsgeschehens. Im Laufe der Zeit wurde diese stundenfeine Strukturierung aufgegeben, wodurch das Modell heute als reines Tagesmodell zur Verfügung steht (Grössl et al. 2011a).

3.2.3 Struktur des Verkehrsmodells

Das Verkehrsmodell GUARD wurde ursprünglich zur Verbesserung von Verbindungen ins Grazer Umland entwickelt. Somit stehen im Modell folgende Verkehrsmittel zur Verfügung, wobei im ausgeschnittenen Teilnetz zur Ermittlung von Verlagerungseffekten nur jene Verkehrsmittel verwendet werden, welche sich auf den motorisierten Individualverkehr beschränken.

Tabelle 9: Verkehrsmodi im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b)

Abkürzung	Verkehrsmittel
F	Fuß
M	Pkw-Mitfahrer
O	Öffentliche Verkehrsmittel
P	Pkw
R	Rad
Y	Fußgänger im ÖV

Der Verkehrsmodus Öffentlicher Verkehr beinhaltet die Verkehrssysteme Bus, Zug, Tram und Fußgänger im öffentlichen Verkehr, welche die Fußwege von und zur Haltestelle repräsentieren. In der Verkehrsplanungssoftware VISUM werden den einzelnen Modi danach Nachfragesegmente zugeordnet. Der Verkehrsmodus Pkw setzt sich aus den Nachfragesegmenten Lkw L, sowie dem internen und externen Pkw-Verkehr zusammen. Der interne Pkw-Verkehr wird mithilfe des Verkehrsnachfragemodells VISEM erzeugt. Der externe Pkw-Verkehr wurde aus vorangegangenen Betrachtungen ermittelt. Für die Erzeugung des Verkehrs wird die Anzahl an Aktivitäten pro Tag für jede verhaltenshomogene Gruppe benötigt. Dazu findet sich nachfolgend eine Liste der 13 verschiedenen verhaltenshomogenen Gruppen.

Tabelle 10: Verhaltenshomogene Gruppen im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b)

VHG	Abkürzung	Personengruppe
VHG 1	Azubi	Auszubildende
VHG 2	EmP	Erwerbstätige unter 65 mit Pkw
VHG 3	EoP	Erwerbstätige unter 65 ohne Pkw
VHG 4	GSch	Grundschüler
VHG 5	K	Kinder

VHG 6	NEmp	Nicht Erwerbstätige unter 65 mit Pkw
VHG 7	NEoP	Nicht Erwerbstätige unter ohne Pkw
VHG 8	RAmp	Rentner über 75 mit Pkw
VHG 9	RAoP	Rentner über 75 ohne Pkw
VHG 10	RJmP	Rentner unter 75 mit Pkw
VHG 11	RJoP	Rentner unter 75 ohne Pkw
VHG 12	Sch	Schüler
VHG 13	Stud	Studenten

Für die Verkehrserzeugung mittels VISEM wird für eine verhaltenshomogene Gruppe eine Liste an Wegeketten definiert. Eine Wegekette bildet eine Abfolge von Einzelaktivitäten einer Personengruppe im Modell ab, wobei eine Wegekette immer mit der Aktivität Wohnen beginnt und auch beendet wird. Für diese Wegeketten werden Wahrscheinlichkeiten ihrer täglichen Ausübung, welche aus Befragungen oder Statistiken bezogen werden, angegeben. Somit kann für jede Personengruppe über die Einwohnerzahl je Verkehrszelle ein Heimataufkommen erzeugt werden. Das Verkehrsmodell GUARD berücksichtigt acht unterschiedliche Aktivitäten, aus denen Aktivitätenketten (Wegeketten) gebildet werden (PTV AG 2021b).

Tabelle 11: Aktivitäten im GUARD Modell (Grössl et al. 2011b)

Abkürzung	Aktivität	Strukturgröße	Wert Strukturgröße
A	Arbeit	Arbeitsplätze	Anzahl der Arbeitsplätze
B	Berufsschule	Berufsschulplätze	Anzahl der Berufsschulplätze
E	Einkauf	Einkaufsmöglichkeiten	Verkaufsflächen im Einzelhandel
F	Freizeit	Freizeitmöglichkeiten	Anzahl Freizeitmöglichkeiten des Bezirkes
G	Grundschule	Grundschulplätze	Anzahl der Grundschulplätze
H	Hochschule	Hochschulplätze	Anzahl der Hochschulplätze
S	Schule	Schulplätze	Anzahl der Schulplätze
W	Wohnung	-	-

Als Ergebnis der VISEM-Verkehrserzeugung folgen die Randsummen der Nachfragematrix mit einer Gesamtsumme von rund 1,5 Millionen Wege.

Im nächsten Schritt folgt gemäß dem 4-Stufen Algorithmus die Verkehrsverteilung sowie die Verkehrsmittelwahl. Das VISEM-Nachfragemodell führt diesen Schritt nicht sequenziell, sondern simultan aus. Gemäß Steierwald et al. (2005) ist eine gleichzeitige Ziel-Verkehrsmittelwahl am besten geeignet, sofern die Zielwahl und auch die Verkehrsmittelwahl frei sind, da diese beiden Schritte voneinander abhängig sind. So kann es beispielsweise vorkommen, dass ein anderes Ziel gewählt wird, wenn sich der Widerstand des momentanen Ziels erhöht. Die VISEM-kombinierte Verkehrsverteilung/Moduswahl wählt hierfür in Abhängigkeit der Zielaktivität einen Zielbezirk aus. Die Auswahl eines Zielbezirkes ist abhängig von (PTV AG 2021b):

- der Nutzenmatrix, welche durch die verkehrliche und räumliche Trennung vom Quellbezirk gegeben ist. Der Nutzen einer Fahrt wird umso größer, je kleiner die Fahrzeit oder Distanz zum Zielbezirk ist.

- der Attraktivität der konkurrierenden Zielbezirke
- dem Einfluss der Nutzenfunktionen für jede Personengruppe und Zielaktivität

Die Wahl eines Zielbezirkes hängt also vom Zielpotenzial, welches durch die Strukturgröße einer Aktivität (z.B. Arbeitsplätze) definiert wird, von der räumlichen und verkehrlichen Lage der Quelle im Raum und der gewählten Nutzenfunktion ab. Im Verkehrsmodell GUARD wird diese Nutzenfunktion für jede Aktivität und Personengruppe über die Distanz definiert.

Die Verkehrsmittelwahl (Moduswahl) orientiert sich an der sozioökonomischen Stellung der verschiedenen Personengruppen. Des Weiteren ist die Entscheidung zwischen einzelnen Verkehrsmitteln von den Attributen der jeweiligen Modi und der Einschränkung der Wahlfreiheit innerhalb von Wegeketten definiert. Als Kenngrößen werden je nach Verkehrsmittel Kombinationen von Entfernungen und Fahrzeiten (auch Zu-/Abgangszeiten) verwendet. Das Verkehrsmodell GUARD verwendet Logit-Nutzenfunktionen mit den Kenngrößen Zu- bzw. Abgangszeiten, welche pauschal pro Bezirk angesetzt wurden und aktuelle Fahrzeiten. Für die Verkehrsmittel des öffentlichen Verkehrs wurde anstelle der aktuellen Fahrzeit eine empfundene Reisezeit definiert. Als Ergebnis der Verkehrsaufteilung folgen Nachfragematrizen aller Verkehrsmittel für den Binnenverkehr. Im Gegensatz dazu wird der bereits beschriebene QZD-Verkehr nur umgelegt.

Als letzter Schritt des 4-Stufen Algorithmus folgt die Umlegung, also die Routenfindung des Verkehrs, welche im GUARD Modell mittels Lernverfahren erfolgt. Das Lernverfahren baut auf dem Gleichgewichtsverfahren auf und berücksichtigt den Lernprozess der Verkehrsteilnehmer. Als Initialumlegung wird eine Sukzessivumlegung durchgeführt, worauf in einem iterativen Prozess die Informationen der vorherigen Umlegung für die neue Routensuche berücksichtigt werden. Die Berechnung des Widerstandes wird aus den mittleren Widerständen vorangegangener Iterationen sowie den Widerständen aufgrund der aktuellen Belastung ermittelt. Das Verfahren wird abgebrochen, wenn die ermittelte Fahrzeit ein Konvergenzkriterium erfüllt. Nach dem Umlegungsverfahren werden die Verkehrsverteilung, die Verkehrsmittelwahl und die Verkehrsumlegung mittels Rücksprung-Schleife solange wiederholt, bis ein Konvergenzkriterium erfüllt wird.

3.3 Untersuchungsgebiet

Um die verkehrlichen Auswirkungen von Kapazitätseinschränkungen für den MIV untersuchen zu können, musste vorerst ein Untersuchungs- sowie ein Planungsgebiet definiert werden. Des Weiteren wurde zur Untersuchung von Verlagerungseffekten die abendliche Spitzenstunde für einen typischen Werktag verwendet.

3.3.1 Räumliche Abgrenzung

In Verkehrsmodellen wird zwischen Untersuchungsgebiet und Planungsgebiet unterschieden, welche gemeinsam ein Modellgebiet bilden. Das Untersuchungsgebiet repräsentiert jenen Bereich, welcher durch geplante Maßnahmen mitbeeinflusst wird. Im Planungsgebiet selbst werden Planungsmaßnahmen gesetzt, welche diesen Bereich des Netzes konkret ändern. Die Untersuchungen für den Radverbindungskorridor finden im Bezirk Geidorf statt. Das unmittelbare Planungsgebiet ist von Osten beginnend durch die Bergmannngasse, die Grabenstraße sowie die Laimburggasse gegeben. Im Norden wird das Planungsgebiet durch die WKO Steiermark bzw. die Baumschulgasse abgegrenzt und im Süden durch die Wickenburggasse bzw. die Humboldtstraße. Die zu betrachtenden Ausführungsvarianten befinden sich alle innerhalb dieses Gebiets, die Verlagerungseffekte des MIVs

treten im Nahbereich des Planungsgebiets auf. Als Hauptverkehrsstraßen dienen im Planungsgebiet die Bergmannngasse Richtung Norden sowie die Grabenstraße Richtung Süden, welche beide mit zwei Fahrstreifen ausgeführt sind. Reduziert man die Kapazität auf der Bergmannngasse, so findet je nach Planungsvariante eine Verlagerung auf die umliegenden Streckenzüge statt. Um jedoch auch großräumige Verlagerungen kenntlich zu machen, ist die Erweiterung des Gebiets notwendig, welche das nordöstliche Stadtgebiet von Graz umfasst. Das Untersuchungsgebiet wird somit durch die umliegenden Hauptverkehrsstraßen gebildet, welche das Planungsgebiet beeinflussen. Im Norden bilden die Grabenstraße sowie der Grabengürtel die Hauptzubringerstraßen. Die Mur im Osten bildet eine natürliche Barriere, welche nur durch einzelne Brücken überwunden werden kann. Die Augartenbrücke gemeinsam mit der Gratzbachgasse bildet die südliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets. Somit sind wichtige Hauptverkehrsstraßen, wie der Opernring im Innenstadtbereich, im Untersuchungsgebiet enthalten. Im Osten wurde die Grenze so gewählt, dass Auswirkungen am Glacis in ausreichender Genauigkeit abgebildet werden können, wobei hier der Rosenberggürtel bzw. die Karl-Franzens Universität als Modellrand gewählt wurden. Für die Ermittlung von Verlagerungseffekten werden somit alle zur Verfügung stehenden Hauptverkehrsstraßen im Zentrum bzw. Osten von Graz berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Modellgebiet zur Untersuchung des Radkorridors in Geidorf. In lila ist das Gebiet der Stadt Graz abgebildet. Für die Untersuchung der Verlagerungseffekte durch Kapazitätseinschränkungen auf einzelnen Straßenzügen ist diese Auflösung jedoch zu grob. Das betrachtete Untersuchungsgebiet in grün beeinflusst den aufkommenden Verkehr im konkreten Planungsgebiet (blau).

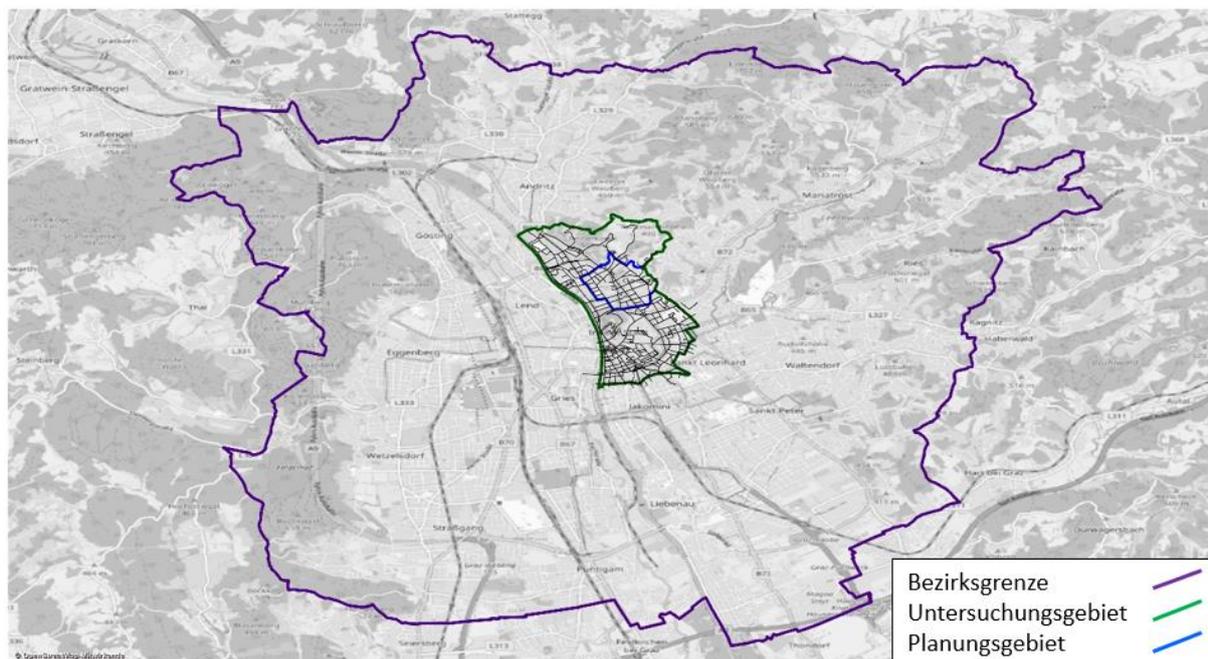


Abbildung 12: Untersuchungsgebiet – Planungsgebiet Radkorridor Geidorf

3.3.2 Zeitliche Abgrenzung

Die verkehrlichen Auswirkungen einer Planungsmaßnahme werden an einer Spitzenstunde an einem typischen Werktag simuliert. Ein typischer Werktag wird entweder durch einen Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag repräsentiert, welcher nicht durch Schulferien oder Feiertage beeinflusst wird. In diesen Untersuchungen wird die Morgenspitze nicht betrachtet, sondern nur die Nachmittagspitze zwischen 16:00 und 17:00 Uhr. Die Spitzenstunde wurde anhand von Zählraten (siehe 3.5.3) ermittelt.

3.4 Ablauf Modellierung

Aus dem vorhandenen GUARD Verkehrsmodell wird anschließend dieses definierte Untersuchungsgebiet ausgeschnitten. Die Methodik des Modellaufbaus ist in nachstehender Grafik dargestellt. Auf Basis des fertig adaptierten Modells konnten anschließend die Verlagerungseffekte der einzelnen Planungsvarianten analysiert werden.

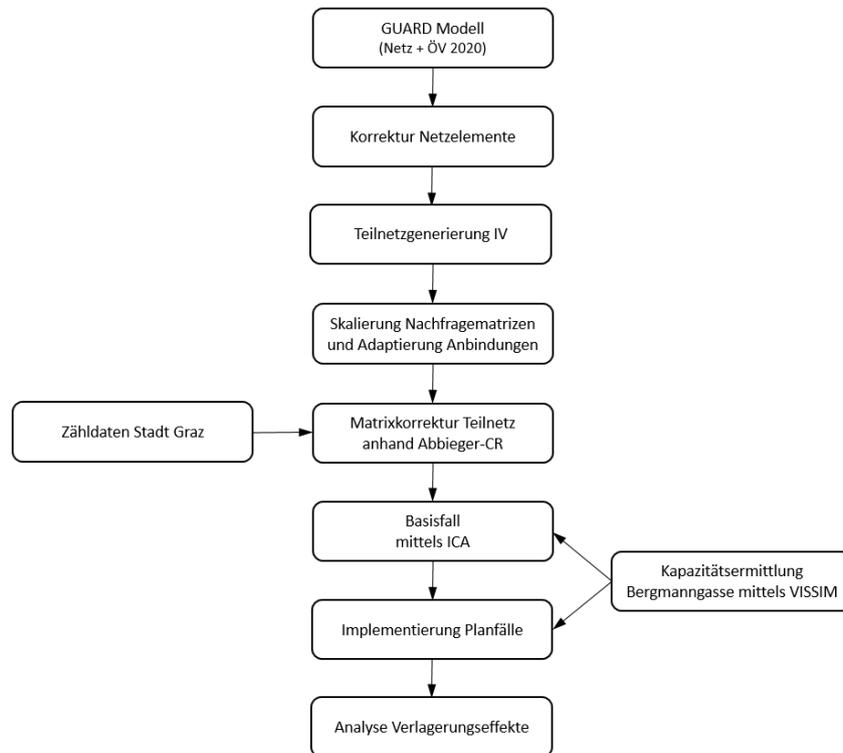


Abbildung 13: Flussdiagramm zur Methodik des Modellaufbaus

Die Grundlage für die Ermittlung der Verlagerungseffekte bildet das kalibrierte Verkehrsmodell GUARD aus dem Jahr 2020 auf 24 Stunden Basis. In einem ersten Schritt wurde das Verkehrsmodell ausgeführt und einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, wobei an gewissen Stellen im Netz eine Korrektur der Netzelemente erfolgte. Besonderes Augenmerk galt den zugelassenen Verkehrssystemen und Kapazitäten auf Strecken im Planungsgebiet. Danach wurden die Elemente innerhalb des Untersuchungsgebiets ausgewählt und ein Teilnetz für den MIV generiert. Anhand der Zählraten wurde eine Skalierung der Nachfragematrix auf die abendliche Spitzenstunde vorgenommen. Um eine möglichst detaillierte Auflösung zu ermöglichen, wurde die Anzahl der Anbindungen erhöht. Mittels der von der Stadt Graz zur Verfügung gestellten Daten konnte eine Kalibrierung des Teilnetzes erfolgen. Nach der Umlegung mit Knotenwiderstandsberechnung ICA resultiert ein Verkehrsmodell zur Untersuchung von Verlagerungseffekten für den Radkorridor Geidorf, worauf alle weiteren Planungsvarianten fußen. Für die Planfälle wurde die Netzstruktur adaptiert.

3.5 Teilnetz

In diesem Abschnitt wird das Ausschneiden des Teilnetzes beschrieben, sowie alle folgenden Arbeitsschritte zur späteren Analyse der Verlagerungseffekte dokumentiert.

Um eine Teilnetzgenerierung zu ermöglichen, muss eine Verkehrsnachfragematrix vorhanden sein. Deshalb war es notwendig in einem ersten Schritt das Verkehrsmodell auszuführen, also alle Phasen des 4-Stufen Algorithmus abzuarbeiten. Anhand der Ergebnisse dieses ersten Durchlaufs konnten

einzelne Fehler im Straßennetz festgestellt werden. Bevor die Korrektur der Netzelemente durchgeführt wurde, galt es die Stabilität der Belastungen nachzuweisen. Über zwei weitere Simulationen konnte die Stabilität der Ergebnisse nachgewiesen werden und die Adaptierung der Netzelemente konnte erfolgen.

Einzelne Strecken sowie Abbieger wurden für gewisse Verkehrssysteme gesperrt oder geöffnet. Offensichtlich unrealistische Belastungen resultieren zumeist aus fehlenden Verkehrssystemen auf gewissen Strecken. Beispielsweise kann es vorkommen, dass an ganz kurzen Strecken, welche erst durch Hineinzoomen ersichtlich werden, Verkehrssysteme nicht geöffnet sind. Dies führt dazu, dass ganze Streckenrouten für ein Verkehrssystem nicht zur Verfügung stehen. Des Weiteren galt es Kapazitätsbeschränkungen auf gewissen Abbiegern sowie Strecken aufgrund von geänderter Netzstrukturen zu adaptieren. Nach Korrektur der Netzelemente wurde der 4-Stufen Algorithmus noch einmal durchgerechnet, woraus ein Basisfall für den steirischen Zentralraum zur weiteren Bearbeitung resultierte.

3.5.1 Generierung Teilnetz

Für die Untersuchung von Verlagerungseffekten im Planungsgebiet des Radkorridors Geidorf sind nur die Nachfragedaten des MIV von Belangen. Aus dem multimodalen Verkehrsmodell wird also ein monomodales Modell erzeugt, wobei hier das Verkehrsmittel Pkw verwendet wird. Die relevante Verkehrsnachfragematrix beinhaltet den gesamten Pkw-Verkehr. Die Software Visum bietet ein Werkzeug zum Ausschneiden eines Teilnetzes, das auf den ausgewählten Nachfragematrizen aufbaut. In dem neu erstellen Netz werden ebenfalls Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr über neu generierte Teilmatrizen berücksichtigt. Wie in Abschnitt 3.1 bereits erläutert, entstehen durch die Teilnetzgenerierung Grenzbezirke, welche Verkehre aus dem Umland abbilden. An den Schnittstellen werden sogenannte Kordonbezirke eingefügt, welche zur Darstellung des Verkehrs außerhalb des Untersuchungsgebietes benötigt werden, da im Untersuchungsgebiet nur Binnenverkehr wiedergegeben werden kann. Diese Kordonbezirke stellen keine realen Bezirke dar, sondern dienen zur korrekten Abbildung von Quell-, Ziel- sowie Durchgangsverkehr im Teilmodell. Knoten, an denen passive Strecken mit aktiven zusammentreffen, werden als Grenzknoten definiert. Von allen Grenzknoten werden Kordonanbindungen zu den Kordonbezirken hergestellt, womit die Ergänzung der Nachfragematrix ermöglicht wird. Die geänderten Nachfragematrizen können danach auf das Verkehrsnetz umgelegt werden (PTV AG 2021b).

Ausgehend vom bestehenden Netz wurden all jene Bezirke zusammengefasst, die das Untersuchungsgebiet bilden. Die Software Visum erlaubt eine Definition als Gebiet, was die spätere Auswahl von Netzelementen zur Teilnetzgenerierung in dem Sinne erleichtert, als das durch die Auswahl alle Netzelemente in diesem Gebiet automatisch selektiert werden. Des Weiteren ermöglichen Gebiete Gebietskörperschaften wie Bundesländer oder Bezirke abzubilden und daraus Kennzahlen abzuleiten (PTV AG 2021b). Nach einem ersten Versuch konnte ein Nachteil dieser Methode ausgemacht werden. Durch die Selektierung über die Gebiete werden Strecken, welche über die Schnittstellen hinauslaufen, nicht berücksichtigt. Der östliche Modellrand ist durch die Mur gegeben, wodurch auch die Verkehrszellen, welche sich an den Zählspriegeln der Stadt Graz orientieren, durch dieses natürliche Hindernis abgegrenzt werden. In Folge dessen wurden Strecken, die über einzelne Brücken führen nicht berücksichtigt. Diese Strecken stellen einerseits wichtige Zulaufbereiche für das Untersuchungsgebiet dar und andererseits befinden sich an allen großen Murübergängen Zählstellen der Stadt Graz, welche in der späteren Nachkalibrierung verwendet

werden. Aus diesem Grund wurden einzelne Strecken am östlichen Untersuchungsrand zur Auswahl hinzugefügt, um eine spätere Matrixkorrektur anhand der Zahldaten zu ermöglichen.

Nach Auswahl der Netzelemente kann unter Verwendung des Teilnetzgenerators ein Teilnetz ausgeschnitten werden. Neben den aktiven Netzelementen wurden Nachfragematrizen in das neue Teilnetz aufgenommen.

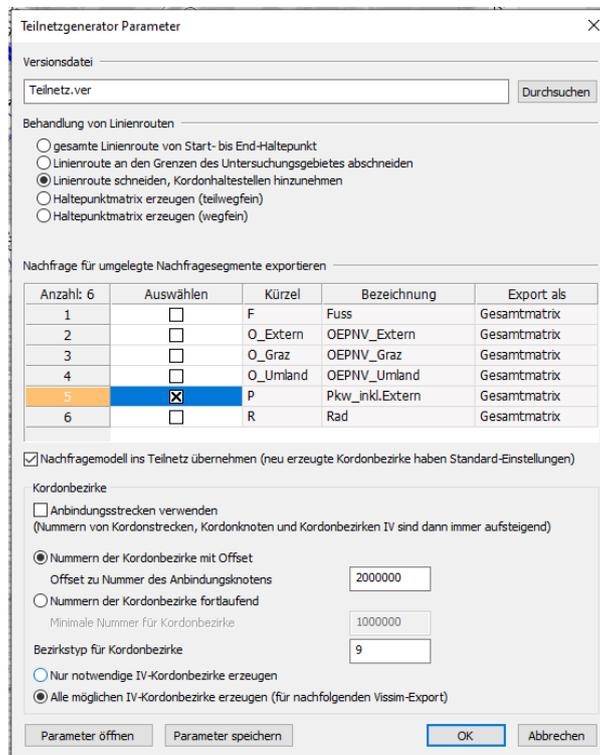


Abbildung 14: Parameter Teilnetzgenerator

Das neu erzeugte Teilnetz wurde in der bestehenden Ordnerstruktur als neue Versionsdatei abgespeichert. Die nächsten Einstellungsmöglichkeiten betreffend der Behandlung von Linienrouten spielen in diesem Fall keine Rolle, da zur Verlagerung des MIV in dem Planungsgebiet keine Rücksichtnahme auf den ÖV notwendig ist. Als Nachfragematrix wurde das Verkehrsmittel Pkw gewählt, wobei die Matrix „Pkw_inkl.Extern“ neben dem Pkw- auch den Lkw-Verkehr enthält. Des Weiteren sind die bereits genannten QZD-Verkehre in dieser Matrix integriert. Über den Punkt „Nachfragemodell ins Teilnetz übernehmen“ werden alle im Gesamtnetz vorhandenen Nachfragemodelle, samt ihren dazugehörigen Datenobjekten, in das Teilnetz übernommen. Anschließend kann in den Einstellungen der Kordonbezirke anstelle einer Kordonanbindung eine Kordonstrecke verwendet werden, was in diesem Fall nicht ausgewählt wurde. Den Kordonbezirken wurde ein Offsetwert von 2000000 zugewiesen, um eine Unterscheidung zwischen Kordon- und Binnenbezirken zu ermöglichen bzw. wird dadurch gewährleistet, dass keine Bezirksnummern doppelt auftreten. Die Kordonbezirksnummer wird aus dem Offsetwert plus der Nummer des Anbindungsknotens gebildet. Als letzte Wahlmöglichkeit wurde „Alle möglichen IV-Kordonbezirke erzeugen (für nachfolgenden VISSIM-Export)“ gewählt, da zum Zeitpunkt der Teilnetzerstellung eine weiterführende Betrachtung mithilfe der Software VISSIM nicht ausgeschlossen werden konnte.

Als Resultat der Teilnetzgenerierung findet sich nachfolgend eine Darstellung der Netzelemente sowie des Untersuchungsgebiets.

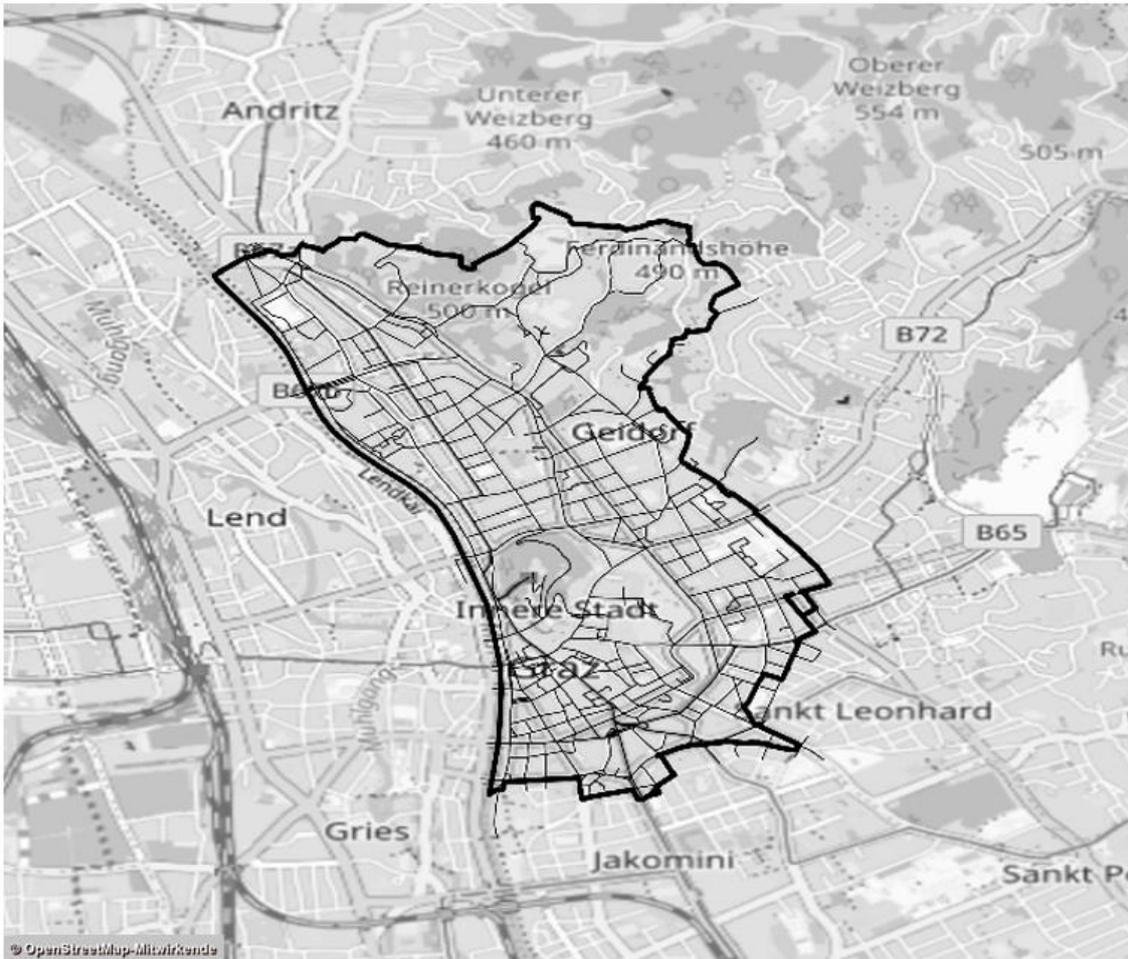


Abbildung 15: Darstellung des mittels Teilnetzgenerator erstellten Gebiets samt Strecken

Für die weiteren Untersuchungen wird nur eine Nachfragematrix für den Pkw-Verkehr verwendet. Eine erste Umlegung des Teilsystems zeigt plausible Ergebnisse.

An manchen Stellen musste auf Abweichungen zum realen Netz geprüft werden. Dabei gab es im Teilnetz nur geringfügige Änderungen der Strecken, da diese bereits im Vorfeld zur Teilnetzgenerierung getätigt wurden. Hierbei wurden vor allem die Netzelemente im Planungsgebiet überprüft. Einerseits war die Kontrolle der zulässigen Verkehrssysteme auf Strecken und Abbiegern relevant und andererseits galt es die Kapazitäten zu überprüfen.

3.5.2 Anbindungen

Eine Anbindung schließt eine Verkehrszelle (Bezirk) an das Verkehrsangebot, also an das Streckennetz an. Bezirke bilden die Schnittstelle zwischen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot, da in ihnen einerseits der Verkehr erzeugt, verteilt und aufgeteilt wird und andererseits bilden Anbindungen die Verbindung zum Verkehrsnetz. Für die Verkehrsumlegung muss also jeder Bezirk über mindestens eine Quell- bzw. eine Zielanbindung verfügen, um die Verkehrszelle verlassen und erreichen zu können. Die Anzahl der Anbindungen pro Verkehrszelle ist beliebig, wobei eine Anbindung immer aus zwei Richtungen besteht. Die Quellenanbindung bildet den Zugang vom Bezirk ins Netz und umgekehrt stellt eine Zielanbindung den Abgang vom Netz zum Bezirk dar. Für jede Richtung kann unabhängig die Auswahl der zulässigen Verkehrssysteme erfolgen, wobei die verkehrssystemabhängige Anbindungszeit im unbelasteten Netz von der Luftlinienentfernung der Anbindung sowie der Anbindungsgeschwindigkeit abhängig ist (PTV AG 2021b).

Für das Verkehrsmodell GUARD wurden für den IV in der Regel zwei Anbindungen pro Bezirk verwendet. Für kleine Bezirke wurde nur eine Anbindung erzeugt. Die Berechnung der Anbindungszeit erfolgte durch die automatische Ermittlung über Anbindungslänge und Anbindungsgeschwindigkeit für das jeweilige Verkehrssystem unter Einhaltung von minimalen und maximalen Anbindungszeiten.

Exkurs Anbindungen:

Laut Galster (2009) stellen Anbindungen den ersten bzw. letzten Teilweg einer Ortsveränderung dar. In Verkehrsmodellen wird nicht das komplette Verkehrsangebot abgebildet, weshalb Anbindungen den Konnex zwischen Nachfrage und Angebot bilden. Die Auswahl der gewählten Anbindungspunkte beeinflusst somit auch die Verkehrsverteilung im Nahbereich der Verkehrszellen. Die Ermittlung der Anbindungszeit umfasst die Zeitkomponenten Zugangszeit, Abgangszeit, Parkplatzsuchzeit, Startwartezeit sowie die Fahrzeit im untergeordneten Netz.

$$t_{QA} = t_{ZU} + t_{SW} + t_{UN} \quad (7)$$

- mit:
- t_{QA} Quellenbindungszeit
 - t_{ZU} Zeit von der Haustür zum Pkw-Standort bzw. bis zur ÖV-Haltestelle
 - t_{SW} Wartezeit vom Eintreffen an der Haltestelle bis zum Einstieg ins ÖV-Verkehrsmittel
 - t_{UN} Anteil der Reisezeit, welcher im Modell nicht enthalten ist, in der Realität im nachgeordneten Netz stattfindet

Die Zu- bzw. Abgangszeiten für den MIV sind von der Nutzungsstruktur und der Bebauungsdichte im betrachteten Gebiet abhängig. In einem reinen Wohngebiet mit geringer Bebauungsdichte ergeben sich somit geringere Zu- bzw. Abgangszeiten. Ein weiteres Kriterium stellt der Parkdruck dar, womit die Parkraumnachfrage im öffentlichen Raum beschrieben wird. Die Zu- bzw. Abgangszeiten können durch Befragungen ermittelt werden, wobei sich für unterschiedliche Siedlungsstrukturen Zeiten zwischen 1,0 und 2,5 min ergeben.

Die Startwartezeit wird in der Regel über die Bedienungshäufigkeit der Starthaltestelle ermittelt. Sie kann einerseits der Quellenbindungszeit zugeschlagen oder aber auch als eigenständige Komponente einer Relation berücksichtigt werden. Für die Betrachtungen des IVs in dieser Diplomarbeit spielt die Startwartezeit keine Rolle. Es besteht ein funktioneller Zusammenhang zwischen Startwartezeit und Fahrplankontakt.

Für die Fahrzeit im untergeordneten Netz ist die Anzahl und Auswahl der angebotenen Knoten entscheidend. Daneben ist sie von der Größe der Verkehrszelle sowie der Bebauungsdichte und der Vollständigkeit des Straßennetzes abhängig. Galster (2009) untersuchte verschiedenste Anbindungsszenarien, in denen er den Einfluss der Anzahl an angebotenen Knoten, die Vollständigkeit des Straßennetzes, die Zellengröße und die Anbindungslänge untersuchte. Als Ergebnis stellt er die Fahrzeit im untergeordneten Netz als Funktion der Zellengröße bzw. der Anbindungslänge dar, da die Detaillierung des Straßennetzes bzw. die Anzahl der angebotenen Knoten in einer Zelle konstant ist. In der Verkehrsplanungssoftware Visum wird ebenso ein Ansatz über die Anbindungslänge verwendet.

$$t_{ZA} = t_{UN} + t_{PS} + t_{AB} \quad (8)$$

- mit:
- t_{ZA} Zielanbindungszeit
 - t_{UN} Anteil der Reisezeit, welcher im Modell nicht enthalten ist, in der Realität im nachgeordneten Netz stattfindet

- t_{PS} Zeitaufwand, vom Beginn der Parkplatzsuche bis zum Abstellen des Fahrzeugs
 t_{AB} Zeit vom Pkw-Standort bzw. von ÖV-Haltestelle zur Haustür

Parkplatzsuchzeiten stehen in direktem Zusammenhang zur Gebietscharakteristik und der Auslastung des Parkraumangebots. Die Ermittlung der Parksuchzeit kann durch Befragungen erfolgen und wird gemäß Galster (2009) zwischen 0,0 – 4,0 min angegeben.

In Verkehrsmodellen stellen sich zur Modellierung von Anbindungen folgende drei Fragen (Galster 2009):

1. Welche Zeiten werden der Anbindung zugewiesen?
2. An wie viele Knoten wird eine Verkehrszelle angebunden?
3. An welche Knoten wird eine Verkehrszelle angebunden?

Neben der Frage der Anbindungszeit, welche Einfluss auf die Verkehrsnachfrage hat, zielen die zweite und dritte Frage auf die Verteilung der Fahrten im Netz ab.

Erzeugung Zellschwerpunkte

Die Lage des Zellschwerpunktes wird in der Praxis über den geometrischen Schwerpunkt der Zellfläche definiert, wobei dies theoretisch nicht zwingend erforderlich ist. Es könnte auch der Schwerpunkt der Einwohner gewählt werden, doch dieser liegt in der Regel nicht vor. Weitere Möglichkeiten bilden die Methoden der Schwerpunkte aus Netzknoten bzw. aus Erreichbarkeit, wo die Schwerpunkte aufgrund der Lage der Netzknoten innerhalb einer Zelle ermittelt werden. Für die Bestimmung der Lage des Zellschwerpunktes gilt es zu berücksichtigen, dass in der Praxis oft längenspezifische Ansätze zur Definition der Anbindungszeiten verwendet werden.

Auswahl und Anzahl angebundener Knoten

Für die Auswahl und Anzahl der angebundener Knoten ist die Zellgröße von Bedeutung. Die gleichmäßige Verteilung der angebundener Knoten kann durch eine geringe Anzahl an Anbindungen nicht gewährleistet werden. In der Literatur finden sich folgende theoretische Ansätze zur Auswahl von angebundener Knoten (Galster 2009):

1. Unterteilung der Zelle in Sektoren: Hier wird eine Verkehrszelle in n Sektoren unterteilt und der nächstgelegene Knoten zum Flächenschwerpunkt des jeweiligen Sektors angebunden.
2. Clustern der Knoten: Diese Methode berücksichtigt die Länge aller Strecken in einem Knoten. Durch Bildung von Summengewichten in einem vordefinierten Umkreis können Anbindungsknoten erstellt werden.
3. Anbindungen entlang einer Isochrone: Das Anbinden über eine Isochrone stellt das Erzeugen in alle Richtungen sicher, da hier alle Knoten die gleiche Zeit vom Ausgangspunkt aufweisen.
4. Anbindungen entlang eines Radius: Im Gegensatz zur Isochrone können Anbindungen entlang eines Radius erzeugt werden.

All diese Verfahren stellen in der Praxis einen hohen Modellierungsaufwand dar, weshalb die Auswahl der Anbindungsknoten häufig über die Ortskenntnis des Modellierers erfolgt.

Fahrzeiten im untergeordneten Netz

Die Fahrzeiten im untergeordneten Netz werden herkömmlich über einen konstanten Luftliniengeschwindigkeitsansatz ermittelt. Der Ansatz einer konstanten Anbindungsgeschwindigkeit ist nur bedingt korrekt, da mit Zunahme der Anbindungslänge die Umwege abnehmen und somit die Geschwindigkeit erhöht werden kann. Die tatsächliche Anbindungszeit müsste jedoch für jede

Verkehrszelle individuell betrachtet werden, da sie von der tatsächlichen Streckengeschwindigkeit innerhalb einer Zelle bzw. der Umwege abhängig ist.

Verteilung von Quellen und Zielen

Neben der Anzahl und Auswahl der angebotenen Knoten ist ebenso die Verteilung der Quellen und Ziele auf die einzelnen Anbindungsknoten von Bedeutung. Durch die Auswahl bzw. Nichtauswahl von bestimmten Anbindungsknoten wird der Verteilung in gewisser Hinsicht Rechnung getragen. Knoten, welche nur an eine Strecke angebotenen sind, stellen Sackgassen dar und werden möglicherweise nicht mit Anbindungen ausgestattet, da ihnen keine verbindende Funktion zukommt. Anbindungsknoten mit hohen Streckengewichten, also dort wo viele Streckenarme an einen Knoten treffen, bilden Orte mit hohem Verkehrsaufkommen. Die Methode zur Auswahl über Streckengewichte stellt jedoch nur eine Annäherung dar und könnte über Strukturgrößen wie Einwohnerdichte bzw. Arbeitsplätze besser abgebildet werden. In der Verkehrsplanungssoftware Visum kann die Aufteilung der Verkehrsnachfrage eines Bezirks auf die Anbindungen folgendermaßen erfolgen (PTV AG 2021b):

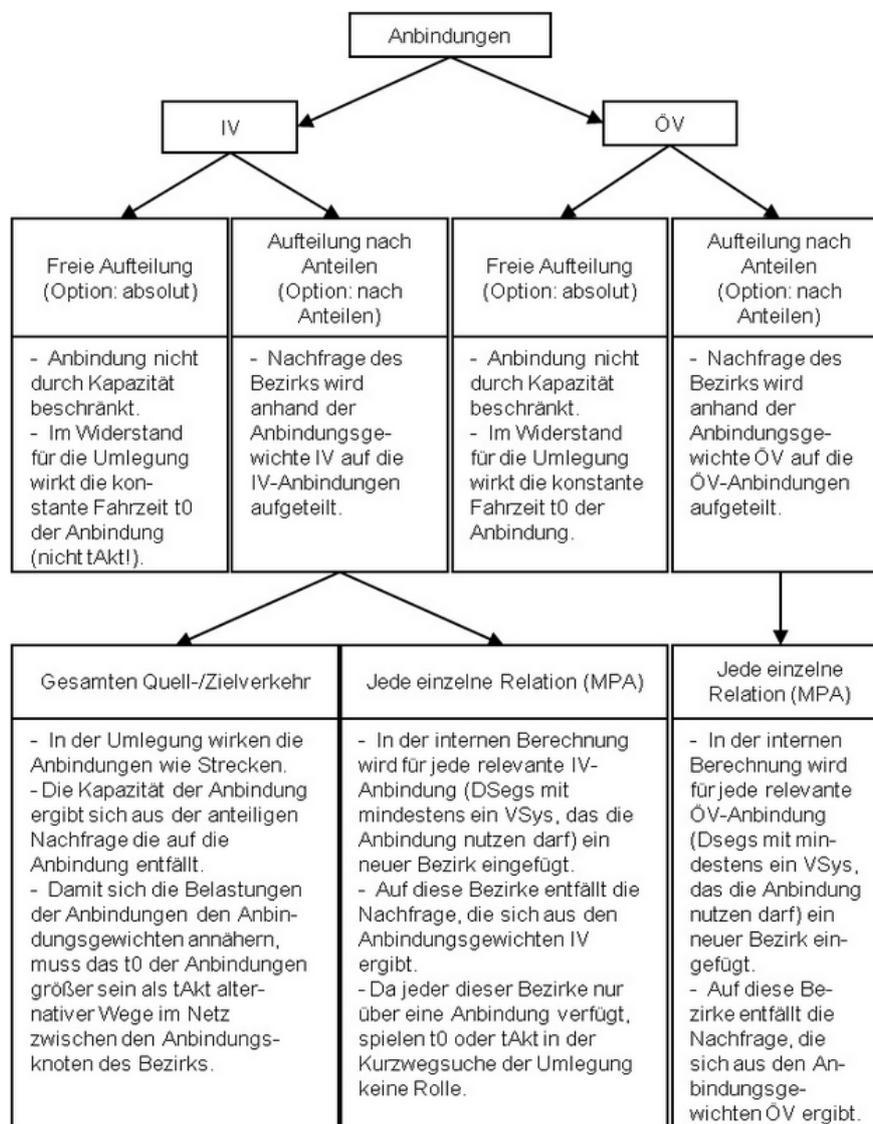


Abbildung 16: Modellierung von Anbindungen in Visum (PTV AG 2021b)

Da sich die Betrachtungen des Teilnetzes auf den IV konzentrierten, werden die Möglichkeiten des ÖVs nicht erläutert. Für den Individualverkehr bietet sich die Möglichkeit der freien Aufteilung an, wobei hier keine Kapazitäten berücksichtigt werden und daher die Anbindungszeit der Fahrzeit t_0 entspricht.

Die Fahrzeit t_0 ergibt sich in Visum aus der Luftlinienentfernung der jeweiligen Anbindung sowie der voreingestellten Anbindungsgeschwindigkeit für das jeweilige Verkehrssystem.

Eine andere Möglichkeit bietet die Aufteilung nach Anteilen an, wo die Nachfrage prozentual auf die Anbindungen aufgeteilt werden kann. Die prozentuelle Aufteilung kann auf zwei unterschiedlichen Varianten passieren. Bei ersterer Variante wird die Nachfrage des gesamten Quell- und Zielverkehrs auf die zur Verfügung stehenden Anbindungen prozentuell aufgeteilt. Für die Umlegung werden virtuelle Anbindungskapazitäten (= Prozentanteil * Quell-/Zielverkehr) berechnet, welche den Widerstand einer Anbindung beeinflussen. Bei kurzen Anbindungszeiten kommt der Einfluss des Anbindungswiderstands nicht zur Geltung. Des Weiteren sollte gemäß PTV AG (2021b) eine steile CR-Funktion gewählt werden. Für die Variante „Jede einzelne Relation MPA“ wird für jede einzelne Quelle-Ziel-Relation ein neuer Bezirk eingefügt, für welchen sich aufgrund der Anbindungsgewichte eine Verkehrsnachfrage ergibt. Da jeder dieser neu erstellten Bezirke nur über eine Anbindung verfügt, spielen die Fahrzeiten zur Widerstandsermittlung keine Rolle. Eine automatische Gewichtung der Anbindungen über Bebauungsdichten wäre wünschenswert, um die manuelle Aufteilung für jede einzelne Anbindung obsolet zu machen.

Exkurs Ende

Wie bereits vorhin erwähnt, wurde für das Verkehrsmodell GUARD die Anzahl der Anbindungen pro Verkehrszelle für den IV mit zwei festgelegt. Für die makroskopische Betrachtung des steirischen Zentralraums ist dies ausreichend. Um jedoch den Verkehr in einem wesentlich kleineren Untersuchungsgebiet realitätsgetreu abbilden zu können, musste hier eine Adaptierung der Anbindungen vorgenommen werden. Die Verkehrsnachfrage wurde durch die Generierung des Teilnetzes auf das neue Untersuchungsgebiet angepasst, jedoch nicht verändert. Für die Veränderung der Anbindungen wurde keine Korrektur an den Anbindungszeiten vorgenommen, da dies in der gewählten Anbindungsmethodik keinen Einfluss hat. Viel mehr galt es, die Streckenbelastungen nicht nur auf den Hauptverkehrsstraßen richtig zu modellieren, sondern auch im Detail auf den Neben- und Erschließungsstraßen zu erfassen.

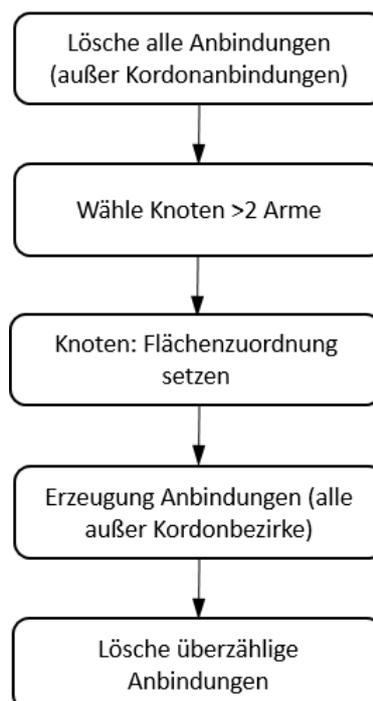


Abbildung 17: Ablauf Anbindungserzeugung

Um ein hochauflösendes Verkehrsmodell mit hohem Detaillierungsgrad zu erhalten, wurden im Teilnetz des Verkehrsmodell GUARD Änderungen durchgeführt. Um die Belastungen im Netz detaillierter abbilden zu können, war es das Ziel, für jeden Bezirk eine Anbindung an einem Knoten, welcher mehr als zwei Arme besitzt, zu erzeugen. Zudem sollte die Aufteilung der Verkehrsnachfrage mit der Option „Jede einzelne Relation (MPA)“ ausgeführt werden. Dies ermöglicht eine uniforme Verteilung der Verkehrsnachfrage innerhalb eines Verkehrsbezirks. Die im Teilnetz vorhandenen Anbindungen bestehen aus den durch die Teilnetzgenerierung hervorgegangenen Kordonanbindungen sowie den bestehenden Anbindungen für den IV und ÖV. Unter Anwendung eines Filterkriteriums wurden alle Anbindungen außer die Kordonanbindungen gelöscht. In einem nächsten Schritt erfolgte die Auswahl der Anbindungsknoten. Ähnlich einer Clustering der Knoten verlief die Auswahl über die Anzahl der Arme, welche an einen Knoten anschließen. Über das Attribut „Anzahl der Arme“ konnte wiederum über ein Filterkriterium die Bedingung „größer 2“ eingefügt werden, um alle Knoten mit mehr als zwei Armen auszuwählen. Die Software Visum erlaubt es dem Benutzer für das Netzelement Knoten eine Flächenzuordnung zu setzen. Mit dieser Flächenzuordnung wird allen Knoten innerhalb eines Bezirkes das Attribut „Nummer“ des Bezirkes auf ein beliebiges Knotenattribut (beispielsweise ZWert 1) übertragen. Danach erfolgte die Erzeugung der Anbindungen, wobei abermals zuerst über ein Filterkriterium alle Kordonbezirke ausgeschlossen wurden, da jeder Kordonbezirk nur über eine einzelne Kordonanbindung mit dem Teilnetz verknüpft ist. Im nachfolgend gezeigten Auswahlfenster können sämtliche Einstellungen zur Erzeugung von Anbindungen vorgenommen werden.

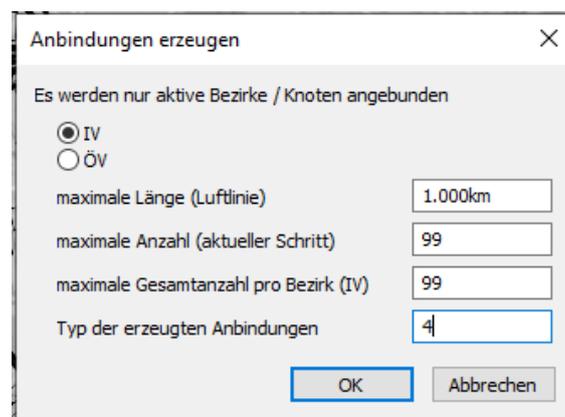


Abbildung 18: Einstellungen Anbindungserzeugung

Für die Erzeugung wurden die Filter der Netzelemente Bezirke und Knoten aktiv gestellt. Somit wurden Anbindungen an allen Knoten mit mehr als zwei Armen innerhalb des Untersuchungsgebiets (nicht an Kordonbezirken) erstellt. Das Programm bietet die Möglichkeit zur Erstellung entlang eines Radius und gibt eine maximale Anzahl an Anbindungen für den jeweiligen Schritt bzw. Bezirk an. Zum Schluss kann der Typ der erzeugten Anbindung ausgewählt werden, welcher die zugelassenen Verkehrssysteme definiert. Somit wurden für jeden Bezirk im Untersuchungsgebiet bis zu 99 Anbindungen erstellt, welche in einem weiteren Schritt nachbearbeitet wurden. Den letzten Schritt zur finalen Anbindungskonfiguration bildet das Löschen der überzähligen Anbindungen. Dazu mussten alle Anbindungen, welche ihren Anbindungsknoten nicht innerhalb der Verkehrszelle haben und weniger als drei Arme besitzen, gelöscht werden. Dazu wurde folgendes Filterkriterium auf das Netzelement Anbindung angewendet. Alle Anbindungen welche nicht vom Typ 0 sind, also alle neu erzeugten Anbindungen vom Typ 4, deren Bezirksnummer ungleich dem Knotenattribut „ZWert 1“ sind, sollten ausgewählt werden. Die ausgewählten Elemente wurden in einem letzten Schritt über den Befehl „Mehrfach-Löschen“ gelöscht. Resultierend daraus ergab sich für das Teilnetz nachfolgendes Bild.

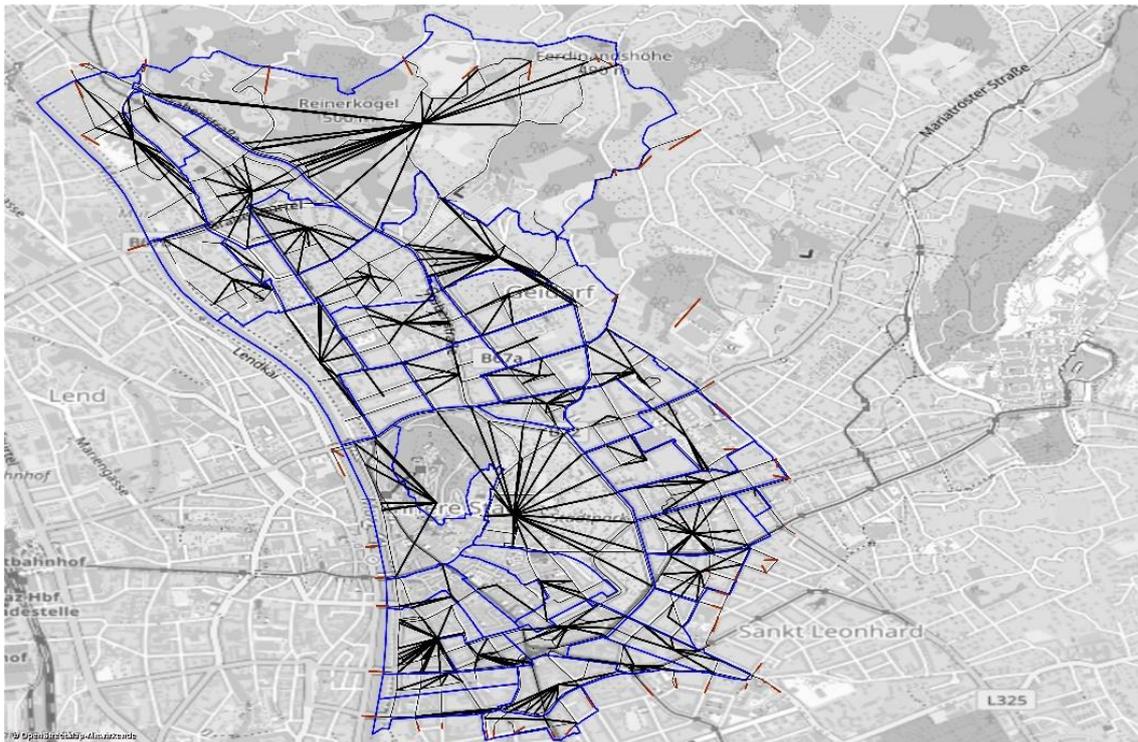


Abbildung 19: Neu erzeugte Anbindungen im Teilnetz

3.5.3 Zähldaten

Das vorliegende Modell liegt als Tagesmodell vor und muss in einem weiteren Schritt auf ein Spitzenstundenmodell skaliert werden. Um die Skalierung vom Tages- zum Spitzenstundenmodell zu ermöglichen, ist es notwendig Zähldaten für das Untersuchungsgebiet zu beschaffen. Des Weiteren werden Zähldaten zur späteren Korrektur der Nachfragematrix benötigt.

Die Stadt Graz betreibt in ihrem Straßennetz Dauerzählstellen, welche einerseits zur Verkehrssteuerung verwendet werden und andererseits stellen sie zur Planung von Verkehrsmaßnahmen eine nützliche Grundlage dar. Für eine spätere Matrixkorrektur sind Zähldaten an Stützstellen des Teilnetzes einzupflegen. Die Anzahl der Stützstellen wurde so gewählt, dass eine ausreichende Genauigkeit der Matrixkorrektur gewährleistet werden kann. Gleichzeitig führt eine zu hohe Anzahl an Stützstellen zum gegenseitigen Ausschluss der Zählstellen, wodurch die Kalibrierung nicht abgeschlossen werden kann. Die Wahl der Kalibrierungspunkte wird einerseits durch die Detektorzählstellen der Stadt Graz vorgegeben und andererseits werden bei Bedarf einzelne Knotenstromzählungen ergänzt. Für die Ermittlung von Verlagerungseffekten im Planungsgebiet wurden Zähldaten aller Zählstellen im Planungsgebiet von der Stadt Graz angefordert, welche in nachfolgender Tabelle gelistet werden.

Tabelle 12: Dauerzählstellen im Planungsgebiet (Stadt Graz 2020)

Zählstelle	Straße/Brücke	Abschnitt	verfügbar
002	Kalvarienbrücke	Brückenquerschnitt	✓
003	Keplerbrücke	Brückenquerschnitt	✓
005	Tegetthofbrücke	Brückenquerschnitt	✓
006	Radetzkybrücke	Brückenquerschnitt	✓
007	Augartenbrücke	Brückenquerschnitt	✓

202	Kaiser Franz Josef Kai	südl. Keplerbrücke	✓
203	Grabenstraße	nördl. Andritzer Maut	
204	Andritzer Reichsstraße	vor Andritzer Maut	✓
205	Grabengürtel	Unterflurtrasse	
206	Parkstraße	vor Geidorfplatz	✓
207	Heinrichstraße	vor Geidorfplatz	✓
208	Glacis	vor Geidorfplatz	✓
211	Burgring	südl. d. Burgstern	✓
212	Joanneumring	Schmiedgasse - Radetzkyplatz	✓
213	Grazbachgasse	Klosterwiesg. - Dietrichsteinplatz	✓
502	Knoten 502	Grabenstraße/Wickenburggasse	✓
501	Knoten 501	F-J-Kai/Wickenburggasse	✓

Für die Zählstellen 203 und 205 lagen die Daten nicht im 15 Minuten Intervall vor und konnten somit nicht zur Matrixkorrektur verwendet werden. Für die weitere Bearbeitung liegen somit Daten von 15 Zählstellen vor, welche von der Stadt Graz in 15 Minuten Intervallen übermittelt wurden. Der betrachtete Zeitraum liegt zwischen 4. November und 26. November 2019.

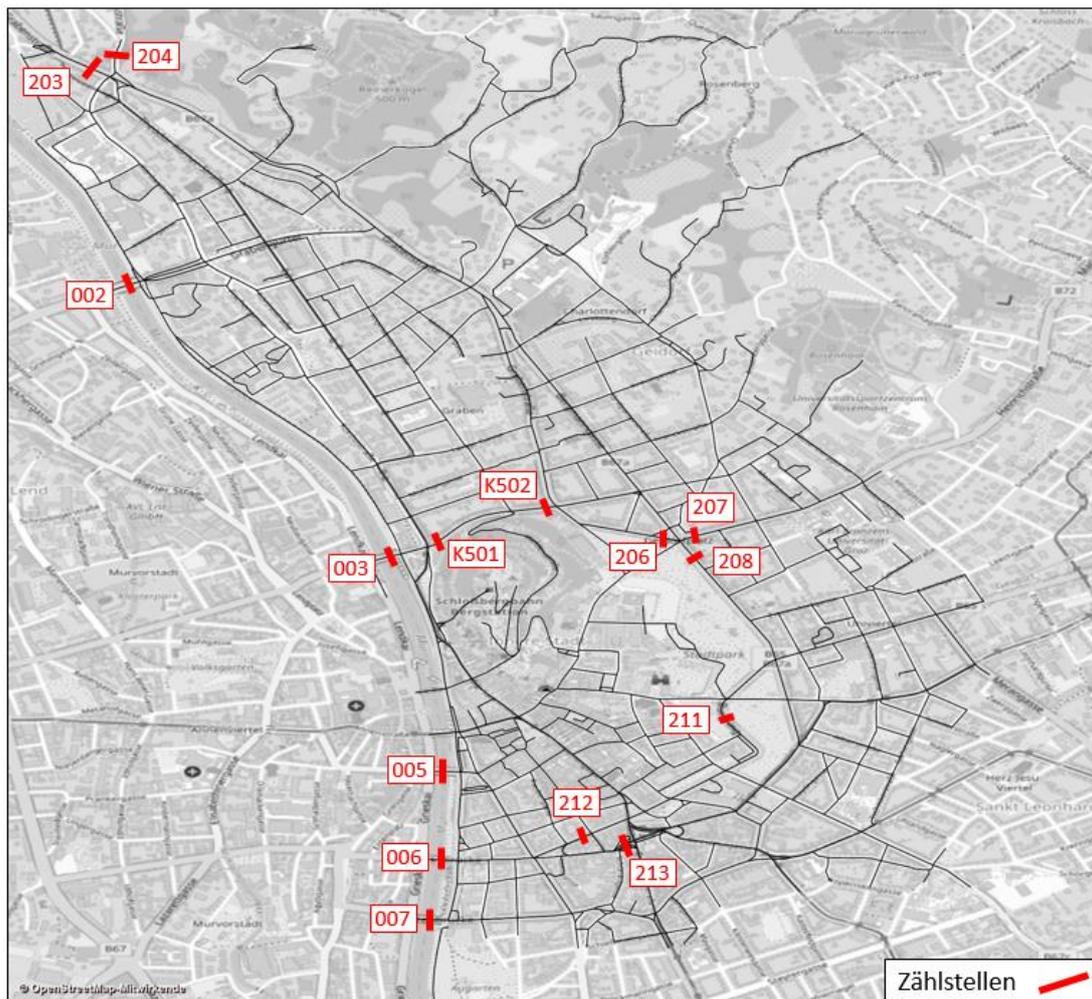


Abbildung 20: Zählstellen der Stadt Graz inklusive Planungsgebiet (Stadt Graz 2020)

Aus den Zähldaten der Zählstellen 206 – Parkstraße, 207 – Heinrichstraße und 208 – Glacis am Geidorfplatz werden zudem die Abbiegerelationen abgeschätzt, welche danach ebenso Eingang in die Matrixkorrektur finden. Des Weiteren kann durch die Detektoren am Knoten 501 – Grabenstraße/Wickenburggasse die Rechtsabbiegerelation bestimmt werden. Für die Kalibrierung des Modells wären noch weitere Knotenstrombelastungen wünschenswert gewesen. Eine zusätzliche Möglichkeit die Knotenströme zu bestimmen, bieten Knotenstromzählungen. Dadurch wäre eine genauere Kalibrierung an den Knoten möglich gewesen. Diese Möglichkeit wurde jedoch nicht genutzt, da die Zähldaten zum einen aus dem Jahr 2019 stammen und zum anderen war aufgrund der COVID-Situation im Herbst 2020 bzw. Anfang 2021 keine repräsentative Zählung an den Knoten möglich, da das Verkehrsaufkommen durch die Bewegungseinschränkungen niedriger war. Der Vergleich der modellierten Daten mit den tatsächlichen Zähldaten für die Knoten 502 und 504 wird in 3.6 gezeigt.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit der Software MS Excel. Dabei war das Ziel, die Tagesganglinie sowie die abendliche Spitzenstunde für einen typischen Werktag an der jeweiligen Zählstelle zu ermitteln.

3.5.4 Nachfrageskalierung

Die zeitliche Abbildung des GUARD Modells war in ihren Anfängen stundenfein, was eine hochauflösende zeitliche Darstellung des Verkehrsmodells ermöglichte. Im Laufe der Zeit wurde diese aufwändige Struktur aufgegeben, wodurch das GUARD Modell heute als Tagesmodell zur Verfügung steht. Durch die Aufgabe der stundenfeinen Auflösung des Modells war es notwendig, eine andere Methode zur Betrachtung der Spitzenstunde zu finden, da die Verlagerungseffekte mit einem Tagesmodell nicht abgebildet werden können. Die Verkehrsverlagerungen sollten für eine abendliche Spitzenstunde dargestellt werden, weil diese die maßgebende Stunde im Tagesverlauf darstellt. Die Umrechnung der abendlichen Spitzenstunde sollte daher über einen Umrechnungsfaktor erfolgen, wobei ein allgemeiner Anhaltspunkt zur Ermittlung der Spitzenstunde ein Zehntel des Tagesverkehrs ist. Anhand der Zähldaten der Stadt Graz, welche später für die Matrixkorrektur notwendig waren, konnte die maßgebende abendliche Spitzenstunde definiert werden bzw. auch der ungefähre Umrechnungsfaktor für diese ermittelt werden. Für die Betrachtung der abendlichen Spitzenstunde wurde die Tagesganglinie an ausgewählten Zählquerschnitten ausgewertet und die Nachmittagspitze ermittelt. In nachfolgender Abbildung ist beispielhaft die Zählstelle 207 in der Heinrichstraße abgebildet, anhand welcher die morgendliche und abendliche Spitzenstunde gezeigt werden kann.

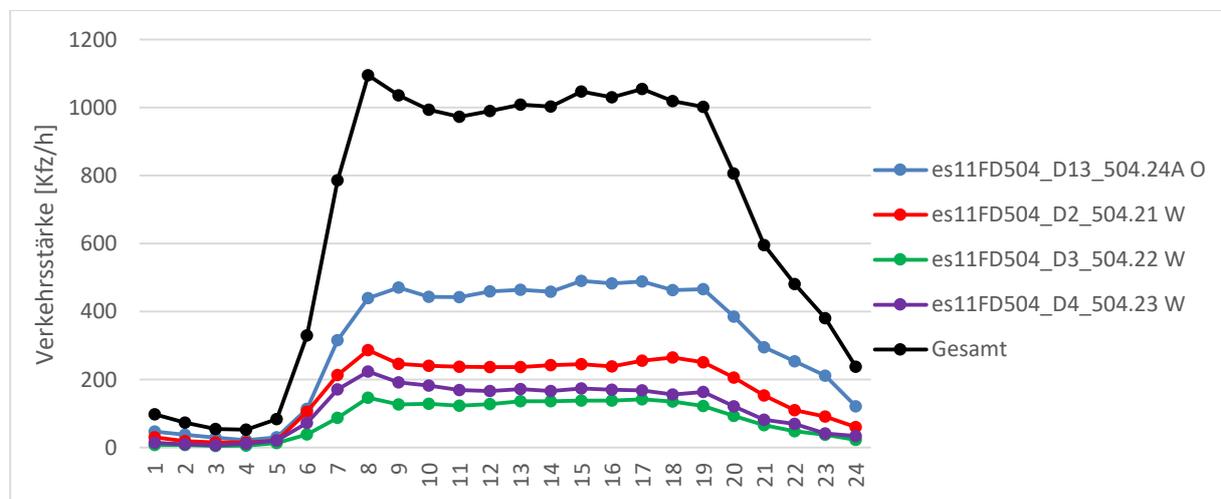


Abbildung 21: Tagesganglinie Zählstelle 207 Heinrichstraße (Stadt Graz 2020)

Die schwarze Linie zeigt das Gesamtverkehrsaufkommen in beide Richtungen in der Heinrichstraße für einen typischen Werktag. Die morgendliche Spitzenstunde ist zwischen 07:00 und 08:00 Uhr und weist eine Verkehrsstärke von knapp 1100 Fahrzeugen pro Stunde auf. Charakteristisch ist die gedrungene Form der Morgenspitze, welche aus der Fahrt in die Arbeit resultiert. Im Gegensatz dazu zeigt sich am Nachmittag ein gestreckter Verlauf des Maximums, welcher keine ausgewiesene Spitze aufweist. Die verkehrsstärkste Stunde wurde auf Basis von Viertelstundenintervallen zwischen 16:00 und 17:00 Uhr mit einer Verkehrsstärke von rund 1050 Kfz/h ermittelt.

Über den Vergleich mit diversen Zählstellen konnte so ein Umrechnungsfaktor von 6,5 % ermittelt werden, welcher danach für die Umrechnung der Nachfragematrize verwendet wurde. Die umgerechnete Nachfragematrize wurde dann gemäß des 4-Stufen Algorithmus mittels Lernverfahren umgelegt. Nach einem Durchlauf wurden die Streckenbelastungen auf Plausibilität geprüft, wobei die Umrechnung naturgemäß Abweichungen zu den Zählwerten aufweist. An einigen Stellen wird der Zählwert überschritten, an anderen Stellen unterschritten.

3.5.5 Matrixkorrektur

Um etwaig auftretende Abweichungen von Belastungen im Teilnetz zu korrigieren, bieten Matrixkorrekturverfahren die Möglichkeit, diese durch Anpassung an tatsächlich beobachtete Belastungen zu korrigieren. Dabei soll eine vorgegebene Nachfragematrix so angepasst werden, dass ihr Umlegungsergebnis bei einem bestimmten Angebot die tatsächlich auftretenden Belastungen trifft. Ausgehend von einer vorhandenen Nachfragematrix und den ermittelten Zählwerten erfolgt die Kalibrierung des Verkehrsmodells. In Visum kann die Matrixkorrektur über das Programmmodul „VStromFuzzy“ erfolgen, wo aus der aktuellen Nachfragematrix zusammen mit den Zählwerten eine neue Matrix berechnet wird (PTV AG 2021b).

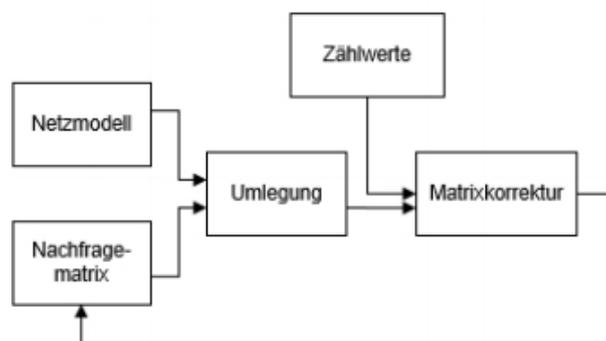


Abbildung 22: Verfahren zur Matrixkorrektur mittels VStromFuzzy (PTV AG 2021b)

Auf Basis einer initialen Umlegung werden Differenzen aus den Zählwerten und den Belastungen gebildet, welche in einem nächsten Schritt durch eine Anpassung der Nachfragematrix ausgeglichen werden. In diesem Fall wird die Fortschreibung nur auf ein einziges Nachfragesegment durchgeführt. Im Allgemeinen wäre jedoch auch eine Fortschreibung für mehrere Nachfragesegmente möglich, wobei dann die angegebenen Zählwerte proportional zum Anteil der Nachfragesegmente aufgeteilt werden. Im Prozess ist eine Rücklaufschleife abgebildet, sodass dieses Verfahren solange durchgeführt wird, bis keine nennenswerten Änderungen der Belastungen mehr erkennbar sind bzw. die Abweichung zu den Zählwerten ein akzeptiertes Maß erreicht hat (PTV AG 2021b).

Methodische Grundlagen zu VStromFuzzy

Im Visum Handbuch (PTV AG 2021b) wird die Beschreibung von Matrixkorrekturverfahren insbesondere dem selbst entwickelten Verfahren „VStromFuzzy“ folgendermaßen beschrieben. Die

Methodik liegt in der Aktualisierung einer alten Matrix durch Verwendung von Zählwerten. PTV entwickelte das ursprünglich für den IV gedachte Verfahren für den ÖV weiter. Ausgehend von einer Verkehrsnachfragematrix f_{ij} in Matrixschreibweise kann diese jedoch auch in Vektorform dargestellt werden.

$$\begin{pmatrix} 0 & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & 0 & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ f_{31} & f_{32} & 0 & \dots & f_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n3} & \dots & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{12} \\ f_{13} \\ \vdots \\ f_{1n} \\ f_{21} \\ f_{23} \\ \vdots \\ f_{2n} \\ f_{31} \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (9)$$

Die vorhandene Nachfragematrix bildet einen Zeitpunkt in der Vergangenheit ab und gibt demnach über den derzeitigen Zustand nur bedingte Auskunft. Für den momentanen Zustand liegen keine relationsfeinen Daten (bspw. aus Quelle-Ziel-Befragungen) vor, die Zählwerte sind nur an einzelnen Stützstellen im Netz vorhanden.

$$c^r = (c_1 \ c_2 \ c_3 \ \dots \ c_n) \quad (10)$$

Die gezählten Streckenbelastungen entsprechen der Summe aller Relationen auf einem betrachteten Querschnitt. Beispielsweise sind für den Quell-/Zielverkehr die Randsummen der zu schätzenden Matrix bekannt, womit ein linearer Zusammenhang aus Nachfrage und Zählwerten dargestellt werden kann.

$$A * f = c \quad (11)$$

Die Einträge der Anteilsmatrix A entsprechen dem Anteil der Fahrten der Relation k , der den Zählquerschnitt s passiert. Die Anteilsmatrix A kann durch Umlegung einer vorhandenen Verkehrsnachfragematrix gewonnen werden.

Aufgrund der geringen Anzahl an Zählobjekten ist die neue Matrix durch die Zählwerte unterbestimmt. Aus einer Unzahl von möglichen Matrizen muss also eine Matrix ausgewählt werden, die die Randbedingungen der Zählwerte am besten erfüllt. Dieses Optimierungsproblem kann über eine Bewertungsfunktion q gelöst werden.

$$\max q(f), \text{ sodass } A * f = c \quad (12)$$

Als Bewertungsfunktion kommt eine Kombination aus Entropie und Gewichtung mit den Anteilen der alten Matrix zur Anwendung. Das Problem ist iterativ zu lösen, da die Bewertungsfunktion $q(f)$ nichtlinear ist.

In der klassischen Darstellung des Matrixkorrekturverfahrens werden die Zählwerte als Bekannte, frei von jeder Unsicherheit, angenommen. Somit werden nur jene Matrizen ausgewählt, die die Nebenbedingung exakt erfüllen. Da die ermittelten Zählwerte jedoch unscharfe Parameter darstellen, welche nur eine Momentaufnahme bilden, wurde durch die PTV AG ein Ansatz aufgegriffen, der die Eigenschaften der unscharfen Messwerte miteinbezieht.

Die Schwankung der Zählwerten in einem Bezirk kann durch entsprechende Toleranzen abgebildet werden. Beispielsweise könnte der Quellverkehr in einem Bezirk täglich um bis zu 20 % schwanken.

Anstelle der scharfen Randbindungen werden die Nebenbedingungen des Matrixschätzproblems durch unscharfe Bedingungen mit unterschiedlich großen Toleranzen ersetzt.

Das Optimierungsproblem lässt sich durch die Einführung der Schlupfvariablen r und s folgendermaßen umformulieren.

$$A * f + s = \bar{c} \quad (13)$$

$$A * f + s = \underline{c} \quad (14)$$

mit

$$\bar{c} = c + t \quad (15)$$

$$\underline{c} = c - t \quad (16)$$

Die Einbeziehung der Schlupfvariablen in die Bewertungsfunktion ermöglicht eine Bevorzugung von Werten im Zentrum. Es werden Werte nahe dem Mittelwert der Zählwerte bevorzugt, doch auch Werte am Rand können akzeptiert werden, wodurch sich eine wesentlich geringere Abweichung von den Zählwerten ergibt.

Die Anwendung einer Fuzzy-ähnlichen Formulierung des Optimierungsproblems führt zu einer Erhöhung der Freiheitsgrade für die Entropiemaximierung, wodurch im Allgemeinen höhere Zielfunktionswerte erreicht werden können. Als Ergebnis der Matrixkorrektur folgt also jene Nachfragematrix, welche am Wahrscheinlichsten unter Einhaltung der Bandbreite der Zählwerte auftritt.

3.5.6 Widerstände

Den vierten Punkt im 4-Stufen Algorithmus stellt die Verkehrsumlegung dar, wobei die Verkehrsteilnehmer, basierend auf einem Kurzwegealgorithmus, die widerstandminimalen Routen auswählen. Neben der Basisreisezeit t_0 , welche aus der Wegstrecke bzw. der Reisegeschwindigkeit resultiert, ist die aktuelle Reisezeit t_{akt} abhängig von der Verkehrsbelastung. Die aktuelle Reisezeit wird über sogenannte Capacity-Restraint-Funktionen (CR-Funktionen) definiert, wobei sich grundsätzlich die Reisezeit in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung verändert. Die Routenwahl ist jedoch nicht nur von der voraussichtlichen Reisezeit sondern auch von der Länge der Route sowie eventueller Mautgebühren abhängig. Dadurch muss eine Generalisierung der Kosten auf eine gemeinsame Einheit erfolgen. Dies geschieht über einen sogenannten Value of Time (VOT). Für die Anwendung im GUARD-Modell ist keine Generalisierung notwendig, wodurch als Widerstand die Einheit Zeit verwendet wird (PTV AG 2021b).

Ausgehend von einem monotonen Zusammenhang steigt die Reisezeit mit zunehmender Belastung. Ein weit verbreiteter Funktionstyp zur Beschreibung dieses Zusammenhangs ist die BPR-Funktion aus dem Traffic Assignment Manual des U.S.-amerikanischen Bureau of Public Roads.

$$t_{akt} = t_0 * \left(1 + a * \left(\frac{q}{c * q_{max}} \right)^b \right) \quad (17)$$

mit: t_{akt} aktuelle Reisezeit
 t_0 Basisreisezeit
 a, b, c benutzerdefinierte Parameter
 q Aktuelle Belastung

q_{max} Kapazität

Die benutzerdefinierten Parameter a , b und c sind anhand von Kalibrierungen zu bestimmen. Im Tagesmodell sind diese Faktoren schon gegeben und müssen deshalb auf die abendliche Spitzenstunde umgerechnet werden. Hierfür muss der Parameter c im Ausdruck der Sättigung angepasst werden. Dafür wurde der gegebene Wert mit dem Skalierungsfaktor 0,065 multipliziert. Der Gesamtwiderstand einer Route ergibt sich somit aus den Einzelwiderständen der Netzobjekte. Ausgehend vom Bezirksschwerpunkt bilden Anbindungen die Verbindung zum Netzangebot. Durch die Anbindungsoption MPA wird jede Anbindung gleichmäßig belastet, wodurch der Routenwiderstand keine Rolle spielt. Im Netz werden danach die Widerstände auf die Strecken und Knoten angewendet, wobei für verschiedene Streckentypen unterschiedliche CR-Funktionen zur Anwendung kommen. Im Teilnetz werden zwei unterschiedliche CR-Funktionen verwendet.

Tabelle 13: Strecken CR-Funktionen

Parameter	Werte	Einheit
a	1,00	[-]
b	3,00	[-]
c	0,78	[-]
q_{max} bei v30	600	Kfz/FS/h
q_{max} bei v50	1000	Kfz/FS/h

Knotenwiderstände

Für die Modellierung der Widerstände an Knoten bzw. Oberknoten bietet VISUM mehrere Möglichkeiten. In städtischen Verkehrsnetzen tragen nicht nur die Widerstände auf den Strecken sondern ebenso die Knotenwiderstände zur Routenwahl bei. An Knotenpunkten müssen nämlich Konfliktflächen von unverträglichen Verkehrsströmen nacheinander passiert werden, wobei die Reihenfolge von der Verkehrsregelung abhängig ist. Ob nun eine Route gewählt wird, hängt also maßgeblich vom Widerstand auf Alternativrouten ab. Am Knoten werden diese Widerstände üblicherweise über die Abbiegezeiten an den Abbiegern berücksichtigt. Beispielsweise bedarf ein Linksabbiegemanöver mehr Zeit als ein Rechtsabbiegemanöver. VISUM stellt drei unterschiedliche Typen zur Modellierung der Knotenwiderstände zur Verfügung (PTV AG 2021b):

Abbieger CR-Funktionen

Die einfachste Methode „Abbieger CR-Funktionen“ berücksichtigt Abbiegemanöver insofern, als für unterschiedliche Abbiegetypen unterschiedliche Basisabbiegezeiten t_0 definiert werden. Danach wird die aktuelle Abbiegezeit t_{akt} mittels CR-Funktionen ermittelt. In VISUM werden vier Abbiegetypen mit unterschiedlichen Basisabbiegezeiten definiert.

Tabelle 14: Abbiegezeiten VISUM

Abbiegetyp	t_0 [s]	Q_{max} bei v50 [Kfz/FS/h]	Q_{max} bei v30 [Kfz/FS/h]
1: Rechtsabbieger	5	850	510
2: Geradeaus	3	1000	600
3: Linksabbieger	10	700	420
4: Umkehr	7	1000	1000

Als CR-Funktion wird im GUARD-Modell wiederum die BPR-Funktion verwendet, wobei hier die modifizierte BPR-Funktion zur Anwendung kommt. Die modifizierte BPR2-Funktion definiert eine Funktion unter der Sättigungsverkehrsstärke und eine über der Sättigungsverkehrsstärke. Somit kann ein rapider Anstieg des Abbiegewiderstands simuliert werden.

$$t_{akt} = t_0 * \left(1 + 0,08 * \left(\frac{q}{0,26 * q_{max}} \right)^{2,5} \right) \quad \frac{q}{0,26 * q_{max}} \leq 1 \quad (18)$$

$$t_{akt} = t_0 * \left(1 + 0,08 * \left(\frac{q}{0,26 * q_{max}} \right)^{3,48} \right) \quad \frac{q}{0,26 * q_{max}} > 1 \quad (19)$$

Im GUARD-Modell wird die Methode der Abbieger CR-Funktionen als Standard verwendet.

Knoten CR-Funktionen

Eine zweite etwas aufwendigere Möglichkeit bietet die Methode „Knoten CR-Funktionen“, wo neben den Abbiegewiderständen auch ein Knotenzuschlag berücksichtigt wird. Die Abbiegewiderstände werden gleich wie bei der oben genannten Methode ermittelt, jedoch wird zusätzlich eine CR-Funktion für den Knoten selbst definiert. Dazu wird eine Basiszeit t_0 und eine Kapazität für den Knoten bestimmt. Der Widerstand setzt sich also aus zwei Komponenten zusammen, einerseits aus dem Abbiegewiderstand und andererseits aus dem Knotenwiderstand. Der Knotenwiderstand wirkt jedoch nur auf Abbiegern aus nachrangigen Zufahrten, welche über das Attribut *TModelSpecial* definiert werden. Der höhere Widerstand aus nicht-bevorrechtigten Zufahrten wird also über den Knotenwiderstand berücksichtigt. Die PTV AG (2021b) beschreibt die Formeln zur Widerstandsberechnung folgendermaßen:

$$Bel(k) = \sum Bel(k)$$

$$Zuschlag(k) = CR - Funktion(Kap(k), Bel(k))$$

$$Zuschlag(a) = CR - Funktion(Kap(a), Bel(a))$$

WENN k keine Strecke mit *TModelSpecial* = 1 hat, DANN

$$t_{akt}(a) = Zuschlag(a) + Zuschlag(k) \text{ für alle Abbieger } a \text{ an Knoten } k$$

WENN k mindestens eine Strecke mit *TModelSpecial* = 1 hat, DANN

$$t_{akt}(a) = Zuschlag(a) \text{ für alle Abbieger } a, \text{ für deren Strecke } TModelSpecial = 0$$

$$t_{akt}(a) = Zuschlag(a) + Zuschlag(k) \text{ für alle Abbieger } a, \text{ für deren Strecke } TModelSpecial = 1$$

Diese Methode zur Ermittlung der Knotenwiderstände wird im GUARD-Modell nicht verwendet.

Knotenwiderstandsberechnung (ICA)

Eine detaillierte Modellierung der Knotenpunkte ermöglicht eine ebenso genauere Ermittlung der Knotenwiderstände. Im Highway Capacity Manual (HCM) vom US Transportation Research Board finden sich international anerkannte Richtlinien zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten. Das HCM bildet mit seiner Intersection Capacity Analysis (ICA) somit die Grundlage zur Ermittlung von Leistungsindikatoren in Abhängigkeit der Knotengeometrie und Knotensteuerung. Je nach Steuerungstyp unterscheidet sich die Berechnung. Im Untersuchungsgebiet sollen die Knotenpunkte 502 (Grabenstraße/Wickenburggasse), 503 (Bergmannngasse/Humboldtstraße) und 504 (Geidorfplatz) mittels ICA modelliert werden. Diese Knoten sind wesentlich für den Verkehrsablauf innerhalb des Untersuchungsgebietes und sind als lichtsignalisierte Knotenpunkte ausgeführt. Daher wird hier die Kapazitätsanalyse nach HCM für signalisierte Knoten erläutert (PTV AG 2021b).

Als Eingabewerte für die Durchführung einer Kapazitätsanalyse an signalisierten Knoten werden Knotengeometrie, Belastung und Signalprogramme benötigt. Danach kann die Analysemethode

gemäß HCM angewendet werden, wobei die Knotengeometrie in einzelne Fahrstreifengruppen zerlegt wird. Beispielsweise besitzt eine Strecke mit Linksabbieger zwei Fahrstreifengruppen: eine für den Linksabbieger und eine für den Geradeaus- bzw. Rechtsabbiegeverkehr. Anhand der gegebenen Belastungen wird die Kapazität unter Verwendung diverser Anpassungsfaktoren für jede Fahrstreifengruppen berechnet und danach können Leistungsindikatoren ausgegeben werden. In nachfolgender Abbildung ist die grundsätzliche Vorgehensweise zur Kapazitätsanalyse angeführt.

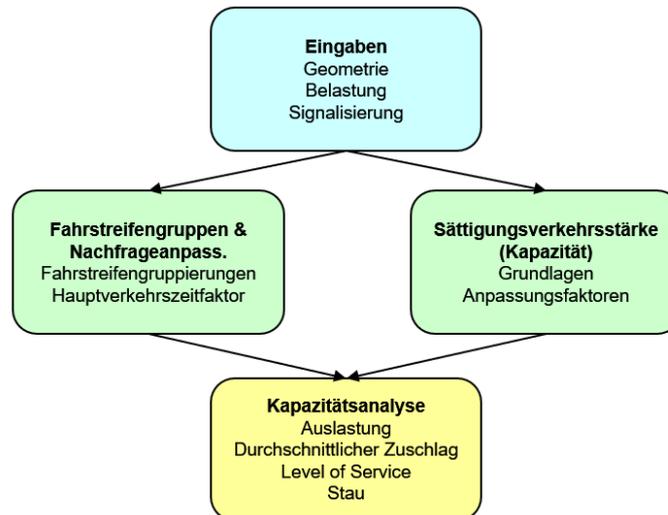


Abbildung 23: Ablauf Kapazitätsanalyse bei signalisierten Knoten (PTV AG 2021b)

Im betrachteten Teilnetz der Stadt Graz befinden drei für den Verkehrsablauf wesentliche Knotenpunkte. Die Kreuzung 504 – Geidorfplatz, der Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße sowie der Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse sollen mittels Knotenwiderstandsberechnung ICA simuliert werden. Da die Signalprogramme in einer späteren Mikrosimulation allenfalls benötigt werden, wurden diese von der Stadt Graz zur Verfügung gestellt. In Kapitel 4 werden die Signalprogramme dargestellt.

Nachfolgend wird der Ablauf der Berechnung mittels VISUM-Handbuch (PTV AG 2021b) anhand des Knoten 504 – Geidorfplatz erläutert. Der fünfarmige Knoten Geidorfplatz stellt einen Hauptverkehrsknoten im Grazer Stadtgebiet dar und ist Teil des Grazer Rings. Nach Implementierung des Signalprogramms als Festzeitprogramm erfolgte die Anpassung der Knotengeometrie. Hierfür bietet der Knoteneditor in VISUM eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Adaptierung des Knotens. Die Anzahl der Fahrstreifen sowie die Anordnung der Abbiegerelationen wurden anhand Google maps (2021) bzw. den zugehörigen Signallageplänen der Stadt Graz (2021a) angepasst. Die Knotenwiderstandsberechnung erfolgt in VISUM automatisiert, sodass der Benutzer nur die Anpassungsfaktoren der jeweiligen Berechnungsschritte eingeben muss.



Abbildung 24: Orthofoto Knoten 504 – Geidorfplatz (Land Steiermark 2021)

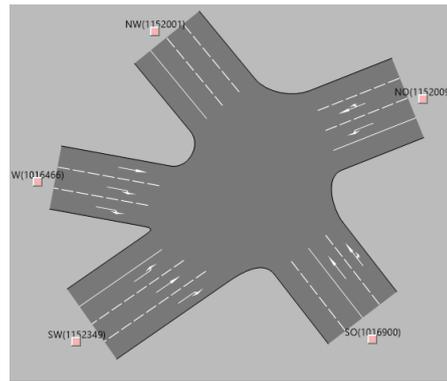


Abbildung 25: VISUM Geometrie Knoten 504 - Geidorfplatz

Schritt 1: Fahrstreifenbelastung aus Fahrtbeziehungsbelastung berechnen

Aus der benutzerdefinierten Geometrie und den zugehörigen Fahrtbeziehungsbelastungen werden die Nutzungsanteile je Fahrstreifen ermittelt. Liegen mehrere Fahrstreifen in eine Richtung vor, so werden die Nutzungsanteile gleichmäßig aufgeteilt. Beispielsweise wird der rechte Fahrstreifen vom Glacis kommend Richtung Norden für die Fahrtbeziehung Rechts bzw. Geradeaus verwendet. Somit ergibt sich eine Fahrstreifenbelastung aus der Summe der beiden Fahrtbeziehungsbelastungen.

Tabelle 15: ICA - Fahrtbeziehungsbelastungen

Volume and Adjustments by Movement												
Approach	NO			SO		SW			W			NW
Movement	L1	T	R1	T	R1	L1	T	R1	T	R1	R2	
Base Volume	235	38	281	1245	11	11	112	18	243	959	1	
PHF, Peak-hour factor	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Peak 15 Volume	59	10	70	311	3	3	28	4	61	240	0	
Adjusted Volume	235	38	281	1245	11	11	112	18	243	959	1	

Die aus dem Verkehrsnachfragemodell resultierenden Relationen werden als Fahrtbeziehungsbelastungen eingegeben. Danach werden die einzelnen Fahrtbeziehungen auf geteilte Fahrstreifen zu Fahrstreifenbelastungen reduziert.

Schritt 2: Belastungen mittels Spitzenstundenfaktor anpassen

Die Berechnung nach HCM berücksichtigt die Spitzenstunde über einen Spitzenstundenfaktor (PHF = peak hour factor). Für die Berechnungen im GUARD-Modell wurde dieser Faktor auf 1,0 gesetzt.

Schritt 3: Allgemeine Fahrstreifengruppen berechnen

Dieser Schritt wird in der Methodik gemäß HCM 2010 nicht mehr ausgeführt. Sofern eine Fahrstreifengruppe aus gemeinsam genutzten Fahrstreifen mit Verkehr in ausschließlich eine Richtung vorliegt, dann wird diese allgemeine Fahrstreifengruppe in eine richtungsspezifische Fahrstreifengruppe umgewandelt.

Schritt 4: Linksabbiegetyp berechnen

Der Linksabbiegetyp wird zur Ermittlung des Anpassungsfaktors für Linksabbieger benötigt und ergibt sich aus der Geometrie und dem Signalzeitplan. Dabei werden folgende Linksabbiegetypen unterschieden:

- Voll verträglich, wenn alle Abbieger während ihrer Grünzeit konfliktfrei sind.
- Voll gesichert, wenn der Linksabbieger während der Grünzeit konfliktfrei ist.

- Voll gesichert und bedingt verträglich, wenn der Linksabbieger während der Grünzeit voll gesichert und dann bedingt verträglich ist.
- Bedingt verträglich und voll gesichert, wenn der Linksabbieger während der Grünzeit erst bedingt verträglich und danach voll gesichert ist.
- Ohne Linksabbiegephase, alle anderen Fälle.

Gemäß nachfolgender Tabelle weist der Geradeaus- bzw. Rechtsabbiegeverkehr keinen Linksabbiegetyp auf. Der Linksabbiegeverkehr ist bei Knoten 504 voll gesichert und bedingt verträglich.

Schritt 5: Anteil der links- bzw. der rechtsabbiegenden Fahrzeuge je Fahrstreifengruppe ermitteln

Der Anteil der Links- bzw. Rechtsabbieger der jeweiligen Fahrstreifengruppe ergibt sich aus dem Verhältnis Abbiegeverkehr zu Gesamtverkehr auf der Fahrstreifengruppe. Für den Arm NO (von der Heinrichstraße kommend) ergibt sich somit für den Linksabbiegestreifen ein Linksabbiegeanteil von 1,0. Anders verhält es sich mit dem rechten Fahrstreifen, welcher vom Geradeaus- sowie Rechtsabbiegeverkehr genutzt wird. Hier ergibt sich demnach der Anteil der Rechtsabbieger mit 0,88.

Tabelle 16: ICA - Fahrstreifenbelastungen

Volume and Adjustments by Lane Group										
Approach	NO		SO		SW			W		NW
Lane Group	L	C	C	C	L	C	R	C	R	
ID	23417	23418	23415	23416	23421	23422	23423	23419	23420	
Lanes	L	RT	T	RT	L	T	R	T	R, R	
Control Type	Perm	No Left	No Left	No Left	Perm	No Left	No Left	No Left	No Left	
V, Volume	235	320	628	628	11	112	18	243	960	
PLT, Proportion Left Turns	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PRT, Proportion Right Turns	0,00	0,88	0,00	0,02	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	

Schritt 6: Sättigungsverkehrsstärke je Fahrstreifengruppe berechnen

Für die Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke (SFR) je Fahrstreifengruppe muss eine ideale Sättigungsverkehrsstärke definiert werden, welche danach über diverse Anpassungsfaktoren zu einer tatsächlichen Sättigungsverkehrsstärke abgemindert wird. Im HCM wird als SFR gewöhnlich 1900 Kfz/h/FS verwendet. Die Sättigungsverkehrsstärke ermittelt sich demnach folgendermaßen:

$$s_i = s_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_a * f_{bb} * f_{Lu} * f_{RT} * f_{LT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (20)$$

- mit:
- s_i Sättigungsverkehrsstärke je Fahrstreifengruppe
 - s_0 Ideale Sättigungsverkehrsstärke je Fahrstreifengruppe (1900 Kfz/h/FS)
 - N Anzahl Fahrstreifen in Fahrstreifengruppe
 - f_w Anpassungsfaktor für Fahrstreifenbreite
 - f_{HV} Anpassungsfaktor für LKWs
 - f_g Anpassungsfaktor für Steigung der Zufahrt
 - f_p Anpassungsfaktor für Parken
 - f_a Anpassungsfaktor für Lage der Strecke im Stadtzentrum (CBD)
 - f_{bb} Anpassungsfaktor für Blockierung durch Bushaltestelle
 - f_{Lu} Anpassungsfaktor für Fahrstreifennutzung

f_{Lpb} Anpassungsfaktor für Fußgänger und Radfahrer bei Linksabbiegern

f_{Rpb} Anpassungsfaktor für Fußgänger und Radfahrer bei Rechtsabbiegern

Die einzelnen Anpassungsfaktoren werden nicht näher erläutert, da sie in der Simulation nicht berücksichtigt wurden. Somit folgen die meisten Anpassungsfaktoren zu 1,0. Die Nichtberücksichtigung der Faktoren wird damit begründet, als danach eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation folgt, wo ebenfalls eine Kapazitätsanalyse am Knoten durchgeführt wird. Nichtsdestotrotz bieten diese Anpassungsfaktoren im makroskopischen Verkehrsmodell die Möglichkeit, eine möglichst detaillierte Abbildung der Realität zu schaffen.

Tabelle 17: ICA - Sättigungsverkehrsstärke

Saturation Flow Rate									
Approach	NO		SO		SW			W	
Lane Group	23417	23418	23415	23416	23421	23422	23423	23419	23420
Control Type	Perm	No Left	No Left	No Left	Perm	No Left	No Left	No Left	No Left
so, Base Saturation Flow Rate	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
N, Number of Lanes	1	1	1	1	1	1	1	1	2
fw, Lane Width Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Phv, % Heavy Vehicles	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
fHV, HV Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fg, Grade Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fp, Parking Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fb, Bus Blocking Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fa, Area Type Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fLU, Lane Utilization Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,89
fLT, Left Turn Adjustment	0,69	1,0	1,0	1,0	0,57	1,0	1,0	1,0	1,0
fRT, Right Turn Adjustment	1,0	0,87	1,0	1,0	1,0	1,0	0,85	1,0	0,85
fLpb, Left Turn Ped. Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
fRpb, Right Turn Ped. Adjustment	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Has Short Lane									
s, Saturation Flow Rate	1302	1645	1900	1894	1077	1900	1615	1900	2859

Schritt 7: Effektive Grünzeit berechnen

Die effektive Grünzeit einer Fahrstreifengruppe ergibt sich aus der tatsächlichen Grünzeit und einer Verlustzeitanpassung.

Schritt 8: Kapazität je Fahrstreifengruppe

Im Gegensatz zur Sättigungsverkehrsstärke stellt die Kapazität die anteilige Kapazität der Fahrstreifengruppen am Knoten dar. Würde die Grünzeit einer Fahrtbeziehung gleich der Umlaufzeit sein, so ist die Sättigungsverkehrsstärke gleich der Kapazität. Die Kapazität berücksichtigt also, dass nur ein gewisser Anteil der Umlaufzeit auf eine bestimmte Relation entfällt.

$$c_i = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) \tag{21}$$

mit: c_i Kapazität je Fahrstreifengruppe
 g_i Grünzeit der Fahrstreifengruppe

C Umlaufzeit

Schritt 9: Kritische Auslastung für den gesamten Knotenpunkt berechnen

Um die kritische Knotenpunktauslastung zu ermitteln, müssen die Auslastungen von allen kritischen Fahrstreifengruppen ermittelt werden. Über Kreuztabellen kann danach die kritische Phasenkombination identifiziert werden. Die kritische Auslastung berechnet sich folgendermaßen.

$$X_c = \sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} + \frac{C}{C-L} \quad (22)$$

mit: X_x Kritische Auslastung für den Knotenpunkt
 L Summe der Verlustzeiten der Signalgruppen aller kritischen Fahrstreifengruppen

Schritt 10: Mittlere Gesamtwarezeit je Fahrstreifengruppe

Die mittlere Wartezeit je Fahrstreifengruppe setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen.

$$d_i = d_{ui} * PF * d_{li} * d_{Ri} \quad (23)$$

mit: d_i Mittlere Wartezeit je Fahrzeug für Fahrstreifengruppe
 d_{ui} Einheitliche Wartezeit
 d_{li} Inkrementelle Wartezeit
 d_{Ri} Wartezeit Restnachfrage
 PF Anpassungsfaktor

Der Anpassungsfaktor PF ist abhängig von der effektiven Grünzeit sowie von Nachschlagewerten des HCM, welcher jedoch hier auf 1,0 gesetzt wurde. Die einheitliche Wartezeit gibt die erwartete Wartezeit bei einer einheitlichen Verteilung der Ankünfte ohne Sättigung an. Sie ist abhängig von der effektiven Grünzeit sowie der Belastung der Fahrstreifengruppe und der Kapazität.

$$d_{ui} = 0,5 * C * \frac{\left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right) * \left(\min\left(\left(\frac{v}{C}\right), 1\right)\right)} \quad (24)$$

Die inkrementelle Wartezeit soll jene stochastische Wartezeit darstellen, welche durch nicht einheitliche Ankünfte und einer Überfüllung der Umläufe zustande kommt.

$$d_{li} = 900 * T * \left[(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 * k_i * l_i * X_i}{c_i * T}} \right] \quad (25)$$

mit: c_i Kapazität für Fahrstreifengruppe
 $X_i = v/c$ Auslastung
 T Dauer des Analysezeitraums
 k_i Nachschlagewert
 l_i Anpassungsfaktor für die Durchflussbegrenzung durch Knoten stromaufwärts

Die Betrachtungsdauer für die Analyse beträgt 15 min, somit folgt der Parameter mit $T = 0,25$. Der Nachschlagewert k_i wird basierend auf dem Typ des Steuerungsgeräts bestimmt und beträgt 0,50. Die Anpassung l_i beträgt für isolierte Knotenpunkte 1.

Der letzte Ausdruck zur Ermittlung der Wartezeit für die Restnachfrage wird nur berechnet, wenn eine anfänglich unbefriedigte Nachfrage des Betrachtungszeitraums eingegeben wird. Für die gegenständlichen Berechnungen beträgt der Ausdruck $d_{Ri} = 0$.

Schritt 11: Wartezeit für Zufahrt berechnen

Die Gesamtwartezeit pro Fahrzeug je Fahrstreifengruppe muss danach auf die Zufahrt bezogen werden. Die anteiligen Belastungen je Fahrstreifengruppe werden auf die Zufahrt aufsummiert.

$$d_A = \frac{\sum d_i * V_i}{\sum V_i} \tag{26}$$

mit: d_A Mittlere Gesamtwartezeit pro Fahrzeug für Zufahrt
 V_i Belastung der Fahrstreifengruppe

Schritt 12: Wartezeit für Knotenpunkt berechnen

Als letzte Instanz der Wartezeitermittlung folgt die Berechnung für den Knotenpunkt, welche gleich wie zuvor über die Aggregation der Anteile erfolgt.

$$d_I = \frac{\sum d_A * V_A}{\sum V_A} \tag{27}$$

mit: d_I Durchschnittliche Wartezeit pro Fahrzeug für Knotenpunkt
 V_A Belastung der Zufahrt

Schritt 13: Level of Service LOS ermitteln

Der Level of Service LOS bestimmt die Qualität des Verkehrs am Knoten und wird in Stufen A bis F eingeteilt. Die Einteilung erfolgt anhand der mittleren Wartezeit sowie dem Verhältnis von Belastung zu Kapazität.

Tabelle 18: Grenzwerte für LOS an signalisierten Knoten (HCM 2010)

Mittlere Wartezeit d_I [s/Kfz]	LOS nach Belastung/Kapazität-Verhältnis	
	$\leq 1,0$	$> 1,0$
≤ 10	A	F
$> 10 - 20$	B	F
$> 20 - 35$	C	F
$> 35 - 55$	D	F
$> 55 - 80$	E	F
> 80	F	F

Im HCM werden die einzelnen Stufen noch näher beschrieben, weshalb nachfolgend die Erläuterungen dazu folgen:

- LOS A: LOS A stellt sich typischerweise bei geringen Belastungen bzw. kurzen Signalumlaufzeiten ein. Des Weiteren ist LOS A präsent, wenn die Ankunftsverteilung am Knoten günstig ist und der Verkehr bei Grün den Knoten passiert.
- LOS B: Im Gegensatz zu LOS A treten hier längere Wartezeiten auf, es müssen somit mehr Fahrzeuge halten. LOS B tritt bei geringen Belastung zu Kapazität Verhältnissen auf, wo eine günstige Ankunftsverteilung und eine kurze Umlaufzeit gegeben sind.
- LOS C: LOS C tritt bei Wartezeiten zwischen 20 und 35 s auf. Damit einher geht die Umlaufzeit, welche hier höher als zuvor ist. Hier kann es vorkommen, dass einzelne haltende Fahrzeuge den Knoten nicht in der Grünphase passieren können. Obwohl noch die meisten Fahrzeuge die Kreuzung ohne Halt befahren können, kommt es zu einer Steigerung der haltenden Fahrzeuge.

- LOS D: LOS D tritt bei hoher Auslastung und Wartezeiten zwischen 35 und 55 s pro Fahrzeug auf. Aufgrund der langen Umlaufzeit werden die Fahrzeuge zum Halten gezwungen, wobei es häufig dazu kommt, dass am Ende der Freigabezeit ein Rückstau auftritt.
- LOS E: Bei LOS E treten große Wartezeiten für die Verkehrsteilnehmer auf und es kommt bei den meisten Umläufen zu einem Rückstau.
- LOS F: LOS F tritt immer dann auf, wenn die Belastung die Kapazität übersteigt oder die Wartezeit größer 80 s beträgt. Fast alle Fahrzeuge müssen einen Umlauf abwarten, um den Knoten passieren zu können.

In nachfolgender Tabelle finden sich die Berechnung der mittleren Wartezeit sowie der Level of Service für den Knoten 504 – Geidorfplatz.

Tabelle 19: ICA – Kapazität, Wartezeit und LOS

Capacity, Control Delay, and Level of Service Determination									
Approach	NO		SO		SW			W	
Lane Group	23417	23418	23415	23416	23421	23422	23423	23419	23420
Control Type	Perm	No Left	No Left	No Left	Perm	No Left	No Left	No Left	No Left
V, Volume	235,06	319,85	628,04	628,04	10,95	111,7	17,86	243,34	960,12
s, Saturation Flow Rate	1302	1645	1900	1894	1077	1900	1615	1900	2859
c, Capacity	259	439	654	652	73	507	431	296	1461
g/C, Green / Cycle	0,27	0,27	0,34	0,34	0,27	0,27	0,27	0,16	0,51
X, Volume / Capacity	0,91	0,73	0,96	0,96	0,15	0,22	0,04	0,82	0,66
d1, Uniform Delay	35,27	30,04	28,89	28,93	39,54	25,71	24,47	36,80	16,20
k, Delay Calibration	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
d2, Incremental Delay,	52,70	10,82	41,60	43,23	4,40	1,00	0,18	26,22	2,35
d3, Initial Queue Delay	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rp, Platoon Ratio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
P, Proportion Arriving on Green	0,27	0,27	0,34	0,34	0,27	0,27	0,27	0,16	0,51
PF, Progression Factor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
d, Delay	87,97	40,86	70,49	72,16	43,94	26,72	24,65	63,02	18,55
LOS	F	D	E	E	D	C	C	E	B
dA, Approach Delay	60,81		71,32		27,80			27,54	
Approach LOS	E		E		C			C	
dI, Intersection Delay	50,84								
Intersection LOS	D								

Für die Zufahrt aus der Heinrichstraße können die Anteile der mittleren Wartezeit für die beiden Fahrstreifengruppen bestimmt werden. Aus den mittleren Wartezeiten je Fahrstreifengruppe werden in weiterer Folge die Wartezeiten für die Zufahrt gebildet. Danach kann die gewichtete Wartezeit für den Knoten über die Einzelwartezeiten der Zufahrten bestimmt werden. Aufgrund der langen Umlaufzeit sowie der hohen Auslastungen der einzelnen Zufahrten resultiert für den Knoten 504 – Geidorfplatz ein LOS D.

Schritt 14: Mittlere Staulänge für jede Fahrstreifengruppe berechnen

Die mittlere Staulänge setzt sich aus zwei Anteilen wie folgt zusammen:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (28)$$

mit: Q Mittlere Staulänge – maximale Länge gemessen in Fahrzeugen

- Q_1 Mittlere Staulänge bei gleichmäßiger Ankunft
- Q_2 Inkrementeller Term für zufällige Ankünfte für den nächsten Umlauf

Der Term Q_1 steht für die Gesamtheit der ankommenden Fahrzeuge, bis sich die Warteschlange aufgelöst hat.

$$Q_1 = PF_2 * \frac{v_i * C}{3600} * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right) \quad (29)$$

$$1 - \left[\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right]$$

mit: PF_2 Progressionsfaktor 2

Der Progressionsfaktor PF_2 beträgt für die Knoten im GUARD-Modell 1.

Der zweite Term der mittleren Staulänge berücksichtigt die rückgestauten Fahrzeuge über mehrere Umläufe.

$$Q_2 = 0,25 * c_i * T * \left[(X_i - 1) + \frac{Q_b}{c_i * T} + \sqrt{\left(X_i - 1 + \frac{Q_b}{c_i * T}\right)^2 + \frac{8 * k_i * X_i}{c_i * T} + \frac{16 * k * Q_b}{(c_i * T^2)}} \right] \quad (30)$$

mit: Q_b Anfangswarteschlange (Standardwert 0)

k Anpassungsfaktor für frühere Ankunft

$$k = 0,12 * \left(\frac{S_i * g_i}{3600}\right) \quad (31)$$

Schritt 15: Perzentil der Staulänge berechnen

Nachdem die mittlere Staulänge ermittelt wurde, kann ein Perzentil der Staulänge berechnet werden. Die Parameter P_1 , P_2 und P_3 werden nach Wahl des Perzentils im HCM ausgewählt. Mittels folgender Formel kann danach die Staulänge des gewählten Perzentils berechnet werden.

$$Q\% = Q * \left(P_1 + P_2 * e^{\frac{-Q}{P_3}}\right) \quad (32)$$

In nachfolgender Tabelle sind die berechneten Einzelanteile sowie die Staulängen gelistet. Für die Zufahrt NO (von der Heinrichstraße) kommend, ergibt sich eine Staulänge für das 90%-Perzentil von 12,92 bzw. 10,92 Fahrzeugen.

Tabelle 20: ICA - Staulängen

Back of Queue									
Approach	NO		SO		SW			W	
Arrival Type	3		3		3			3	
Lane Group	2341 7	2341 8	2341 5	2341 6	2342 1	2342 2	2342 3	2341 9	2342 0
g/C, Green / Cycle	0,27	0,27	0,34	0,34	0,27	0,27	0,27	0,16	0,51
PF2, Progression Factor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Q1, First-term Queued	4,91	6,12	12,62	12,64	0,23	1,89	0,29	5,07	6,72
Q2, Second-term Queued	3,78	1,32	7,56	7,83	0,09	0,14	0,02	2,15	0,48
XU, Upstream V/C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I, Upstream Adj. Factor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
kB, Early Arrival Adj. Factor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Q, Average Back of Queue	8,69	7,43	20,19	20,48	0,32	2,04	0,31	7,23	7,19
fB%, % Factor	1,43	1,47	1,28	1,28	1,80	1,80	1,80	1,48	1,48
Q%, Back of Queue Percentile	90	90	90	90	90	90	90	90	90
% Back of Queue	12,46	10,92	25,94	26,27	0,58	3,66	0,56	10,67	10,63

3.6 Umlegung Basisfall

Wie bereits in Kapitel 3.1 stehen zur Umlegung diverse Verfahren zur Verfügung. Herkömmliche Umlegungsverfahren berechnen den Routenwiderstand einer CR-Funktion ausschließlich über das Verhältnis Belastung zu Kapazität. Diese Eigenschaft einer CR-Funktion wird Separabilität genannt. Sie ist jedoch für Netzelemente in städtischen Netzen nur bedingt richtig, denn hier kommt neben den Streckenwiderständen auch den Knotenwiderständen große Bedeutung zu. Die Leistungsfähigkeit innerstädtisch wird zudem von den Knoten beeinflusst. An Knotenabbiegern ist diese separable Eigenschaft der CR-Funktion jedoch nicht gültig, da neben der Belastung beispielsweise auch bedingt verträgliche Abbieger an signalisierten Kreuzungen die Kapazität beeinflussen. Als Beispiel können bedingt verträgliche Rechtsabbiegevorgänge genannt werden, wo die Kapazität des Rechtsabbiegers maßgeblich von der Belastung der Fußgängerfurt abhängig ist. Daraus folgt, dass der Knotenwiderstand nicht nur von den Abbiegebelastungen, sondern auch von den Konfliktströmen beeinflusst wird. Als Folge daraus verlieren die CR-Funktionen ihre separable Eigenschaft, welche Voraussetzung für die mathematische Lösung des Umlegungsverfahrens ist (PTV AG 2021b).

Als Folgerung daraus ergibt sich einerseits, dass die Knotenwiderstandsmodellierung so detailliert erfolgen muss, dass die Konfliktströme der Abbieger erkannt werden. In VISUM wird das durch die Modellierung der Knoten mittels Knoteneditor und anschließender Knotenwiderstandsberechnung ICA, wo detaillierte Abbiegewiderstände und –kapazitäten ermittelt werden, umgesetzt. Andererseits müssen die berechneten Abbiegewiderstände so transformiert werden, dass sie separable Eigenschaften aufweisen.

Der Ablauf der Umlegung mit ICA in VISUM stellt ein statisches Umlegungsverfahren dar, welches die detaillierte Modellierung von Knotenwiderständen ermöglicht. Über das „Einfrieren“ von Konfliktströmen wird annähernd Separabilität erreicht, wodurch eine mathematische Lösung erfolgen kann. Über die Wartezeiten und Rückstaulängen mittels ICA, können die Abbieger-CR-Funktionen angepasst werden. Im Handbuch der PTV AG (2021b) wird als nachteilig der erhöhte Modellierungs- und Kalibrierungsaufwand angeführt. Zudem ergibt sich aufgrund des iterativen Ansatzes eine längere Rechenzeit. Sofern nicht an allen Knoten eine Widerstandsberechnung mittels ICA angewendet wird, muss auf Vergleichbarkeit der Berechnungsverfahren geachtet werden, da sonst eine Verzerrung der Routenwahl nicht ausgeschlossen werden kann.

Der Ablauf dieses Umlegungsverfahrens beruht auf dem Wechselspiel aus dem gewählten Umlegungsverfahren (bspw. Gleichgewichtsverfahren) und der Knotenwiderstandsberechnung ICA. Initial erfolgt in jedem Iterationsschritt eine Umlegung, woraus die Knoten- bzw. Abbiegebelastungen hervorgehen. Über eine anschließende Rückstauberechnung wird einer Überlastung der Belastungen für die ICA-Berechnung vorgebeugt. Der Zweck der ICA-Berechnung ist die Ermittlung der Abbiegekapazitäten sowie der Abbiegewartezeiten. Über die Variierung der Abbiegebelastung wird bei gleichzeitiger Fixierung der anderen Knotenabbieger eine mittlere Wartezeit berechnet, woraus im Anschluss über Interpolation eine CR-Funktion geschätzt wird. Die Konfliktströme werden als konstant angenommen und erst im folgenden Iterationsschritt aktualisiert. Durch die Rückstauberechnung nach der Umlegung kommt es zu zusätzlichen Wartezeiten, welche in geringe Belastungen stromabwärts resultieren. Daraus folgend muss eine Anpassung der CR-Funktionen erfolgen, welche diese Effekte berücksichtigt. Dazu wird einerseits eine effektive Kapazität, welche die Rückstauereffekte berücksichtigt, berechnet und andererseits muss durch den zurückgehaltenen Verkehr die CR-Funktion horizontal verschoben werden. Die Beendigung dieser Rückkopplungsschleife erfolgt dann, wenn sich

die Widerstände zwischen Abbieger-CR-Funktion und ICA-Berechnung nur mehr unwesentlich unterscheiden (PTV AG 2021b).

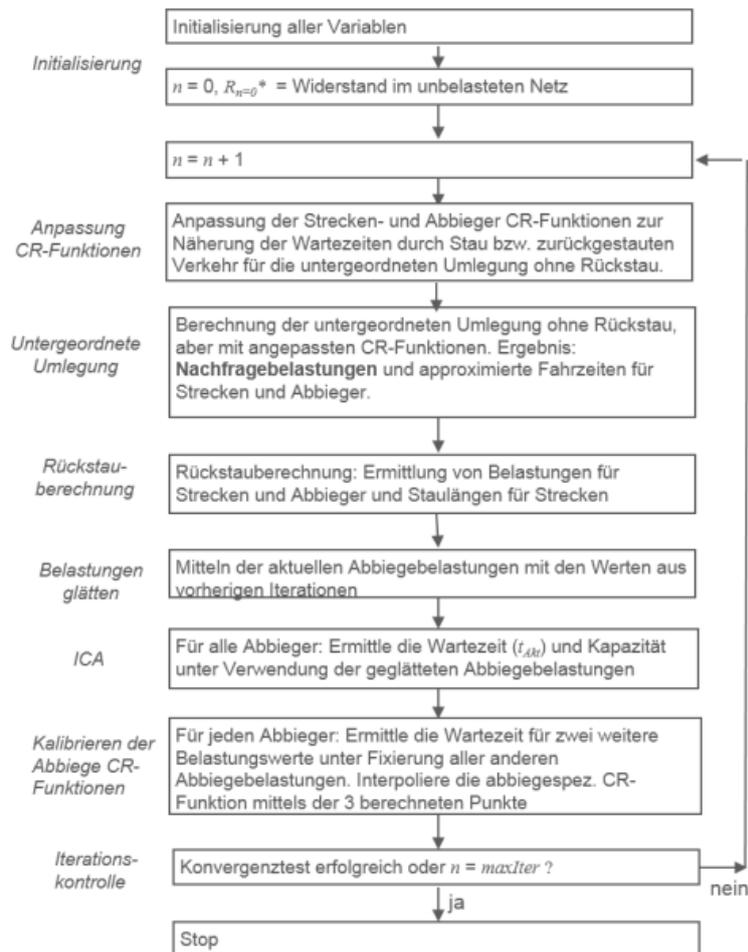


Abbildung 26: Ablauf der Umlegung mittels ICA (PTV AG 2021b)

Die obenstehende Abbildung zeigt die Ablaufschritte einer Umlegung mittels ICA. Nach der Initialisierung erfolgt eine Anpassung der Strecken- und Abbieger CR-Funktionen. In einem ersten Schritt werden Nachfragebelastungen anhand der angepassten CR-Funktionen für die Strecken und Abbieger ermittelt. Danach erfolgt die Berechnung des Rückstaus aus den Belastungen auf den Strecken und Abbiegern sowie aus den Staulängen der Strecken. Aus der Mittelung der Abbiegebelastungen aus vorangegangenen Iterationen wird dann mittels ICA die aktuelle Wartezeit sowie Kapazität berechnet. Danach wird die Wartezeit für zwei weitere Belastungszustände unter Fixierung der anderen Knotenabbieger ermittelt, woraus eine Interpolation der abbiegespezifischen CR-Funktionen folgt. Zum Schluss erfolgt ein Konvergenztest, der die Rücklaufschleife zum Abbruch bringt oder den Rücksprung an den Start erzwingt.

Die Abbiege-CR-Funktionen sehen in ihrer Form jenen des BPR ähnlich und werden in der Umlegung für alle geöffneten Abbieger verwendet, an deren Knoten als Methode Knotenwiderstandsberechnung (ICA) eingestellt ist.

$$t_{cur}(q, cap, t_0, A, B, \Delta q) = \begin{cases} t_0 + A * \left(\frac{\max(0, q - \Delta q)}{cap} \right)^B & \text{falls } q - \Delta q \leq cap \\ t_0 + A & \text{sonst} \end{cases} \quad (33)$$

mit: t_{cur} Aktuelle Abbiegezeit aus den Abbiege-CR-Funktionen

A, B	Abbiegeattribute, welche aus der ICA-Umlegung folgen
q	Abbiegebelastung in der untergeordneten Umlegung
t_0	Basisabbiegezeit am Ende der ICA-Umlegung
cap	Effektive Kapazität am Ende der ICA-Umlegung
Δq	Verdrängte Belastung, welche aufgrund Rückstaus, den Abbieger nicht erreicht

Wie oben erwähnt werden die Abbiege- als auch die Strecken-CR-Funktionen angepasst. Einerseits erfolgt eine horizontale Verschiebung um Δq und andererseits eine Anpassung der Funktion. Beide Anpassungen sollen sicherstellen, dass die veränderten Widerstände die Routensuche und Routenwahl beeinflussen.

$$t_{cur}(q, cap, effcap, \Delta q) = \begin{cases} vdf_{base}(\max(0, q - \Delta q)) & \text{falls } q - \Delta q \leq effcap \\ vdf_{base}(effcap) + \frac{T}{effcap}(q - effcap - \Delta q) & \text{sonst} \end{cases} \quad (34)$$

mit:	t_{cur}	Aktuelle Streckenfahrzeit
	vdf_{base}	vordefinierte CR-Funktion
	q	Streckenbelastung in der untergeordneten Umlegung
	cap	Streckenkapazität
	$effcap$	Effektive Streckenkapazität
	Δq	Verdrängte Belastung, welche aufgrund Rückstaus, die Strecke nicht erreicht
	T	$T=1800$ s, entspricht dem halben Umlegungszeitraum

Im GUARD-Modell wird als untergeordnetes Umlegungsverfahren das Lernverfahren verwendet, welches in Kombination mit der Knotenwiderstandsberechnung an ausgewählten Knoten realitätsnahe und stabile Ergebnisse liefert. Dieses Verfahren gibt auch gute Belastungswerte auf Alternativrouten aus. Die Anzahl der Iterationen sind im Gegensatz zum Gleichgewichtsverfahren größer, woraus eine längere Rechenzeit resultiert.

Endgültiger Basisfall

Nach dem die Umlegung mit dem oben beschriebenen Verfahren durchgeführt wurde, erfolgte eine Überprüfung der Belastungen gegenüber den Zählraten. Des Weiteren wurde der Einfluss der Methode mittels ICA untersucht. Nach einer ersten Umlegung des Planfalles war eine Anpassung der Strecken- bzw. Abbiegekapazitäten erforderlich. Die Kapazität der Bergmannngasse ist für die Ermittlung von Verlagerungseffekten von großer Bedeutung, da eine geringe Kapazität der Bergmannngasse eine Verlagerung auf die umliegenden Sammelstraßen bewirkt. Nach einem ANM-Export nach VISSIM (siehe Kapitel 4) wurde die Kapazität der Bergmannngasse ermittelt. Wie bereits erläutert ist die Bergmannngasse derzeit über zwei Fahrstreifen mit angrenzenden Parkstreifen organisiert. Die Kapazität in der Bergmannngasse könnte demnach über die Park- bzw. Abbiegevorgänge definiert werden. Andererseits bildet der stromaufwärts liegende Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße einen limitierenden Punkt. Anhand von Querschnittsmessungen am Anfang und Ende der Bergmannngasse soll die Kapazität herausgefunden werden.

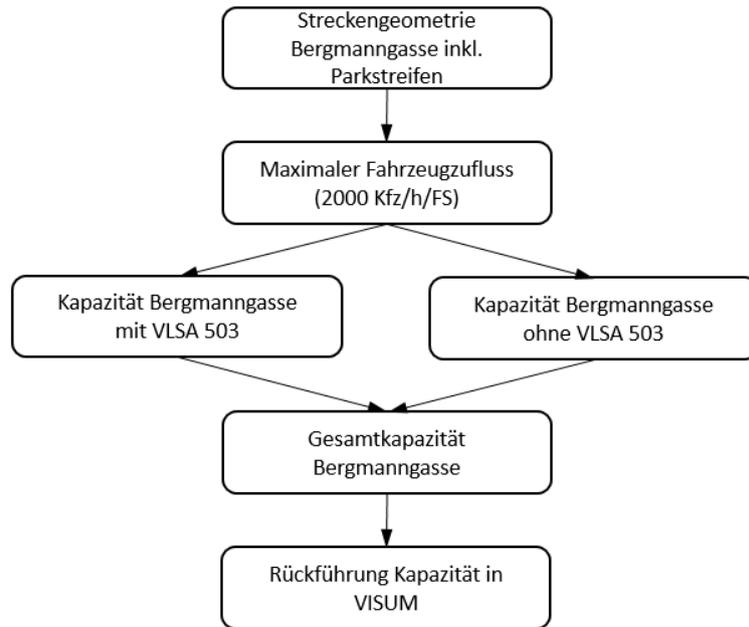


Abbildung 27: Ermittlung Kapazität Bergmannngasse mittels VISSIM

Nach der Anpassung der Streckengeometrie erfolgte die Modellierung der Parkplätze in der Bergmannngasse, welche ebenfalls in Kapitel 4 beschrieben wird. In der Theorie wird die Kapazität eines Fahrstreifens unter freiem Fahrfluss mit 2000 Fahrzeugen pro Stunde und Fahrstreifen angegeben. Dieser Wert wird in städtischen Verkehrsnetzen durch Abbiegevorgänge, geringere Geschwindigkeiten etc. reduziert. Als maximal möglicher Zufluss werden in VISSIM daher 2000 Kfz/h/FS festgelegt. Die erste Betrachtung zielt auf die Leistungsfähigkeit der VLSA 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße ab, welche durch die effektive Grünzeit pro Fahrstrom limitiert ist. Der gradeausfahrende Strom von der Bergmannngasse bildet den wesentlich größeren Anteil und weist eine Grünzeit von 58 Sekunden auf. Im Gegensatz dazu erhält der Strom von der Humboldtstraße kommend 20 Sekunden Grünzeit. Die Kapazität wird über die in die Bergmannngasse ein- bzw. ausfahrenden Fahrzeuge bestimmt, wobei eine gewisse Diskrepanz aufgrund der parkenden Fahrzeuge bzw. aufgrund von Quell- und Zielverkehr in der Bergmannngasse auftritt. Für die Simulation mit dem signalisierten Knoten 503 ergibt sich somit eine Kapazität in der Bergmannngasse von 1300 Kfz/h/FS. Parallel dazu wurde die Simulation ohne die Signalisierung durchgeführt. Dabei ergibt sich eine Kapazität in der Bergmannngasse von 1500 Kfz/h/FS. Als Folgerung daraus ergibt sich die Limitierung der Kapazität der Bergmannngasse aufgrund der VLSA 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße. Die Strecke der Bergmannngasse selbst weist eine Kapazität von 1500 Kfz/h/FS auf, welche in einem nächsten Schritt für das endgültige Basisnetz in VISUM implementiert wird.

Da die Matrixkorrektur mit Abbiege-CR-Funktionen ausgeführt wurde, soll nun die Güte der Modellierungsbelastung untersucht werden. Im Bereich der Verkehrsplanung bildet der GEH-Wert eine Kennzahl zur Güte der Ergebnisse einer Verkehrsmodellierung. Anhand folgender empirischer Formel wird der GEH-Wert, welcher ein Maß für die Abweichung zu Zähldaten darstellt, ermitteln.

$$GEH_h = \sqrt{\frac{2 * (M - C)^2}{M + C}} \quad (35)$$

mit: GEH_h GEH-Wert bezogen auf stündliche Verkehrsbelastung
 M Modellierte Verkehrsbelastung

C Beobachtete (gezählte) Verkehrsbelastung

Fellendorf (2019/20) beschreibt, dass an 85% der Zählstellen ein GEH-Wert kleiner als 5 vorliegen soll. Darüber hinaus soll der Wert für die verbleibenden 15% der Zählstellen kleiner als 15 sein.

Tabelle 21: Ergebnisse des kalibrierten Streckennetzes

Nummer	Name	Richtung	Belastung modelliert	Belastung gezählt	Abw. %	GEH
126781645	Kalvarienbrücke	W	1338	1338	0%	0,00
126781645	Kalvarienbrücke	O	1119	1119	0%	0,00
1043218	Keplerbrücke	W	962	962	0%	0,00
1043218	Keplerbrücke	O	465	465	0%	0,00
1052259	Tegetthoffbrücke	W	221	221	0%	0,00
1052259	Tegetthoffbrücke	O	815	815	0%	0,00
1044589	Radetzkybrücke	W	976	976	0%	0,00
1043406	Augartenbrücke	O	1242	1242	0%	0,00
154342953	Kaiser Franz-Josef Kai	N	822	820	0%	0,07
126778940	Andritzer Reichsstraße	N	846	846	0%	0,00
126778940	Andritzer Reichsstraße	S	557	557	0%	0,00
1016465	Parkstraße	O	1208	1331	-9%	3,45
1151418	Heinrichstraße	W	560	565	-1%	0,21
1151418	Heinrichstraße	O	370	489	-24%	5,74
1016901	Glacis	N	1124	1125	0%	0,03
1016901	Glacis	S	1219	1119	9%	2,92
1042817	Burgring	S	995	986	1%	0,29
1044198	Joanneumring	W	1648	1639	1%	0,22
1049429	Grazbachgasse	O	1324	1314	1%	0,28
1049885	Knoten 502 - Grabenstraße/Wickenburggasse	W	501	606	-17%	4,46
1049885	Knoten 502 - Grabenstraße/Wickenburggasse	O	522	606	-14%	3,54
1152147	Knoten 501 - Franz-Josef Kai/Wickenburggasse	W	334	398	-16%	3,35
1152147	Knoten 501 - Franz-Josef Kai/Wickenburggasse	O	632	632	0%	0,00
					-3%	1,07

Da die Zählzeiten für die Matrixkorrektur verwendet wurden, ergeben sich für einige Querschnitte keine bzw. nur geringfügige Abweichungen. Besonders die Querschnitte, welche am Rand des Teilnetzes liegen, zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Zählzeiten. Dies liegt unter anderem daran, da diese Zählstellen in gewisser Hinsicht einen Flaschenhals bilden, welcher passiert werden muss. Die Mauer bildet eine natürliche Barriere des Verkehrsgeschehens in Graz, wodurch den Brücken bei der Kalibrierung von Verkehrsmodellen Bedeutung zukommt. Die Zu- bzw. Abströme lassen sich an den Brücken gut regulieren und weisen keinen Spielraum in GUARD-Modell auf. Im Kern des Planungsgebietes, wo gegenüber der Matrixkorrektur die Knotenwiderstandsberechnung mittels ICA erfolgte, zeigen sich daher naturgemäß Abweichungen zu den Zählzeiten. Bis auf eine Zählstelle weisen alle Zählstellen einen GEH-Wert kleiner 5 auf, womit die obenstehende Bedingung erfüllt wird. Einzig die Zählstelle Heinrichstraße Richtung Osten weist eine Abweichung von -25% auf, was einem GEH-

Wert von 5,90 entspricht. Im Gesamten zeigt sich eine gute Anpassung der modellierten Belastungen zu den Zählwerten, woraus sich eine gemittelte Gesamtabweichung von -3 % bzw. ein gemittelter GEH-Wert von 1,04 ergibt.

Für die Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse und 504 – Geidorfplatz konnten aus den Zählwerten Abbiegezahlwerte für bestimmte Relationen abgeleitet werden, welche ebenfalls zur Matrixkorrektur herangezogen wurden. Nach der Umlegung der neu ermittelten Nachfragematrix ergibt sich für die beiden Knoten folgendes Bild. Der Rechtsabbieger in die Parkstraße wird im Modell deutlich geringer belastet. Dies liegt vor allem daran, dass die Umlegung mittels Knotenwiderstandsberechnung ICA nach der Matrixkorrektur durchgeführt wurden. Am Knoten 504 – Geidorfplatz liegen nur für bestimmte Arme Zählwerte vor. Hier ist eine gute Übereinstimmung mit Ausnahme des Abflusses aus der Heinrichstraße gegeben. Die Relation von der Parkstraße kommend in die Heinrichstraße ist im Modell geringer belastet als in der Realität.

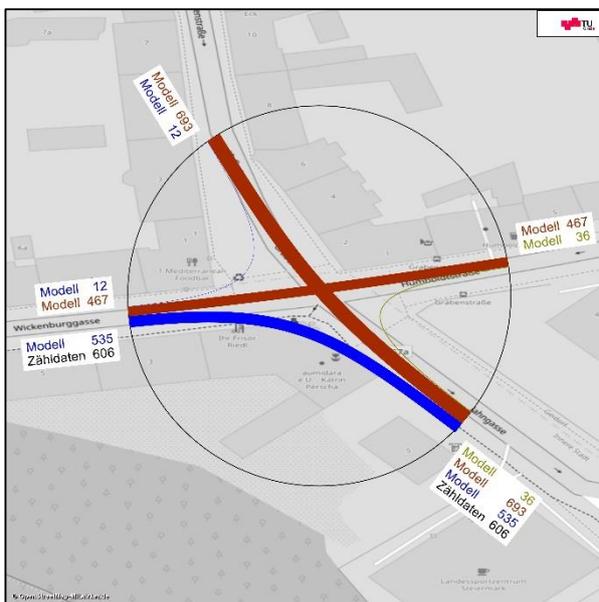


Abbildung 28: Knotenstromplan Knoten 502

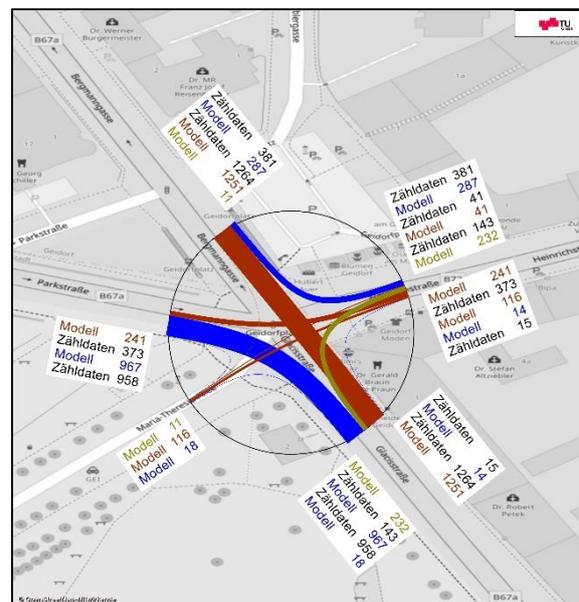


Abbildung 29: Knotenstromplan Knoten 504

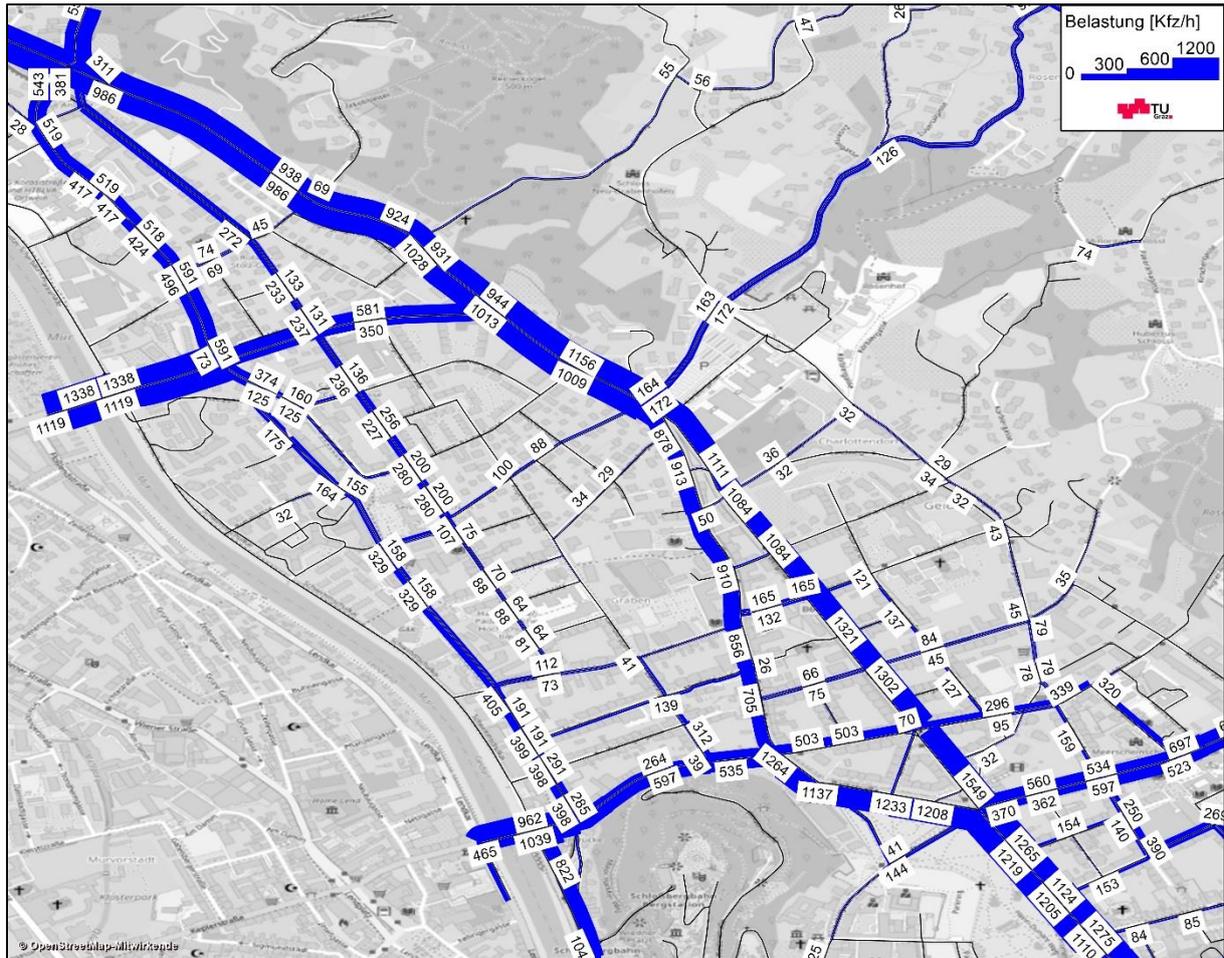


Abbildung 30: Verkehrsbelastung Basisfall Abendspitze

In der oben gezeigten Abbildung wird die Verkehrsbelastung des ausgeschnittenen Teilnetzes für die abendliche Spitzenstunde zwischen 16:00 und 17:00 Uhr gezeigt. Charakteristisch sind die hohen Belastungen an den Hauptverkehrsstraßen stadtauswärts.

Für das zentrale Delta bestehend aus den Knoten 502, 503 und 504 ergeben sich für den Basisfall der Nachmittagsspitze somit folgende Knotenstrombelastungen.

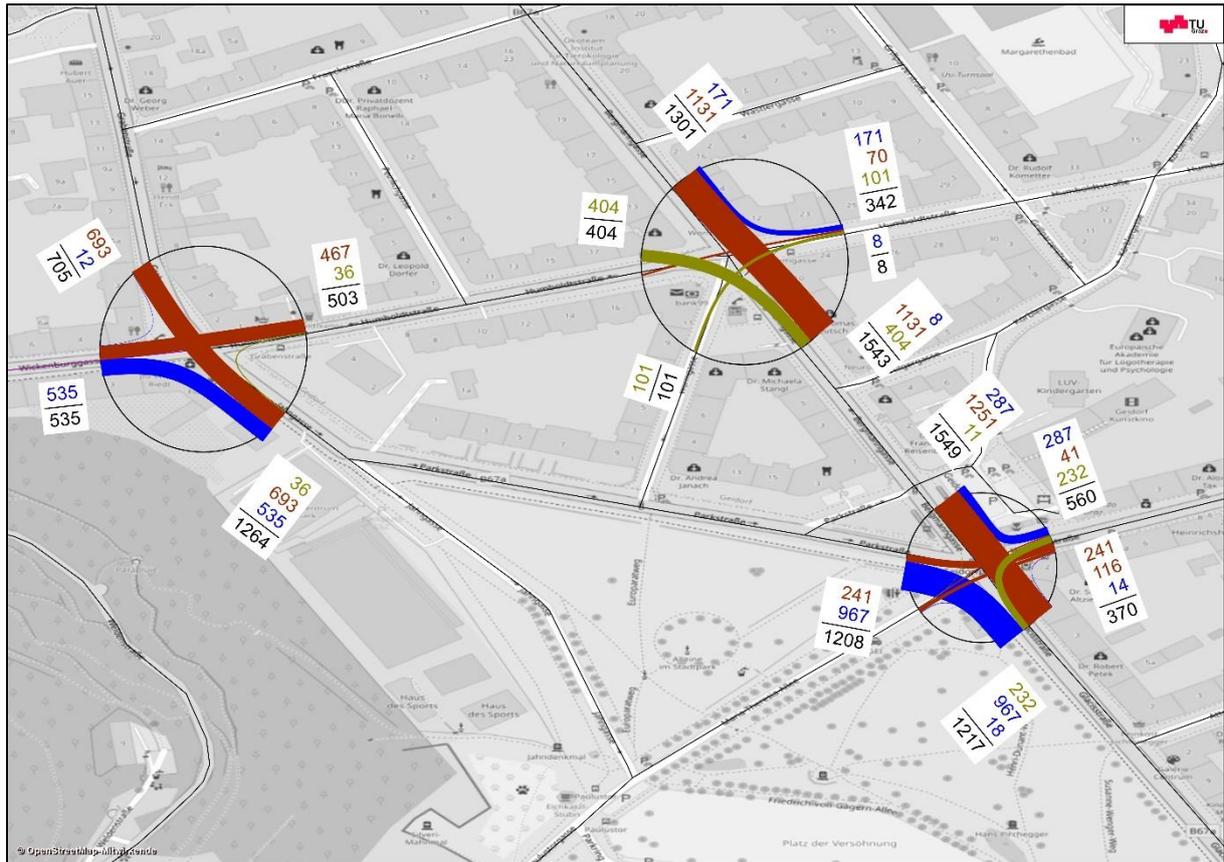


Abbildung 31: Knotenstromplan Basisfall Abenspitze

3.7 Umsetzung Planfall

Ausgehend vom kalibrierten Basisfall, welcher die Abenspitze im zu untersuchenden Grazer Stadtgebiet abbildet, kann nun die Implementierung eines Planfalles erfolgen. Dazu muss die Netzstruktur an die geplanten Maßnahmen angepasst werden. Kern der Änderung des bestehenden Netzes ist der Wegfall eines Fahrstreifens samt Reduktion der Kapazität in der Bergmannngasse. Durch den Wegfall eines Fahrstreifens in der Bergmannngasse soll Platz für einen Zweirichtungsradweg geschaffen werden. Im makroskopischen Verkehrsmodell GUARD soll die Verlagerung durch die Kapazitätsreduktion in der Bergmannngasse festgestellt werden. Einerseits wird durch den Wegfall eines Fahrstreifens die Geometrie der Strecke verändert und andererseits erfolgt eine Reduktion der Kapazität. Ausgehend von einer Kapazität von 1000 Kfz/h/FS wurde diese in einem späteren Schritt erhöht. Dazu wurde wie vorher beschrieben eine Mikrosimulation mittels VISSIM durchgeführt, bei der die Fahrstreifenanzahl in der Bergmannngasse auf 1 reduziert wurde und unter Berücksichtigung der Parkvorgänge die Kapazität der Bergmannngasse ermittelt wurde. Aus diesen Betrachtungen folgt eine Kapazität der Bergmannngasse von 1300 Kfz/h/FS.

4 Mikroskopische Verkehrssimulation

Um neben den Verlagerungseffekten, welche unter Zuhilfenahme eines makroskopischen Verkehrsmodells untersucht werden, auch Aussagen über den Verkehrsablauf bzw. die Kapazität in der Bergmanngasse treffen zu können, ist es notwendig, eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation durchzuführen. Einerseits gilt es die Kapazität in der Bergmanngasse zur Ermittlung der Verlagerungseffekte herauszufinden und andererseits soll der Verkehrsablauf im Planungsgebiet simuliert werden. Somit können verkehrliche Kenngrößen an Knotenpunkten wie beispielsweise Reisezeiten für Buslinien berechnet werden. Zur Durchführung der Verkehrssimulation wird die Software VISSIM der PTV AG verwendet, wobei die zuvor erhaltenen Ergebnisse und Daten aus dem makroskopischen Verkehrsmodell als Grundlage für die weitere Simulation dienen.

Die Software VISSIM ermöglicht ein mikroskopisches, zeitschrittorientiertes sowie verhaltensbasiertes Simulationsmodell, welches die Nachbildung von städtischem und außerörtlichem Verkehr erlaubt. Der detaillierte Verkehrsablauf wird durch eine möglichst realitätsnahe Simulation abgebildet. Dazu muss beispielsweise ein Streckenabschnitt unter Berücksichtigung der Fahrstreifenaufteilung, der Fahrzeug-Zusammensetzung, der Lichtsignalanlagen und der Erfassung von Fahrzeugen nachgebildet werden. Als Anwendungsfälle werden im Benutzerhandbuch der PTV AG (2021a) beispielsweise Vergleiche von Knotengeometrien, Verkehrsentwicklungsplanungen, Kapazitätsanalysen oder ÖPNV-Simulationen genannt.

Nachfolgend soll der Modellaufbau bzw. die Übertragung von Daten aus VISUM in VISSIM geschildert werden.

4.1 Modellaufbau

Neben der Neuerstellung eines Verkehrsnetzes anhand von Orthofotos oder Lageplänen bildet die Übertragung von bestehenden Netzen eine arbeitsschonende Alternative. Da das Verkehrsnetz in VISUM in ausreichender Detaillierung vorliegt, wird dieses Netz zur weiteren Bearbeitung in VISSIM verwendet. Dazu ist eine Erstellung eines Teilnetzes, wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, erforderlich. Danach können die ausgewählten Netzelemente als abstraktes Netzmodell (ANM) exportiert werden. Für die Ermittlung der Knotenwiderstände ist eine detaillierte Modellierung der Knotengeometrie notwendig, wodurch der nun folgende Export in einer höheren Genauigkeit erfolgt. Beispielsweise werden so die Fahrstreifen, Fahrstreifenabbieger, Fußgängerfurten, Aufweitungen, Steuerungstypen, Signalisierungen und Detektoren der drei Knotenpunkte in hoher Auflösung übertragen. Des Weiteren wurden die im Planungsgebiet liegenden Strecken und Knoten samt Abbieger im Knoteneditor überprüft, sodass nachträglich in VISSIM nur kleinere Adaptierungen notwendig sind. Das heißt, obwohl in VISUM die Anzahl der Fahrstreifen lediglich über ein Attribut definiert wird und die Darstellung als Knoten-Kanten-Modell erfolgt, kann über den Knoteneditor eine detaillierte Geometrie nachgebildet werden. Nach dem Export als Netzmodell aus VISUM erfolgt der Import der ANM-Daten in VISSIM. Neben der Möglichkeit eines Netzimportes können auch Nachfragedaten für eine dynamische Simulation übertragen werden, welche jedoch in diesem Fall nicht benötigt werden. Als Resultat des Imports in VISSIM liegt nun ein noch detaillierteres Streckennetz vor, welches beispielsweise Langsamfahrbereiche oder Konfliktzonen an Knotenpunkten integriert.

In Barceló (2010) wird der systematische Aufbau von VISSIM in vier Blöcke unterteilt.

- Infrastruktur: Die Infrastruktur beinhaltet das Netzangebot bestehend aus Strecken, Verbindungsstrecken oder Bezirksanbindungen. Des Weiteren werden Parkplätze oder

Signalmasten in dieser Kategorie aufgeführt. In gewisser Hinsicht liefert dieser Block sozusagen die Hardware.

- **Verkehr:** Der Verkehrsblock beinhaltet alle Elemente, um den Verkehr ins System zu leiten. Einerseits die Fahrzeuge die das Netz befahren und andererseits die Verkehrszuflüsse und deren Routen innerhalb des Netzes.
- **Steuerung:** Die Verkehrssteuerung regelt beispielsweise den Verkehrsablauf an Knoten, welche in unsignalisiert oder signalisiert unterschieden werden. Für unsignalisierte Knoten stehen beispielsweise Vorfahrt-geregelte Kreuzungen zur Verfügung. Im Fall von signalisierten Kreuzungen müssen die Signalzeiten implementiert werden.
- **Output:** Der vierte Block sammelt Daten zur nachträglichen Analyse und ist nicht im ständigen Austausch wie die anderen drei Blöcke.

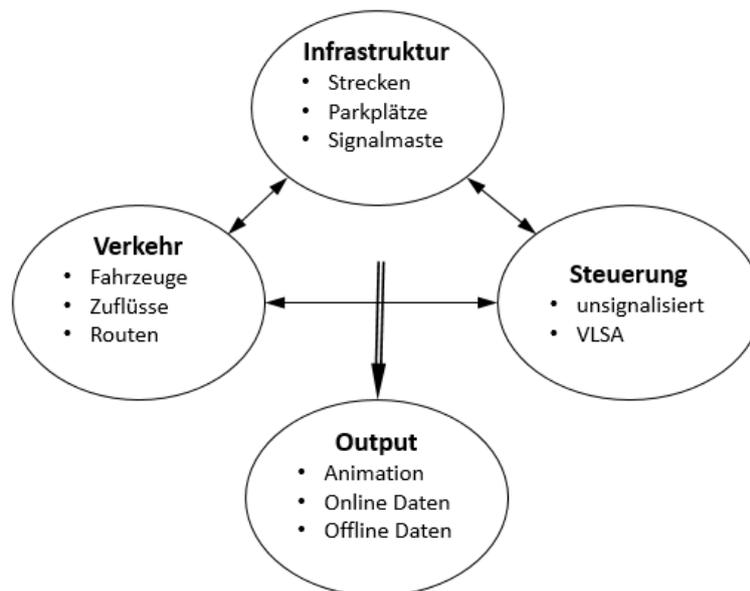


Abbildung 32: Schematischer Programmaufbau in VISSIM nach Barceló (2010)

Es liegt also nach dem VISSIM-Import ein Netz vor, welches den Infrastruktur- sowie den Steuerungsblock des Programms abbildet. Da die Parkplätze im VISUM-Modell nicht enthalten sind, müssen diese erst hinzugefügt werden. Daneben fehlt noch der Verkehrsblock, in welchem die Fahrzeugzusammensetzungen sowie die –zuflüsse und –routen definiert werden. Die Fahrzeugzuflüsse folgen in diesem Fall aus dem makroskopischen Verkehrsmodell. Die Fahrzeugrouten bilden die Aufteilung des Verkehrs im Netz ab, wobei nicht nur die statischen Fahrzeugrouten inklusive Parkplatzrouten definiert werden, sondern auch die Linienrouten des öffentlichen Verkehrs. Im Steuerungsblock müssen Adaptierungen vorgenommen, beispielsweise wird das Signalprogramm am Geidorfplatz von Festzeit auf ein verkehrsabhängiges Programm umgestellt.

Die nachfolgende Grafik liefert einen Überblick über die erweiterte Modellstruktur in VISSIM in Bezug auf die Aufgabenstellung.

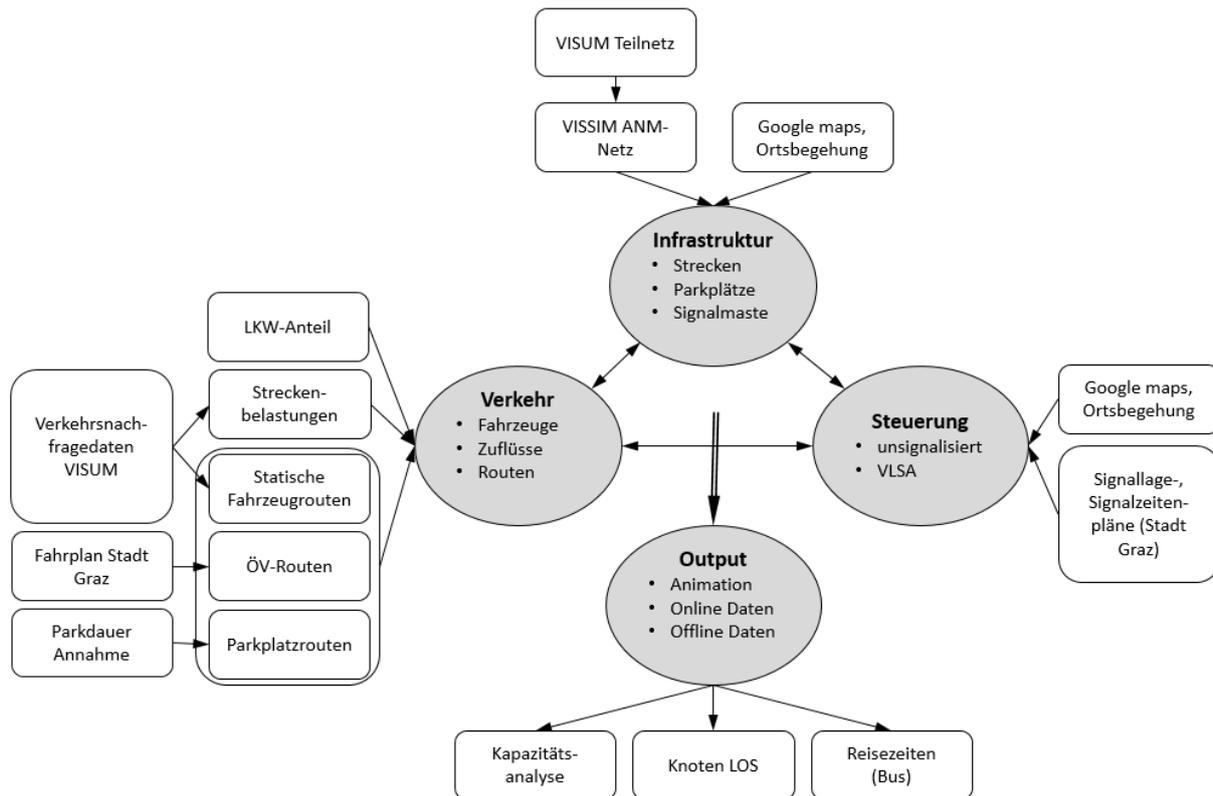


Abbildung 33: erweiterte Modellstruktur der mikroskopischen Verkehrssimulation

4.1.1 Netzmodell

Das importierte Netz muss in diesem Schritt angepasst und erweitert werden, um einen Informationszuwachs zu ermöglichen. Anhand eines hinterlegten Luftbildes werden die Netzelemente angepasst.

Strecken

In Knotenbereichen wird die Fahrstreifenaufteilung bzw. eine gegebenenfalls vorhandene Fahrstreifenaufweitungen adaptiert. Im Gegensatz zum Modell in VISUM werden die Strecken in Richtungsfahrbahnen getrennt und an Knotenpunkten bilden sogenannte Verbindungsstrecken die Abbieger zu anschließenden Strecken. Im rechten Bild sind in lila die Verbindungsstrecken in Gitteransicht dargestellt.

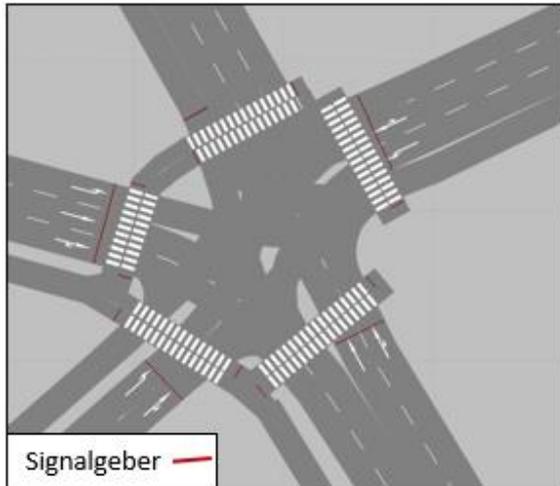


Abbildung 34: Knoten 504 – Geidorfplatz in Fahrstreifenansicht

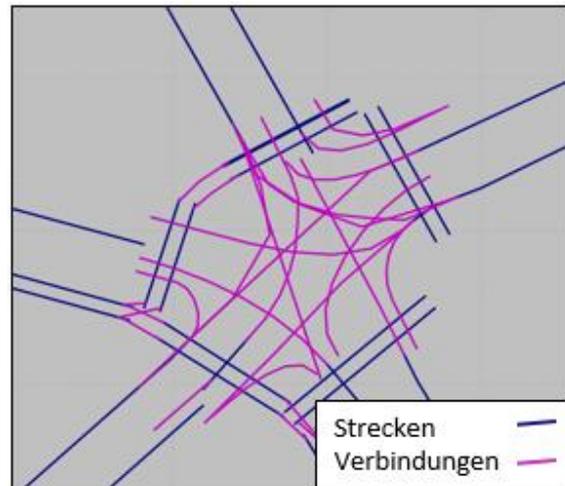


Abbildung 35: Knoten 504 – Geidorfplatz in Gitteransicht

Anhand des Knoten 504 kann die Modellierung der Strecken gezeigt werden. Die importierte Geometrie wurde anhand von Luftbildern von Google (2021) bzw. dem Digitalen Atlas Steiermark (2021) angepasst. Im Knotenbereich werden die Längen von Abbiegefahrstreifen vergrößert, um einen guten Verkehrsfluss zu gewährleisten. Des Weiteren wird durch die Verlängerung der Abbiegefahrstreifen ein geordneter Ablauf am Knoten sichergestellt, da die Fahrzeuge die Wahl des gewünschten Fahrstreifens schon früher treffen.



Abbildung 36: Angepasstes Streckennetz

Konfliktflächen

Um das Fahrverhalten an Knotenpunkten ohne bzw. mit Signalisierung abzubilden, werden in VISSIM über Konfliktflächen Vorfahrtsregelungen definiert. Bei sich kreuzenden Strecken oder Verbindungsstrecken, die an eine Strecke anschließen oder von einer Strecke wegführen, erstellt die Software automatisch Konfliktflächen, welche vom Benutzer aktiviert werden müssen. Für den wartepflichtigen Nebenstrom wird der Status auf Rot gesetzt. Der Fahrer im Nebenstrom überquert die Konfliktfläche sobald eine genügend große Zeitlücke vorhanden ist, wobei er einen Beschleunigungsverlauf für die nächsten Sekunden plant. Der bevorrangte Fahrer im Hauptstrom berücksichtigt die Konfliktfläche insofern, als dass er aufgrund von einfahrenden Fahrzeugen aus dem Nebenstrom abbremst und gegebenenfalls sogar halten muss. Um an Gabelungen die Wahrnehmung zweier Fahrzeuge sicher zu stellen, kann der Status für beide Abbieger auf Rot gesetzt werden, wobei sich die ursprüngliche Reihenfolge der Fahrzeuge nicht ändert.

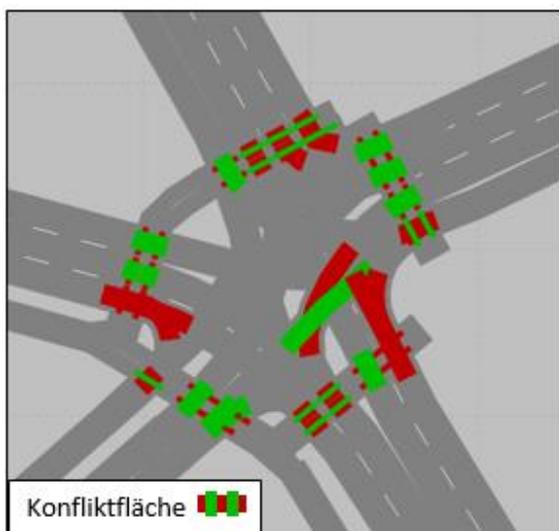


Abbildung 37: Konfliktflächen am Knoten 504 - Geidorfplatz

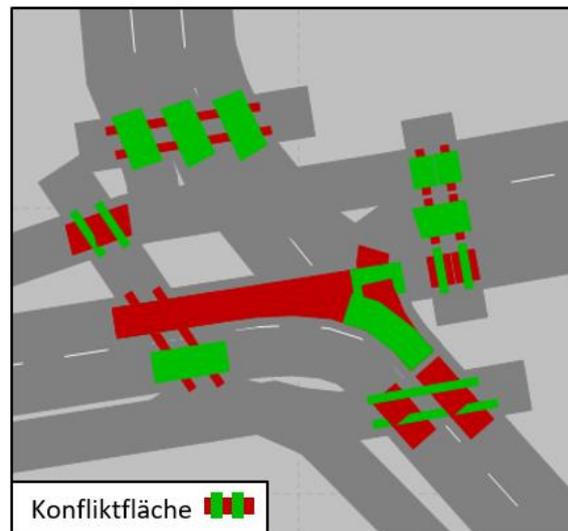


Abbildung 38: Konfliktflächen am Knoten 502 – Grabenstraße/Humboldtstraße

Für dieses Modell wurden die Kreuzungen 502 – Grabenstraße/Humboldtstraße, 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße sowie 504 – Geidorfplatz mittels VLSA simuliert. Es ergibt sich für gewisse Verkehrsströme eine bedingte Verträglichkeit, das heißt, dass nicht alle Abbiegevorgänge voll verträglich sind. Am Knoten 504 erhalten die Ströme von der Heinrichstraße (O) bzw. Maria-Theresia-Allee (SW) zur gleichen Zeit Grün. Der von der Heinrichstraße kommende Linksabbieger muss dem geradeausfahrenden Fahrzeug aus der Maria-Theresia-Allee Vorrang gewähren. Das Fahrverhalten an Konfliktflächen ist nicht auf ein Verkehrsmittel beschränkt, sodass auch die Vorfahrtsregelung zwischen Fahrzeugen und Fußgängern berücksichtigt werden kann. Der Rechtsabbieger vom Glacis (S) kommend, muss zuerst die Konfliktfläche mit dem geradeausfahrenden Kfz-Verkehr passieren, um danach dem querenden Fußgängerverkehr Vorrang zu gewähren. Die nicht signalisierten Knotenpunkte wurden anhand von Luftbildern bzw. durch Ortsbegehungen modelliert. Sofern keine Verkehrszeichen an den Knotenpunkten ersichtlich waren, wurden die Konfliktflächen nach der österreichischen Straßenverkehrsordnung (StVO) mit den geltenden Rechts-, Gegen- und Fließverkehrsregeln simuliert.

Wunschgeschwindigkeiten

Um eine realitätsnahe Abbildung der Geschwindigkeit herzustellen, überfahren die Fahrzeuge am Beginn jeder Strecke einen Detektor, welcher die Wunschgeschwindigkeit v_{wunsch} für den

Streckenabschnitt angibt. Diese angestrebte Geschwindigkeit wird vom Verkehrsteilnehmer dann eingenommen, wenn er sich im freien Fahrfluss befindet. Nähert sich ein Fahrzeug einem vorausfahrenden Fahrzeug oder einer Konfliktfläche an, wird in die Wunschgeschwindigkeit eingegriffen und das Fahrzeug bremst ab. In VISSIM wird die Wunschgeschwindigkeit nicht als deterministisch festgelegt, sondern folgt einer Verteilung. Für eine Wunschgeschwindigkeit von 50 km/h wird die Geschwindigkeit v_{85} mit 50 km/h definiert. Als Minimum wird 45 km/h und als Maximum 55 km/h definiert.

Langsamfahrbereiche

Mit der Wunschgeschwindigkeit auf der freien Strecke ist die Geschwindigkeit im Knotenbereich verbunden. Über Langsamfahrbereiche lässt sich die reduzierte Geschwindigkeit bei Abbiegevorgängen berücksichtigen. Als Attribute stehen einerseits die angestrebte Wunschgeschwindigkeit im definierten Abschnitt und andererseits die Verzögerung zur Auswahl. Für Linksabbieger wird eine Wunschgeschwindigkeit von 20 km/h bzw. für Rechtsabbieger von 15 km/h definiert. Für Busse und Lkws wird die Wunschgeschwindigkeit um 5 km/h reduziert. Die Verzögerung gibt an, wie weit vor dem Langsamfahrbereich das Fahrzeug zu Bremsen beginnen muss, um mit der gewünschten Geschwindigkeit den Bereich zu durchfahren. Für Lkws und Busse wird eine Verzögerung von $1,3 \text{ m/s}^2$ angewendet, für Pkws eine von $2,0 \text{ m/s}^2$.

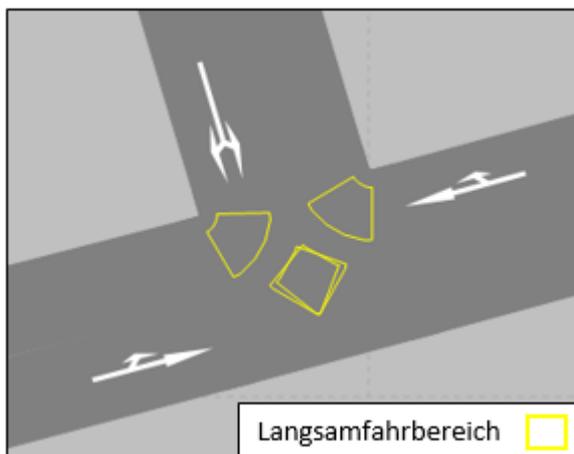


Abbildung 39: Langsamfahrbereich für Rechts- bzw. Linksabbieger

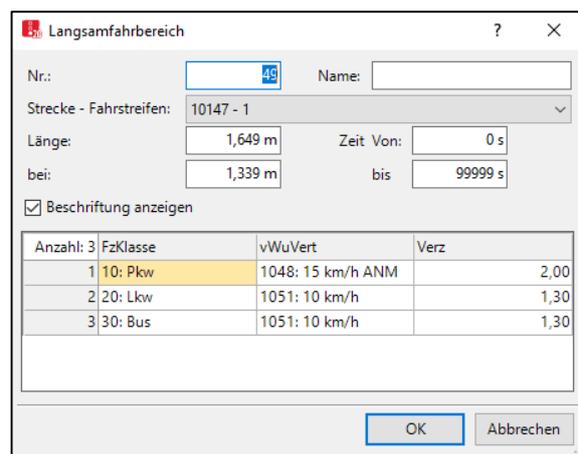


Abbildung 40: Schematische Definition eines Langsamfahrbereichs für Rechtsabbieger

Fahrzeugzuflüsse

Anders als beim makroskopischen Verkehrsmodell werden die Belastungen im Vorhinein festgelegt. VISSIM würde die Möglichkeit einer dynamischen Umlegung anbieten, welche eine Routenumlegung auf Basis von Nachfragematrizen ausführt. In diesem Fall wird von dieser Möglichkeit nicht Gebrauch gemacht, die Fahrzeugzuflüsse werden anhand der Belastungen im makroskopischen Verkehrsmodell eingegeben. Fahrzeugzuflüsse werden immer am Anfang einer Strecke eingefügt und können auf gewisse Zeitintervalle beschränkt werden. Darüber hinaus kann eine Fahrzeugzusammensetzung selektiert werden, welche beispielsweise den Schwerverkehrsanteil berücksichtigt. Die Belastung eines Fahrzeugzuflusses wird in Kfz/h angegeben, auch wenn das betrachtete Zeitintervall kürzer ist.

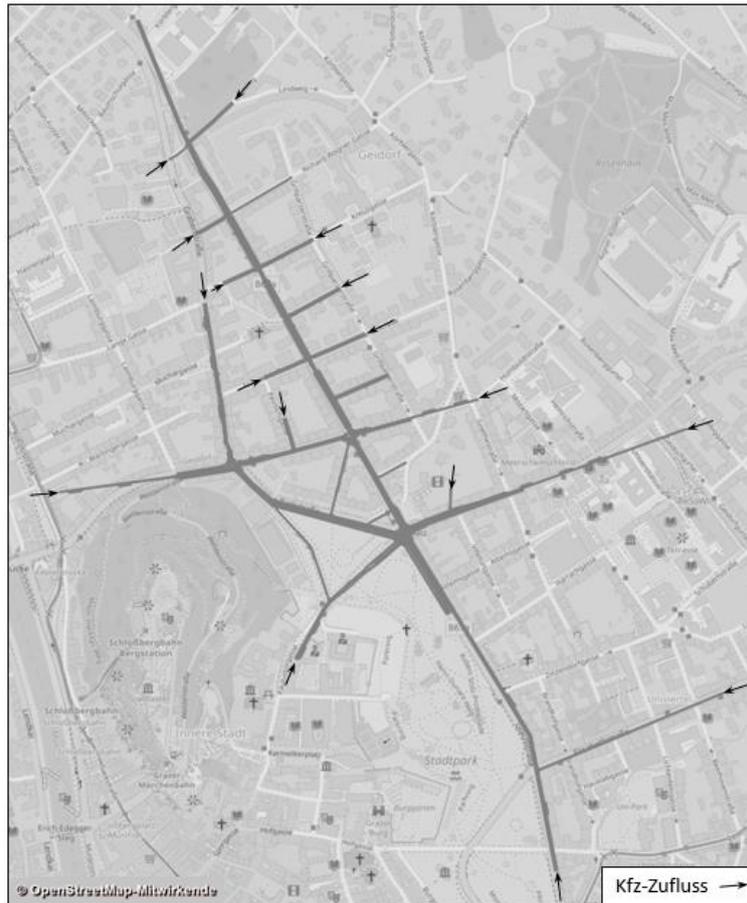


Abbildung 41: Kfz-Zuflüsse

LKW-Anteil

Anhand der zur Verfügung gestellten Zähldaten kann keine Unterscheidung zwischen Pkw und Lkw getroffen werden. Angelehnt an das verkehrstechnische Gutachten zum Entfall eines Fahrstreifens in der Wickenburggasse wurde daher der LKW-Anteil mit 3% angenommen. Allgemein betrachtet stellt dieser Wert einen geringen Schwerverkehrsanteil dar. Die Standard-Fahrzeugzusammensetzung folgt somit aus 97% Pkw und 3% LKW.

Einfahrtsverteilung

Die Generierung der Fahrzeuge an den Fahrzeugzuflüssen wird von der Startzufallszahl beeinflusst und folgt einer Poisson-Verteilung. Die Lücke x zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen folgt somit einer Exponentialverteilung, welche in Fahrzeugen pro Stunde gemessen wird. Unter Anwendung dieser Einfahrtsverteilung soll somit ein stochastisches Einsetzen der Fahrzeuge an den Fahrzeugzuflüssen ermöglicht werden. In der Realität unterliegen die Ankünfte jedoch deutlich größeren Schwankungen (Barceló 2010).

Fahrzeugrouten

Das Programm VISSIM erlaubt es, verschiedenste Typen von Fahrzeugrouten zu definieren. Neben der gängigsten Definition von statischen Fahrzeugrouten, welche den Anteil einer Fahrzeugroute im Netz repräsentieren, kann auch der Anteil einer Parkplatzroute definiert werden. Zudem müssen die ÖV-Linien über sogenannten ÖV-Teilrouten im Netz implementiert werden. In diesem Abschnitt erfolgt die Beschreibung von statischen Fahrzeugrouten, da die beiden anderen Routentypen in gesonderten Kapiteln erläutert werden.

Statische Fahrzeugrouten geben über vordefinierte Wahrscheinlichkeiten an, mit welchem Anteil Fahrzeuge Routen im Netz auswählen. Für die Modellierung lassen sich zwei Ansätze unterscheiden.

Bei der ersten Variante überfahren die Fahrzeuge direkt nach dem Fahrzeugzufluss einen Startpunkt einer Fahrzeugroute. Ausgehend von diesem Startpunkt ist jede erdenkliche Fahrzeugroute an den Modellrand mit einer Wahrscheinlichkeit belegt. Diese Methode erfordert die genaue Kenntnis der Anteile für jede Route, welche über die Generierung von Teilnetzen in VISUM gewonnen werden kann. Im zweiten Ansatz werden die Fahrzeugrouten knotenweise definiert. Anhand von Knotenstromplänen wird für jeden Knoten die relative Belastung für jeden Abbieger eingegeben. Ein Nachteil dieser Variante ist, dass für jeden Knoten eine statische Fahrzeugroute samt ihren Teilrouten definiert werden muss, wodurch sich Verfälschungen durch unrealistische Routen ergeben. Beispielsweise könnte ein gerade erst ins Netz eingeflossenes Fahrzeug an der nächsten Kreuzung das Netz schon wieder verlassen.

Im gegenständlichen Netz wurde jedoch die zweite Variante zur Bestimmung der Fahrzeugrouten angewendet. Die Anteile der einzelnen Abbiegerelationen werden aus den Knotenströmen des VISUM-Modells entnommen. Der Routenanfang soll in einer ausreichend großen Entfernung stromaufwärts des Knotens liegen, um eine Fahrzeugeinordnung zu ermöglichen. Unterstützend dazu drängen sogenannte „Dummy-Konnektoren“ die Fahrzeuge stromaufwärts auf den richtigen Fahrstreifen. Nach einem Fahrstreifenwechsel wird üblicherweise der Fahrstreifen nicht mehr zurückgewechselt. Für den unten gezeigten Linksabbieger von der Bergmannngasse in die Humboldtstraße werden die Fahrzeuge also frühzeitig auf den linken Fahrstreifen gelenkt, um den Fahrfluss vor der LSA sicherzustellen. Das Routenende befindet sich gewöhnlich am Ausgang des Knotens, sodass die Fahrzeuge wieder in den freien Fahrfluss übergehen bis sie den Routenanfang einer folgenden Fahrzeugroute überfahren.

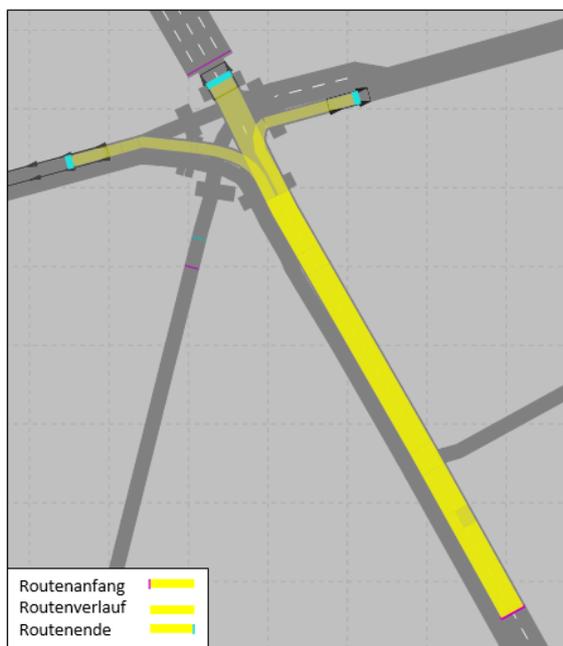


Abbildung 42: Fahrzeugroute 7 Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße

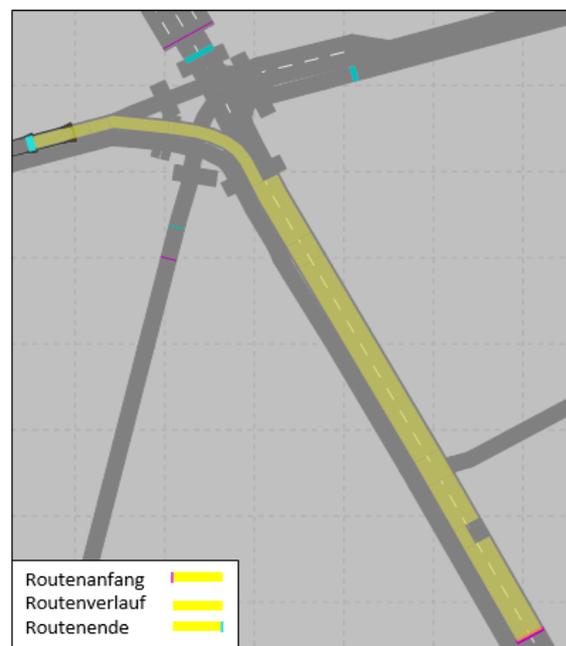


Abbildung 43: Fahrzeugteilroute 7-3 mit Dummy-Konnektor Knoten 503

Lichtsignalanlagen

Im betrachteten Gebiet liegen mehrere signalisierte Knotenpunkte vor. Für den Verkehrsablauf wesentlich sind die Knotenpunkte 502 – Grabenstraße/Wickenburggase, 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße und 504 – Geidorfplatz. Die Signallage- sowie Signalzeitenpläne

wurden von der Stadt Graz zur Verfügung gestellt. Diese Knotenpunkte verfügen über eine verkehrsabhängige Steuerung, wobei für die Aufgabe dieser Arbeit lediglich der Knoten 504 – Geidorfplatz als verkehrsabhängige Steuerung implementiert wird. Daneben befinden sich noch signalgesteuerte Fußübergänge, welche über Druckknopfsteuerungen bedient werden. Diese LSAs werden in der Simulation nicht inkludiert, da sie für den Verkehrsablauf nur keinen wesentlichen Einfluss haben.

Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse

Der Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse stellt einerseits eine wichtige Verbindung für den Nord-Süd-Verkehr Richtung Innenstadt dar und andererseits bedient er den West-Ost bzw. Ost-West-Verkehr über die Wickenburggasse. Die LSA 502 bedient nicht nur den Knoten Grabenstraße/Wickenburggasse, sondern auch den Knoten Wickenburggasse/Laimburggasse, welcher jedoch in dieser Simulation nicht von Relevanz ist und somit nicht Teil der Mikrosimulation. Für die abendliche Spitzenstunde wird das unten gezeigte Signalprogramm S8 mit einer Umlaufzeit von 90 Sekunden verwendet. Als Hauptströme laufen die Signale K12 und K14 parallel ab. Danach folgt der von Norden kommende Strom K11 aus der Grabenstraße.

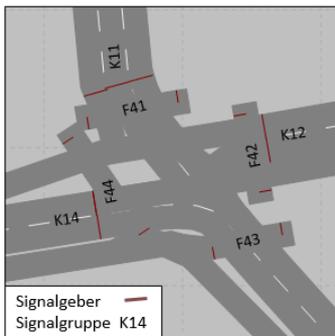


Abbildung 44: Signalgeber Knoten 502

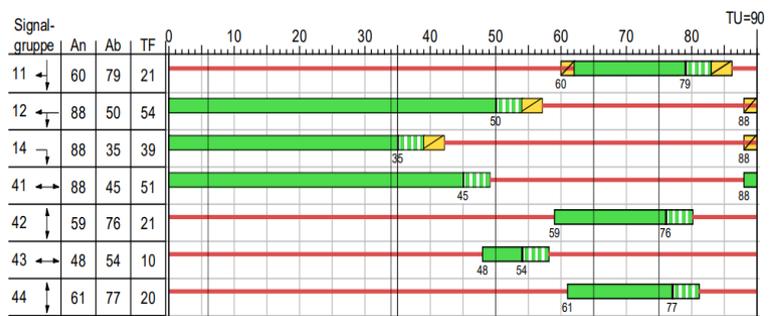


Abbildung 45: Signalzeiten Knoten 502 (Stadt Graz 2021a)

Knoten 503 – Bergmanngasse/Humboldtstraße

Der Knoten 503 – Bergmanngasse/Humboldtstraße liegt stromabwärts der Master VLSA 504 – Geidorfplatz und wird verkehrsabhängig gesteuert. Für die gegenständliche Anwendung wird die VLSA 503 jedoch als Festzeitprogramm implementiert, da die Aussagen auch so getroffen werden können. Als Hauptverkehrsstrom verläuft K13 von der Bergmanngasse kommend. Den größten Anteil bildet der Geradeausverkehr Richtung Norden, welcher koordiniert mit dem Knoten 504 abläuft. Für den Querverkehr aus der Humboldtstraße ergibt sich aufgrund der geringen Belastung eine kürzere Grünzeit.

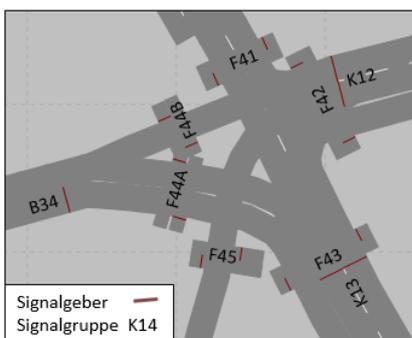


Abbildung 46: Signalgeber Knoten 503

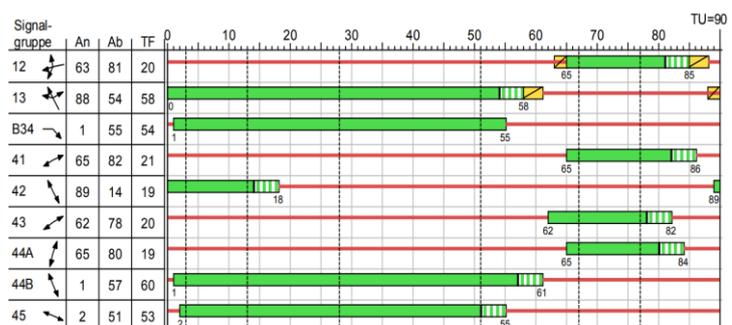


Abbildung 47: Signalzeiten Knoten 503 (Stadt Graz 2021a)

Knoten 504 – Geidorfplatz

Der Knoten 504 – Geidorfplatz stellt in gewisser Hinsicht die bestimmende Kreuzung dar, da aufgrund ihrer Belastung alle weiteren VLSAs in der Umgebung gesteuert werden. Durch das hohe Verkehrsaufkommen an den Zuläufen befindet sich dieser Knoten nahe seiner Leistungsgrenze. Als Hauptabbiegerelationen wird der Verkehr aus der Parkstraße, der Verkehr vom Glacis bzw. der Verkehr von der Heinrichstraße kommend, gesehen. Zusätzlich zur eigentlichen Kreuzung am Geidorfplatz kommen Linksabbieger von der Parkstraße zur Bergmannngasse hinzu. In der untenstehenden Abbildung wird das Signalprogramm S8 für die Abendspitze mit Buseingriff gezeigt. Sofern diese Bedarfsphase für Busse entfällt, wird die Grünzeit für die Signalgruppe K13 verlängert. Die Bedarfsphase betrifft sämtliche Buslinien, welche den Geidorfplatz passieren und muss daher als verkehrsabhängige Steuerung implementiert werden. Das Programm VISSIM ermöglicht über das Programm VISVAP eine erleichterte Erstellung der Logikabfolge der einzelnen Phasen. Anhand der vorliegenden Signalzeiten mit und ohne Buseingriff wurden Phasenübergangsprogramme mittels VISSIG bzw. Logikdaten als vap-Dateien erstellt.

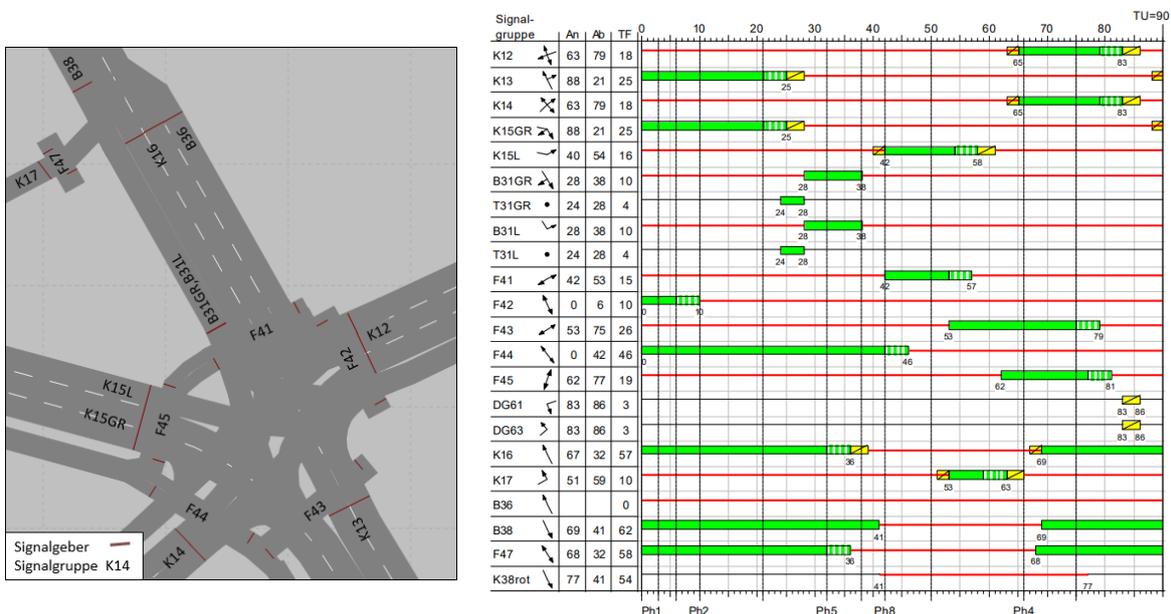


Abbildung 48: Signalgeber Knoten 504

Abbildung 49: Signalzeiten Knoten 504 (Stadt Graz 2021a)

4.1.2 Verhaltenstypen

Das Fahrverhalten eines Fahrzeuges wird in VISSIM über Verhaltenstypen festgelegt. VISSIM unterscheidet drei verschiedene Verhaltenstypen, die auf das Folge-, Quer- bzw. das Fahrstreifenwechselfverhalten abzielen. Unterschiedlichen Fahrzeugklassen können somit auch verschiedene Fahrverhalten zugeordnet werden.

Fahrzeugfolgeverhalten

Fellendorf und Vortisch beschreiben in Barceló (2010) das Fahrzeugfolgeverhalten in VISSIM über das Wiedemann 74-Modell. Das Fahrverhalten eines nachfolgenden Fahrzeugs wird maßgeblich von der Distanz zwischen den Fahrzeugen und der Geschwindigkeitsdifferenz beeinflusst. Wird auf einen langsamer fahrenden Verkehrsteilnehmer aufgefahren, so werden gewisse Aktionen bewusst und andere unbewusst durchgeführt. Der Punkt ab wann ein bewusstes Eingreifen stattfindet, ist abhängig vom Abstand zum vorderen Fahrzeug bzw. vom Geschwindigkeitsunterschied sowie von

fahrerabhängigen Eigenschaften. Die mittlere Wunschkonzanz d wird demnach von diesen Faktoren bestimmt und ist im VISSIM-Modell folgendermaßen definiert.

$$d = ax + bx \quad (36)$$

mit:	d	Mittlere Wunschkonzanz
	ax	Mittlerer Stillstandsabstand $N(2;0,3)$
	bx	Zusätzlicher Einfluss des Sicherheitsabstand

Die mittlere Wunschkonzanz wird einerseits durch einen konstanten Teil, dem mittleren Stillstandsabstand, welcher hier normalverteilt mit einem Erwartungswert von 2 m und einer Standardabweichung von 0,3 m definiert wird, bestimmt. Andererseits gibt es einen zusätzlichen geschwindigkeitsabhängigen Einfluss bx .

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v} \quad (37)$$

mit:	bx_{add}	additiver Einfluss des zusätzlichen Sicherheitsabstandes
	bx_{mult}	Multiplikativer Einfluss des zusätzlichen Sicherheitsabstandes
	z	Zufallswert $N(0,5;0,15)$
	v	Geschwindigkeit

Im VISSIM-Modell werden die Variablen bx_{add} mit 2 m und bx_{mult} mit 3 m standardmäßig festgelegt. Diese Werte werden für die Simulationen belassen und können gegebenenfalls angepasst werden. Der multiplikative Einfluss wird um einen stochastischen Wert z angepasst.

Querverhalten

Das Querverhalten beeinflusst ebenso Überholvorgänge und spielt eine wesentliche Rolle bei der Modellierung des Radverkehrs. Im Fahrverhaltensmodell kann die Wunschkonzanz in Querrichtung definiert werden. Für Kfz wird innerorts als Wunschkonzanz die Fahrstreifenmitte gewählt. Für den Radverkehr erfolgt die Ausrichtung am rechten Fahrbahnrand, um ein Überholen zu ermöglichen.

Überholvorgänge

Sofern die Geschwindigkeit eines führenden Fahrzeuges erheblich geringer ist als die des nachfolgenden Fahrzeuges, prüft dieses die Möglichkeit eines Überholvorganges. Ein Überholvorgang kann nur dann erfolgen, wenn genügend Seitenabstand vorhanden ist. In VISSIM wird der Seitenabstand für eine Geschwindigkeit von 50 bzw. 0 km/h eingegeben und für Werte dazwischen linear interpoliert. Für das Kfz-Fahrverhalten innerorts wird ein Seitenabstand von 0,5 bzw. 0 m festgelegt. Für Radfahrer beträgt der Seitenabstand 0,3 bzw. 0,1 m. Überholvorgänge betreffen im Modell hauptsächlich die zweistreifige Bergmannngasse Richtung Norden bzw. die Parkstraße Richtung Osten.

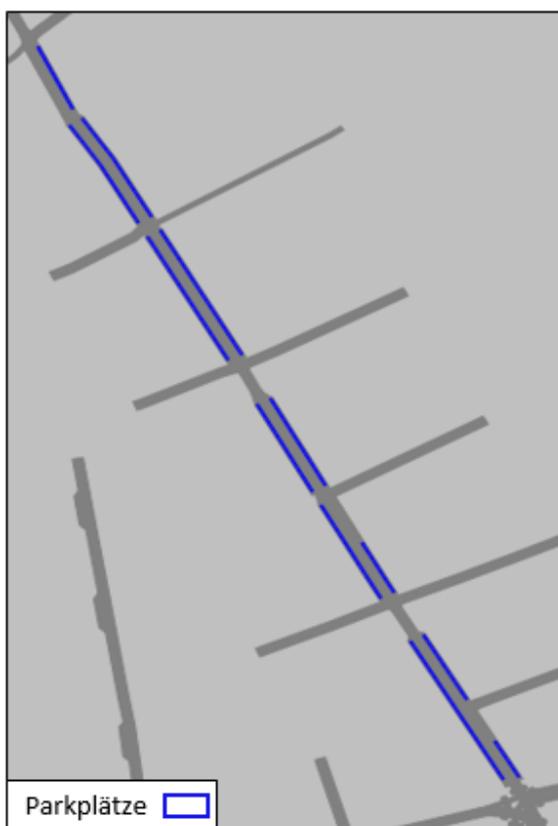
4.1.3 Parkplätze

Für die Ermittlung der Streckenkapazität der Bergmannngasse ist die Modellierung der Parkvorgänge notwendig. Die Anzahl bzw. Lage der Längsparker am Straßenrand in der Bergmannngasse wurde von Luftbildern aus Google (2021) entnommen. Die Parkplätze am Straßenrand sind als „blaue“ Zone ausgewiesen und liegen somit im Grazer Stadtzentrum.

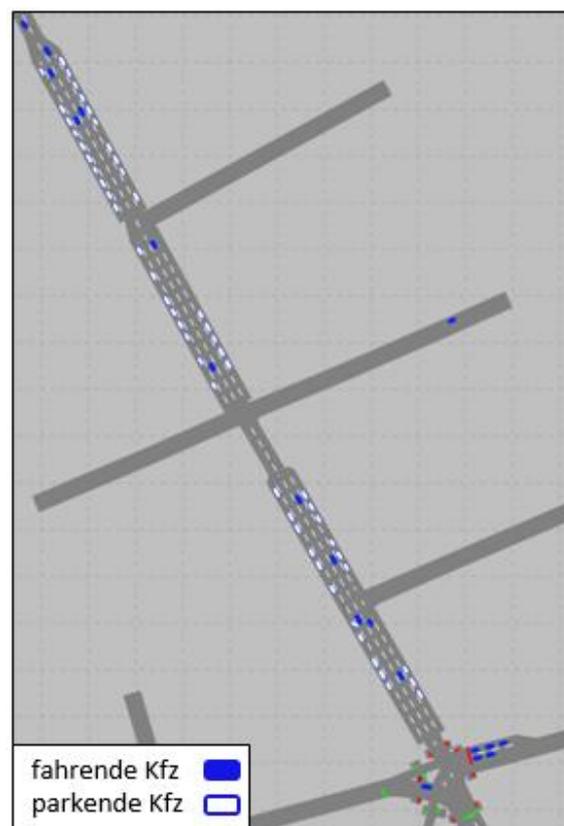
Parkplätze

Für die Modellierung der Parkplätze in VISSIM werden die betroffenen Fahrstreifen um einen zusätzlichen Parkstreifen erweitert. Das Parken oder Halten am Straßenrand wird über echte

Stellplätze modelliert. Zur Definition der Parkplätze wird zuerst die Länge des gesamten Parkstreifens auf einer Strecke festgelegt. Danach kann über die Länge pro Stellplatz, welche hier mit 6 m angegeben wird, die Gesamtanzahl der Parkstände pro Parkplatz definiert werden. Zusätzlich kann eine Einparkverteilung sowie Parkrichtung festgelegt werden. Die Einparkverteilung wird mit 20 Sekunden gewählt und hindert nachkommende Fahrzeuge am problemlosen Vorbeifahren. Als Parkrichtung wird Vorwärts-Vorwärts eingestellt. Das Programm kann kein rückwärts Einparken abbilden, weshalb für Längsparker diese Methode gewählt wird. Somit kommt es dazu, dass Fahrzeuge aufgrund ihres Einparkvorganges nicht parallel am Parkstand zu liegen kommen. Die schräg ausgerichteten, gerade angekommenen Fahrzeuge werden daher nach 60 Sekunden automatisch parallel ausgerichtet. Als zusätzliches Attribut können weiter stromabwärts liegende Parkplätze mit einer höheren Attraktivität ausgestattet werden, wodurch sich eine Auffüllung der Parkplätze stromaufwärts ergibt. Die nördlicher gelegenen Parkplätze der Bergmannngasse werden somit zuerst angefahren.



**Abbildung 50: Modellierter Längsparker
Bergmannngasse**



**Abbildung 51: Parkende Fahrzeuge
Bergmannngasse**

Parkplatzrouten

Um ein Fahrzeug zum gewünschten Parkplatz zu leiten, muss eine Parkplatzroute definiert werden. Parkplatzrouten sind ein Subtyp von Fahrzeugrouten und müssen analog zu den statischen Fahrzeugrouten einen Start- bzw. Endquerschnitt aufweisen. Sobald ein Fahrzeug einen Parkplatzroutenanfang überquert hat, versucht VISSIM einen geeigneten Parkplatz zu finden. Als Kriterien zur Parkplatzwahl werden die verfügbare Stellplatzlänge sowie die Attraktivität herangezogen. Ein Fahrzeug kann einen freien Parkplatz nur dann anfahren, sofern die verfügbare Stellplatzlänge größer als die Länge des Fahrzeuges ist. Sobald ein Stellplatz einem Fahrzeug zugewiesen wird, ist dieser für andere Fahrzeuge blockiert, auch wenn dieses den Stellplatz noch nicht erreicht hat. Als Attribute zur Beschreibung von Parkplatzrouten kommen die Parkdauer sowie der

Parker-Anteil zur Anwendung. In Abhängigkeit der Fahrzeugklasse kann für ein bestimmtes Zeitintervall die Aufenthaltsdauer am Parkplatz festgelegt werden. Der Parker-Anteil gibt den relativen Anteil an Parkern am Routenanfang an.

Für die Modellierung der Parkplätze wird ein Parkdruck von 50 % angenommen. Das heißt, dass die Hälfte der Parkplätze aufgrund von Dauerparkern belegt ist. Der übrige Anteil bildet die tatsächlichen Kurzparker. Für die Simulation bedeutet das, dass während der Aufwärmphase die Hälfte der Parkplätze aufgefüllt werden muss. Als Parker-Anteil wird 8% angenommen. Die Gesamtanzahl der modellierten Parkstände in der Bergmannngasse beträgt 149. Aus der Belastung der Bergmannngasse ergibt sich somit dieser Parker-Anteil und als Parkdauer wurden drei Stunden gewählt. Dies gewährleistet, dass die Fahrzeuge über die gesamte Simulationsdauer parken. Für die eigentliche Simulationsstunde wird eine Parkdauer von 30 Minuten mit einer Standardabweichung von 15 Minuten gewählt. Dadurch muss der Parker-Anteil theoretisch verdoppelt werden. Hier wird der Parker-Anteil mit 15% festgelegt.

4.1.4 ÖV-Linien

Hinsichtlich ÖV verkehren im untersuchten Gebiet lediglich Busse. Betroffen davon sind die Buslinien 30, 39, 41, 58 und 63, wobei der Routenverlauf sowie der Fahrplan anhand des Liniennetzplanes bzw. des online abrufbaren Fahrplans der Graz Linien (2021b) entnommen wurde.

Haltestellen

Als notwendige Infrastruktur müssen im Vorhinein Haltestellen definiert werden. Anhand des Liniennetzplanes (Graz Linien 2021b) sowie von Luftbildern (Google 2021) werden an den betroffenen Punkten Haltestellen mit einer Länge von 20 m eingefügt. Grundlegend kann zwischen Haltebuchten oder Halten direkt auf der Straße unterschieden werden. Im Planungsgebiet liegen einige Busstreifen vor, sodass auf diesen ebenso ein Halten direkt am Busstreifen stattfindet. Anstelle einer Einfahrtsverteilung wurden Fahrplanabweichungen an den Fahrzeugzuflüssen über Dummy-Haltestellen modelliert, welche eine bessere Ankunftsverteilung im Netz gewährleisten sollen. Als Aufenthaltsdauer werden 15 Sekunden pro Haltestelle mit einer Standardabweichung von 2 Sekunden festgelegt.

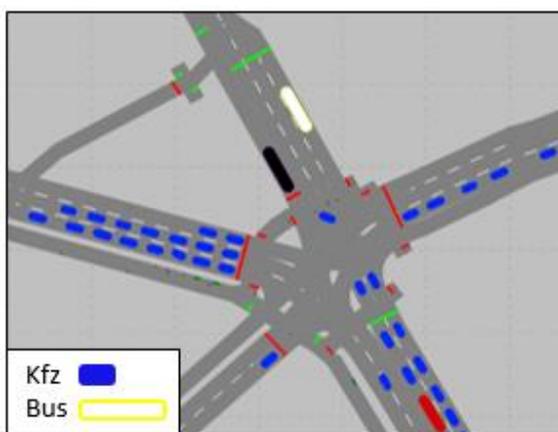


Abbildung 52: Haltestellen am Busstreifen Knoten 504

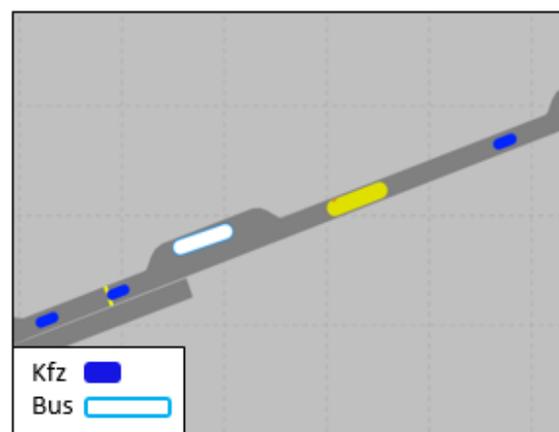


Abbildung 53: Dummy-Haltestelle zur Einfahrtsverteilung

Linien

Die Buslinien selbst werden ähnlich der Fahrzeugroutendefinition über Routenanfang und -ende definiert. Als Basisdaten werden die Wunschgeschwindigkeit sowie die Abfahrtszeiten angeführt. Die

Wunschgeschwindigkeit für Busse wird mit 40 km/h angegeben und die Abfahrtszeiten folgen aus den Fahrplänen der Graz Linien (2021b).

4.1.5 Radfahrer

Im betrachteten Gebiet spielt der Radverkehr insofern eine untergeordnete Rolle, da der Hauptradverkehr entlang des Stadtparks führt. Die modellierten Strecken bilden allesamt Hauptverkehrsstraßen im Grazer Stadtgebiet, welche von Radfahrern eher gemieden werden. Der zukünftig über die Bergmannngasse verlaufende Radverkehr Richtung Norden verläuft momentan über die Körblergasse, die Laimburggasse sowie die Korösistraße. Diese Straßen werden im gegenständlichen Netz nicht dargestellt, wodurch das momentane Radnetz lediglich über die Hauptradroute entlang des Stadtparks simuliert wird. Somit erfolgt eine Interaktion mit dem MIV ausschließlich an den Knotenpunkten.

Für den Planfall ergeben sich mehrere Möglichkeiten um den Radverkehr zu modellieren. In einer ersten Variante soll der Radverkehr ausgehend vom Radweg in der Parkstraße über die Wormgasse im Mischverkehr an die Bergmannngasse angebunden werden.



Abbildung 54: Radverkehrsführung PF2-1

Als Alternative könnte der Busstreifen auf der Bergmannngasse Richtung Süden gegen einen Radweg getauscht werden. Hierfür müssen jedoch die Routen der Buslinien bzw. die LSA-Programme am Geidorfplatz angepasst werden. Für diese Variante könnte der frei werdende Platz in der Humboldtstraße zusätzlich als Radweg ausgeführt werden.

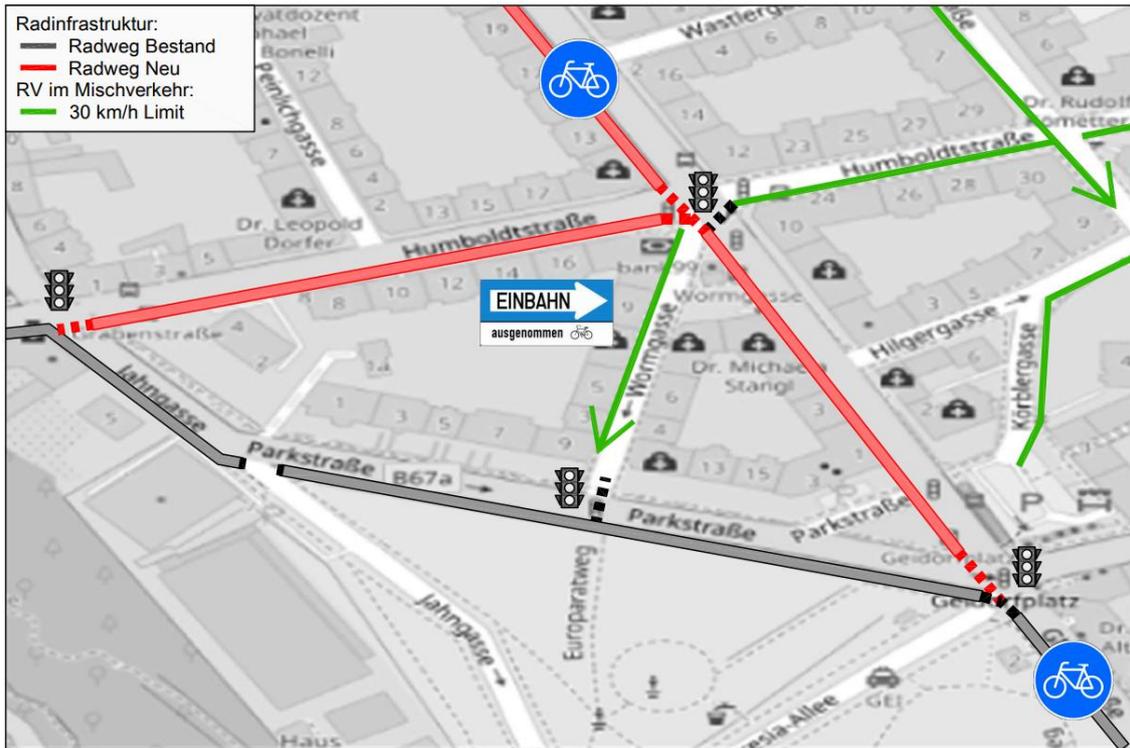


Abbildung 55: Radverkehrsführung PF2-2 bzw. PF2-3

4.1.6 Fußgänger

Die Modellierung von Fußgängerströmen wird im gegenständlichen Netz an den Knotenpunkten angewendet. An den signalisierten Knoten treten Konfliktströme auf, sofern die Signalgruppen bedingt verträgliche Ströme beinhalten. Eine bedingte Verträglichkeit liegt dann vor, wenn zwei Ströme bei gleichzeitiger Freischaltung einen Konfliktpunkt haben. Anschließend muss dieser über eine Vorfahrtsregelung aufgelöst werden. In der Praxis werden üblicherweise Rechtsabbieger und Fußgänger gemeinsam signalisiert, wodurch sich am Schutzweg ein Konfliktpunkt ergibt, welcher über eine bedingte Verträglichkeit aufgelöst wird. Im VISSIM-Modell werden die Furten an den Knoten mit 115 Personen pro Stunde beschickt, wodurch eine ausreichende Belastung zur Modellierung von bedingt verträglichen Strömen gegeben sein soll.

4.1.7 Simulationsparameter

Als Simulationsstunde soll die Abendspitze zwischen 16:00 und 17:00 Uhr nachgebildet werden. Um die während der Simulationsstunde bereits parkenden Fahrzeuge in der Bergmannngasse einzuleiten, ist eine Aufwärmphase notwendig. Diese wird mit 45 Minuten gewählt, sodass genügend Zeit für eine Einfahrt der Dauerparker in die Bergmannngasse bleibt. Danach erfolgt die eigentliche Simulationsphase mit einer Dauer von 60 Minuten. Während dieser Phase werden alle verkehrlichen Kenngrößen aufgezeichnet bzw. finden hier die eigentlichen Parkvorgänge statt. Nach dieser einstündigen Aufzeichnungsphase folgt eine Abklingphase, bei der die Fahrzeuge das Netz noch verlassen können.

Die Initiierung der Simulation geht mit der Wahl einer Startzufallszahl einher, welche die einzelnen Verteilungen beeinflusst. Über die Änderung der Startzufallszahl in jedem Simulationslauf kann die Variation der Ergebnisse festgestellt werden. Die Anzahl der Simulationsläufe wird mit zehn definiert, wobei für die Auswertung gemittelte Werte verwendet werden.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der beiden Verkehrsmodelle dargestellt, wobei die verschiedenen Planungsvarianten der Bergmannngasse und die umliegenden Streckenzüge analysiert und bewertet werden. Anhand des makroskopischen Verkehrsmodells erfolgt die Ermittlung von Verlagerungseffekten, die durch die Reduktion der Streckenkapazität in der Bergmannngasse auftreten. Auf Basis der abendlichen Spitzensunde werden Streckenbelastungen bzw. –auslastungen sowie Streckenspinne dargestellt. Mithilfe der mikroskopischen Verkehrssimulation in VISSIM werden einerseits die Kapazität der Bergmannngasse und andererseits verkehrliche Kenngrößen an den Knoten sowie Busreisezeiten ermittelt.

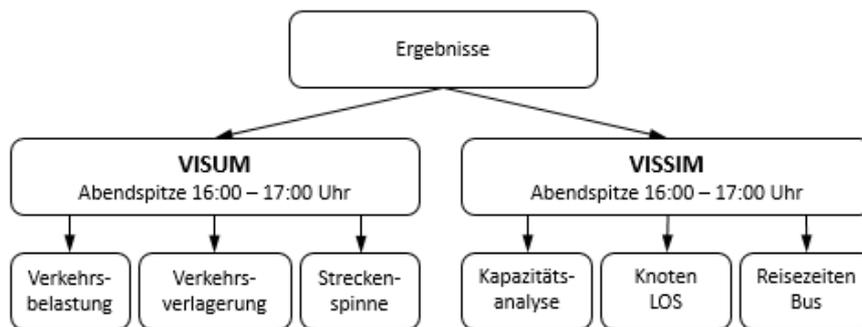


Abbildung 56: Struktur der Ergebnisse

5.1 Makroskopische Modellergebnisse

Im Hinblick auf die Umsetzung eines Radweges in der Bergmannngasse muss Platz für diesen geschaffen werden. Als mögliche Variante soll dazu ein Fahrstreifen in der Bergmannngasse, ab der Humboldtstraße, weggenommen werden. Die Verkehrsorganisation für den MIV sieht dann nur mehr einen Fahrstreifen mit beidseitig angrenzenden Parkstreifen vor. Die zentrale Frage des makroskopischen Verkehrsmodells lautet: „Kann der Verkehr in der Bergmannngasse mit einem Fahrstreifen geregelt werden?“. Um diese Frage zu beantworten, gilt es die Kapazität der Bergmannngasse abzuschätzen, da die Kapazität als Einflussgröße in die Verkehrsumlegung eingeht. Die Ermittlung der Kapazität in der Bergmannngasse erfolgt wiederum über die mikroskopische Verkehrssimulation in VISSIM, welche danach in das makroskopische Modell rückgeführt wird.

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse des makroskopischen Verkehrsmodells unter Berücksichtigung der rückgeführten Kapazitäten dargestellt. Die Umsetzung der Planfälle baut auf einer Adaption des Netzmodells auf. Dadurch kommt es zu Veränderungen der Verkehrsbelastungen. Die nachfolgenden Abbildungen sollen die Ergebnisse veranschaulichen und sind zudem im Anhang umfangreich dargestellt.

5.1.1 Verkehrsverlagerungen

Planfall 1 – Fahrstreifenreduktion Bergmannngasse

Aus dem Workshop einer Expertenrunde im November 2020 (Degros et al. 2020) ging die Bergmannngasse als Sieger für eine Trasse der Haupttradroute Kategorie A eines Bewertungsverfahrens hervor (siehe Kap. 2.3.1). Für die Umsetzung eines Zweirichtungsradweges in der Bergmannngasse soll nun ein Fahrstreifen des MIVs weggenommen werden, um die erforderliche Breite für einen Radweg zu bekommen. Als weitere Variante wäre die Wegnahme der beidseitig angrenzenden Parkstreifen

möglich. Es werden nun die verkehrlichen Auswirkungen einer Kapazitätsreduktion der Bergmannngasse für die Abendspitze zwischen 16:00 und 17:00 Uhr untersucht.

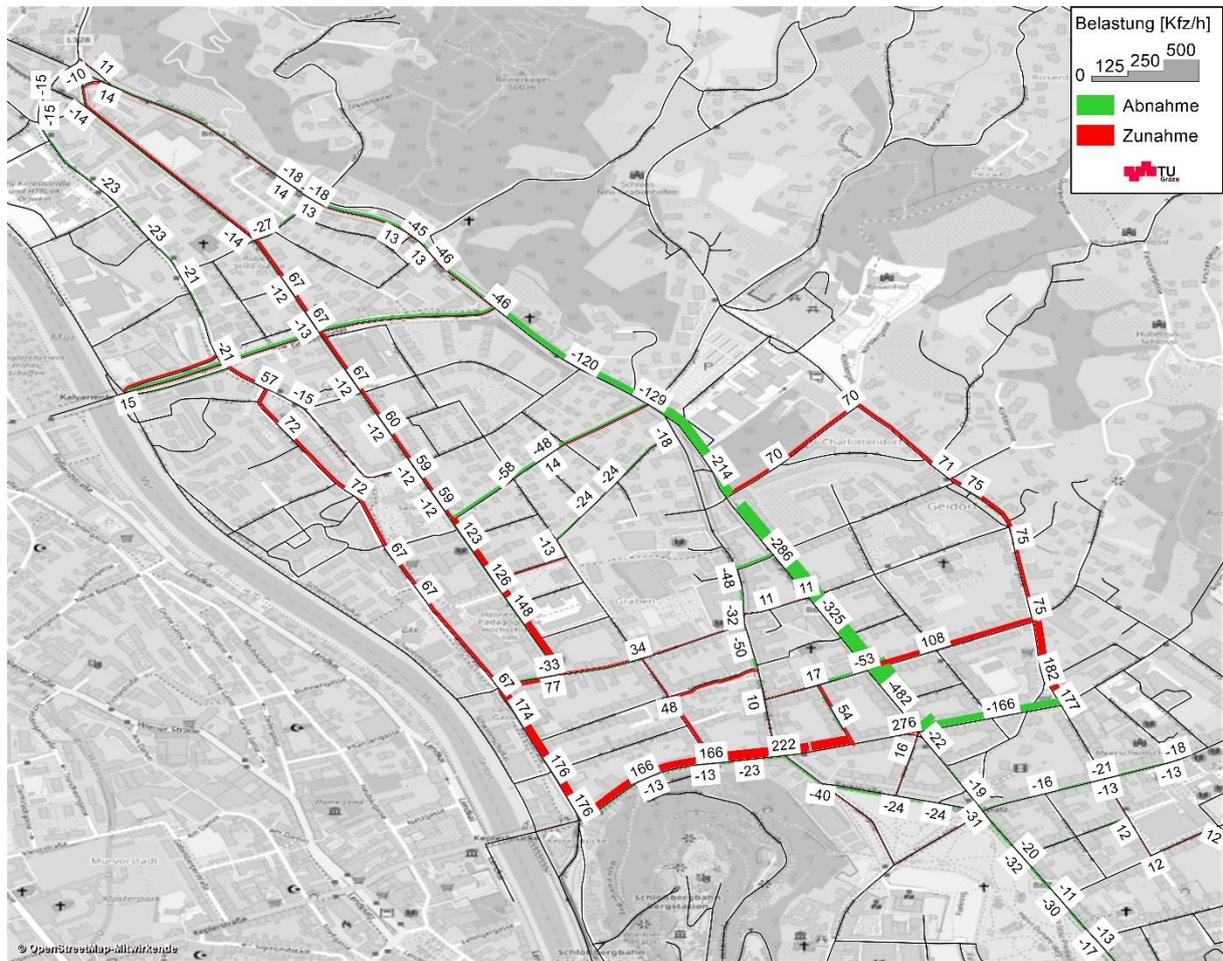


Abbildung 57: Planfall 1, Zu-/Abnahme des MIV

Die Reduktion der Kapazität führt zu einer Verringerung der Verkehrsbelastung in der Bergmannngasse. Im Vergleich zum Basisfall verringert sich der Durchgangsverkehr nach Norden um rund 130 Kfz/h, welcher sich in die Körblergasse, die Theodor-Körner-Straße sowie die Korösisstraße verlagert. Bei diesen 130 Kfz/h handelt es sich lediglich um den Verkehr, der am nördlichen Ende der Bergmannngasse weniger wird, da dieser den Durchgangsverkehr am ehesten repräsentiert. Das heißt aber auch, dass die größere Reduktion der Verkehrsbelastung stromaufwärts zu Lasten der umliegenden Straßen geht. Der Durchgangsverkehr dieser 130 Kfz/h wird zu gleichen Teilen in die Korösi- und die Theodor-Körner-Straße verlagert. Der Verkehr in der Korösisstraße mündet in den Kalvariengürtel, und jener der Theodor-Körner Straße mündet bei der Andritzer Maut wieder in die ursprüngliche Route ein. Die übrige Steigerung des Verkehrs in der Theodor-Körner-Straße betrifft den Zielverkehr. Durch die Fahrstreifenreduktion in der Bergmannngasse wird der Zielverkehr nicht mehr über die Bergmannngasse und die Heinrich-Casper-Gasse geleitet, sondern von Süden kommend über die Laimburggasse bzw. die Korösisstraße. Ein Blick auf den östlichen Teil des Untersuchungsgebiets zeigt größere lokale Verlagerungseffekte. Die Verlagerungen betreffen einerseits die Körblergasse, wo aufgrund der Kapazitätsreduktion eine alternative Route nach Norden gefunden wird. Andererseits wird der bereits bestehende Umgehungsverkehr vom Geidorfplatz, welcher zuvor über die Humboldtstraße in die Bergmannngasse führt, nun über die Franckstraße in die Bergmannngasse geleitet. Hier scheint die VLSA

503 ein limitierender Faktor zu sein, sodass der Verkehr nun über die Franckstraße in die Bergmannsgasse einfährt.

Die hier angeführten Verlagerungen sollen nun anhand von Streckenspinnen genauer analysiert bzw. bestätigt werden. Dazu können diese Betrachtungen möglicherweise Auskunft über zusätzliche Begleitmaßnahmen geben.

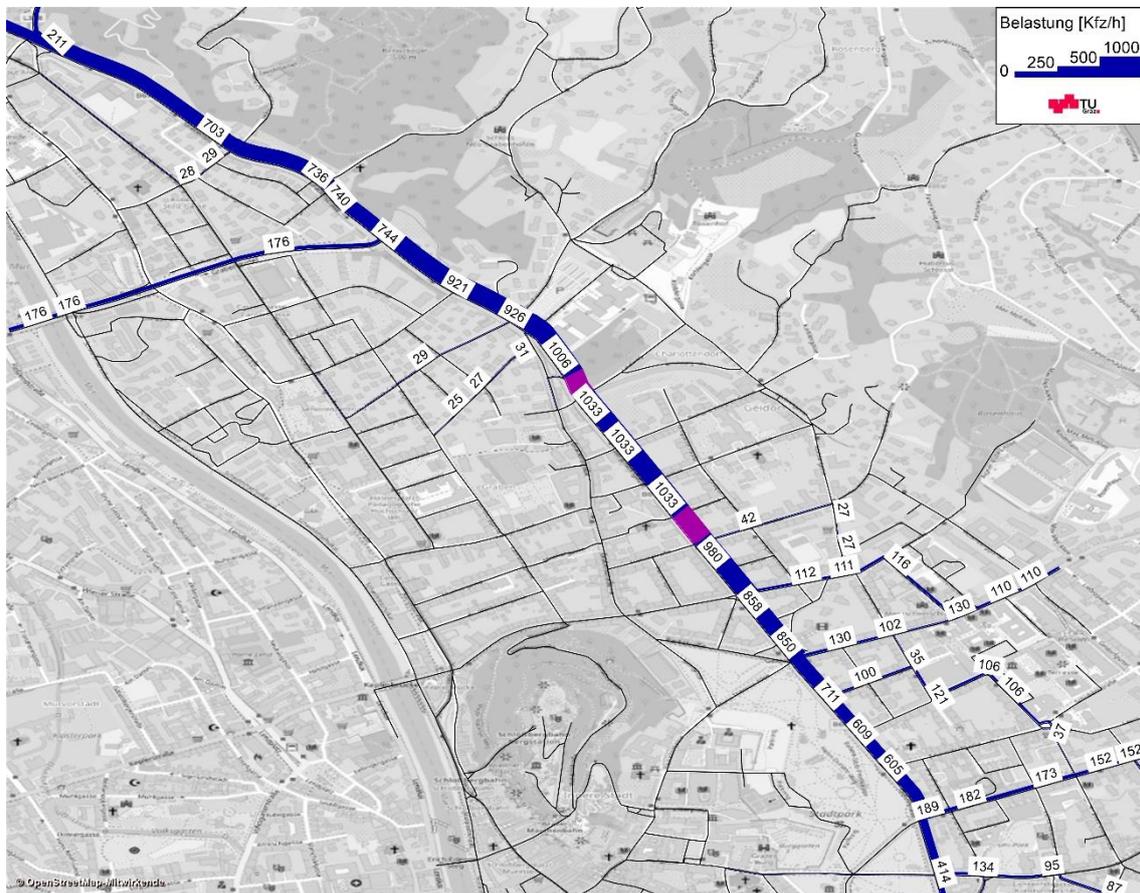


Abbildung 58: Streckenspinne Bergmannsgasse - Basisfall



Abbildung 59: Streckenspinne Bergmannngasse – Planfall 1

Anhand der oben stehenden Abbildungen wird die Veränderung des Durchgangsverkehrs dargestellt. Ein Blick auf den oberen Bildrand zeigt, dass nördlich der Abzweigung Grabenstraße eine Reduktion um lediglich 70 Fahrzeuge auftritt. Am Knoten Grabenstraße/Grabengürtel ist die Fahrzeuganzahl um 100 weniger gegenüber dem Referenzfall. Dadurch fließt auch weniger Verkehr Richtung Westen, wo sich der Verkehr an der Kalvarienbrücke von 176 auf 58 reduziert. In der nördlichen Bergmannngasse verringert sich der Kfz-Verkehr von rd. 1030 auf 760 Fahrzeuge. Als limitierender Faktor in der Bergmannngasse stellt sich der Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße heraus, da sich bereits im Basisfall ein Umwegeverkehr über die Humboldtstraße bzw. Franckstraße einstellt. Dies ist jener Verkehr, der von der Heinrichstraße kommend, anstatt über den Geidorfplatz seine Route über die Mozartgasse und danach entweder über die Humboldtstraße oder Franckstraße wählt. Im Planfall 1 verringert sich der Umwegeverkehr in der Mozartgasse von ca. 120 auf 70 Fahrzeuge. Am Geidorfplatz selbst reduziert sich der durch die Bergmannngasse fahrende Anteil um 220 Fahrzeuge. Diese Reduktion folgt einerseits aus dem verminderten Zufluss vom Glacis und andererseits aus der Heinrichstraße. Somit ergibt sich aufgrund der Kapazitätsreduktion eine um ca. 280 Fahrzeuge geringere Verkehrsbelastung.

Verlagerungen östlich der Bergmannngasse

Die nun folgenden Betrachtungen werden in Veränderungen östlich bzw. westlich der Bergmannngasse unterteilt. Als erstes werden die Verlagerungen östlich der Bergmannngasse analysiert, die hauptsächlich aus den Knotenwiderständen der Knoten 503 und 504 resultieren.

In Abbildung 57 zeigt sich eine Reduktion des Verkehrsaufkommens in der Humboldtstraße Richtung Westen um 166 Fahrzeuge. Dieser Verkehr verlagert sich gemäß dieser Abbildung auf die Körblergasse bzw. die Franckstraße.



Abbildung 67: Streckenspinne Wickenburggasse – Planfall 1

Die Streckenspinnen der Wickenburggasse zeigen genau die angesprochenen rd. 220 Fahrzeuge mehr im Planfall 1. Aus den ca. 470 Fahrzeugen im Basisfall werden rd. 700 Fahrzeuge in der Wickenburggasse nach dem Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse. Da das ursprüngliche Ziel im Norden liegt, werden danach die Routen der Korösistraße bzw. der Theodor-Körner-Straße angefahren. Im Basisfall zeigt sich der Durchgangsverkehr nur auf der Korösistraße, wo rund 60 Fahrzeuge die Korösistraße im Norden verlassen. Durch die Theodor-Körner-Straße findet kein Durchgangs-, sondern nur Zielverkehr statt. Abbildung 67 zeigt hier Änderungen, wonach sich einerseits der Durchgangsverkehr in der Korösistraße um rund 100 Fahrzeuge erhöht und Durchgangsverkehr in der Theodor-Körner-Straße erzeugt wird.

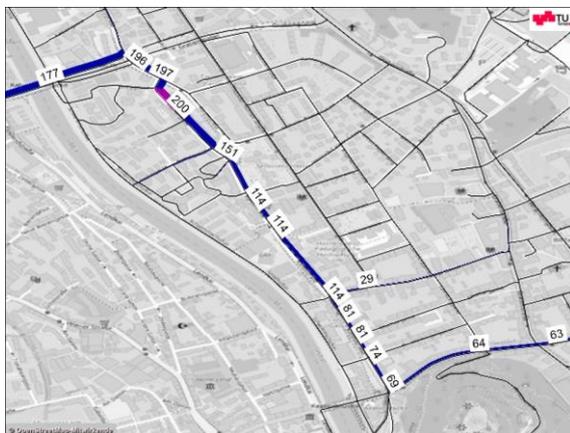


Abbildung 68: Streckenspinne Korösistraße - Basisfall

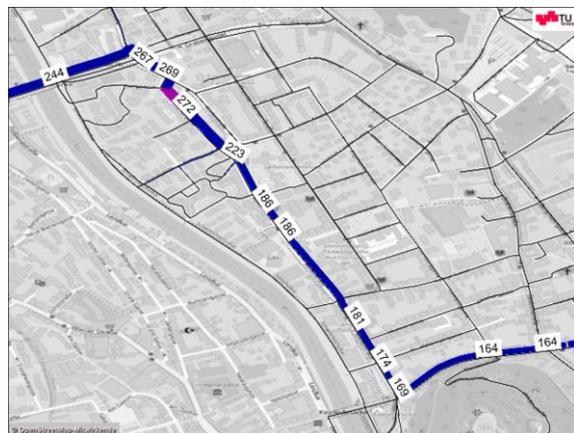


Abbildung 69: Streckenspinne Korösistraße – Planfall 1

In der Korösistraße erhöht sich der Verkehr um 70 Fahrzeuge in der Abendspitze.



Abbildung 70: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße - Basisfall



Abbildung 71: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße – Planfall 1

Im Basisfall liegt in der Theodor-Körner-Straße noch kein Durchgangsverkehr vor. Abbildung 70 zeigt dies, denn hier liegt kein Verkehr aus der Wickenburggasse vor. Im Gegensatz dazu verläuft der Durchgangsverkehr im Planfall 1 über die Laimburggasse bzw. die Korösistraße. Von den rd. 210 ankommenden Fahrzeugen in der Theodor-Körner-Straße fahren rd. 100 Fahrzeuge als Durchgangsverkehr Richtung Norden und münden bei der Andritzer Maut wieder in die Grabenstraße ein. Des Weiteren wählen ca. 40 Fahrzeuge die Route über die Korösistraße auf die Kalvarienbrücke. Die restlichen Fahrzeuge resultieren aus Quell- bzw. Zielverkehr der Theodor-Körner-Straße.



Abbildung 72: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse - Basisfall



Abbildung 73: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse – Planfall 1

Oben angesprochen wurde der Verkehr, welcher im Planfall 1 die Alternative über die Theodor-Körner-Straße auf die Kalvarienbrücke nimmt. Die Abbildungen zeigen, dass im Basisfall Durchgangsverkehr über die Heinrich-Casper-Gasse verläuft, während im Planfall in der Heinrich-Casper-Gasse lediglich Zielverkehr stattfindet.

Für den Bereich westlich der Bergmannsgasse kann festgehalten werden, dass sich der reduzierte Anteil der Bergmannsgasse über die Wickenburggasse auf die stadtauswärts führenden Strecken Korösistraße und Theodor-Körner-Straße verlagern. Auf diesen Straßen kommt es somit zu einer Zunahme des Durchgangsverkehrs. Zusätzlich kommt es durch die Kapazitätseinschränkung zu einer Umlagerung des Zielverkehrs im Grabenviertel. Der zuvor über die Bergmannsgasse und Heinrich-Casper-Gasse kommende Zielverkehr führt im Planfall 1 über die Theodor-Körner-Straße.

Planfall 2 – Zusätzliches Fahrverbot Mozartgasse

Aus den oben beschriebenen Analysen gehen einerseits die östliche Umgehung des Geidorfplatzes über die Mozartgasse und andererseits die Verlagerung in die westlich gelegenen Korösi- bzw. Theodor-Körner-Straße hervor. Die Steigerung in diesen beiden Straßen ist als moderat zu bezeichnen bzw. lassen diese beiden Straßen eine höhere Verkehrsbelastung in gewissem Maße zu. Im Gegensatz dazu stellt das Gebiet östlich der Bergmannsgasse ein sensibles Wohngebiet dar, wo es eine Generierung von zusätzlichem Verkehr zu vermeiden gilt. Um die Umgehungsvariante der Mozartgasse zu verhindern, soll diese Einbahnstraße nun gesperrt werden. Im Verkehrsmodell wird dafür das Verkehrsmittel Pkw nicht zugelassen. Es folgt eine Analyse der Verlagerungseffekte durch ein Fahrverbot in der Mozartgasse.

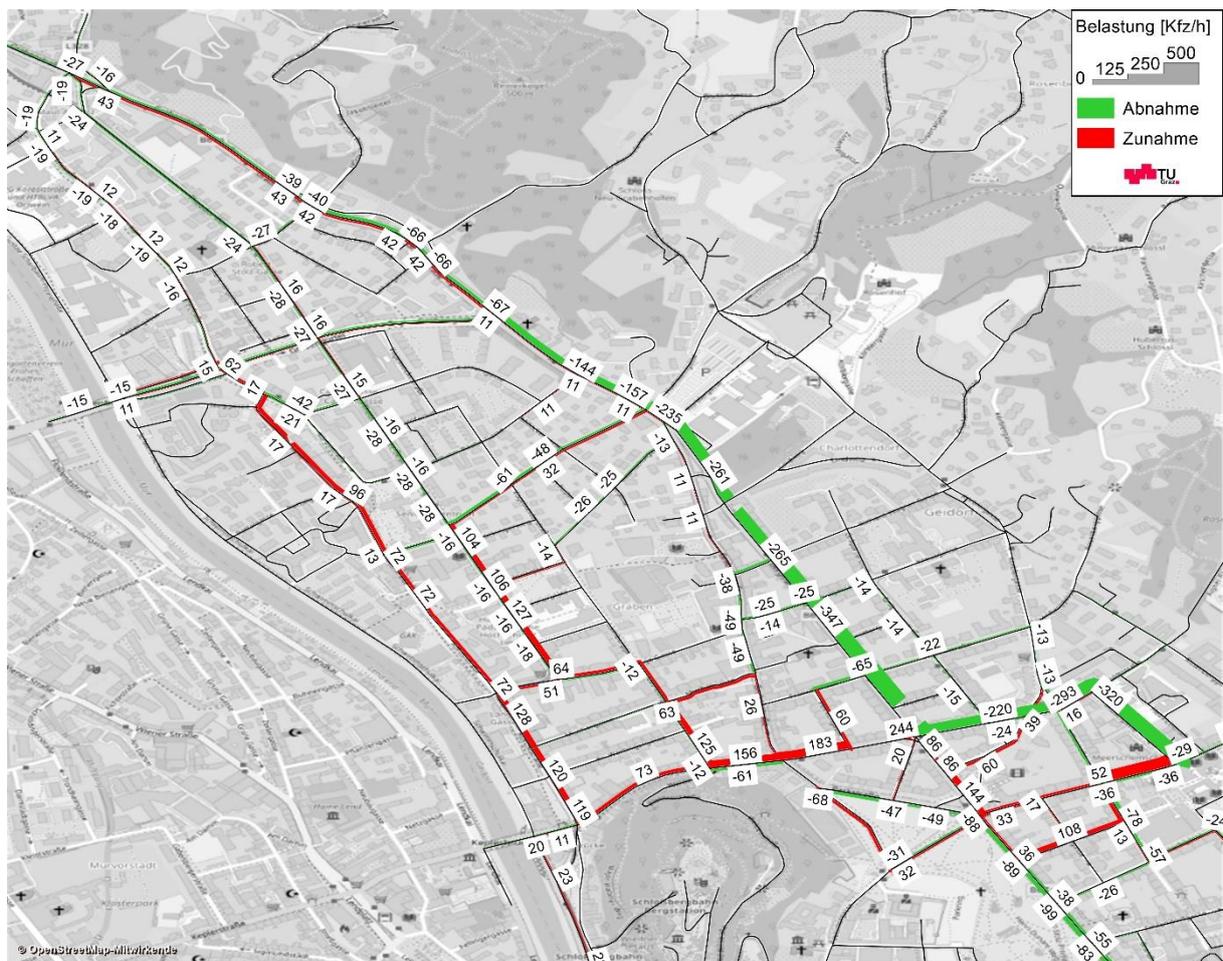


Abbildung 74: Planfall 2, Zu-/Abnahme des MIV

Ein Blick auf die Reduktion des Verkehrs in der Bergmannsgasse zeigt einen nur geringfügig größeren Rückgang. Im Gegensatz zum Basisfall passieren rund 160 Fahrzeuge weniger das nördliche Ende der Bergmannsgasse. Dies entspricht einem rd. 30 Fahrzeuge größeren Rückgang als beim Planfall 1. Die Entlastungen weiter stromaufwärts verhalten sich insofern anders, als dass nun kein Ausweichverkehr über die Körblergasse, Franck- oder Humboldtstraße fährt. Dieser Verkehr muss nun zur Gänze über den Knoten 504 – Geidorfplatz laufen. Ebenso wie beim ersten Planfall verlagert sich der Verkehr auf die Korösi- bzw. Theodor-Körner-Straße. Doch im Gegensatz zum Planfall 1 verläuft der nunmehr entstehende Durchgangsverkehr in der Theodor-Körner-Straße nicht gänzlich durch diese. Die Verhältnisse ändern sich, sodass einerseits der zuvor von der Bergmannsgasse über die Heinrich-Casper-Gasse kommende Verkehr nun über die Theodor-Körner-Straße von der Wickenburggasse

kommend determiniert und andererseits verläuft der Quellverkehr direkt über die Heinrich-Casper-Gasse in die Bergmannngasse.

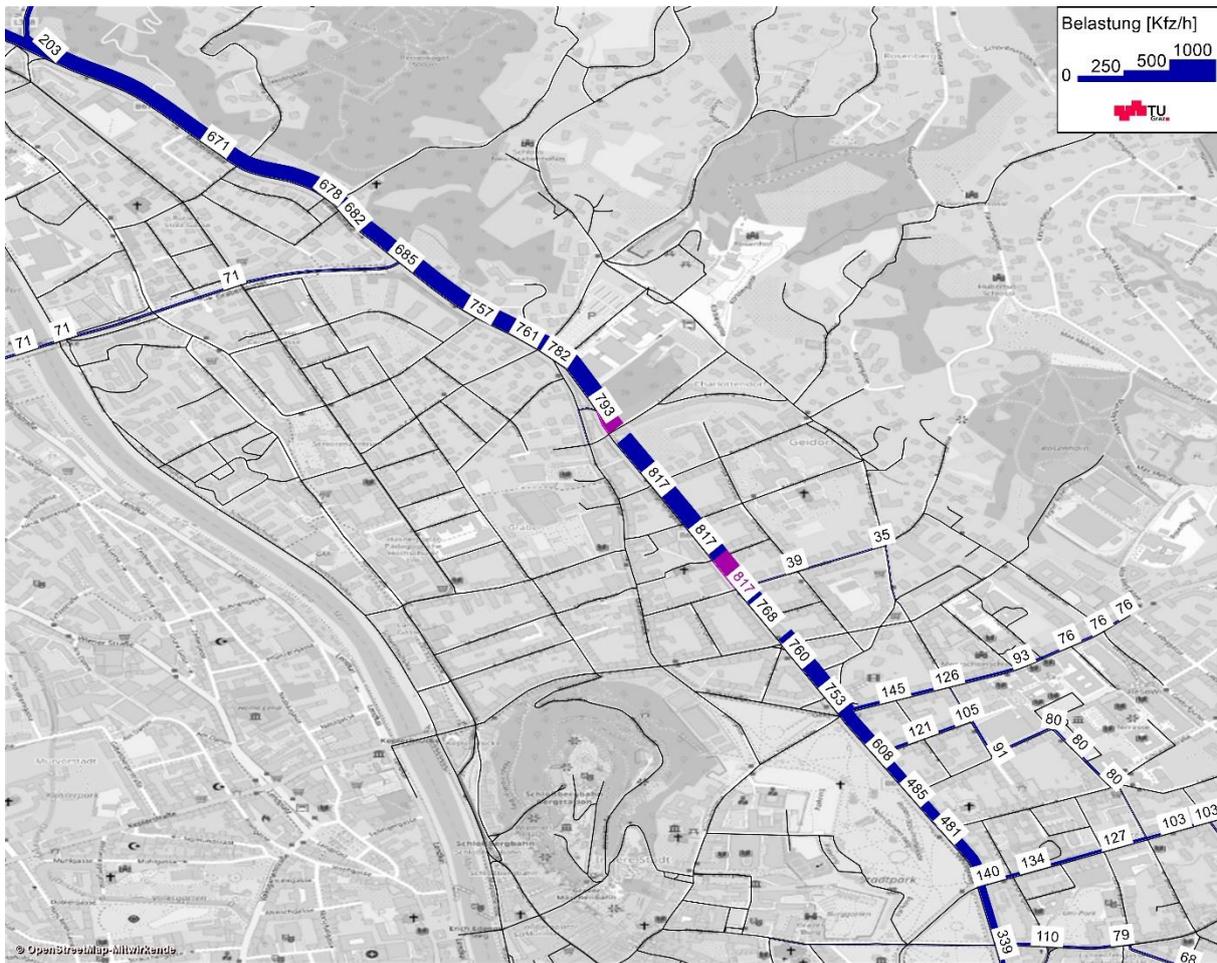


Abbildung 75: Streckenspinne Bergmannngasse – Planfall 2

Der lila markierte Querschnitt auf Höhe Franckstraße schlägt mit einer Belastung von rd. 820 Fahrzeugen zu Buche. Das entspricht einer Reduktion von ca. 210 Fahrzeugen gegenüber dem Basisfall. Im Vergleich zum Planfall 1 ist die Verkehrsbelastung jedoch um 60 höher. Diese Erhöhung der Verkehrsbelastung ist darauf zurückzuführen, da die Ausweichroute über die Mozartgasse gesperrt ist. Der Zulauf aus der Heinrichstraße über den Geidorfplatz ist daher gegenüber dem Basisfall höher, da der Verkehr gezwungen wird, diese Route zu fahren. Unverändert zeigt sich der Zulauf vom Glacis, welcher für beide Planfälle um rd. 140 Fahrzeuge geringer ausfällt. Ein gleiches Bild zeigt sich für die Route über den Grabengürtel, welche denselben Rückgang in beiden Planfällen aufweist.

Die Verlagerungen östlich der Bergmannngasse fallen komplett weg, insbesondere der Umwegeverkehr über die Mozartgasse bzw. Humboldtstraße. Somit resultiert der Verkehr in der Humboldtstraße nur mehr aus Quellverkehr. Nachfolgend findet sich daher eine Auseinandersetzung der Verlagerungen östlich der Bergmannngasse.

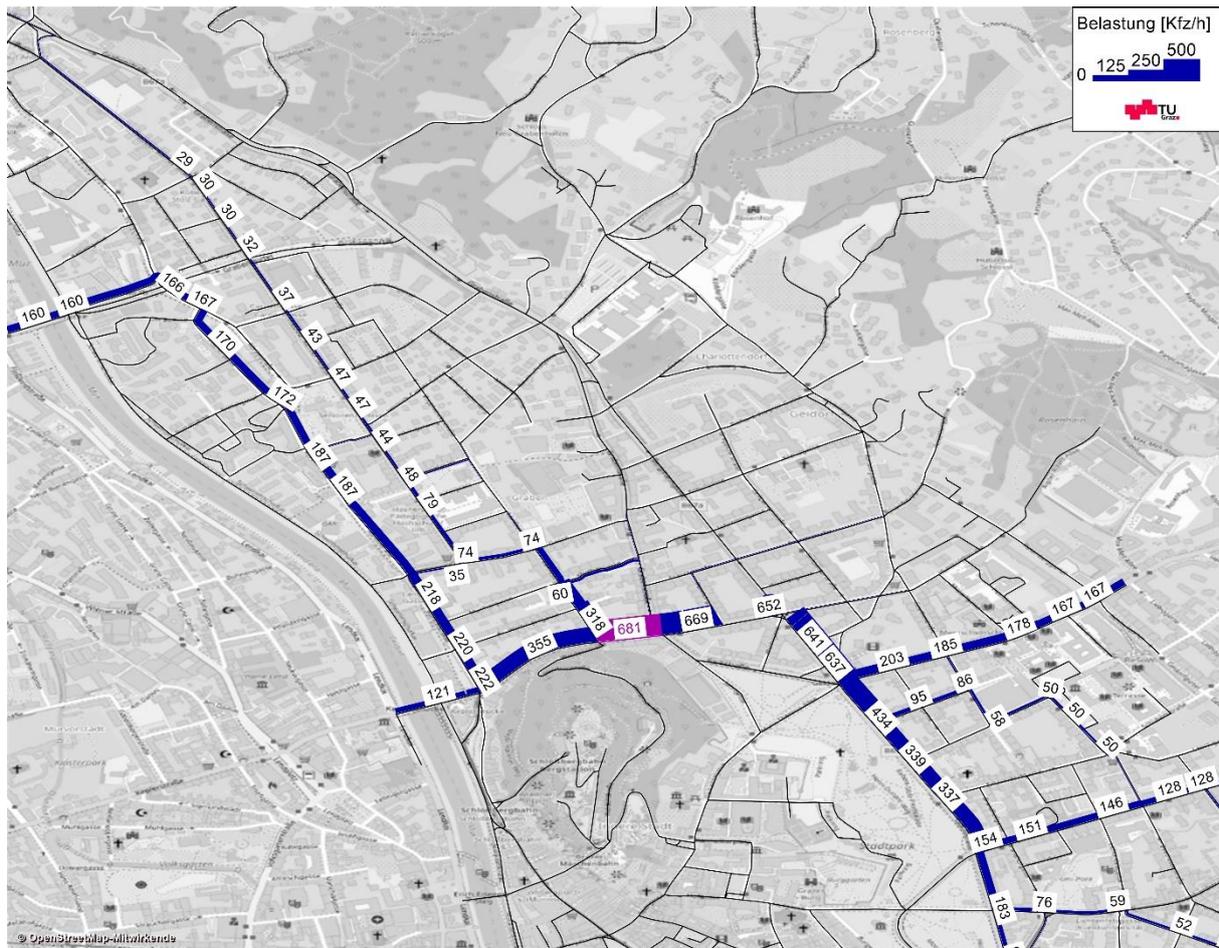


Abbildung 76: Streckenspinne Wickenburggasse – Planfall 2

Der ausweichende Verkehr über die Wickenburggasse verhält sich in seiner Art ähnlich zum Planfall 1, und ist auch in der Quantität nur marginal verschieden. Aus 700 Fahrzeugen im Planfall 1 werden im Planfall 2 680 Fahrzeuge. Ähnlich verhält es sich mit den Anteilen, welche über die Korösi- bzw. Theodor-Körner-Straße fahren. Die Differenz am nördlichen Ende der Korösistraße zwischen den beiden Planfällen beträgt rd. 10 Fahrzeuge, welche damit einer Erhöhung von rd. 100 Fahrzeugen gegenüber dem Basisfall einhergeht. Umgekehrt liegt eine Reduktion von 10 Fahrzeugen am nördlichen Ende der Theodor-Körner-Straße gegenüber Planfall 1 vor.

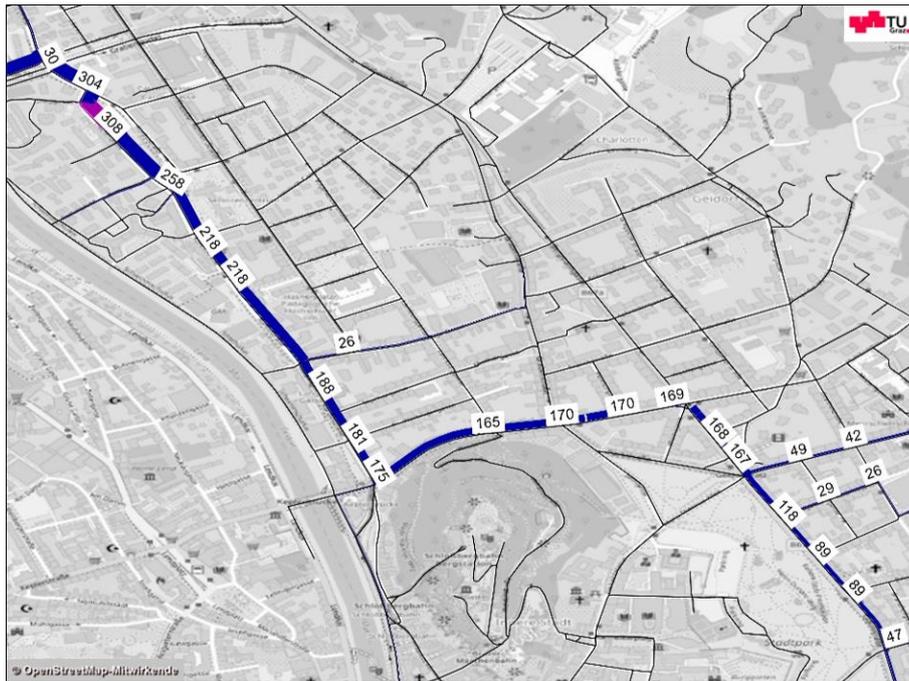


Abbildung 77: Streckenspinne Korösstraße – Planfall 2

Der maßgebliche Anteil des Verlagerungsverkehrs führt vom Geidorfplatz kommend über die Wickenburggasse in die Korösstraße und weiter auf die Kalvarienbrücke. Der durch die Wickenburggasse in die Korösstraße einbiegende Verkehr ist für beide Planfälle in etwa gleich. Im nördlichen Teil der Korösstraße ergibt sich eine Diskrepanz von rd. 30 Fahrzeugen zu Lasten des Planfalls 2. Diese Erhöhung im Planfall 2 ist durch die fehlende Alternative östlich der Bergmannsgasse zu erklären.



Abbildung 78: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße – Planfall 2

Ähnliches wie zuvor trifft auf die Theodor-Körner-Straße zu. Die Zuströme aus der Korösstraße und Laimburggasse verteilen sich etwas unterschiedlich, doch die ankommende Summe der beiden

Planfälle unterscheidet sich wiederum nur um 10 Fahrzeuge. Diese Differenz ist am Streckenende auf Höhe der Andritzer Maut ebenso vorhanden, somit ist die Verkehrsbelastung in der Theodor-Körner-Straße gegenüber Planfall 1 um 10 Kfz geringer. Verglichen mit dem Basisfall ergibt sich eine Erhöhung um 130 Fahrzeuge.

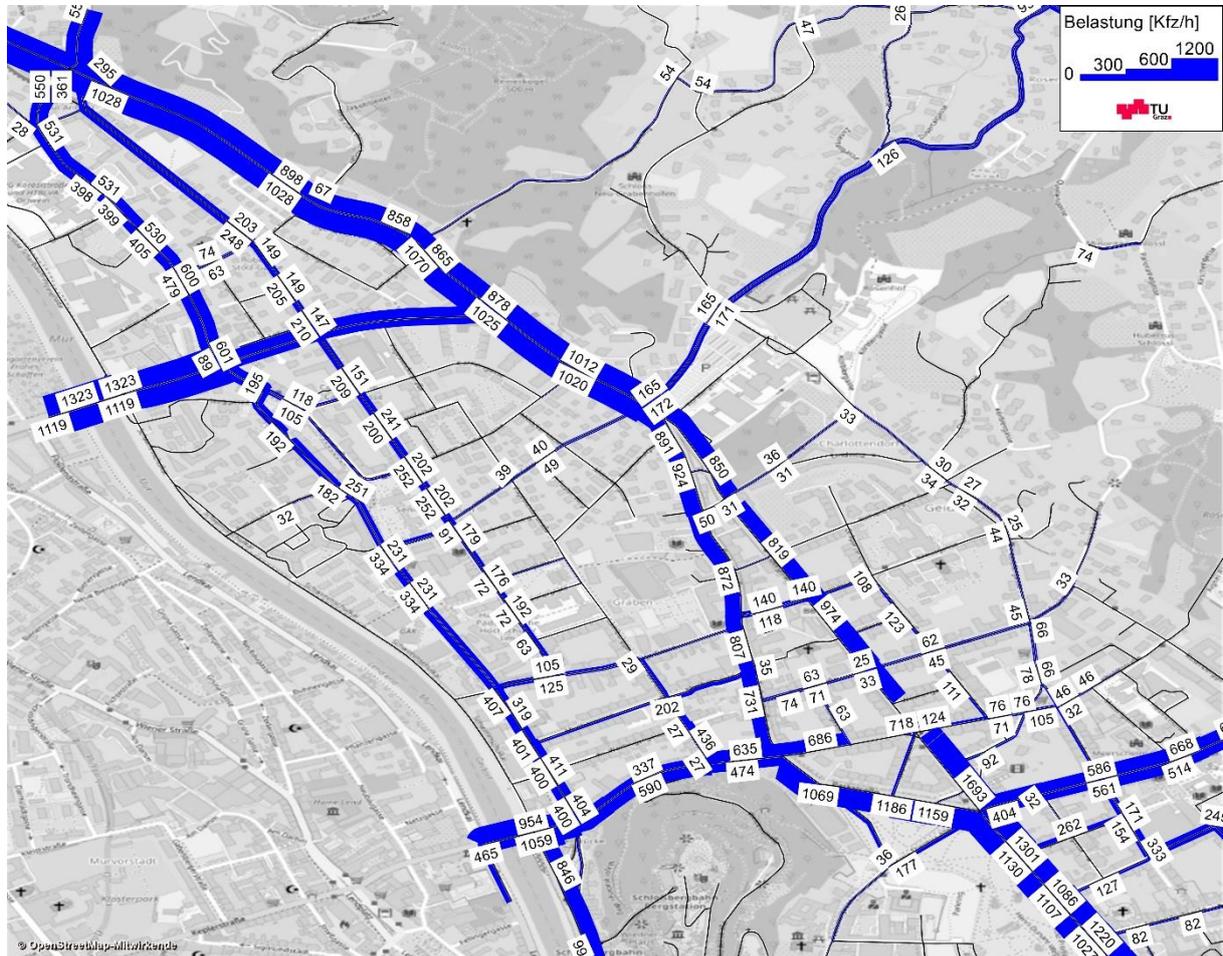


Abbildung 79: Verkehrsbelastung Planfall 2

Als Resultat sei zuletzt noch einmal der Planfall 2 dargestellt, welcher versucht den Umwegeverkehr über die Mozartgasse zu unterbinden. Abbildung 79 zeigt, dass diese Maßnahme eine Umgehung verhindert. Die Verkehrsbelastung in der Körblergasse bleibt somit auf ihrem Ursprungsniveau. Zudem erfolgt durch das Fahrverbot in der Mozartgasse eine Entlastung der Humboldtstraße östlich der Bergmannngasse. Die eigentliche Maßnahme, also die Kapazitätsbeschränkung der Bergmannngasse, führt zu einer Reduktion der Verkehrsbelastung von bis zu 400 Fahrzeugen. Dieser anfänglich große Rückgang verringert sich im Verlauf der Bergmannngasse jedoch bis auf rd. 140 Fahrzeuge. Als Hauptausweichroute dient die östlich der Bergmannngasse gelegene Korösisstraße, welche einen Zuwachs von rd. 100 Fahrzeugen erfährt. Daneben findet eine Umlagerung des Verkehrs in der Theodor-Körner-Straße statt. Einerseits wird der Zielverkehr von der Heinrich-Casper-Gasse in diese Straße nun von Süden her aus der Wickenburggasse angefahren. Andererseits wird der Quellverkehr nun über die Heinrich-Casper-Gasse in die Bergmannngasse geführt. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Verkehrszunahme der Korösi- bzw. Theodor-Körner-Straße den Verkehrsfluss nicht verschlechtert. Auf eine Beeinflussung der Straßenbahnlinien Richtung Andritz ist jedoch Bedacht zu nehmen.

5.2 Mikroskopische Modellergebnisse

In Kapitel 5.1 wurden mithilfe des makroskopischen Verkehrsmodells mögliche Verkehrsverlagerungen einer Kapazitätseinschränkung aufgezeigt. Die tatsächliche Kapazität der Bergmannngasse musste im Vorhinein über eine mikroskopische Verkehrssimulation ermittelt werden. Die Ergebnisse der Kapazitätsanalyse finden sich im ersten Teil dieses Unterkapitels.

Die auftretenden Be- und Entlastungen auf den einzelnen Strecken wurden über eine mikroskopische Verkehrssimulation eingehender bewertet. Als relevante Kenngrößen werden Wartezeiten, Halte oder der Level of service eines Fahrstreifens ermittelt. Hinsichtlich dieser verkehrlichen Kenngrößen liegt der Fokus auf den einzelnen Knoten sowie der Betrachtung der Buslinien, welche durch die Planmaßnahmen keine Verschlechterung erleiden sollen.

5.2.1 Kapazität Bergmannngasse

Wie in Kapitel 3.5.6 erklärt, ist die Reisezeit auf einem Streckensegment belastungsabhängig. Als Limitierung dient die Streckenkapazität, welche für Strecken mit freiem Fahrfluss bei 2000 Fahrzeugen pro Stunde und Fahrstreifen liegt. Innerorts reduziert sich die Kapazität beispielsweise durch Abbiegevorgänge, Radfahrer im Mischverkehr, Parkmanöver oder signalisierte Knoten. Im GUARD-Modell sind für die unterschiedlichen Streckentypen Kapazitäten hinterlegt, sodass beispielsweise eine Strecke mit einem Fahrstreifen mit einer 30 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung eine Kapazität von 600 Kfz/h aufweist. Diese Kapazitäten sind für die Modellierung im makroskopischen Bereich von hinreichender Genauigkeit, müssen jedoch für dieses hochauflösende Modell im Planungsgebiet angepasst werden.

Als Planungsgebiet fungiert die Bergmannngasse, welche im gegenständlichen GUARD-Modell mit einer Kapazität von 2000 Kfz/h ausgestattet ist. Im Hinblick auf eine Kapazitätsreduktion der Bergmannngasse würde das eine Kapazität von 1000 Kfz/h für einen Fahrstreifen ergeben. Bezogen auf die bestehende Verkehrsbelastung erfolgt danach viel Verlagerungsverkehr, da der Bergmannngasse diese Kapazitäten nicht zur Verfügung stehen. Um die tatsächlichen Kapazitäten der Bergmannngasse für zwei Fahrstreifen herauszufinden, sind zusätzlich die Parkvorgänge bzw. Abbiege- und Einbiegemanöver von Belangen, welche durch eine mikroskopische Verkehrsflusssimulation herausgefunden werden sollen. Dafür wurde das exportierte Teilnetz in VISSIM einer Kapazitätsanalyse unterzogen, welche in einem nachfolgenden Schritt wieder in das GUARD-Modell in VISUM rückgeführt wurde.

Für die Ermittlung der Kapazität der Bergmannngasse sind also die Parkvorgänge sowie Ab- und Einbiegemanöver relevant. Die Parkvorgänge werden gemäß Kapitel 4.1.1 modelliert. Die Ab- und Einbiegemanöver ergeben sich aus den statischen Fahrzeugrouten. Um die Kapazität herauszufinden, wird danach der Fahrzeugzufluss stromaufwärts solange variiert, bis sich die Kapazität an den definierten Messquerschnitten einstellt. Dafür werden in der Bergmannngasse fünf Messquerschnitte festgelegt, anhand welcher danach die Kapazität überprüft werden kann.



Abbildung 80: Messquerschnitte Kapazitätsanalyse Bergmannngasse

Nachfolgend ist eine Auflistung der Belastungen in der Bergmannngasse für den Basisfall bzw. Planfall dargestellt.

Tabelle 22: Belastungen Messquerschnitte Kapazitätsanalyse

Messquerschnitt	Basisfall		Planfall	
	LSA	ohne LSA	LSA	ohne LSA
BG1_HuS	2578	3141	1101	1272
BG2_FrS	2530	3118	1078	1255
BG3_KrG	2706	3206	1266	1427
BG4_RWG	2631	3154	1296	1465
BG5_LW	2609	3120	1272	1453

Die obenstehende Tabelle zeigt die über zehn Simulationen gemittelten Belastungen an den Messquerschnitten. Es wird dabei in Varianten unterschieden, wo die VLSA am Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße in oder außer Betrieb ist. Ein Blick auf die linke Seite zeigt die Ergebnisse für den Basisfall. Die Belastungen stellen die Kapazität der Bergmannngasse dar und ergeben für den Betriebsfall mit LSA am Messquerschnitt BG1_HuS direkt nach dem Knoten 503 einen Wert von 2578 Kfz/h. Dieser Messwert variiert entlang der Bergmannngasse minimal und kann mit rund 2600 Kfz/h angegeben werden. In einem nächsten Schritt wurde die LSA ausgeschaltet und der Zufluss über einen Bypass ins Netz geschickt. Es ergeben sich dabei höhere Werte mit einer durchschnittlichen Kapazität in der Bergmannngasse von 3100 Kfz/h. Diese Kapazität ist somit deutlich geringer als die theoretische Kapazität von 4000 Kfz/h bei freiem Verkehrsfluss. Die LSA 503 ist der limitierende Faktor für die Bergmannngasse, wodurch nur 2600 Kfz/h in die Bergmannngasse einfahren können.

Für den Planfall wurde die Bergmannngasse um einen Fahrstreifen reduziert, wobei die Anzahl und Lage der Parkplätze nicht geändert wurde. Für den Fall mit eingeschaltener LSA 503 ergibt sich eine Kapazität am Anfang der Bergmannngasse von 1101 Kfz/h. Die Kapazität erhöht sich stromaufwärts

sukzessiv und ergibt sich am Ende der Bergmannngasse mit 1272 Kfz/h. Diese Erhöhung entlang der Bergmannngasse kann auch für den Fall bei ausgeschaltener LSA 503 beobachtet werden. Ausgehend von einem Wert von 1272 Kfz/h am Anfang steigt die Belastung auf 1465 Kfz/h an und liegt somit auf einem höheren Niveau als mit eingeschaltener LSA. Diese Erhöhung im Verlauf der Bergmannngasse lässt sich einerseits durch den Effekt eines Flaschenhalses am Eingang der Bergmannngasse festmachen und andererseits an den einfahrenden Nebenströmen stromaufwärts bzw. den abfahrenden Parkern. Resultierend aus diesen Betrachtungen wurde die Kapazität in der Bergmannngasse für den Basisfall mit 3100 Fahrzeugen pro Stunde angegeben. Die Knotenwiderstandsberechnung in VISUM beinhaltet die Signalfreigabezeiten, wodurch die Streckenkapazität anhand der tatsächlichen Kapazität definiert wird. Für den Planfall wird die Kapazität auf 1300 Fahrzeuge pro Stunde aufgerundet.

5.2.2 Knoten - Level of Service

In diesem Abschnitt wird der Verkehrsablauf an den maßgebenden Knoten analysiert. Es werden die Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse, 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße sowie Knoten 504 – Geidorfplatz einer näheren Betrachtung unterzogen. Die Qualität des Verkehrsablaufs kann über den Level of Service (LOS) beschrieben werden. Die Bewertung unterscheidet sich für signalisierte bzw. nicht signalisierte Knoten und ist beispielsweise im HCM erläutert. Als wichtige Kenngrößen zur Ermittlung eines Level of Service dienen die mittlere Wartezeit sowie die Staulänge. Diese Kennzahlen werden an einem Knoten für jeden einzelnen Fahrstreifen ermittelt und danach über die anteiligen Belastungen auf die Zuflüsse bzw. den gesamten Knoten hochgerechnet. Die einzelnen Qualitätsstufen wurden bereits in Kapitel 3.5.6 erläutert. Im Gegensatz zu der Knotenwiderstandsberechnung mittels ICA, wo die Berechnung des LOS anhand empirischer Formeln erfolgt, kann über eine mikroskopische Verkehrssimulation der tatsächliche Verkehrsablauf simuliert werden. Nachfolgend sollen die verkehrlichen Kenngrößen für den Basisfall sowie für die Planfälle verglichen werden. Die vier wesentlichen Kenngrößen sind die mittlere sowie maximale Rückstaulänge und die mittleren Wartezeiten für den MIV und ÖV.

Simulationsvarianten

Das ausgeschnittene Netz beinhaltet alle wichtigen Streckenzüge im Planungsgebiet, wobei die bereits angesprochenen Knoten den Verkehrsablauf bestimmen. Der Netzaufbau wurde bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, weshalb in diesem Kapitel nur die Beschreibung der einzelnen Simulationsvarianten erfolgt. Es werden drei verschiedene Varianten modelliert. Die Druckknopfampeln in der Bergmannngasse bzw. der Parkstraße wurde in diesem Planungsstadium nicht berücksichtigt, da sie für den Verkehrsablauf nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Basisfall BF

Der Basisfall stellt die Referenz zu allen weiteren Untersuchungen dar und bildet das bestehende Verkehrsnetz im Planungsgebiet ab. Insbesondere die Knotengeometrie muss im Detail nachgebildet werden. Der Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse besitzt von Norden (Grabenstraße) kommend zwei Fahrstreifen, welche im Knotenbereich auf drei Fahrstreifen aufgeweitet werden. Neben den zwei Geradeausabbiegern steht ein Rechtsabbieger zur Verfügung. Zudem ist es dem Bus 39 möglich als Linksabbieger in die Humboldtstraße einzufahren. In der Wickenburggasse stehen drei Fahrstreifen zur Verfügung, wobei ein Fahrstreifen Richtung Westen und zwei Richtung Osten vorliegen. Der nach Osten fahrende MIV kann nur nach Süden auf die Parkstraße abbiegen, während den Buslinien 58 bzw. 63 ebenso die Humboldtstraße Richtung Osten zur Verfügung steht. Die Humboldtstraße ist Richtung Osten nur für Busse (Busstreifen) geöffnet. Richtung Westen liegt ein

Fahrstreifen Richtung Osten und ein Linksabbieger Richtung Süden vor. Folgt man nun der Parkstraße Richtung Süden bzw. Südosten weitet sich die Parkstraße nach der Kreuzung Parkstraße/Jahngasse auf drei Fahrstreifen auf. Diese Konstellation liegt am Knoten 504 – Geidorfplatz vor, wo zwei Fahrstreifen Richtung Süden (Glacis) abbiegen und ein Linksabbieger Richtung Osten (Heinrichstraße) vorliegt. Der westliche Arm Maria-Theresia-Allee besitzt drei Fahrstreifen. Der rechte Fahrstreifen stellt den Rechtsabbieger nach Süden (Glacis) dar und der linke die Abbiegerelation nach Osten (Heinrichstraße) bzw. Norden (Bergmannngasse). Der Zustrom Glacis besitzt vier Fahrstreifen. Zwei führen Richtung Süden und zwei Richtung Norden, wobei der rechte Fahrstreifen Richtung Norden ebenfalls als Rechtsabbieger in die Heinrichstraße dient. Die Heinrichstraße selbst besitzt einen Fahrstreifen nach Osten und eigentlich nur zwei Fahrstreifen Richtung Westen, wobei ein Fahrstreifen als Busstreifen dient. Erst im Knotenbereich erfolgt eine Aufweitung, sodass drei Fahrstreifen nach Westen zur Verfügung stehen. Ein Fahrstreifen als Linksabbieger Richtung Süden (Glacis) und zwei weitere Fahrstreifen nach Norden (Bergmannngasse) bzw. Westen (Maria-Theresia-Allee). Die nach Norden führende Bergmannngasse besitzt für den MIV zwei Fahrstreifen mit angrenzendem Busstreifen am Geidorfplatz. Nach Süden führt ein Busstreifen, welcher die Relationen Ost bzw. West bedient. Folgt man nun der Bergmannngasse Richtung Norden so gelangt man zu Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße. Die Relation nach Norden besitzt im Basisfall zwei Fahrstreifen, welche jeweils auch die Rechts- bzw. Linksabbiegerelationen bedienen. Die östliche Humboldtstraße besitzt zwei Fahrstreifen, welche im Knotenbereich auf drei Fahrstreifen aufgeweitet werden. Somit führt ein Fahrstreifen Richtung Westen bzw. Norden und der andere bedient den Linksabbiegeverkehr in die Wormgasse bzw. dem Busverkehr Richtung Süden (Bergmannngasse). Die eigentlichen Änderungen im Planfall betreffen danach die Bergmannngasse ab diesem Knoten, wobei im Referenzfall noch zwei Fahrstreifen zur Verfügung stehen. Die Humboldtstraße im Westen führt mit einem Fahrstreifen zum Knoten 502 und Richtung Osten gibt es nur einen Busstreifen für die Linien 58 bzw. 63. Die Wormgasse ist als Einbahnstraße Richtung Südwesten ausgeführt, wobei hier die Druckknopfampel nicht simuliert wurde, da diese für den Verkehrsablauf nicht relevant ist.

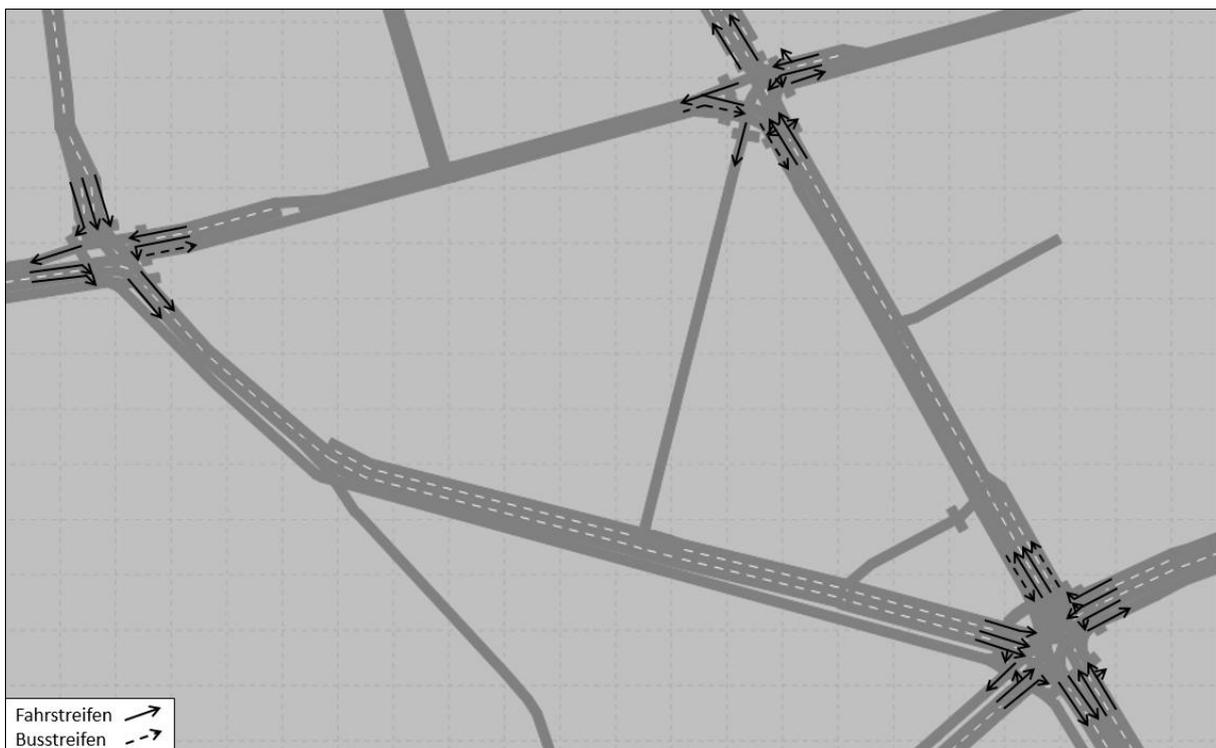


Abbildung 81: Fahrstreifenaufteilung Basisfall

Während der zehn Simulationsläufe wurden Daten gesammelt, welche in einem nächsten Schritt an den Knoten näher analysiert werden. Nachfolgend werden die wesentlichen Verkehrlichen Kenngrößen an den Knoten 502, 503 und 504 dargestellt.

Tabelle 23: Knoten 502 – LOS BF

BF									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Pkw Anzahl	Bus Anzahl	Pkw Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K14	W-O (Bus)		12		22	12	63	0,00	C
K14	W-S	528		23		12	63	0,83	C
K11	N-W	13		50		23	97	2,17	D
K11	N-O (Bus)		4		20	0	43	0,00	B
K11	N-S	700		32		23	95	0,84	C
K12	O-W	435	10	8	32	7	81	0,34	A
K12	O-S	36		17		7	81	3,21	B
Summe 502		1712	26	23	26	13	99	0,77	C

Für die Nachmittagsspitze wird am Knoten 502 das Programm S8 mit einer Umlaufzeit von 90 Sekunde verwendet. In der Tabelle werden die Abbiegerelationen (Signalgruppen) samt Strömen zur Definition verwendet. Als Ergebnisse stehen die Anzahl an Fahrzeugen sowie, Wartezeiten und Rückstaulängen und Level of Service (LOS) zur Verfügung. Von der Wickenburggasse kommend steht die Relation W-O nur dem Busverkehr zur Verfügung. Die Wartezeit beträgt rd. 22 Sekunden was in etwa der Relation W-S entspricht, da diese den Fahrstreifen teilen. Von Norden kommend ergibt sich für die Rechtsabbieger in die Wickenburggasse eine Wartezeit von 50 Sekunden, was einem LOS D entspricht. Positiver stellt sich die Lage für den Nord-Süd Verkehr dar, wo zwei Fahrstreifen zur Verfügung stehen, woraus eine Wartezeit von 32 Sekunden resultiert. Für den Verkehr auf der Humboldtstraße ist genügend Grünzeit vorhanden, wodurch sich keine großen Wartezeiten bzw. Rückstaulängen ergeben. In Summe ergibt sich somit für den Knoten 502 eine mittlere Wartezeit für Kfz von 23 Sekunden korrespondierend mit einem LOS C.

Tabelle 24: Knoten 503 – LOS BF

BF									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K13	S-N	1018	4	14	18	52	170	0,63	B
K13	S-O	8	4	17	4	16	172	0,9	B
K13	S-W	369	10	16	12	24	159	0,67	B
K12	O-N	165		72		42	158	1,9	E
K12	O-SW	102		57		42	158	1,32	E
K12	O-W	70		73		42	158	1,81	E
K12	O-S (Bus)		10		48	24	133	0	D
Summe 503		1731	28	25	24	31	192	0,85	C

Nun wird der Knoten 503 – Bergmannsgasse/Humboldtstraße analysiert, welcher für die Nachmittagsspitze ebenso eine Umlaufzeit von 90 Sekunden aufweist. Der Hauptstrom bildet sich aus den von Süden kommenden Fahrzeugen. Auf der Hauptrelation S-N werden 1018 Kfz mit einer Wartezeit von 14 Sekunden gezählt. Die anderen Relationen von Süden kommend stellen sich ähnlich dar, was durch die ähnlichen Wartezeiten und Rückstaulängen bestätigt wird. Für die von Osten kommenden Fahrzeuge stellen sich für die momentanen Signalzeiten relativ hohe Wartezeiten ein. Hier sei erwähnt, dass der Rechtsabbieger (O-N) bedingt verträglich geschaltet ist, wodurch sich eine verminderte Leistungsfähigkeit ergibt. Von der Humboldtstraße aus Osten kommend ergibt sich ein ähnliches Bild für alle Abbiegerelationen mit einem resultierenden LOS D bzw. Rückstaulängen von maximal 158 m. Insgesamt kommt es somit zu Wartezeiten von ca. 25 Sekunden bzw. einer mittleren Rückstaulänge von 31 m und einem LOS C.

Der Knoten 504 stellt für den gesamten Verkehrsablauf im Grazer Osten einen wichtigen Verkehrsknotenpunkt dar. Im Gegensatz zu der vereinfachten Festzeitsteuerung im makroskopischen Verkehrsmodell wird in der mikroskopischen Verkehrssimulation auch der öffentliche Verkehr in Form von Buslinien berücksichtigt. Daher ist es notwendig die Steuerung der LSA auf eine verkehrsabhängige Steuerung umzustellen. Dies rührt daher, da die von Norden kommenden Busse nur nach Anmeldung eine Bedarfsphase zugeteilt bekommen. Die Umlaufzeit wird konstant auf 90 Sekunden gehalten, sodass nach erfolgter Busanmeldung eine andere Phasenfolge stattfindet, welche das Passieren des Busses von Norden ermöglicht. Eine Beschreibung der Logik bzw. der Phasenübergänge findet sich in Kapitel 4.1.1 bzw. im Anhang. Nachfolgend werden die Ergebnisse des Knoten 504 mit verkehrsabhängiger Steuerung für den Basisfall dargestellt.

Tabelle 25: Knoten 504 – LOS BF

BF									
504 - Geidorfplatz									
Abbiegerelation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LOS
K15GR	NW-S	1034		35		481	512	0,9	C
K15L	NW-O	208		47		369	510	1,01	D
K15GR	NW-W	2		31		60	172	0,88	C
K13	S-W	12		78		369	510	1,74	F
K13	S-N	1048		76		481	512	1,71	E
K13	S-N (Bus)		4		106	481	512	0	F
K14	W-S	18		22		481	512	0,78	C
K14	W-O	108	4	33	52	6	45	0,81	C
K14	W-N	8		4		0	0	0,05	A
K12	O-N (Bus)		14		53	481	512	0	D
K12	O-S	177		318		481	512	8,79	F
K12	O-W	49		134		481	512	3,28	F
K12	O-N	325		133		481	512	3,59	F
Summe 504		2997	22	79	63	305	512	1,99	E

Einen Hauptstrom am Geidorfplatz stellt die Parkstraße von Nordwesten kommend dar. Der Großteil der Fahrten findet von Nordwesten nach Süden statt, wobei hier eine Wartezeit von 35 Sekunden auftritt. Für den Linksabbieger in die Heinrichstraße ergeben sich aufgrund anderer Grünzeiten längere

Wartezeiten, resultierend in LOS D. Einen weiteren wichtigen Strang bildet der Glacis, wo der stadtauswärts fahrende Verkehr aufgrund der hohen Belastungen sehr große Wartezeiten aufweist. Dies betrifft ebenso die Buslinie 39, welche sich ebenfalls durch sehr große Wartezeiten kennzeichnet. Einen geringen Verkehrsanteil hat der Strang der Maria-Theresia-Allee, wobei hier ein LOS C erreicht wird. Die größten Wartezeiten und größten Rückstaulängen treten in der Heinrichstraße auf. Dies betrifft vor allem den Linksabbieger Richtung Glacis, was einerseits daran liegt, dass diesem Linksabbieger eine hohe Belastung zugrunde liegt und andererseits weil diese Relation bedingt verträglich mit dem Geradeausverkehr aus der Maria-Theresia-Allee kommend ausgeführt wird. Aber auch die anderen Relationen weisen sehr hohe Wartezeiten auf und resultieren in einen LOS F. Gesamt betrachtet ergibt sich somit für den Knoten 504 eine mittlere Wartezeit von 79 Sekunden und LOS E.

Für den Basisfall bleibt somit festzuhalten, dass der Verkehr an Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse mit geringer Wartezeit abgeführt werden kann. Bei Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße treten in der Heinrichstraße größere Wartezeiten aufgrund erhöhter Belastungen auf. Diese erhöhten Belastungen resultieren aus dem Umwegeverkehr über die Mozartgasse. Für den Knoten 504 – Geidorfplatz bildet der Zustrom Heinrichstraße das größte Problem. Die übernommenen Belastungen können nur durch lange Wartezeiten bzw. große Rückstaulängen abgeführt werden.

Planfall 2-1

Planfall 2-1 baut auf dem makroskopischen Planfall 2 auf. Es werden die Belastungen aus dem Planfall 2 verwendet. Als Konsequenz der Reduktion der Streckenkapazität in der Bergmannngasse ab Knoten 503 folgt ein höheres Verkehrsaufkommen auf der Humboldtstraße Richtung Westen. Zudem erfolgt eine Entlastung des Knotens 503 von Osten kommend, da der Umwegeverkehr über die Mozartgasse verhindert wird. Änderungen zum Basisfall betreffen somit die Bergmannngasse, wo die Fahrstreifenanzahl reduziert wird. Die angrenzenden Parkstreifen bleiben jedoch erhalten. Die gewonnene Fläche wird für einen Zweirichtungsweg am westlichen Rand verwendet, wobei der Anschluss zur Radroute entlang des Stadtparks über die Wormgasse erfolgt. Richtung Norden verläuft der Radverkehr entgegen der Einbahn am Mehrzweckstreifen. Nach Süden fließt der Radverkehr in der Wormgasse, welche im Wesentlichen als Parkstraße fungiert, im Mischverkehr. Der Übergang an der Parkstraße wurde hier ungeregelt durchgeführt, obwohl sich bereits eine signalgesteuerte Druckknopfampel befindet. Die Freigabezeit orientiert sich am Knoten 504, womit diese LSA für den Verkehrsablauf keinen Einfluss hat. Die Fahrstreifenaufteilung wird im Gegensatz zum Planfall ansonsten nicht verändert. Dadurch kommt es zu keinen geometrischen Veränderungen an den Knoten 502 und 504. Lediglich die Belastungen ändern sich aufgrund der adaptierten Verkehrsumlegung aus dem Makromodell.

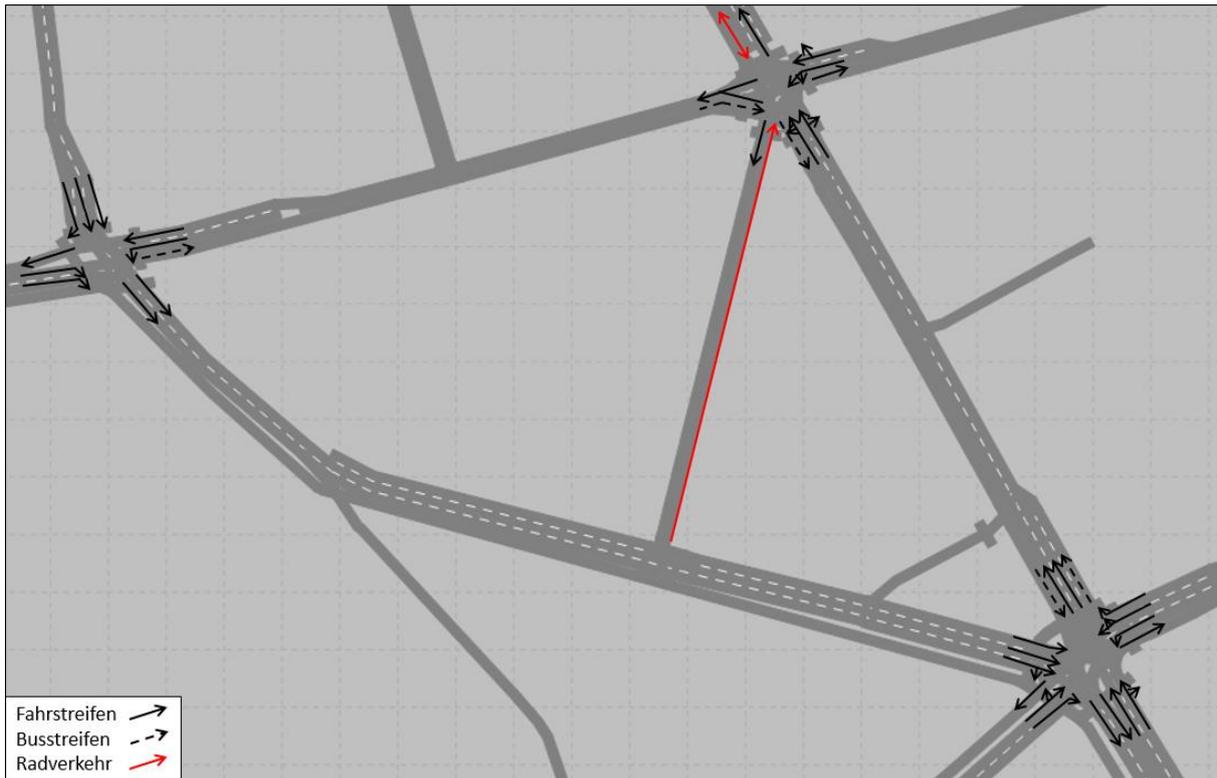


Abbildung 82: Fahrstreifenaufteilung Planfall 2-1

Am Knoten 503 ist eine Adaptierung des Signalzeitenplanes erforderlich, um den von der Wormgasse kommenden Radverkehr auf den neu errichteten Radweg in die Bergmannngasse zu führen. Aufgrund der ausreichend vorhandenen Kapazitäten wurde eine Phase eingeführt, welche das Einfahren von Radverkehr in die Kreuzung 503 ermöglicht. Die Signalgruppen R53 und R55 sind im Signalprogramm S8 der Stadt Graz bereits vorhanden, die Signalgruppe R56_m wird neu hinzugefügt. Im Allgemeinen kann das Signalprogramm S8 am Knoten 503 in zwei Phasen unterteilt werden. Während der ersten Phase erhält der von Süden kommende Verkehr die Freigabe. In der zweiten Phase kann der aus Osten kommende Verkehr die Kreuzung passieren. Im Planfall 2-1 werden die Signalzeiten dahingehend verändert, dass eine neue nur für Radfahrer zur Verfügung stehende Freigabezeit eingeführt wird. Die beiden Phasen für den MIV werden gekürzt, sodass sich für die Signalgruppe R56_m eine Freigabezeit von 12 Sekunden ergibt.

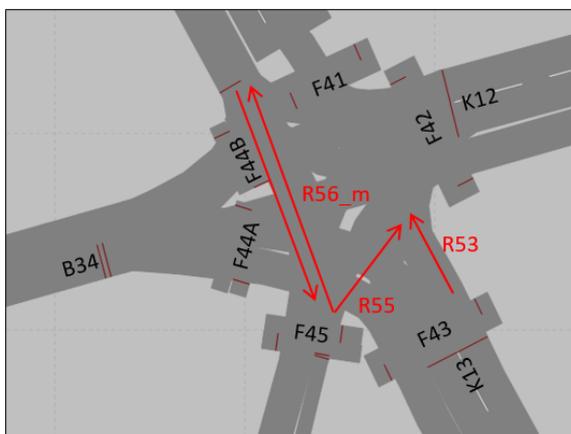


Abbildung 83: Signalgruppen Knoten 503 – PF2-1

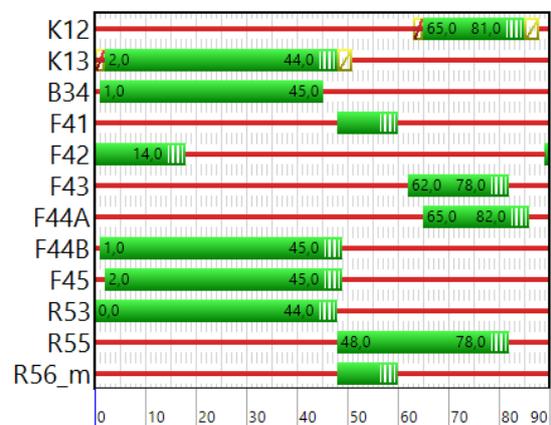


Abbildung 84: Signalzeiten Knoten 503 – PF2-1

Aufgrund der adaptierten Belastungen ergeben sich andere Wartezeiten an den Knoten, welche in den nachfolgenden Darstellungen diskutiert werden.

Tabelle 26: Knoten 502 – PF2-1 LOS

PF2-1									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K14	W-O (Bus)		12		21	10	54	0	B
K14	W-S	470		20		10	54	0,75	C
K11	N-W	13		39		24	108	1,7	D
K11	N-O (Bus)		4		23	18	58	0	C
K11	N-S	728		33		24	107	0,84	C
K12	O-W	604	10	13	34	16	173	0,42	B
K12	O-S	62		23		16	173	2,93	C
Summe 502		1876	26	23	26	17	174	0,76	C

Von der Wickenburggasse kommend ergibt sich für den Rechtsabbieger in die Parkstraße eine Wartezeit von rd. 20 Sekunden und somit LOS C. Für den Zustrom von der Grabenstraße aus Norden zeigt sich für den Linksabbieger N-W ein ähnliches Bild wie beim Basisfall mit einer Wartezeit von 39 Sekunden. Der Geradeausverkehr Richtung Süden mit 728 Fahrzeugen weist eine mittlere Rückstaulänge von 24 m und eine Wartezeit von 33 s auf. Für diesen Zustrom ergibt sich mit Ausnahme der Nord-West Relation ein LOS C. Somit bleibt noch die Humboldtstraße, welche nun eine höhere Verkehrsbelastung aufweist. Anstelle von 435 Fahrzeugen im Basisfall fahren nun 604 Fahrzeuge Richtung Westen. Die Wartezeit erhöht sich nur unweigerlich von 8 auf 13 s. Ebenso kommt es zu einer leichten Erhöhung der Belastung auf dem Linksabbieger, was in einer Erhöhung der Wartezeiten und Rückstaulängen resultiert. Auf den gesamten Knoten betrachtet, bringt das eine höhere Verkehrsbelastung mit 1876 Fahrzeugen am Knoten. Die verkehrlichen Kenngrößen bleiben jedoch im Gegensatz zum Basisfall gleich.

Beim Knoten 503 sollten sich auch höhere Belastungen auf der Bergmannngasse von Süden kommend ergeben.

Tabelle 27: Knoten 503 – LOS PF2-1

PF2-1									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K13	S-N	842	4	21	19	28	194	0,67	C
K13	S-O	9	5	26	22	61	191	0,91	C
K13	S-W	652	10	26	29	78	173	0,92	C
K12	O-N	1		26		6	50	0,75	C
K12	O-SW	122		31		6	50	0,81	C
K12	O-W	12		28		3	50	0,74	C
K12	O-S (Bus)		10		21	0	25	0	C
Summe 503		1639	29	24	24	22	195	0,78	C

Die Belastungen auf den Relationen zeigen den Einfluss der geänderten Abbiegeverhältnisse. Aufgrund der Fahrstreifenreduktion in der Bergmannngasse fahren nur mehr 842 Fahrzeuge von Süden kommend in die Bergmannngasse ein. Die Wartezeit erhöht sich gegenüber dem Basisfall auf 21 Sekunden, was einem LOS C entspricht. Die Relation S-O weist nur ein geringes Verkehrsaufkommen auf und spielt somit nur eine untergeordnete Rolle. Anders verhält es sich für den Linksabbieger in die Humboldtstraße nach Westen, welcher einerseits eine höhere Belastung erfährt und andererseits höhere Wartezeiten aufweist. Im Gegensatz zum Basisfall ändert sich die Wartezeit von 16 auf 26 s. Der Zustrom von der Bergmannngasse ändert sich somit von LOS B auf LOS C im Planfall 2-1. Für den Zustrom auf der Humboldtstraße verhält es sich genau umgekehrt. Hier kommt es aufgrund der Sperre der Mozartgasse zu einer Entlastung, wodurch geringe Wartezeiten auf der Humboldtstraße entstehen. Die Relationen O-N bzw. O-W werden stark entlastet, wodurch sich die Wartezeit fast halbiert. Die Wartezeit für diesen Zustrom liegt bei rd. 30 s und einer maximalen Rückstaulänge von 50 m. Somit ergibt sich hier ein LOS C. Betrachtet man den gesamten Knotenpunkt 503 so ergibt sich für den Zustrom Bergmannngasse eine rd. 10 s längere Wartezeit aufgrund der erhöhten Belastung und für den Zustrom Humboldtstraße ein besserer LOS aufgrund der geringeren Belastung. In beiden Fällen resultiert daraus ein Gesamt-LOS C. Die Einführung einer zusätzlichen Phase für den Radverkehr wirkt sich somit nicht negativ aus, da die Gesamtwartezeiten bzw. durchschnittlichen Rückstaulängen gleich bleiben.

Tabelle 28: Knoten 504 – LOS PF2-1

PF2-1									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LOS
K15GR	NW-S	1017		35		478	507	0,92	D
K15L	NW-O	191		45		311	506	0,9	D
K15GR	NW-W	1		42		59	178	1,38	D
K13	S-O	21		71		311	506	1,69	E
K13	S-N	1110		73		467	497	1,83	E
K13	S-N (Bus)		5		97	467	497	0	F
K14	W-S	20		24		478	507	0,85	C
K14	W-O	155	4	35	51	10	70	0,87	D
K12	O-N (Bus)		15		84	450	485	0	F
K12	O-S	111		166		448	478	4,48	F
K12	O-W	10		214		448	478	5,01	F
K12	O-N	377		218		450	485	5,34	F
Summe 504		3012	24	78	81	295	512	1,96	E

Betrachtet man den Knoten 504, so ergibt sich folgendes Bild. Von der Parkstraße kommend ändert sich im Wesentlichen nicht viel. Die Belastungen und auch die Wartezeiten fallen ähnlich aus. Vom Glacis kommend treten erhöhte Belastungen beim Geradeausverkehr auf. Die Rückstaulängen bzw. Wartezeiten verhalten sich jedoch vergleichbar zu jenen des Basisfalls. So treten rund 70 s Wartezeit auf, was einem LOS E entspricht. Der untergeordnete Zustrom Maria-Theresia-Allee erfährt mit 24 bzw. 35 s keine nennenswerte Veränderung der Wartezeit gegenüber des Basisfalls. Die höchste relative Belastung tritt erneut in der Heinrichstraße auf, wo aufgrund des Fahrverbotes in der Mozartgasse

und Bergmannsgasse in die Heinrichstraße zu fahren, sollen diese Linien nun über die Parkstraße geführt werden. Dadurch müssen die Haltestellen Grabenstraße und Geidorfplatz umgelegt werden. Die Haltestelle Grabenstraße wird in die Jahngasse verlegt und die Haltestelle am Geidorfplatz wird am linken Fahrbahnrand in der Parkstraße situiert. Die Haltestelle Wormgasse entfällt. Für die Buslinie 41 Richtung Süden ergibt sich die gleiche Änderung wie für die beiden vorher genannten Linien. Durch die Führung über die Parkstraße ergibt sich eine kürzere Strecke, jedoch fällt die Haltestelle Wormgasse weg. Für die Buslinien 30 und 39 von der Humboldtstraße aus Osten kommend ergibt sich folgende Änderung. Anstatt in die Bergmannsgasse einzubiegen, werden diese Linien über die Wormgasse in die Parkstraße und weiter über die neue Haltestelle Geidorfplatz geführt. Die Haltestelle Wormgasse in der Bergmannsgasse wird in die Wormgasse verlegt. Neben der Verlagerung von Linien kommt es zu Adaptierungen am Knoten 504.

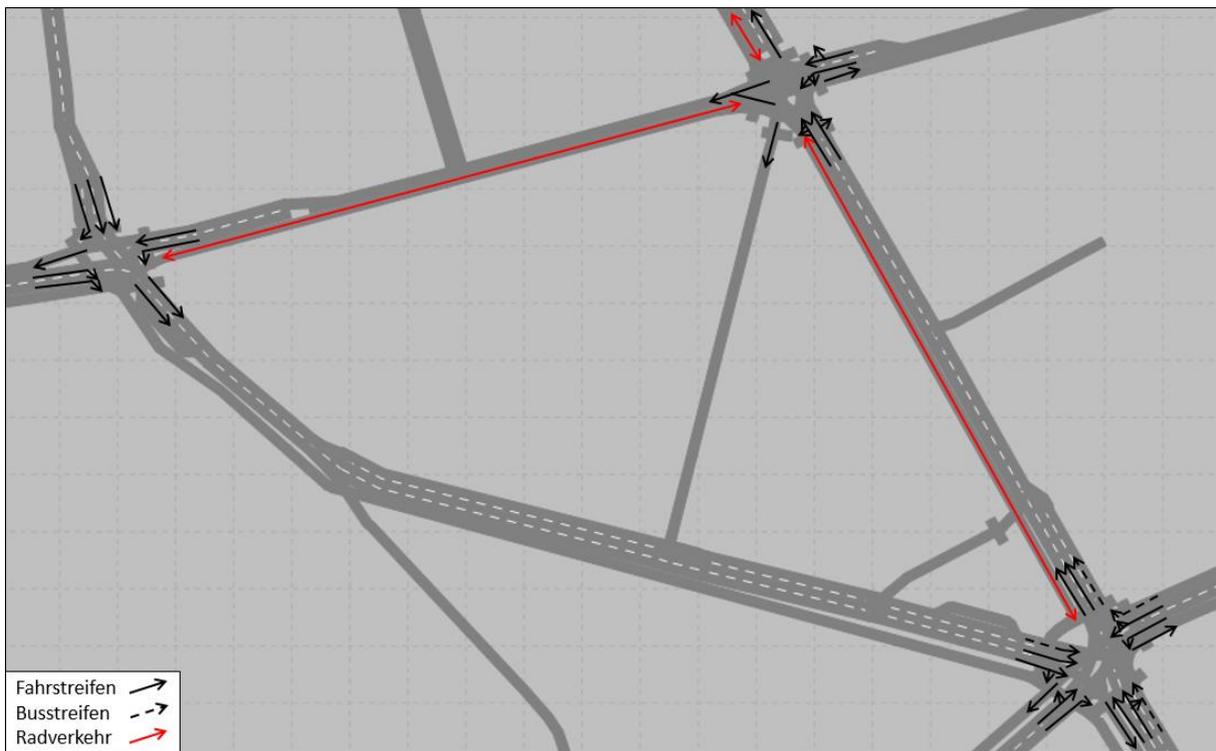


Abbildung 86: Fahrstreifenaufteilung PF2-2

In der Humboldtstraße wird durch den Entfall des Busstreifens Richtung Osten Platz für einen Zweirichtungsradweg frei. Für den Knoten 502 wird keine Änderung am Signalprogramm vorgenommen. Es wird angenommen, dass der querende Radverkehr gemeinsam mit dem Fußgängerübergang geschaltet wird. Am Beginn der Parkstraße wird eine Haltestelle für die nach Süden fahrenden Buslinien eingefügt. Die Aufweitung auf drei Fahrstreifen wird in diesem Planfall nicht durchgeführt. Stattdessen wird der linke Fahrstreifen als Busstreifen verwendet, da dieser am Knoten 504 um eine Haltestelle erweitert wird. Am Knoten 504 steht dem MIV somit ein Fahrstreifen weniger zur Verfügung. Der rechte Fahrstreifen bedient die Relation NW-S (Glacis) und NW-W und der linke Fahrstreifen den Linksabbieger in die Heinrichstraße. Am Glacis werden die Fahrstreifen ebenfalls neu aufgeteilt. Nach Süden steht nur mehr ein Fahrstreifen zur Verfügung, wodurch sich drei Fahrstreifen nach Norden ergeben. Zwei Fahrstreifen für den MIV samt Rechtsabbieger in die Heinrichstraße und ein Busstreifen für die Linie 39 nach Norden. Für den Zustrom Heinrichstraße soll der Busstreifen bis an die Haltelinie vorgezogen werden. Damit soll die Wartezeit am Knoten für Busse reduziert werden. Dem gegenüber steht jedoch nur mehr ein Fahrstreifen für die Relation O-N zur Verfügung, welche

den Hauptanteil dieses Zustroms darstellt. Durch den Entfall der Bedarfsphase für Busse von Norden ergibt sich auch eine Änderung im Signalprogramm. Vereinfacht soll deshalb das Festzeitprogramm S8 der Stadt verwendet werden. Für den Radverkehr wird hier keine eigene Signalzeit definiert. Am Knoten 503 ergibt sich eine Änderung insofern, als dass der Radverkehr nun aus der Bergmannngasse kommt und nicht aus der Wormgasse. Es wird für diesen Planfall ebenfalls das in PF2-1 gezeigte Signalprogramm verwendet.

Tabelle 29: Knoten 502 – LOS PF2-2

PF2-2									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K14	W-S (Bus)		12		21	10	54	0	C
K14	W-S	470		20		10	54	0,81	C
K11	N-W	14		40		25	107	1,71	D
K11	N-S (Bus)		4		40	25	106	0	C
K11	N-S	729		33		25	106	0,85	C
K12	O-W	576	10	11	43	14	105	0,46	B
K12	O-S	57		19		14	105	1,01	C
Summe 502		1845	26	23	32	15	118	0,73	C

Am Knoten 502 ergibt sich für den aus Osten kommenden Verkehr keine Veränderung. Die Wartezeit beträgt rd. 20 s. Das gleiche Bild zeigt sich von Norden kommend. Lediglich für die Buslinie 41 ergibt sich eine längere Wartezeit. Für den Zustrom aus der Humboldtstraße ist eine verringerte Belastung gegenüber PF2-1 präsent. Diese geringere Belastung rührt aus einem geringeren Zustrom von Knoten 504. Dadurch ergibt sich auch eine kürzere Wartezeit von 11 Sekunden. Gesamt betrachtet, stellt sich eine mittlere Wartezeit von 23 s ein, wobei in diesem Fall etwas weniger Fahrzeuge als bei PF2-1 den Knoten passieren.

Tabelle 30: Knoten 503 – LOS PF2-2

PF2-2									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K13	S-N	812	4	16	24	16	186	0,54	B
K13	S-O	9	5	17	35	31	189	0,58	C
K13	S-W	624	10	20	23	44	169	0,72	C
K12	O-N	1		27		0	0	0,81	C
K12	O-SW	122		30		7	57	0,76	C
K12	O-W	12		28		4	57	0,77	C
Summe 503		1579	29	19	28	13	193	0,63	C

Bei diesem Knoten sollte sich im Gegensatz zu PF2-1 nicht viel ändern, da die gleichen Belastungen angenommen wurden. Es treten geringere Belastungen auf, da die Leistungsfähigkeit des Knotens 504 sinkt. Die Relation S-N wird daher anstatt von 842 Fahrzeugen bei PF2-1 nur mehr von 812 befahren.

Für den Linksabbiegeverkehr in die Humboldtstraße verhält es sich ähnlich, wo nun 624 anstatt 652 Fahrzeuge diese Relation befahren. Dadurch ergeben sich kürzere Wartezeiten. Der von Osten kommende Verkehr ist ident mit jenem aus PF2-1. Für den ganzen Knoten ergibt sich somit eine etwas geringere Fahrzeuganzahl, wobei sich dadurch die Wartezeiten und Rückstaulängen etwas reduzieren.

Tabelle 31: Knoten 504 – LOS PF2-2

PF2-2									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LOS
K15GR	NW-S	1011		22		1	74	0,85	C
K15L	NW-O (Bus)		21		54	32	171	0	E
K15L	NW-O	189		42		3	128	1,14	D
K15GR	NW-W	1		27		85	231	1,25	C
K13	S-O	22		1		3	128	0,14	A
K13	S-N	1194		24		474	497	1,32	C
K13	S-N (Bus)		5		55	474	497	0	D
K14	W-S	18		17		1	74	0,84	B
K14	W-O	153	4	26	16	7	62	0,71	C
K14	W-N	0		0		0	4	0	A
K12	O-N (Bus)		14		52	474	497	0	D
K12	O-S	71		136		455	478	3,85	F
K12	O-W	4		294		455	478	7,01	F
K12	O-N	235		341		455	478	8,18	F
Summe 504		2919	44	53	50	137	512	1,72	D

Am Geidorfplatz wurden für diese Variante einige Adaptierungen vorgenommen. In der Parkstraße sollten keine wesentlichen Änderungen auftreten. Die Wartezeit Richtung Süden ist geringer als bei den anderen Fällen obwohl ein Fahrstreifen weniger zur Verfügung steht. Für den Linksabbieger in die Heinrichstraße ergibt sich mit einer Wartezeit von 42 s ein ähnlicher Wert. Von Süden kommend zeigt sich der Entfall der Busbedarfsphase. Hier passieren 1194 Fahrzeuge die Relation S-N gegenüber 1110 bei PF2-1. Trotzdem reduziert sich die Wartezeit. Dasselbe gilt für die Buslinie 39 nach Norden, welche aufgrund des Busstreifens eine verringerte Wartezeit aufweist. Für den Zustrom Maria-Theresia-Allee gilt Gleiches wie zuvor. Hier ändert sich im Wesentlichen nichts, die Belastungen sind im Gegensatz zu den anderen Relationen sehr gering. Für den Zustrom Heinrichstraße kann aufgrund des vorgezogenen Busstreifens eine Verbesserung der Wartezeit erzielt werden. Dies geht jedoch zu Lasten der Relationen O-N bzw. O-W, welche eine massive Verschlechterung erfahren. Aufgrund der langen Wartezeit kann der Linksabbieger nicht mehr ausreichend bedient werden, was sich in einer reduzierten Belastung sowie geringeren Wartezeiten niederschlägt. Insgesamt passieren in diesem Planfall am wenigsten Fahrzeuge den Knoten 504. Es ergibt sich dadurch ein besserer LOS, was jedoch auch auf die günstigeren Signalzeiten zurückzuführen ist.

Gesamt betrachtet, ergibt sich für diesen Planfall bei Knoten 502 keine wesentliche Änderung obwohl der Knoten umorganisiert wurde. Bei Knoten 503 treten geringere Belastungen auf, was in kürzeren Wartezeiten resultiert. Die Minderbelastungen kommen aus der geringeren Leistungsfähigkeit des Knoten 504, wo ebenso in diesem Planfall die geringste Fahrzeuganzahl auftritt. Generell verbessert

sich die Situation an diesem Knoten, nur in der Heinrichstraße führt der Wegfall des zweiten Rechtsabbiegestreifens zu massiven Verzögerungen.

Planfall 2-3

Dieser Planfall soll das Beste aus den beiden gezeigten Planungsvarianten vereinen. Die grundlegende Verkehrsstruktur baut auf dem Planfall 2-2 auf. Das heißt, dass die Buslinienführung geändert wird und der Radverkehr über die Bergmannngasse bis zum Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße geführt wird. Lediglich die Fahrstreifenaufteilung bei Knoten 504 – Geidorfplatz wird im Gegensatz zu Planfall 2-2 abgeändert. Die Fahrstreifenaufteilung in der Heinrichstraße wird wieder so geführt, dass zwei Rechtsabbieger Richtung Bergmannngasse zur Verfügung stehen. Dies entspricht somit der ursprünglichen, heute bestehenden Verkehrsführung in der Heinrichstraße. Aufgrund der Sperre in der Mozartgasse ergibt sich eine erhöhte Verkehrsnachfrage in der Heinrichstraße, wobei dieser Verkehr mehrheitlich nach Norden fahren möchte. Daraus ergibt sich der Bedarf des zweiten rechten Abbiegestreifens. In Planfall 2-2 sollte das Vorziehen des Busstreifens einerseits die Platzierung einer Haltestelle in der Heinrichstraße bzw. eine geringere Wartezeit für die Buslinien ermöglichen. Dadurch kommt es jedoch zu einer drastischen Erhöhung der Wartezeiten bzw. wird auch die Verkehrsleistung am Geidorfplatz verringert. In diesem Planfall soll diesem Effekt gegengesteuert werden und die positiven Effekte der anderen Änderungen trotzdem erhalten bleiben.

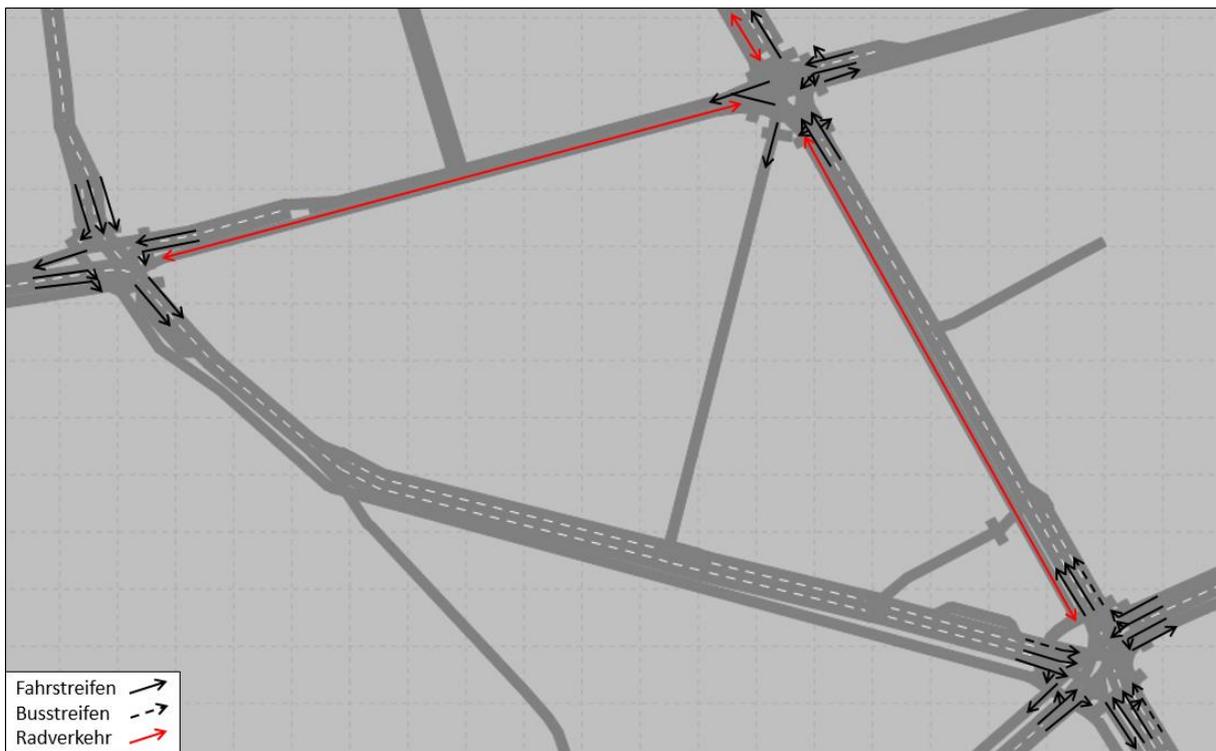


Abbildung 87: Fahrstreifenaufteilung PF 2-3

Aus Planfall 2-2 lässt sich ebenso eine Adaptierung des Signalprogrammes für den Knoten 504 ableiten. Auf den Zuströmen Parkstraße und Glacis kommt es zu geringen Wartezeiten bzw. ist ein guter Verkehrsfluss gegeben. In diesem Planfall sollen die Wartezeiten etwas besser ausgeglichen werden bzw. ein höherer Verkehrsfluss in der Heinrichstraße erreicht werden. Die erste Phase des Signalprogrammes, welche die Relationen NW-S, NW-W, NW-O bzw. S-O und S-N bedient, wird um drei Sekunden gekürzt und der zweiten Phase hinzugefügt.

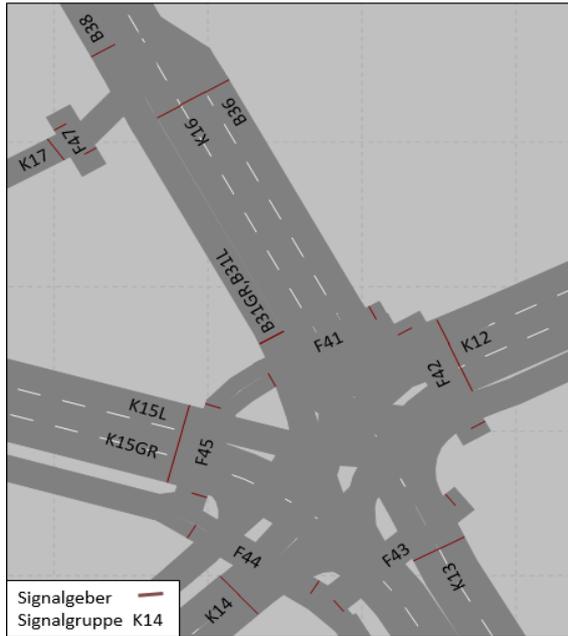


Abbildung 88: Signalgruppen Knoten 504 – PF2-3

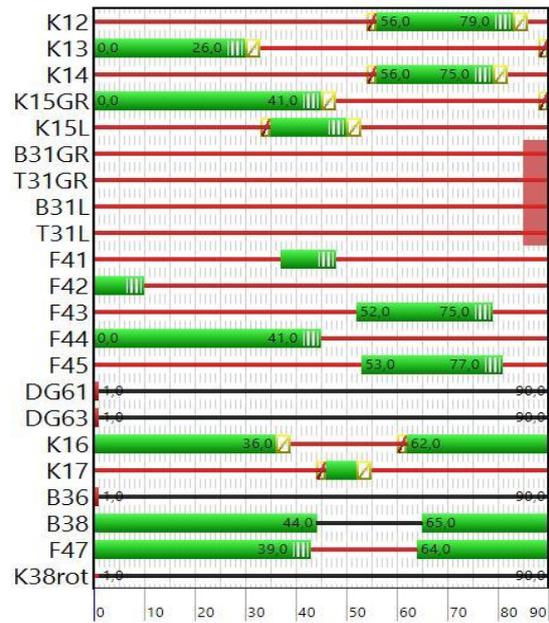


Abbildung 89: Signalzeiten Knoten 504 PF2-3

Die Kürzung der Grünzeit betrifft vorrangig die Signalgruppen K13 und K15, welche drei Sekunden an die Signalgruppe K12 bzw. K14 abgibt. Zudem werden der Signalgruppe K14 am Ende der Freigabezeit fünf Sekunden abgezogen. Einerseits kann diese Reduktion der Grünzeit aufgrund der geringen Belastung verantwortet werden und andererseits soll somit eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Linksabbiegers aus der Heinrichstraße erfolgen, da dieser als bedingt verträglicher Verkehrsstrom ausgeführt ist. Wie beim vorherigen Planfall wird der aus Norden kommende Busverkehr über die Parkstraße geführt und eine neue Haltestelle beim Geidorfplatz eingefügt. Die Busse verfügen über keine priorisierte Freigabezeit sondern werden mit der Signalgruppe K15L mitgesteuert. Die Konfliktfläche der Buslinie 30, welche im Gegensatz zu den anderen Buslinien nicht in die Heinrichstraße, sondern die Maria-Theresia-Allee fährt, kann über die angepasste Signalzeit erreicht werden. Diese wurde jedoch in diesem Modell nicht berücksichtigt, da sie auf die Leistungsfähigkeit des Knotens keinen relevanten Einfluss haben sollte.

Tabelle 32: Knoten 502 – LOS PF2-3

PF2-3									
502 - Wickenburggasse/Grabenstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K14	W-S (Bus)		12		23	10	56	0	C
K14	W-S	469		21		10	56	0,87	C
K11	N-W	12		45		35	137	1,81	D
K11	N-S (Bus)		4		54	34	136	0	D
K11	N-S	715		44		34	136	1,21	D
K12	O-W	626	10	11	31	16	148	0,47	B
K12	O-S	64		23		16	148	1,14	C
Summe 502		1887	26	27	31	19	168	0,88	C

Aus der Wickenburggasse ergibt sich keine Veränderung für diesen Planfall. Die Wartezeit beträgt 21 s und die Fahrzahl 469 Kfz/h. Aus der Grabenstraße ergeben sich gegenüber den anderen Planfällen größere Wartezeiten. Dies resultiert aus den geänderten Signalzeiten bei Knoten 504, wo eine Kürzung der Freigabezeit erfolgte. An der Anzahl nach Süden fahrenden Fahrzeuge ändert sich nicht viel, sie reduziert sich von rd. 730 auf 715 Fahrzeuge. Für den Zustrom aus der Humboldtstraße ergibt sich eine größere Belastung von 626 Kfz/h, welche vor allem aus der verbesserten Leistungsfähigkeit des Knoten 504 resultiert. Trotz der höheren Belastung kommt es zu keinen längeren Wartezeiten. Das Gleiche gilt für den Linksabbieger in die Parkstraße. Für den gesamten Knoten folgt demnach eine mittlere Wartezeit von 27 s, welche rund 4 s über dem Basisfall bzw. den anderen Planfällen liegt. Ebenso sind auch die Rückstaulängen geringfügig größer, ein Level of Service C stellt sich somit ein, wobei hier die Gesamtanzahl der Fahrzeuge pro Stunde 1887 beträgt.

Tabelle 33: Knoten 503 – LOS PF2-3

PF 2-3									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LOS
K13	S-N	879	4	17	12	24	197	0,64	B
K13	S-O	9	5	19	27	64	194	0,85	C
K13	S-W	680	11	22	30	75	175	0,85	C
K12	O-N	1		27		0	0	0,81	C
K12	O-SW	122		30		7	57	0,76	C
K12	O-W	12		28		4	57	0,77	C
Summe 503		1704	29	20	27	21	199	0,73	C

Für den Knoten 503 ergibt sich aufgrund der höheren Verkehrsleistung am Knoten 504 ebenfalls eine größere Verkehrsbelastung. Diese schlägt sich jedoch nicht auf die Wartezeiten und Rückstaulängen nieder. Für die verkehrsstarke S-N-Relation ergibt sich eine Wartezeit von 17 s, was einer Erhöhung gegenüber dem Basisfall von 3 s entspricht. Eine maßgebliche Erhöhung der Belastung ist am Linksabbieger in die Humboldtstraße präsent, wo 680 Kfz/h gezählt wurden. Die korrespondierende Wartezeit von 22 s ist gegenüber den anderen Planfällen geringer und gegenüber dem Referenzfall nur 6 s höher. Aus der Humboldtstraße von Westen kommend ergibt sich aufgrund der Sperre der Mozartgasse wieder das gewohnte Bild mit geringen Belastungen und kleinen Wartezeiten. Betrachtet man den gesamten Knoten, so kann eine Fahrzeuganzahl von 1704 festgestellt werden, welche nur unweigerlich kleiner als die des Referenzfalls ist bzw. größer als die der anderen Planfälle ist.

Tabelle 34: Knoten 504 – LOS PF2-3

PF 2-3									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LOS
K15GR	NW-S	995		38		1	48	1,3	D
K15L	NW-O (Bus)		21		76	326	488	0	E
K15L	NW-O	188		48		137	357	1,17	D
K15GR	NW-W	1		49		207	348	1,63	D

K13	S-O	20		1		137	357	0,12	A
K13	S-N	1115		81		463	497	2,53	E
K13	S-N (Bus)		5		69	463	497	0	E
K14	W-S	18		16		1	48	0,79	B
K14	W-O	153	4	26	13	7	57	0,7	C
K14	W-N	0		0		0	2	0	A
K12	O-N (Bus)		15		58	444	478	0	E
K12	O-S	133		89		444	478	3,19	F
K12	O-W	9		172		444	478	5,65	F
K12	O-N	433		183		444	478	6,18	F
Summe 504		3086	44	76	64	194	512	2,47	E

Der Knoten 504 beeinflusst die anderen beiden Knoten maßgeblich. Für diese Planvariante ergibt sich die höchste Anzahl an Fahrzeugen, wobei sich die Gesamtwartezeit dabei nicht erhöht. Dadurch dass der Zustrom Parkstraße eine geringere Freigabezeit erhält, kommt es hier zu etwas längeren Wartezeiten gegenüber PF2-2. Der Hauptstrom nach Süden weist bei einer Fahrzeuganzahl von 995 eine Wartezeit von 38 s auf. Dies ist gegenüber PF2-2 rd. 15 s länger, jedoch in etwa gleich lange wie beim Referenzfall. Die Auswirkungen vom Glacis kommend sind nur minimal, wo sich die Erhöhung der Verkehrsbelastung in einer Erhöhung der Wartezeit auf 81 s zu Buche schlägt. Die günstigere Wartezeit für den ankommenden Bus Nr. 39 kann weiterhin aufrecht erhalten werden, obwohl eine Verzögerung gegenüber PF2-2 auftritt. Für den Zustrom aus der Maria-Theresia-Allee kann trotz der geringfügigen Verkürzung der Freigabezeit keine Veränderung der Wartezeiten festgestellt werden. Im Falle von weiteren Analysen kann eine weitere Verkürzung in Betracht gezogen werden. Somit bleibt noch der Zustrom aus der Heinrichstraße, welche durch die längeren Freigabezeiten nun auch höhere Verkehrsbelastungen bzw. kürzere Wartezeiten liefern soll. Im Gegensatz zu den anderen Planfällen konnte die Fahrzeuganzahl signifikant erhöht und die Wartezeit reduziert werden. Auf den gesamten Knoten betrachtet ergibt diese Konstellation die höchste Fahrzeuganzahl, wobei sich die mittlere Wartezeit für den Knoten nicht erhöht. Zudem kann ein wesentlich besserer Verkehrsfluss in der Heinrichstraße sichergestellt werden.

Dieser Planfall stellt das Beste aus beiden vorher betrachteten Planfällen dar. Schlüssel für die erhöhte Leistungsfähigkeit ist die Konstellation am Knoten 504 – Geidorfplatz. Durch die Verlegung der Busführung von Norden in die Parkstraße ergibt sich eine günstigere Aufteilung der Freigabezeiten. Dadurch kann Kapazität für den Zustrom aus der Heinrichstraße gewonnen werden, wobei sich die Belastung auf den anderen Zuläufen trotzdem nicht merklich reduziert. Die höhere Belastung kann vom Knoten 503 problemlos abgeführt werden und führt auch am Knoten 502 zu keinen Problemen. Hier kommt es lediglich in Richtung Parkstraße zu leicht erhöhten Wartezeiten aufgrund der Änderung der Signalzeiten in der Parkstraße am Geidorfplatz.

Vergleich

Nachfolgend wird ein Vergleich der einzelnen Varianten dargebracht, wobei sich im Anhang weitere Abbildungen zum Vergleich finden. Die verkehrlichen Kenngrößen wurden bereits erklärt und dargestellt. Es sei angemerkt, dass aufgrund der Änderung der Netzelemente bei den verschiedenen Planfällen die Erfassung der Rückstaulängen manchmal unplausibel erscheint. Betrachtet man jedoch die Wartezeit, so kann ein Vergleich der einzelnen Varianten erfolgen. Einen wesentlichen Punkt neben der Wartezeit und dem daraus ableitbaren Level of Service sowie der Rückstaulänge, stellt die Anzahl der Fahrzeuge dar. Die Verkehrsnachfrage, sprich die Fahrzeugzuflüsse, sind für alle Planungsvarianten

gleich. Das bedeutet, dass der Unterschied in der Verkehrsbelastung einen Indikator für den Verkehrsfluss im Netz darstellt. Zwischen den einzelnen Planvarianten ergibt sich die Differenz nur aufgrund der Änderung der Netzelemente sowie Änderung der Signalprogramme.

Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse

Es folgt nun die Diskussion der verkehrlichen Kenngrößen für die drei betrachteten Knoten.

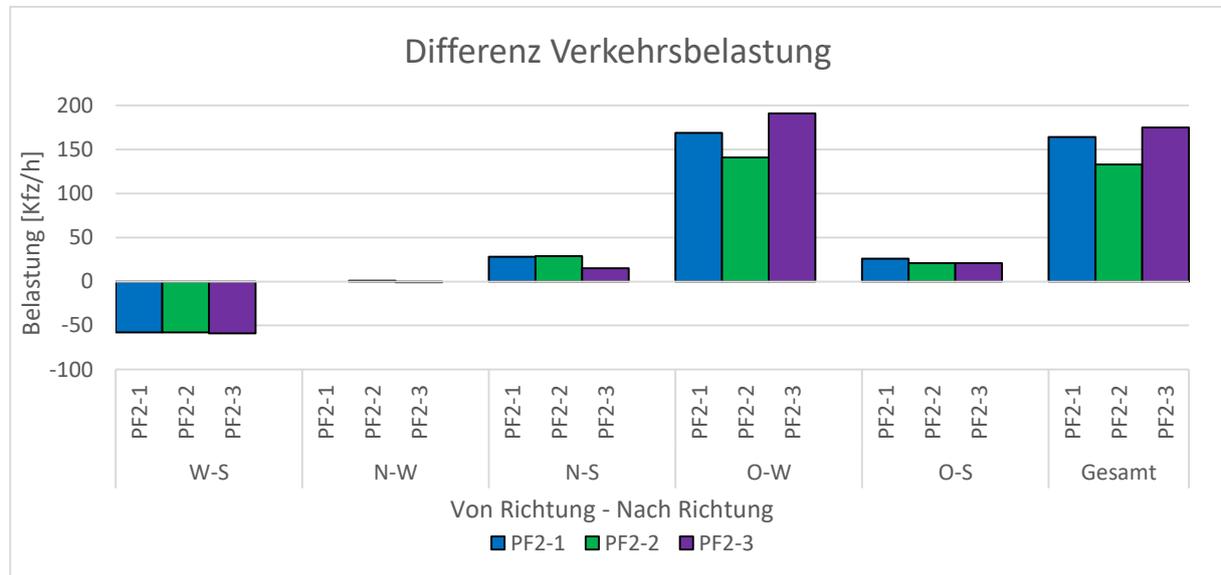


Abbildung 90: Knoten 502 – Differenz Verkehrsbelastung

Abbildung 80 zeigt die Änderung der Verkehrsbelastungen auf den Abbiegerelationen im Vergleich zum Basisfall. Einerseits ergeben sich Differenzen aufgrund der geänderten Verkehrsnachfrage. Andererseits kommt es durch die Änderung im Netz zu Abweichungen. Für den Knoten 502 tritt am Rechtsabbieger von der Wickenburggasse kommend eine Reduktion der Verkehrsbelastung von rd. 60 Fahrzeugen pro Stunde auf. Die Reduktion ist für alle Planfälle gleich und ergibt sich aufgrund der Änderung der Verkehrsnachfrage. Die Relation N-W wird nur von rd. 13 Kfz/h befahren und erfährt keine Veränderung. Für den Geradeausverkehr in die Parkstraße kann eine geringfügige Veränderung der Verkehrsnachfrage für die Planfälle festgestellt werden, wobei bei Planfall 2-3 die geringste Verkehrsbelastung unter den Planvarianten zu verzeichnen ist. Von der Humboldtstraße kommend bildet die Fahrzeuganzahl in gewisser Hinsicht die Verkehrsleistung des gesamten Netzes ab, da dieser Anteil stark von der Leistungsfähigkeit der Knoten 503 und 504 beeinflusst wird. Aufgrund der Änderung der Verkehrsnachfrage kommt es zu einer Erhöhung der Belastung, wobei Planfall 2-2 um rd. 50 Kfz/h weniger als der verkehrsstärkste Planfall 2-3 aufweist. Die Relation O-S bildet den Linksabbieger in die Parkstraße ab. Hier wird nur eine geringfügige Veränderung zwischen den einzelnen Varianten beobachtet. Bleibt noch die Gesamtfahrzeuganzahl am Knoten 502, welche bei Planfall 2-3 am höchsten ist.

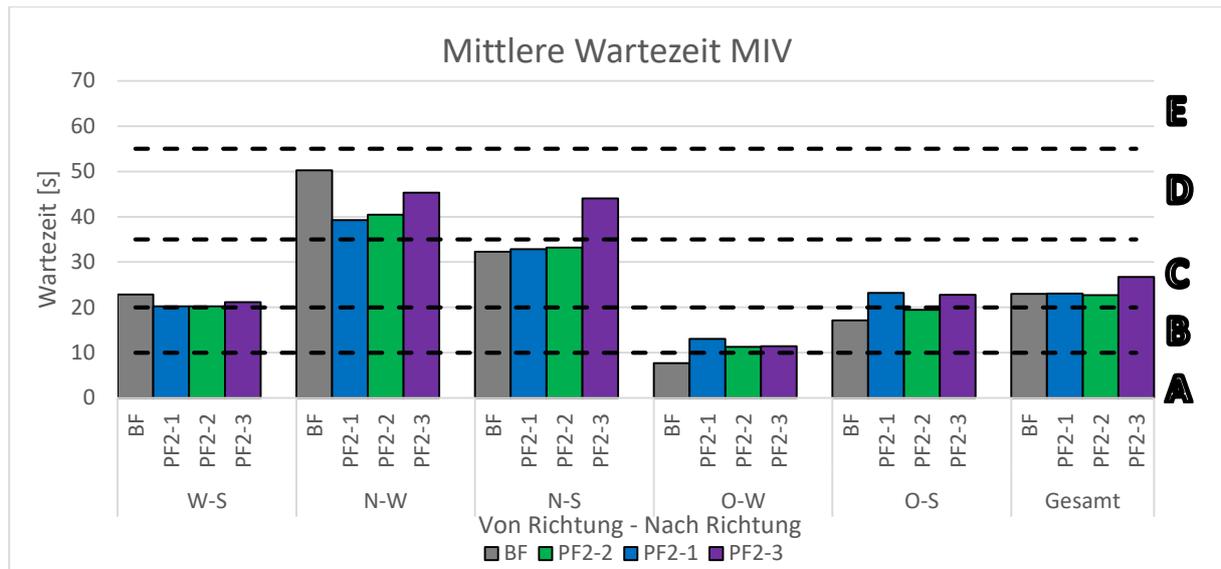


Abbildung 91: Knoten 502 – Rückstaulängen

Die Rückstaulängen korrelieren mit den Wartezeiten und repräsentieren somit neben der Aufstelllänge auch den „Stau“ am Knoten. Am Knoten 502 ergibt sich für den Rechtsabbieger in die Parkstraße eine leichte Reduktion der Rückstaulängen aufgrund der geringeren Belastung. Für den Zustrom aus der Grabenstraße zeigt sich für PF2-3 eine größere Rückstaulänge, die durch die Änderung der Signalsteuerung am Knoten 504 bedingt ist. In der Humboldtstraße folgen die größeren Rückstaulängen durch die wesentlich größere Verkehrsbelastung, wobei PF2-1 und PF2-2 in etwa gleich große Rückstaulängen aufweisen. Ähnliches gilt für den Linksabbieger in die Parkstraße. Gesamt betrachtet ergibt sich die größte mittlere Rückstaulänge für PF2-3 mit 19 m. Die maximalen Rückstaulängen werden aufgrund der besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

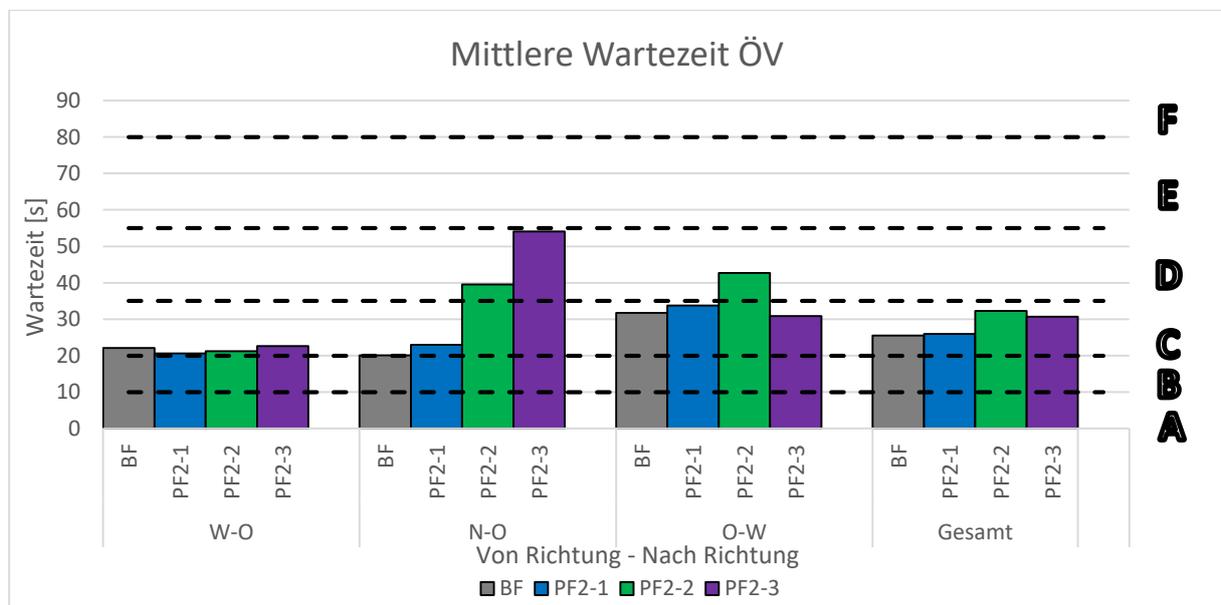


Abbildung 92: Knoten 502 – mittlere Wartezeiten ÖV

Beim Linksabbieger in die Humboldtstraße kommt es zu etwas größeren Wartezeiten, welche sich für PF2-2 und PF2-3 aufgrund der geänderten Linienführung über die Parkstraße vergrößern.

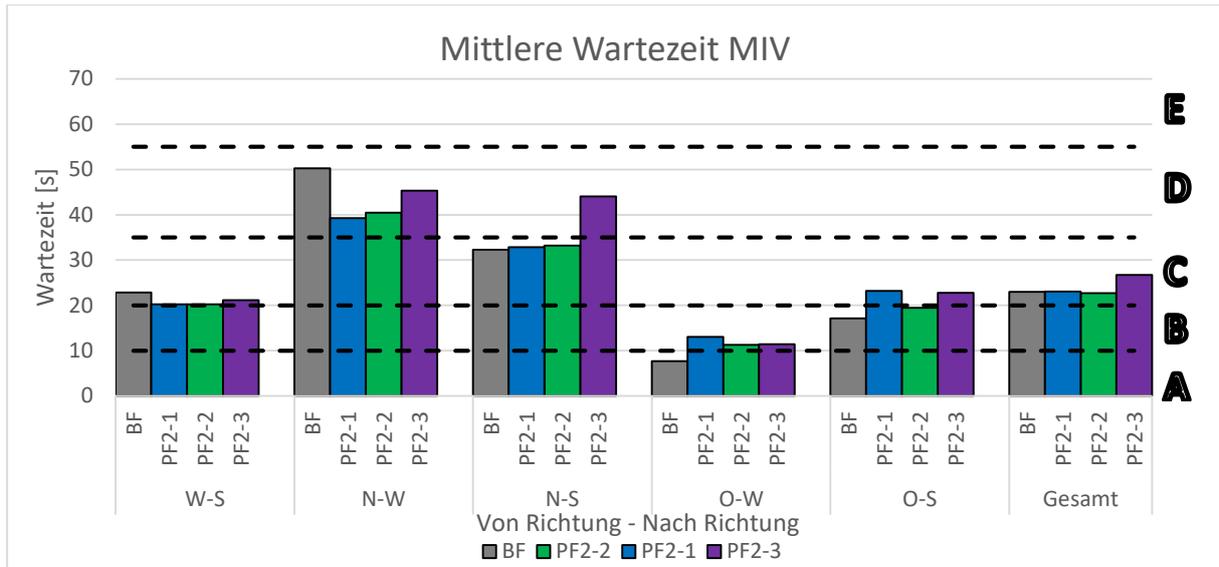


Abbildung 93: Knoten 502 – mittlere Wartezeiten MIV

Die mittleren Wartezeiten zeigen ein ähnliches Bild wie die Rückstaulängen. So ergibt sich für den Rechtsabbieger W-S eine mittlere Wartezeit von 20 s. Am Rechtsabbieger in die Wickenburggasse kommt es zu größeren Wartezeiten von bis zu 50 s, welche sich in den Planfällen reduzieren. Beim Geradeausverkehr von der Grabenstraße in die Wickenburggasse kommt es aufgrund des Rückstaus in der Parkstraße zu längeren Wartezeiten bei Knoten 502. Bei der stark frequentierten Humboldtstraße ist genügend Grünzeit vorhanden, wodurch es zu keinen großen Wartezeiten kommt. Gesamt betrachtet, bedeutet das eine etwas längere Wartezeit bei Planfall 2-3 von 27 s gegenüber 23 s bei den anderen Varianten.

Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße

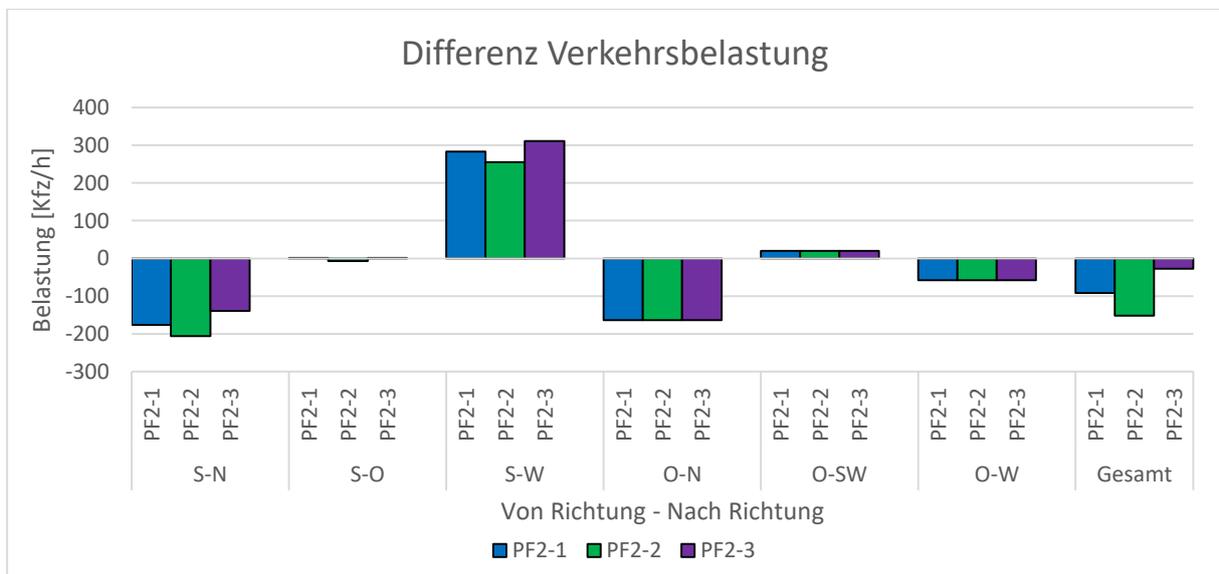


Abbildung 94: Knoten 503 – Differenz Verkehrsbelastung

Die Hauptverlagerungen im Netz finden am Knoten 503 statt. So ändert sich aufgrund der Reduktion der Kapazität der Bergmannngasse die Verkehrsnachfrage. Anstatt in die Bergmannngasse nach Norden weiterzufahren, wird der Verkehr nun über die Humboldtstraße nach Osten weitergeleitet. Dies zeigt auch die obenstehende Abbildung, wo sich die Verkehrsbelastung um bis zu 200 Kfz/h reduziert. Bei Planfall 2-3 ist die höchste Verkehrsleistung gegeben, wodurch sich die geringste Verkehrsreduktion

ergibt. Die Relation S-W erhöht sich maximal um rd. 300 Kfz/h. Für den Zustrom aus dem Osten (Humboldtstraße) ergibt sich aufgrund des Fahrverbots in der Mozartgasse Richtung Westen eine reduzierte Verkehrsnachfrage. Dies wird an allen drei Relationen ersichtlich. Für den gesamten Knoten ergibt sich eine geringere Verkehrsbelastung gegenüber dem Referenzfall. Die geringste Verkehrsleistung weist PF2-2 auf, was durch die reduzierte Leistungsfähigkeit am Knoten 504 erklärt werden kann. Planfall 2-3 weist nur eine gering schwächere Belastung zum Basisfall auf.

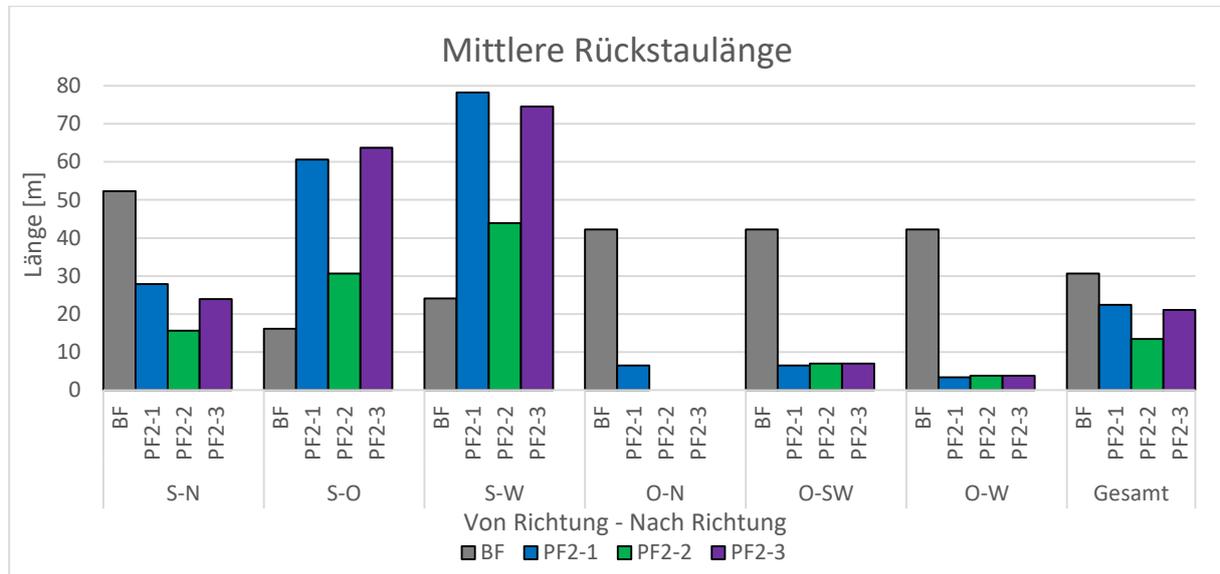


Abbildung 95: Knoten 503 – Mittlere Rückstaulänge

Die Rückstaulängen können aufgrund der Adaptierung der Netzelemente bei den unterschiedlichen Varianten zu Inkonsistenzen führen. Die mittleren Wartezeiten liefern dazu einen besseren Vergleich. Für den Geradeausverkehr in die Bergmannngasse kommt es beim Basisfall zu größeren Rückstaulängen von rd. 50 m, welche sich in den Planfällen stark reduzieren. Die Relation S-O wird nur von wenigen Fahrzeugen gewählt. Für die in den Planfällen stark befahrene Relation S-W ergeben sich größere Rückstaulängen bei PF2-1 und PF2-3. Dies liegt an der größeren Belastung auf dieser Relation für diese Varianten. Der Zustrom aus der Humboldtstraße von Osten kommend reduziert sich in den Planfällen drastisch, was auch an den Rückstaulängen gezeigt werden kann. Für den gesamten Knoten ergeben sich dadurch kleinere Rückstaulängen für die Planfälle, wobei PF2-2 die kleinste Rückstaulänge aufgrund der geringeren Verkehrsbelastung aufweist.

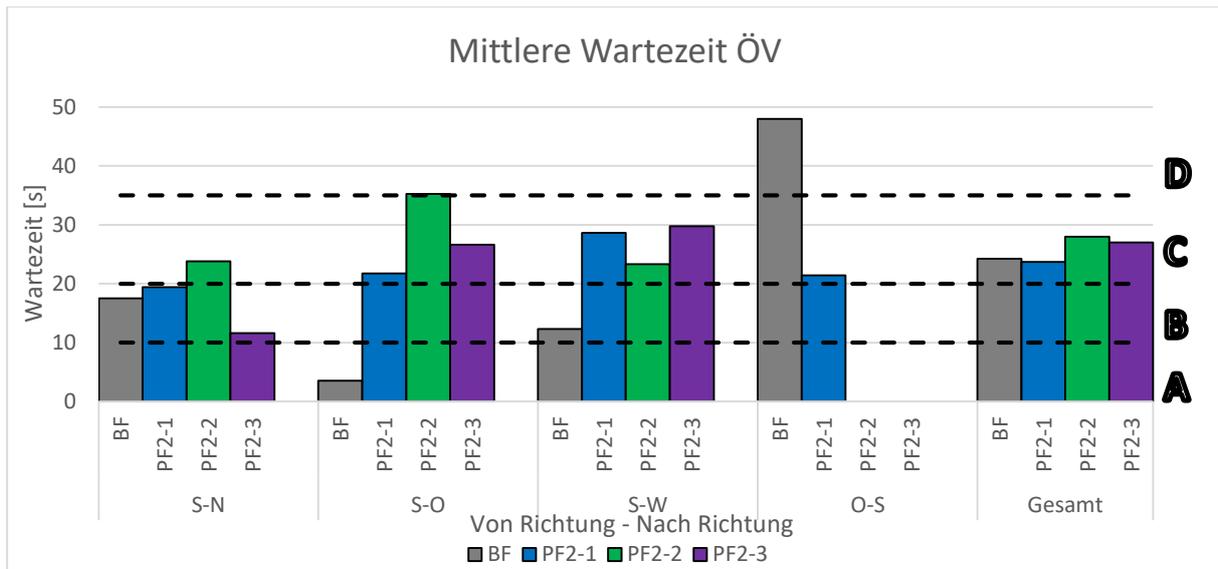


Abbildung 96: Knoten 503 – Mittlere Wartezeit ÖV

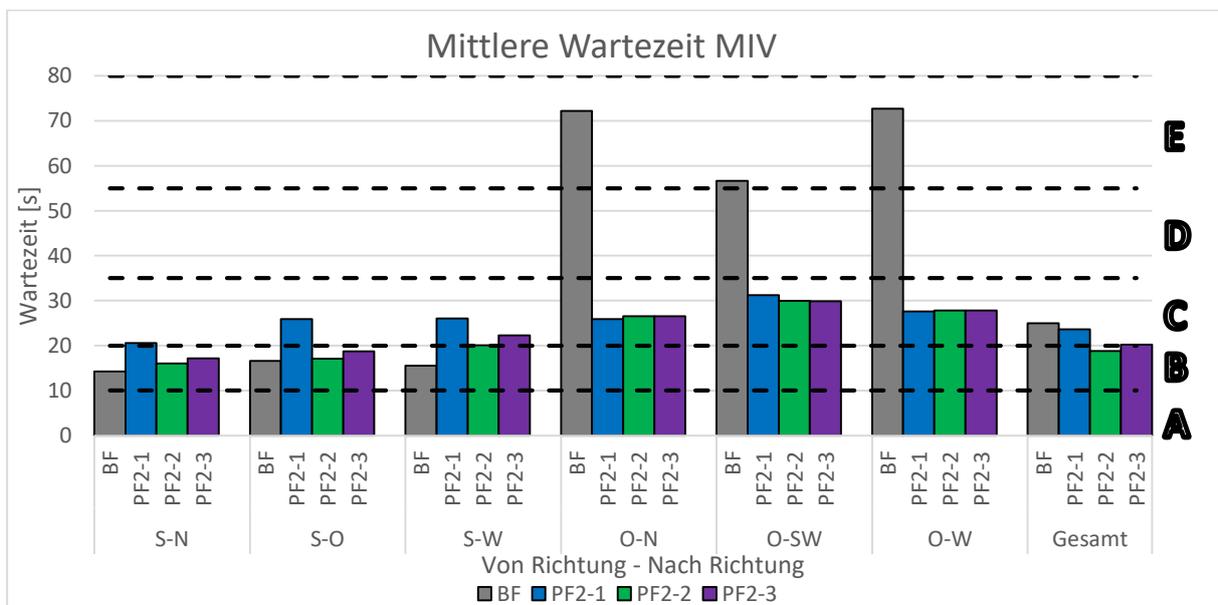


Abbildung 97: Knoten 503 – Mittlere Wartezeit MIV

Die zuvor angesprochene Diskrepanz zwischen Rückstaulänge und Wartezeit zeigt sich an der Relation S-N. Hier liegt eine größere Rückstaulänge für den BF vor, jedoch sind die Wartezeiten kürzer. Die Wartezeiten zwischen 14 und 20 s ergeben einen LOS B. Für den Linksabbieger in die Humboldtstraße passen Rückstaulänge und Wartezeit besser zusammen. Bei PF2-1 und PF2-2 sind größere Wartezeiten vorhanden, was wiederum auf die höhere Belastung zurückzuführen ist. Für den Zustrom aus der Humboldtstraße ergeben sich lange Wartezeiten aufgrund der hohen Belastung. Diese relativieren sich bei den Planfällen wieder. Die Gesamtbetrachtung liefert somit ein verzerrtes Bild, weil die Wartezeiten am Hauptstrom von der Bergmannngasse geringfügig höher sind als beim Basisfall. Umgekehrt sind die Wartezeiten in der Humboldtstraße größer, welche jedoch wesentlich geringere Belastungen aufweisen.

Knoten 504 – Geidorfplatz

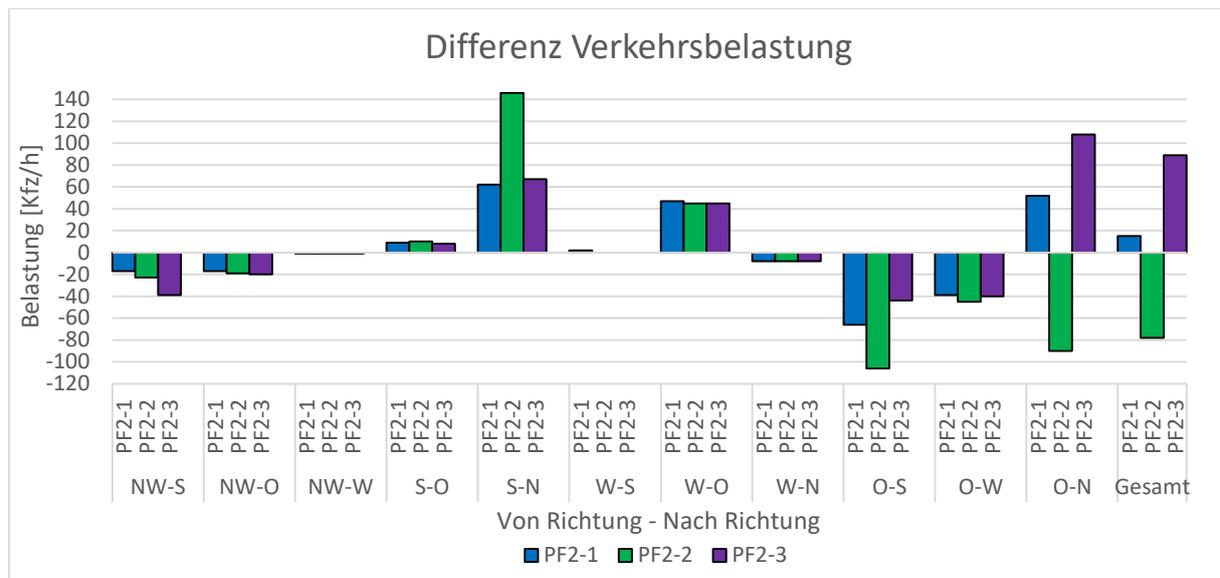


Abbildung 98: Knoten 504 – Differenz Verkehrsbelastung

Der Knoten 504 – Geidorfplatz entscheidet maßgebend den Verkehrsablauf im Planungsgebiet. Von der Parkstraße kommend ergibt sich für die Planfälle eine etwas geringere Verkehrsbelastung, welche für PF2-3 am geringsten ist. Dies liegt an der Kürzung der Freigabezeit sowie der Fahrstreifenreduktion Richtung Süden. Am Glacis findet am Rechtsabbieger in die Heinrichstraße keine maßgebliche Änderung statt. Der Geradeausverkehr in die Bergmannngasse ist für alle Planfälle größer, was an der Änderung der Verkehrsnachfrage liegt. Für PF2-2 liegt eine Steigerung von rd. 150 Kfz/h vor. Diese freien Kapazitäten wurden im Planfall 2-3 an den Zustrom Heinrichstraße abgegeben. Für die Maria-Theresia-Allee ergibt sich eine geringfügige Änderung der Verkehrsnachfrage. Somit bleibt noch die Heinrichstraße. Am Linksabbieger Richtung Glacis findet zwar eine Änderung der Verkehrsnachfrage statt. Die Reduktion der Verkehrsbelastung ist aber auch auf die Steigerung des Gesamtverkehrs in der Heinrichstraße zurückzuführen, wodurch weniger Kfz den Linksabbieger passieren können. Für PF2-3 ergibt die geringste Reduktion gegenüber dem Referenzfall. Die Relation O-W weist für alle Planfälle einen ähnlichen Rückgang auf und ist daher auf die Änderung der Verkehrsnachfrage zurückzuführen. Beim Rechtsabbieger in die Bergmannngasse führt der Wegfall des zweiten Abbiegestreifens zu einem drastischen Rückgang in der Belastung, da nicht mehr so viele Fahrzeuge diese Relation befahren können. Im Planfall 2-3 kann die geänderte Verkehrsnachfrage, welche aufgrund des Fahrverbotes in der Mozartgasse größer ist als im BF, am besten abgeführt werden. Die Steigerung gegenüber dem Basisfall beträgt 108 Kfz/h. Auf den gesamten Knoten betrachtet, kommt es bei PF2-1 zu einer geringfügigen Steigerung der Kfz. Bei der Variante mit nur einem Rechtsabbieger in die Bergmannngasse reduziert sich die Fahrzeuganzahl um rd. 80 Kfz/h. Die höchste Leistungsfähigkeit ergibt sich für PF2-3, wo rd. 90 Kfz/h mehr den Knoten 504 passieren.

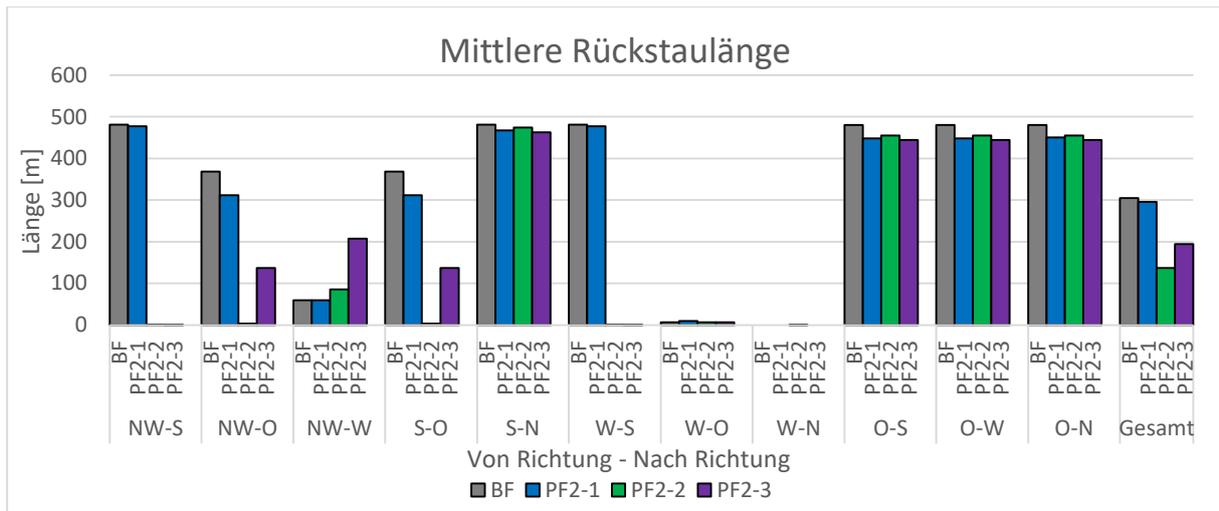


Abbildung 99: Knoten 504 – Mittlere Rückstaulänge

Für die mittleren Rückstaulängen ergibt sich eine Diskrepanz im Vergleich zu den Wartezeiten auf der Abbiegerelation NW-S, wo für PF2-2 bzw. PF2-3 keine Rückstaulängen gemessen wird. Ähnliches gilt für die übrigen Relationen von der Parkstraße. Diese werden daher nur anhand der Wartezeiten analysiert. Vom Glacis kommend sind große Rückstaulängen festzustellen, welche jedoch konstant über alle Varianten sind. Für den Zustrom aus der Maria-Theresia-Allee ergibt sich eine große Rückstaulänge für BF und PF2-1 am Rechtsabbieger, wobei auch hier nur geringe Wartezeiten präsent sind. Die anderen Relationen weisen die erwarteten geringen Rückstaulängen auf. In der Heinrichstraße scheinen die Rückstaulängen konsistent zu sein, wobei die Rückstaulänge am höchsten für den Basisfall ist. Über die Planfälle zeigt sich eine relativ konstante Rückstaulänge. Die Rückstaulänge für den gesamten Knoten kann hier nicht als repräsentativ erachtet werden.

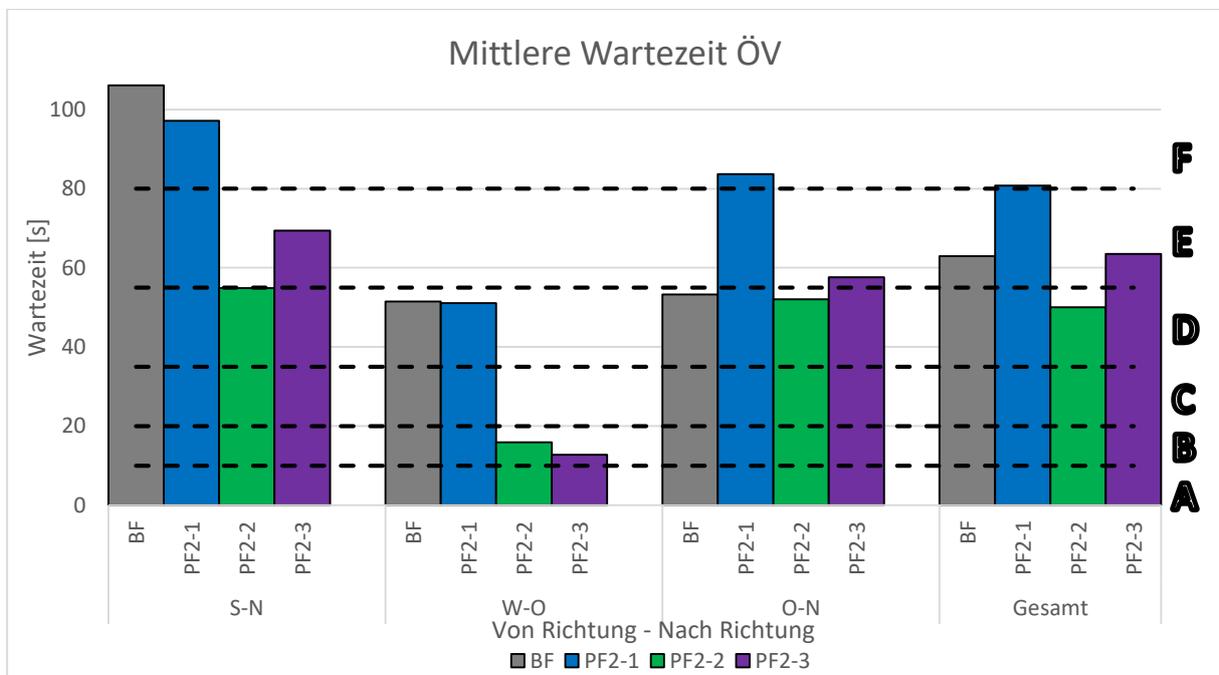


Abbildung 100: Knoten 504 – Wartezeiten ÖV

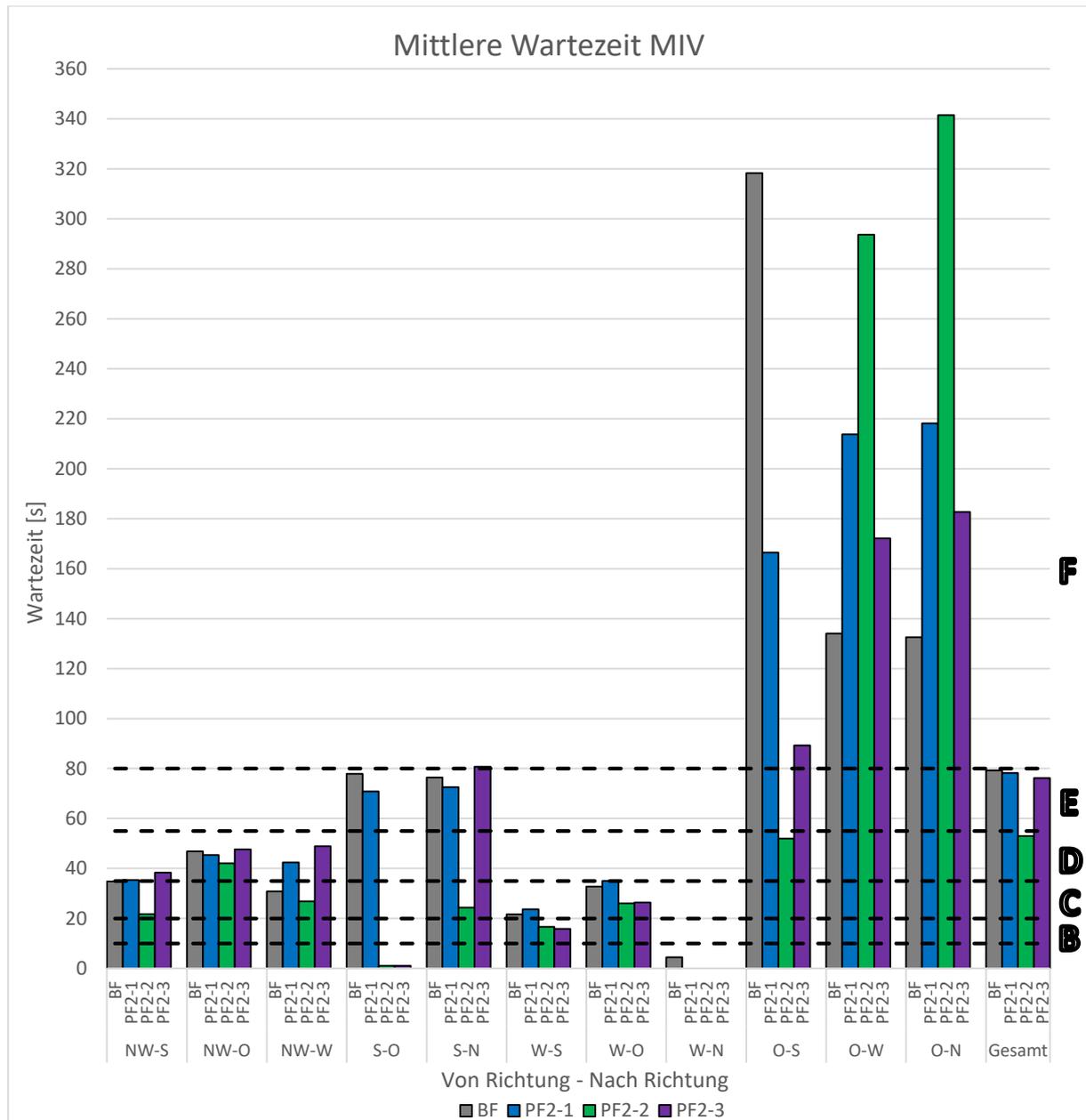


Abbildung 101: Knoten 504 – Mittlere Wartezeit MIV

Die Wartezeiten in der Parkstraße variieren zwischen den einzelnen Planfällen. Für den Basisfall und Planfall 2-1 ergibt sich eine ähnlich große Wartezeit. Bei PF2-2 und PF2-3 wurde die Fahrstreifenaufteilung geändert, wodurch sich für PF2-2 eine geringere Wartezeit ergibt. Für die letzte Variante stellt sich aufgrund der verminderten Freigabezeit eine größere Wartezeit ein. Für den Abbieger in die Heinrichstraße sind mehr oder minder ähnliche Wartezeiten für alle Varianten präsent. Der Geradeausverkehr am Glacis weist hohe Wartezeiten auf, welche bei PF2-2 drastisch reduziert werden konnten. Bei PF2-3 wird die gewonnene Wartezeit an die Heinrichstraße abgegeben. Am Zustrom Maria-Theresia-Allee ist für den Geradeausverkehr in die Heinrichstraße für alle Varianten ein LOS C präsent. Somit bleibt noch die Heinrichstraße, wo der Linksabbieger große Differenzen aufweist. Im Basisfall ergeben sich große Wartezeiten, welche sich in den Planfällen aufgrund der Änderung der Verkehrsnachfrage reduzieren. Wenn nur ein Rechtsabbiegestreifen zur Verfügung steht, reduziert sich die Wartezeit ebenfalls. Dies kann möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die Fahrzeuge gar nicht mehr ins Netz einfahren können. Die O-W und O-N Relation weisen ähnliche Wartezeiten auf, da

sie den selben Fahrstreifen benutzen. Die geänderte Verkehrsnachfrage führt zu längeren Wartezeiten am Rechtsabbieger in die Bergmannngasse. Steht nur ein Rechtsabbieger zur Verfügung verstärkt sich dieser Effekt noch mehr. Für PF2-3 wird dem Zustrom in der Heinrichstraße mehr Grünzeit gegeben, wodurch sich eine Reduktion der Wartezeit ergibt. Gesamt betrachtet, liegt eine ähnliche Wartezeit für alle Varianten vor. Lediglich die Variante PF2-2 weist eine geringere Wartezeit auf, wobei auch hier die geringste Fahrzeuganzahl am Knoten registriert wird.

5.2.3 Reisezeitmessungen Bus

Als letztes erfolgt die Analyse der Bus-Reisezeiten. Die Reisezeiten ändern sich insbesondere bei den Planfällen 2-2 und 2-3, da eine Änderung der Linienführung stattfindet. In der ursprünglichen Variante werden die von Westen, Norden und Osten kommenden Buslinien über die Humboldtstraße bzw. Bergmannngasse an den Geidorfplatz herangeführt. Am Geidorfplatz gibt es danach eine Bedarfsphase für Busse, welche nur nach Anmeldung erfolgt. In den beiden Planfällen 2-2 und 2-3 wird der Radverkehr über die Bergmannngasse zum Knoten 503 geführt, wodurch eine Umlegung der Buslinien notwendig wird. Die Busse aus Norden und Westen werden über die Parkstraße zum Geidorfplatz geführt. Für die aus der Humboldtstraße kommenden Busse aus dem Osten wird die Führung über die Wormgasse bzw. Parkstraße gewählt. Am Knoten 504 muss keine eigene Signalphase für Busse eingerichtet werden, wodurch sich eine höhere Leistungsfähigkeit am Knoten ergibt. Zur Linienführung sei auf Abbildung 85 verwiesen.

Nachfolgend wird die Änderung der mittleren Reisezeiten der Busse analysiert. Im Anhang findet sich eine Auflistung samt Standardabweichung der Reisezeiten.

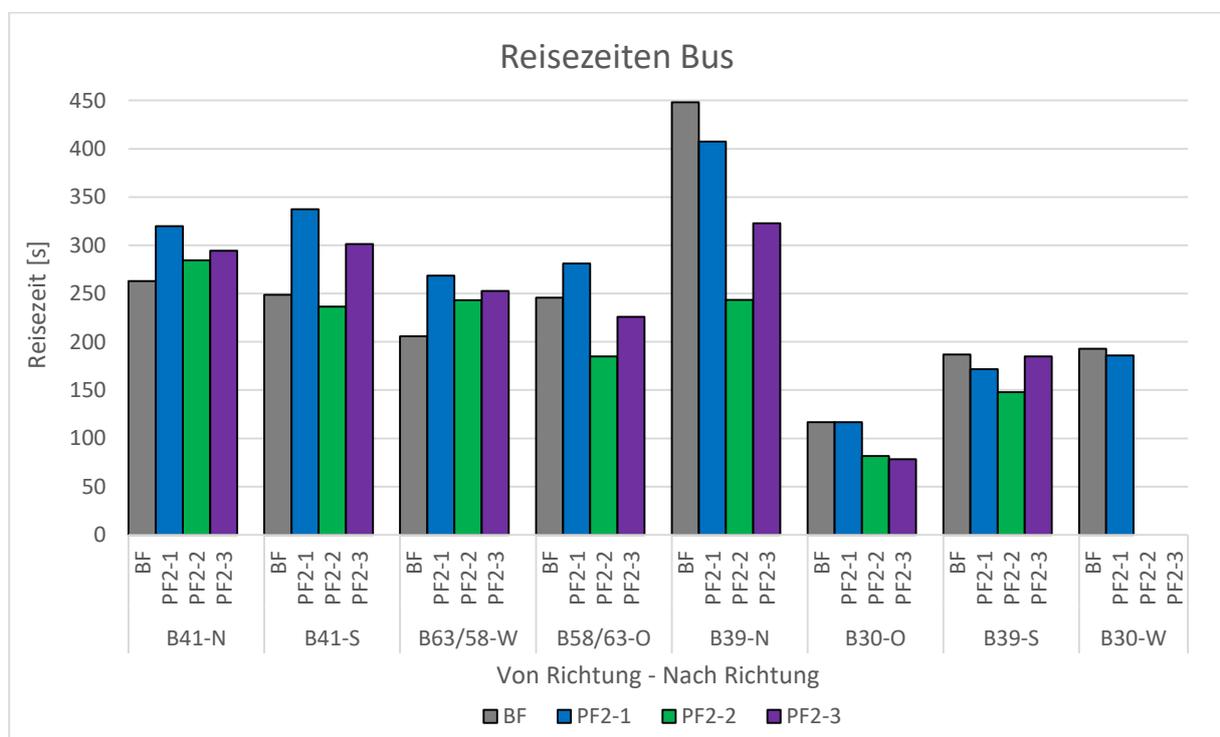


Abbildung 102: Mittlere Reisezeiten Bus

Die Buslinie 41 Richtung Norden ist von der Kapazitätsreduktion in der Bergmannngasse betroffen. Gegenüber dem Basisfall wird ab dem Knoten 503 ein Fahrstreifen weggenommen, wodurch sich eine größere Reisezeit für Busse ergibt. Für PF2-3 erhöht sich die Reisezeit um rd. 30 s. In die umgekehrte Richtung treten für den Planfall 2-1 ebenso wie zuvor die größten Reisezeiten auf. Wie erwartet, reduzieren sich die Reisezeiten bei PF2-2 bzw. PF2-3 aufgrund der Linienführung über die Parkstraße,

wodurch sich eine kürzere Strecke ergibt. Da im letzten Planfall eine kürzere Freigabezeit am Knoten 504 in der Parkstraße gewählt wurde, erhöht sich hier die Reisezeit. Für den Planfall 2-3 liegt sie somit um rd. 50 s höher als beim Basisfall. Die Buslinien 58 bzw. 63 haben im Plangebiet die gleiche Strecke. Daher werden diese beiden Linien gemeinsam dargestellt. Nach Westen ergibt sich in allen Planfällen eine größere Reisezeit, welche sich durch die erhöhte Verkehrsbelastung in diese Richtung erklären lässt. Nach Osten kommt es nur bei PF2-1 zu einer Erhöhung der Reisezeit, was mitunter daran liegen kann, dass in den Planfällen Radfahrer auf der Humboldtstraße modelliert wurden. Die Linienführung über die Parkstraße reduziert die Reisezeit für PF2-3 um 20 s. Für die Buslinie 39 nach Norden ergeben sich aufgrund der Wartezeit am Glacis große Reisezeiten beim Basisfall. Die Einführung eines eigenen Busstreifens am Glacis führt zu einer signifikanten Reduktion der Reisezeit. Dieser Reisezeitgewinn wird bei PF2-3 an den Zustrom Heinrichstraße abgegeben. Für die Buslinie 39 nach Süden kann durch die Führung über die Wormgasse ebenso Zeit eingespart werden. Bei PF2-3 wird dieser Zeitgewinn wieder zunichte gemacht. Für die Buslinie 30 ergibt sich eine geringfügig kürzere Reisezeit bei den beiden letzten Planfällen.

6 Schlussfolgerung

6.1 Fazit

Diese Arbeit zeigt die verkehrlichen Auswirkungen, welche durch eine Kapazitätsreduktion auftreten können, am Beispiel der Bergmannngasse im Nordosten der Stadt Graz. Dazu wurden eingangs die Rahmenbedingungen dargestellt. Danach wurden einerseits mithilfe eines makroskopischen Verkehrsmodells die Verlagerungen des MIV bestimmt und andererseits wurde anschließend der Verkehrsablauf anhand einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation im Planungsgebiet modelliert. Im ersten Schritt wurde das bereits bestehende makroskopische Verkehrsmodell GUARD zur Ermittlung von Verlagerungseffekten im Untersuchungsgebiet bearbeitet. Ziel war es, die verkehrlichen Verlagerungen in einem relativ kleinen Betrachtungsgebiet mit einem makroskopischen Verkehrsmodell abzubilden. Nach der Generierung eines Teilnetzes wurde die Anzahl der Anbindungen erhöht, was eine bessere Verteilung der Ausgangspunkte von Bezirken ermöglicht. Durch die Modellierung der Signalzeiten an drei relevanten Knoten, konnte eine genauere Widerstandsberechnung an Knoten erzielt werden. Zudem wurde die Kapazität der Bergmannngasse anhand einer mikroskopischen Verkehrssimulation ermittelt, wodurch wiederum eine bessere Ermittlung der Routenwiderstände ermöglicht wurde. Nach der Kalibrierung der Verkehrsnachfrage anhand von Zähldaten erfolgte die Implementierung der Planfälle, welche danach anhand von Verkehrsbelastungen und Verkehrsspinnen mit dem Referenzfall verglichen wurden. In dem ersten Teil der Arbeit konnten Verkehrsverlagerungen durch eine Kapazitätsreduktion für den motorisierten Individualverkehr in einem relativ kleinen Betrachtungsgebiet ermittelt werden.

Die mikroskopische Verkehrssimulation hatte zweierlei Aufgaben zum Ziel. Zum einen sollte die Kapazität der Bergmannngasse ermittelt werden, denn diese wird durch Parkvorgänge sowie Ein- bzw. Abbiegemanöver beeinflusst. Nach erfolgtem Import sowie der Bearbeitung der Netzelemente wurden die Parkplätze anhand von Luftbildern eingefügt. Nach der Definition der Parkdauer sowie des Parkdruckes, konnte die Kapazität der Bergmannngasse anhand von Messquerschnitten festgestellt werden. Hier zeigte sich, dass die Bergmannngasse vom signalisierten Knoten 503 diktiert wird, denn die freie Streckenkapazität liegt für zwei Fahrstreifen bei 3100 Kfz/h bzw. für einen Fahrstreifen bei 1300 Kfz/h und somit über jenen mit signalisiertem Knoten 503. Diese Streckenkapazitäten konnten danach wieder ins makroskopische Verkehrsmodell rückgeführt werden.

Andererseits sollte durch die Simulation des Planungsgebietes der Verkehrsablauf modelliert werden. Ziel war die Veränderungen der Wartezeiten bzw. Reisezeiten von Bussen festzustellen. Nach dem Export und der Bearbeitung der Knotengeometrien wurden die betroffenen Buslinien implementiert, da diese den Verkehrsablauf wesentlich beeinflussen. Die Verkehrszuflüsse und Fahrzeugaufteilungen im Netz wurden aus den Belastungen der makroskopischen Verkehrsmodelle bezogen. Die Adaptierung der Signalzeiten für die verschiedenen Planfälle stellte einen zentralen Punkt der Bearbeitung dar, weil sich so eine Verbesserung von Wartezeiten und Rückstaulängen erzielen ließ. Im Hinblick auf die Busreisezeiten zeigte sich, dass die Einführung eines Busstreifens auf den stark belasteten Zuströmen effektive Verbesserungen bringt ohne den motorisierten Individualverkehr negativ zu beeinflussen. Somit konnte anhand der mikroskopischen Verkehrssimulation die Leistungsfähigkeit der geänderten Verkehrsführung bestätigt werden, wobei der Fokus auf der Modellierung der Verkehrsführung in der Bergmannngasse lag, wo Parkplätze samt Parkvorgängen abgebildet wurden. Des Weiteren konnten durch die Variierung der Knotengeometrien bzw. der Signalzeiten Effekte im Verkehrsablauf gezeigt werden.

In dieser Arbeit konnten die verkehrlichen Verlagerungen unter Verwendung eines hochauflösenden makroskopischen Verkehrsmodells analysiert werden. Zudem erfolgte die Simulation des Verkehrsablaufs anhand einer mikroskopischen Verkehrssimulation, wodurch Änderungen der Wartezeiten und Rückstaulängen an Knoten bzw. Änderungen der Reisezeiten von Bussen ermittelt wurden.

6.2 Ausblick

Obwohl in dieser Arbeit keine quantitativen Bewertungsverfahren zur Bestimmung einer besten Alternative verwendet werden, kann der Planfall 2-3 als verträglichste Variante angesehen werden. Unter der Voraussetzung einer Fahrstreifenreduktion in der Bergmannngasse, sowie einem Fahrverbot in der Mozartgasse Richtung Westen stellt diese Variante aufgrund folgender Gründe den Optimalfall dar:

1. Das Ziel eines möglichst geradlinig verlaufenden Radschnellwegs wird über die Führung durch die Bergmannngasse erfüllt. Als Manko kann der signalgesteuerte Übergang am Geidorfplatz sowie am Knoten 503 gesehen werden, wodurch es zu einer Erhöhung der Reisezeiten für den Radverkehr kommt.
2. Die Buslinienführung über die Parkstraße ergibt nach Süden eine Verbesserung der Reisezeiten. Ein Busstreifen am Glacis führt ebenso zu einer Verkürzung der Reisezeit für Buslinie 39.
3. Für diese Variante liegt die größte Fahrzeuganzahl an allen Knoten vor und trotzdem kommt es zu keiner nennenswerten Erhöhung der Wartezeiten bzw. Rückstaulängen.

Einer genaueren Betrachtung im verkehrsplanerischen Sinn bedarf es an den Knotenpunkten. Insbesondere am Knoten 504 – Geidorfplatz muss die vorgestellte Straßenraumorganisation anhand von Lageplänen geprüft werden. Danach kann eine Anpassung des Signalprogrammes, insbesondere der Zwischenzeiten, erfolgen. Am Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße wurde in dieser Arbeit eine eigene Signalphase für den Radverkehr eingefügt, welche in einem nächsten Schritt überprüft werden soll.

Gänzlich ausgenommen wurde in diesen Betrachtungen die Geometrie bzw. der Platzbedarf eines Radweges in der Bergmannngasse. In weiteren Planungen muss neben der Querschnittsgestaltung auch an Detaillösungen an Knotenbereichen gearbeitet werden.

Die in dieser Arbeit gezeigten Ergebnisse passieren auf einem Verkehrsmodell und können mehr oder weniger von der Realität abweichen. Anhand einer Testphase können Verlagerungseffekte, welche durch den Wegfall eines Fahrstreifens auftreten, beobachtet werden. Vor der Umsetzung eines Gesamtkonzeptes soll eine Testphase die gezeigten Verlagerungen bestätigen.

Im Sinne der Stadt Graz und ihren verkehrspolitischen Zielen würde die Umsetzung eines Radschnellweges in der Bergmannngasse zur Erreichung der Mobilitätsziele beitragen. Durch den Entfall eines Fahrstreifens soll der MIV in gewisser Hinsicht auf den Umstieg zu einem anderen Verkehrsmittel bewegt werden. Gleichzeitig erfolgt durch den Radweg eine Priorisierung des Radverkehrs.

Literaturverzeichnis

- Barceló, Jaume (Hg.) (2010): Fundamentals of Traffic Simulation. New York, NY: Springer New York (145).
- Degros, Aglaée; Monsberger, Markus; Stefan, Mario; van Dulmen, Alex; Fallast, Kurt; Schmidt, Martin; Wagner, Richard (2020): Radoffensive/WKO-Radkorridor. Variantenworkshop. Hg. v. Institut für Städtebau. TU Graz. Graz.
- Fallast, Kurt; Huber, Georg (2015): Grazer Mobilitätskonzept 2020. Maßnahmen. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz.
- Fellendorf, Martin (2019/20): 209.477 Verkehrsplanung. Vorlesungsfolien. Unter Mitarbeit von Martin Fellendorf. Hg. v. Institut für Straßen- und Verkehrswesen. TU Graz. Graz.
- Galster, Manuel (2009): Modellierung von Anbindungszeiten in Verkehrsplanungsmodellen. Stuttgart: Inst. für Straßen- und Verkehrswesen (Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen, H. 40).
- Google (2021): maps. Kartenausschnitt Graz. Google. Online verfügbar unter <https://www.google.at/maps/@47.0733388,15.4133931,12.5z>.
- Graz Linien (2021a): Buslinienführung Geidorfplatz Neu. Unter Mitarbeit von Martin Schmidt. Graz.
- Graz Linien (2021b): Fahrplan. Linien 30, 39, 41, 58, 63. Hg. v. Holding Graz. Verbund Linie. Graz. Online verfügbar unter <https://www.verbundlinie.at/fahrplan/fahrplaene/fahrplandownload-pdf>.
- Grössl, Steve; Red, Wolfgang; Berger, Martin; Bergmann, Ulrich; Frewein, Markus; Fellendorf, Martin; Marauli, Anton (2011a): I2VSplus - GUARD: Guaranteed Ride Home. Dokumentation. TP 1 Intermodales Verkehrsmodell. Unter Mitarbeit von Emanuel Selz. Hg. v. Austrian Mobility Research. Forschungsgesellschaft Mobilität. Graz (816063).
- Grössl, Steve; Red, Wolfgang; Berger, Martin; Bergmann, Ulrich; Frewein, Markus; Fellendorf, Martin; Marauli, Anton (2011b): I2VSplus - GUARD: Guaranteed Ride Home. Endbericht. Hg. v. Austrian Mobility Research. Forschungsgesellschaft Mobilität. Graz.
- Kofler, Daniel; Feigl, Simone; Fallast, Kurt; Huber, Georg; Moser, Markus; Fellendorf, Martin; van Dulmen, Alex (2020): Radnetzstudie des steirischen Kernballungsraumes. Endbericht. Hg. v. A16 - Verkehr und Landeshochbau. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz.
- Land Steiermark (2020): Regionale Bevölkerungsprognose. Steiermark - Bundesland, Bezirke und Gemeindegruppen. Steirische Statistiken. 64. Jahrgang. Unter Mitarbeit von Referat für Statistik und Geoinformation. Hg. v. A17 - Landes- und Regionalentwicklung. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz (Steirische Statistiken, Heft 3/2020).
- Land Steiermark (2021): Digitaler Atlas Steiermark. Unter Mitarbeit von Geoinformation. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz. Online verfügbar unter <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte>.
- Lohse, Dieter (2011): Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Berlin, Wien, Zürich: Beuth.
- PTV AG (2021a): Benutzerhandbuch PTV VISSIM. Karlsruhe.

- PTV AG (2021b): Benutzerhandbuch PTV VISUM. Karlsruhe.
- Stadt Graz (2011): Grazer Mobilitätskonzept 2020. Verkehrsplanungsrichtlinie. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz.
- Stadt Graz (2012): Grazer Mobilitätskonzept 2020. Ziele. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz.
- Stadt Graz (2015): Bevölkerungsprognose 2015 - 2034 für die Landeshauptstadt Graz. Unter Mitarbeit von Referat für Statistik. Hg. v. Präsidentsabteilung. Magistrat Graz. Graz (0026_2014).
- Stadt Graz (2016): Leitfaden für Mobilität für Bauvorhaben. 2. Aufl. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz.
- Stadt Graz (2019): Radkarte Stadt Graz. mit den 13 Hauptradrouten. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz. Online verfügbar unter https://www.graz.at/cms/beitrag/10295921/8115447/Online_Karte_Radkarte.html.
- Stadt Graz (2020): Zähldaten 11/2019. Dauerzählstellen. Unter Mitarbeit von Straßenamt. Hg. v. Magistrat Graz. Graz.
- Stadt Graz (2021a): Signalzeiten, Signallagepläne. Knoten 502 - Grabenstraße/Wickenburggasse; Knoten 503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße; Knoten 504 - Geidorfplatz. Unter Mitarbeit von Abteilung für Verkehrsplanung. Hg. v. Magistrat Graz. Graz.
- Stadt Graz (2021b): Hauptradroutennetz Graz. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz. Online verfügbar unter <https://www.graz.at/cms/beitrag/10122448/7760192>.
- Steierwald, Gerd; Künne, Hans Dieter; Vogt, Walter (2005): Stadtverkehrsplanung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- TU Graz (2019): Fahr Rad! Die Rückeroberung der Stadt. Ride a Bike! Reclaim the City. Hg. v. Institut für Städtebau. TU Graz. Graz.
- Richtlinie A10/8-014637/2010/0004, 23.09.2010: Verkehrspolitische Leitlinie 2020. Online verfügbar unter https://www.graz.at/cms/beitrag/10321432/7765198/Verkehrspolitische_Leitlinie.html.
- ZIS+P (2019): Mobilitätsverhalten der Grazer Wohnbevölkerung 2018. Unter Mitarbeit von Gerald Röschel. Hg. v. Abteilung für Verkehrsplanung. Magistrat Graz. Graz.

Anhang

Anhang 1 – Zähldaten

Tagesganglinie Zählstelle 206 – Parkstraße

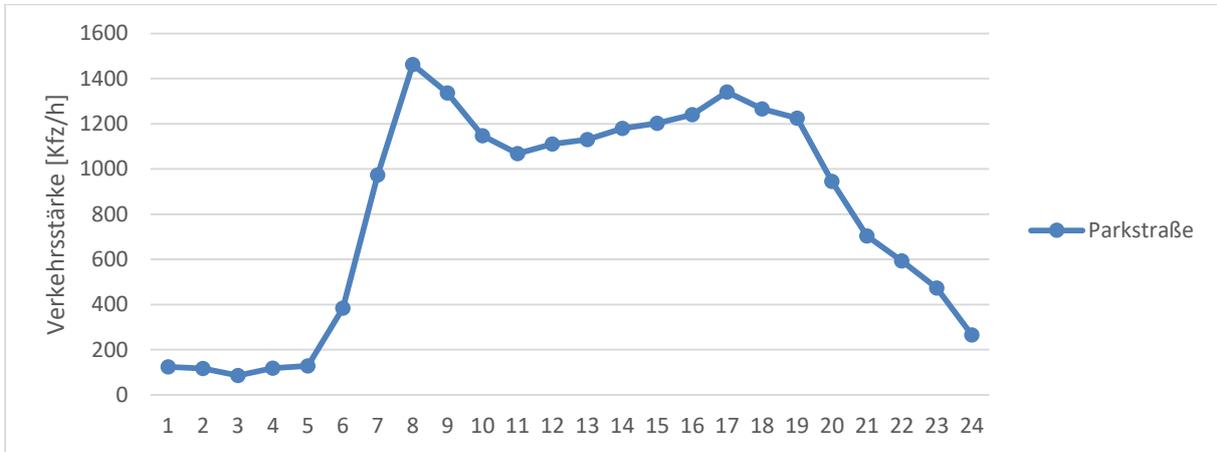


Abbildung 103: Tagesganglinie Zählstelle 206 – Parkstraße

Tagesganglinie Zählstelle 207 – Heinrichstraße

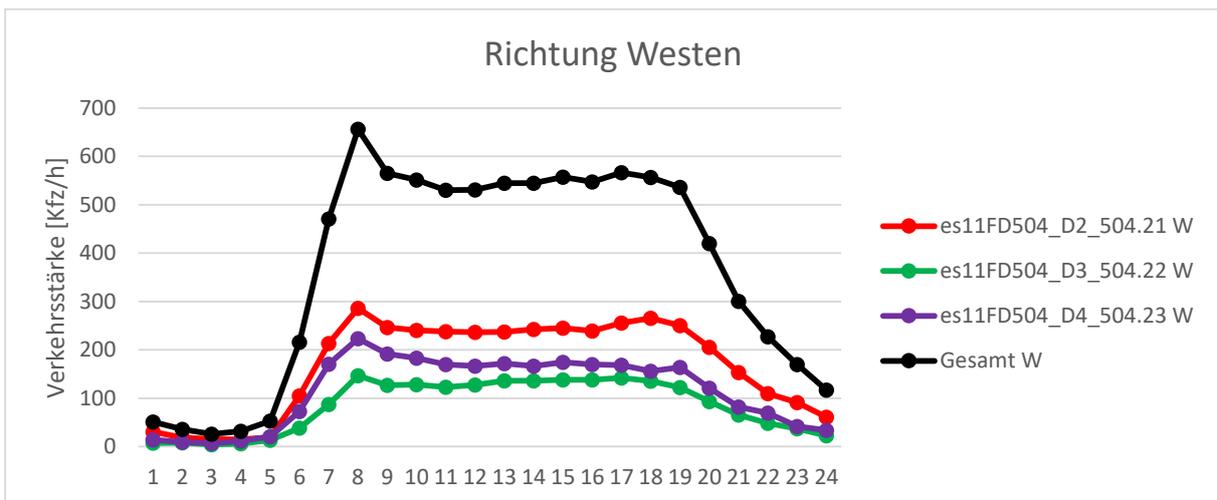


Abbildung 104: Tagesganglinie Zählstelle 207 – Heinrichstraße Richtung Westen

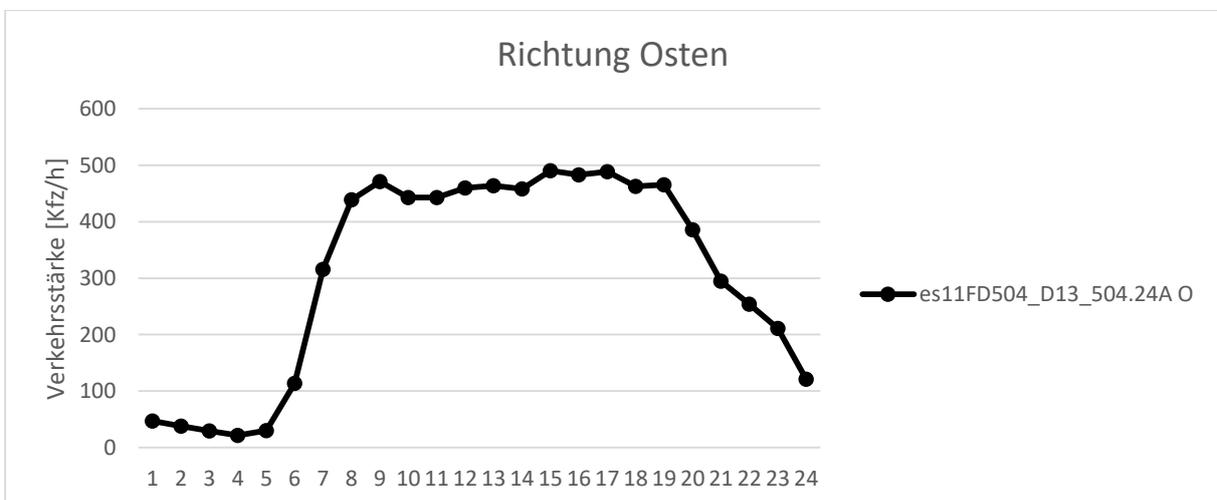


Abbildung 105: Tagesganglinie Zählstelle 207 – Heinrichstraße Richtung Osten

Auswahl Spitzenstunde

Tabelle 35: Auswahl Nachmittagsspitze

Übersicht Spitzenstunde							
Querschnitt Kalvarienbrücke	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
363.21A + 363.22A O	1079	1110	1119	1127	1111	1107	834
363.22 + 363.23 W	1277	1307	1338	1325	1318	1257	938
Summe (DI - DO)	2356	2417	2458	2452	2428	2364	1772
Querschnitt Keplerbrücke	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
501.81 + 501.82 O	467	465	465	470	467	474	359
501.83AD + 501.84AD W	947	940	962	949	923	912	665
Summe (DI - DO)	1415	1405	1426	1419	1390	1386	1025
Querschnitt Tegetthoffbrücke	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
205.21A + 205.22A O	814	819	815	815	823	816	615
205.23 + 205.24 W	211	213	221	223	230	233	175
Summe (DI - DO)	1025	1032	1036	1038	1052	1049	790
Querschnitt Radetzkybrücke	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
106.41A + 106.42A + 106.43A + 106.44A W	975	984	976	947	918	882	630
Summe (DI - DO)	975	984	976	947	918	882	630
Querschnitt Augartenbrücke	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
602.21A + 602.22A + 602.23A O	1193	1224	1242	1264	1284	1273	945
Summe (DI - DO)	1193	1224	1242	1264	1284	1273	945
Querschnitt Kaiser F.-J. Kai	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
363.21A + 363.22A O	798	803	820	845	811	818	606
Summe (DI - DO)	798	803	820	845	811	818	606
Querschnitt vor Andritzer Maut	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
357.21 S	527	545	549	557	542	540	401
357.22A N	783	810	848	846	836	823	605
Summe (DI - DO)	1310	1355	1397	1403	1377	1363	1006
Querschnitt Parkstraße	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
504.5x	1285	1309	1331	1329	1293	1305	972

Summe (DI - DO)	1285	1309	1331	1329	1293	1305	972
-----------------	------	------	------	------	------	------	-----

Querschnitt Heinrichstraße	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
504.24A O	484	485	489	490	479	475	350
504.21 + 504.22 + 504.23 W	554	559	565	554	559	557	414
Summe (DI - DO)	1039	1045	1054	1044	1038	1032	764

Querschnitt Glacis	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
504.31 + 504.32 N	1087	1133	1125	1110	1096	1082	809
505.11 + 505.31A + 505.32A S	1106	1104	1119	1126	1129	1118	833
Summe (DI - DO)	2193	2237	2244	2236	2225	2200	1642

Querschnitt Burgring	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
363.22 + 363.23 W	1014	999	986	961	923	896	661
Summe (DI - DO)	1014	999	986	961	923	896	661

Querschnitt Radetzkyplatz	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
104.41A + 104.42A + 104.43A	1639	1629	1639	1631	1629	1627	1221
Summe (DI - DO)	1639	1629	1639	1631	1629	1627	1221

Querschnitt Grazbachgasse	15:30 - 16:30	15:45 - 16:45	16:00 - 17:00	16:15 - 17:15	16:30 - 17:30	16:45 - 17:45	16:00 - 17:00
363.22 + 363.23 W	1283	1294	1314	1339	1373	1397	1052
Summe (DI - DO)	1283	1294	1314	1339	1373	1397	1052

Anhang 2 – Signalzeiten- und Signallagepläne

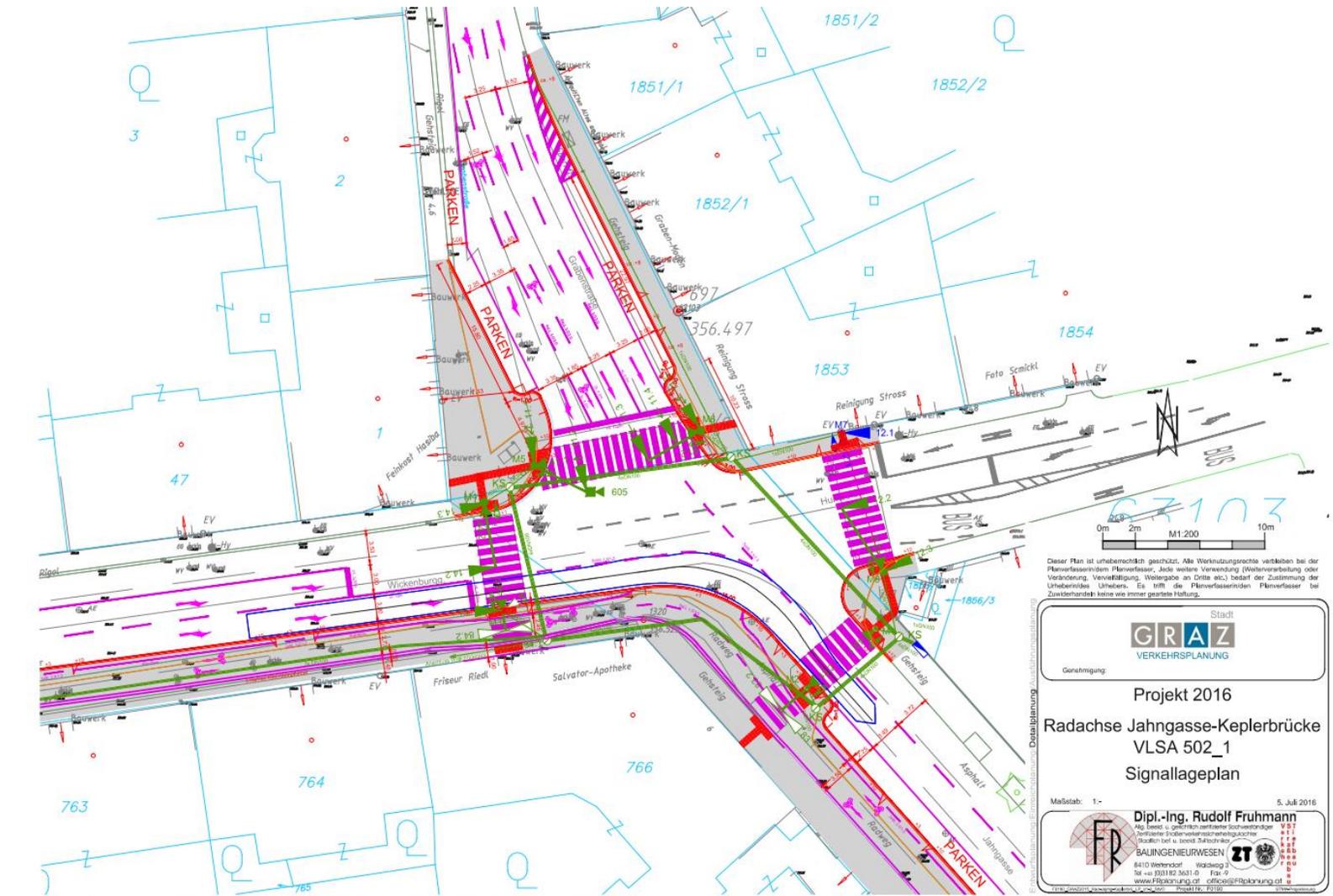


Abbildung 106: Signallageplan Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse

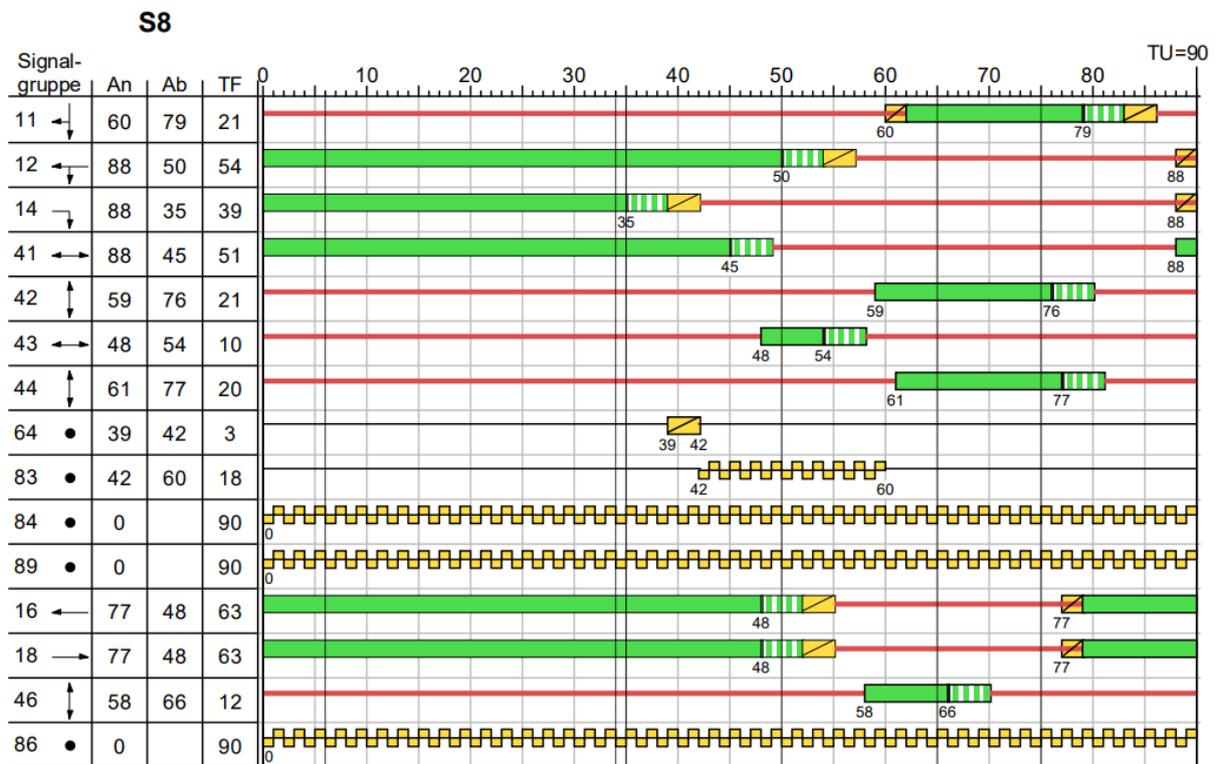


Abbildung 107: Signalprogramm S8 Knoten 502 – Grabenstraße/Wickenburggasse

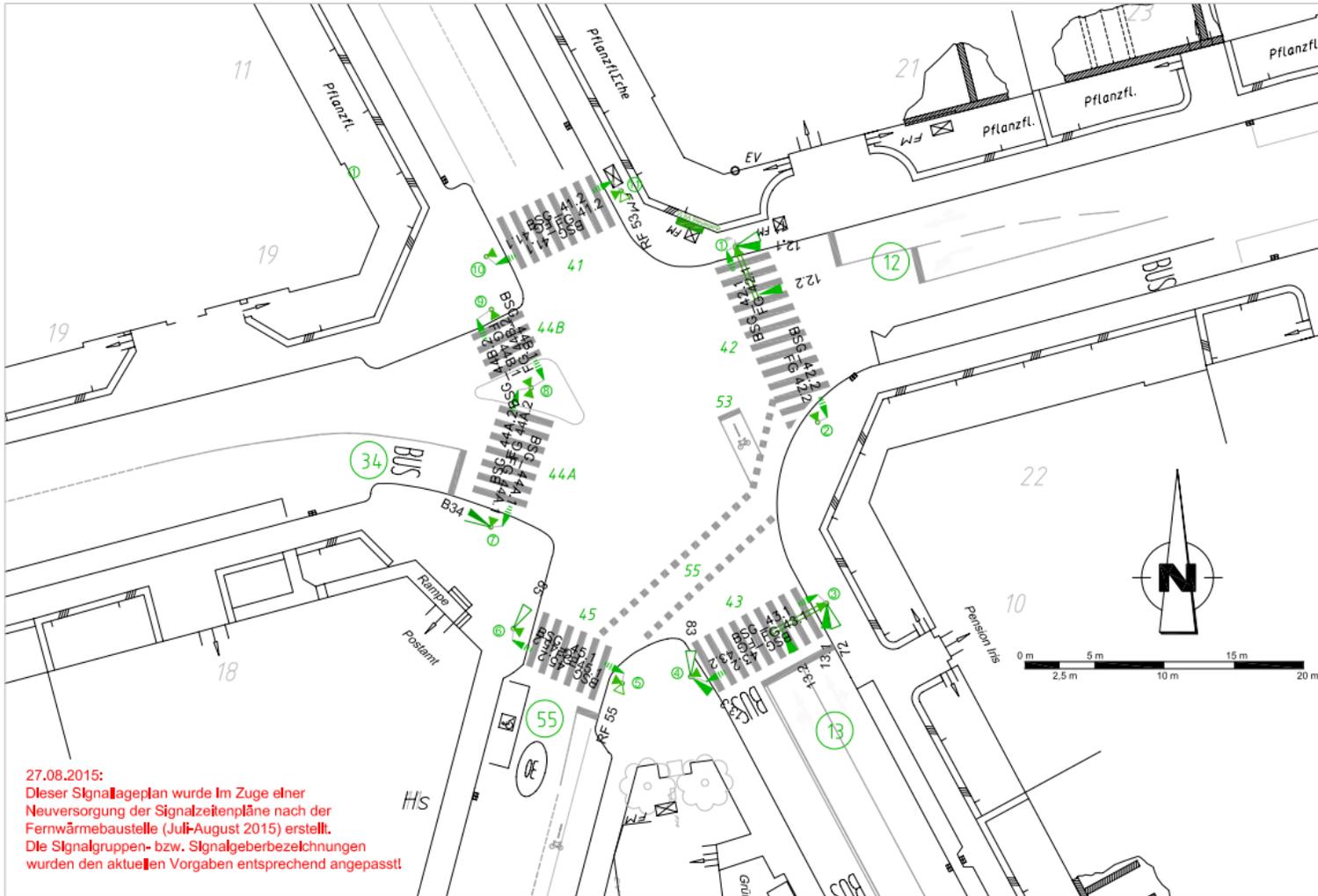


Abbildung 108: Signallageplan Knoten 503 – Bergmannngasse/Humboldtstraße

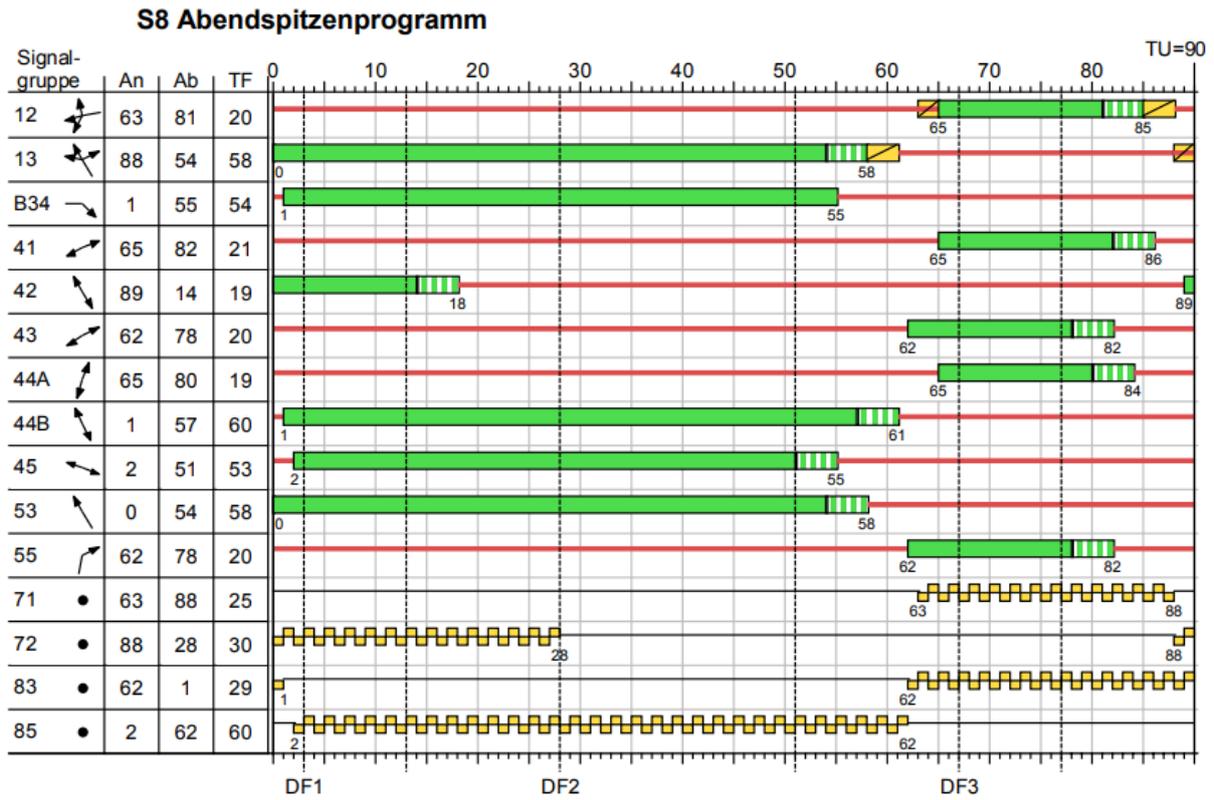


Abbildung 109: Signalprogramm S8 Knoten 503 – Bergmannsgasse/Humboldtstraße

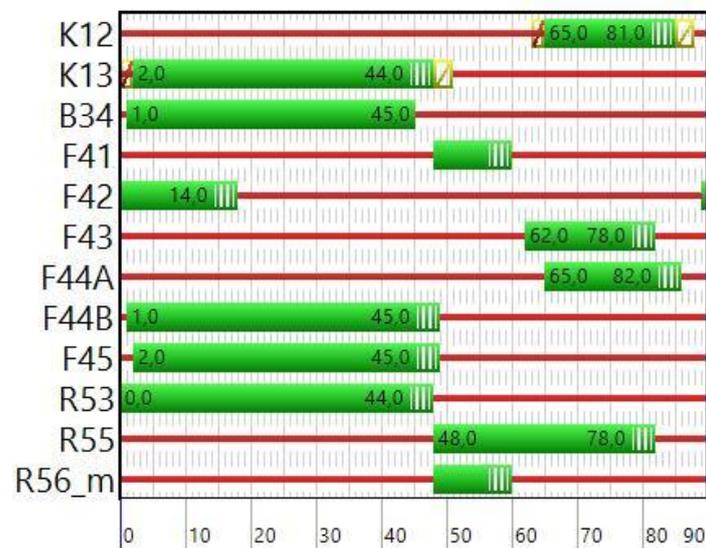


Abbildung 110: Signalprogramm S8_adaptiert Knoten 503 – Bergmannsgasse/Humboldtstraße

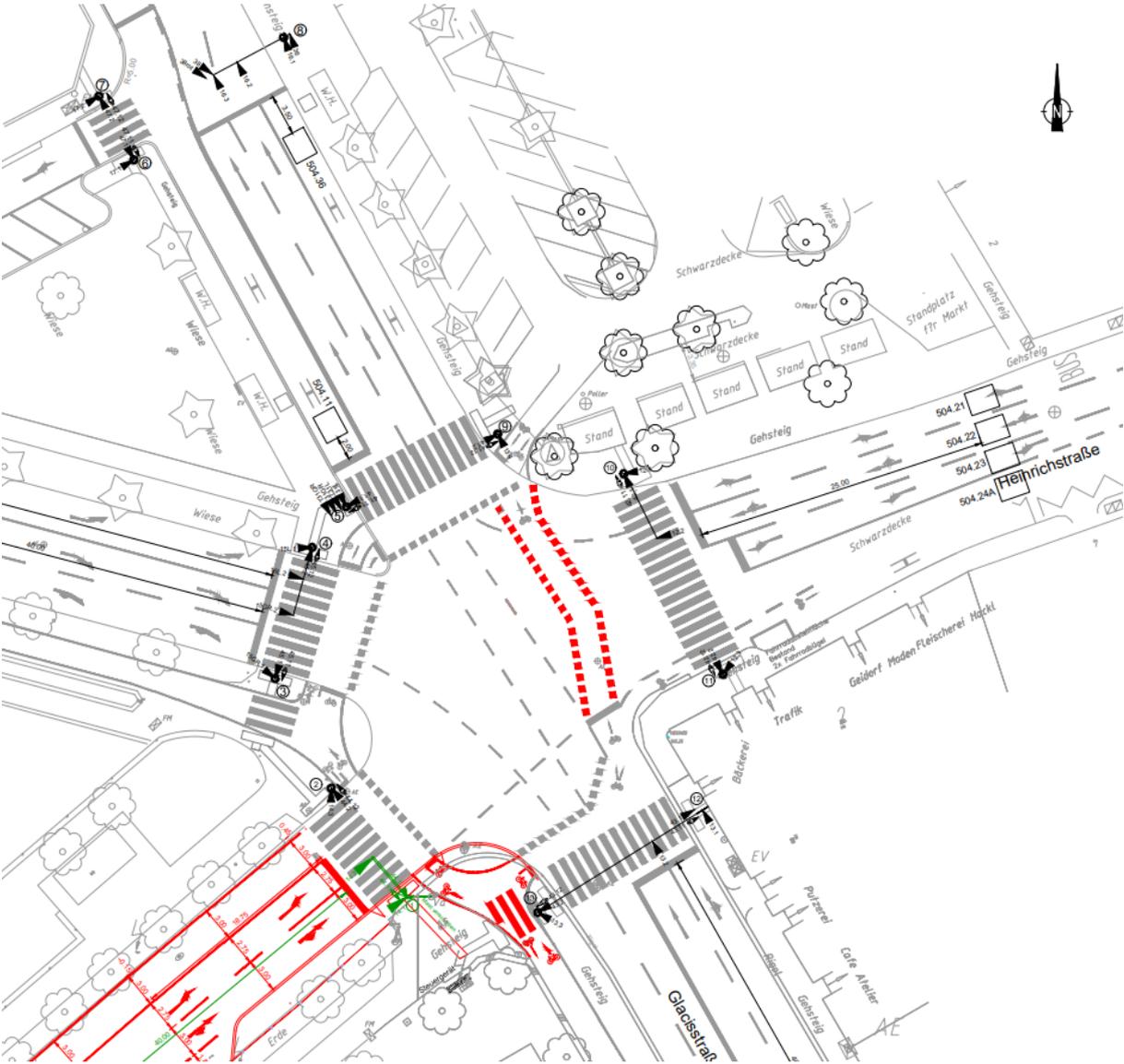


Abbildung 111: Signallageplan Knoten 504 – Geidorfplatz

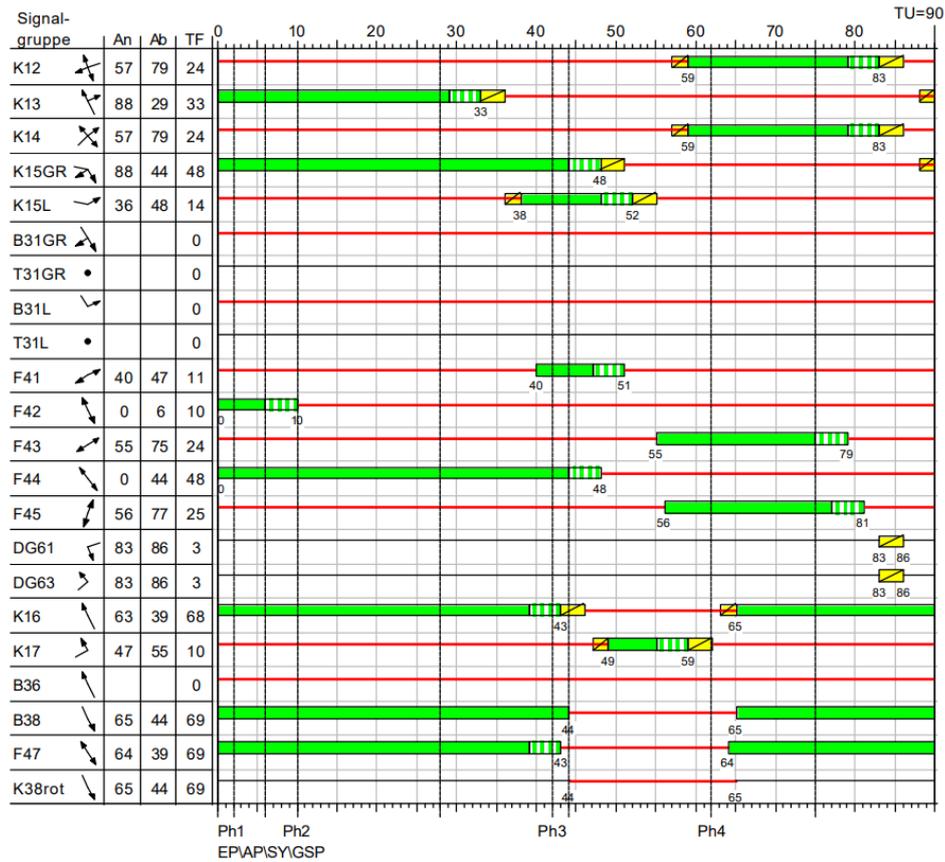


Abbildung 112: Signalprogramm S8 Knoten 504 – Geidorfplatz

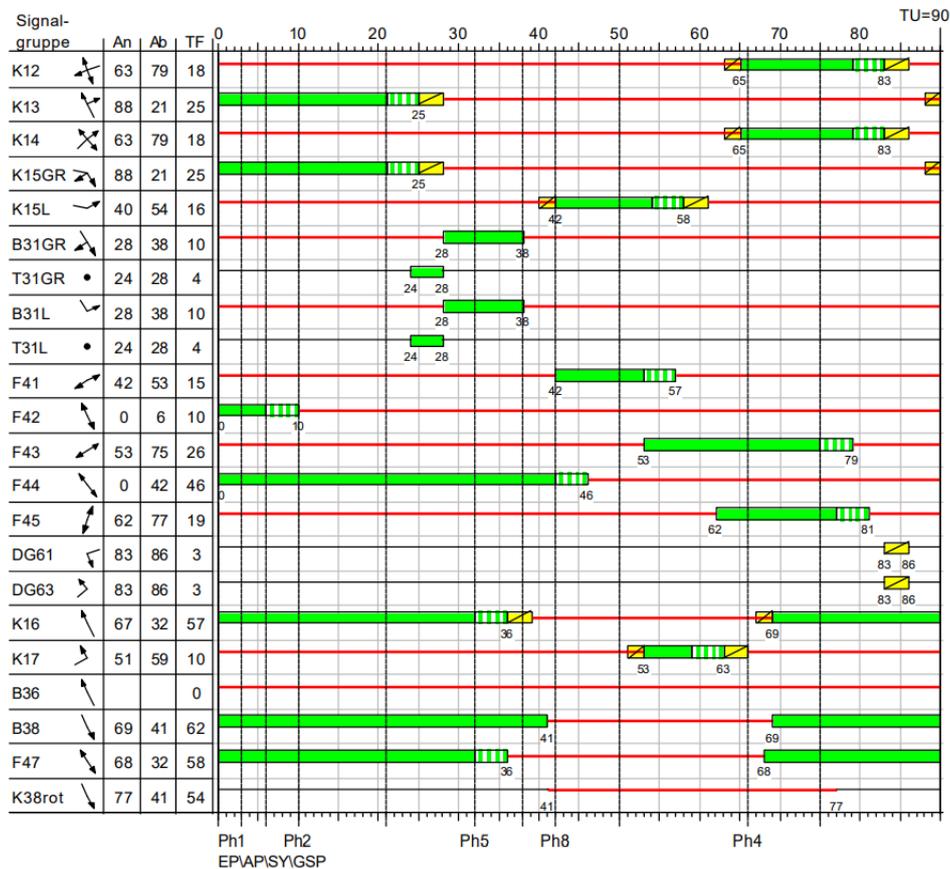


Abbildung 113: Signalprogramm S8 lokal Knoten 504 – Geidorfplatz

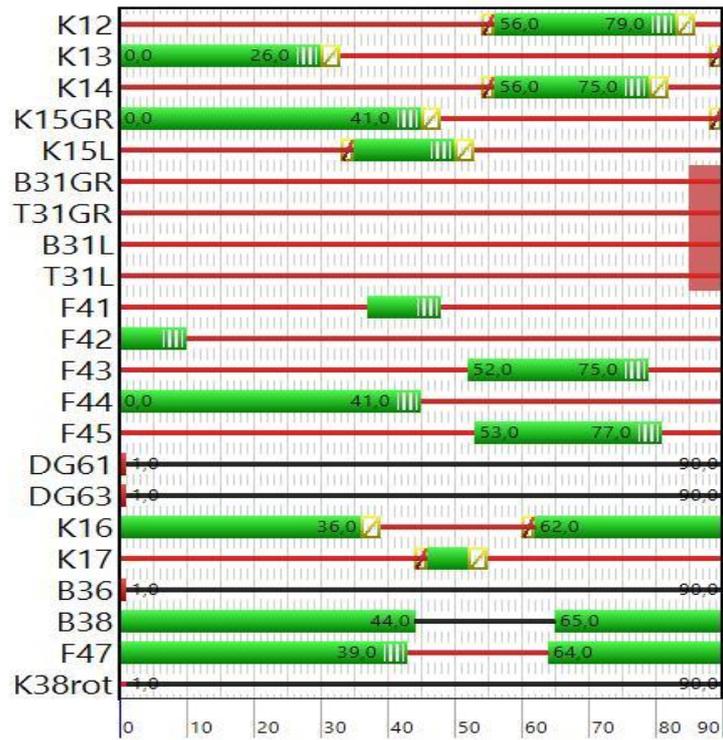


Abbildung 114: Signalprogramm PF2-3 Knoten 504 – Geidorfplatz

Anhang 3 – Verkehrsbelastungen

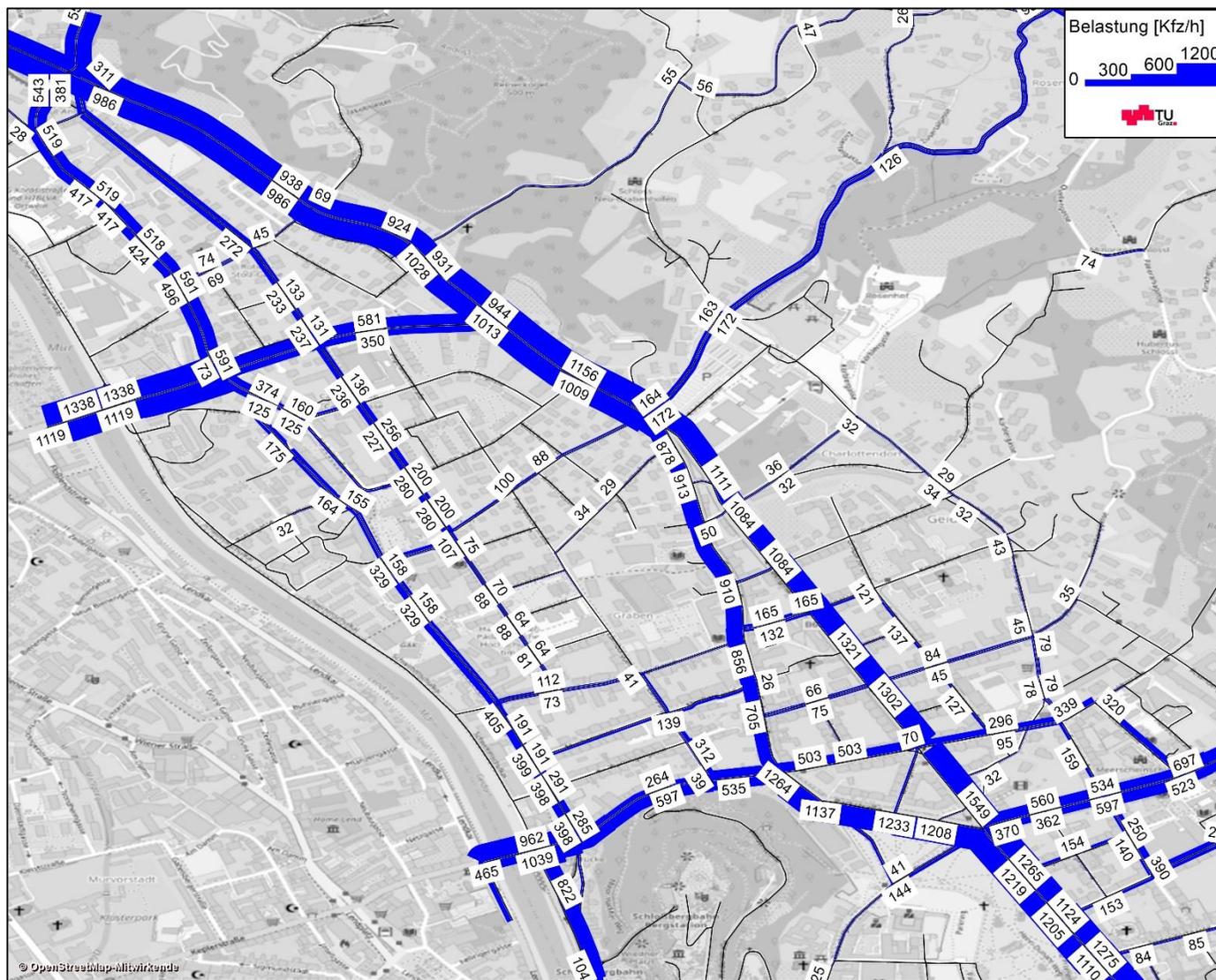


Abbildung 115: Verkehrsbelastung Basisfall

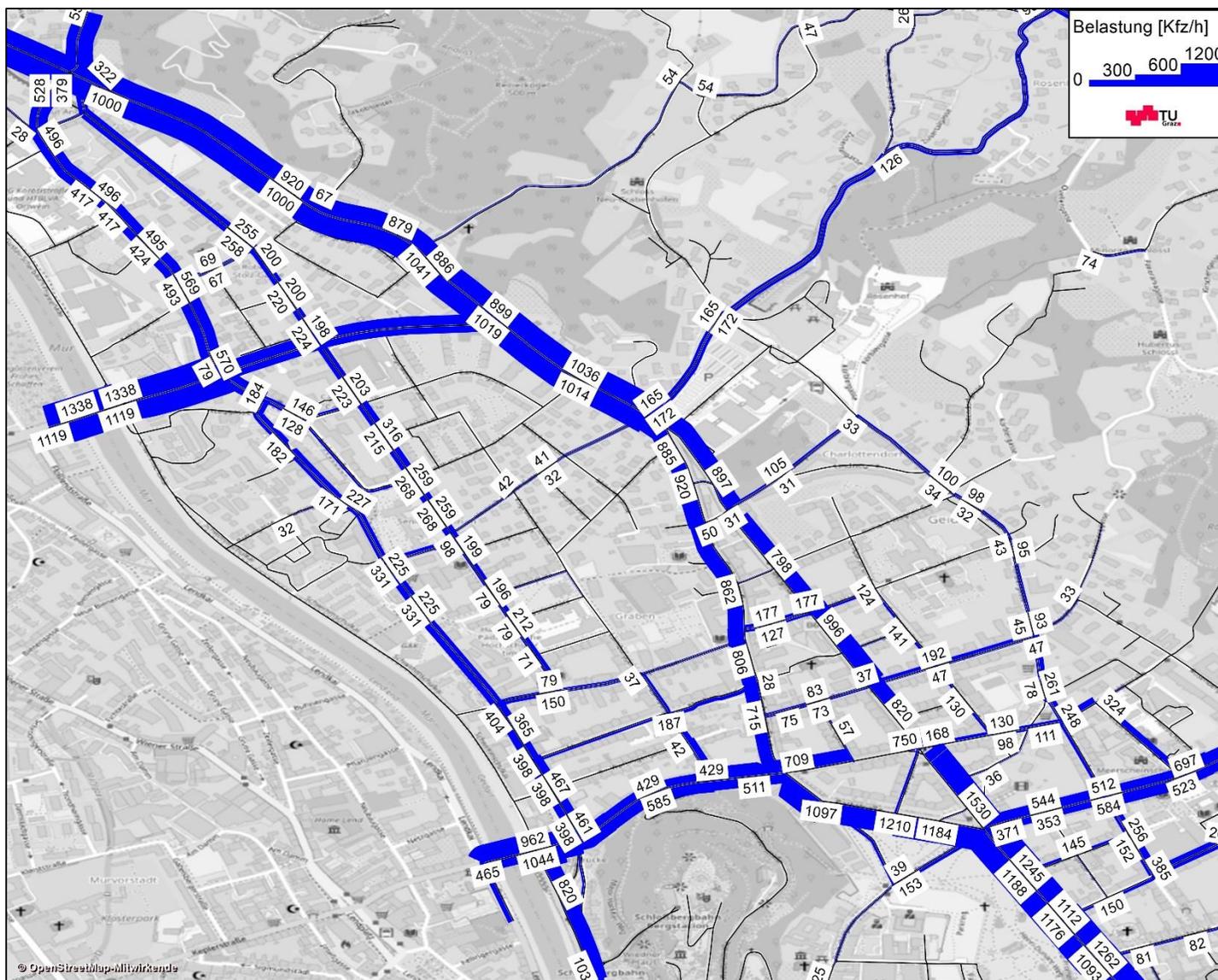


Abbildung 116: Verkehrsbelastung Planfall 1



Abbildung 118: Verkehrsbelastung Planfall 2

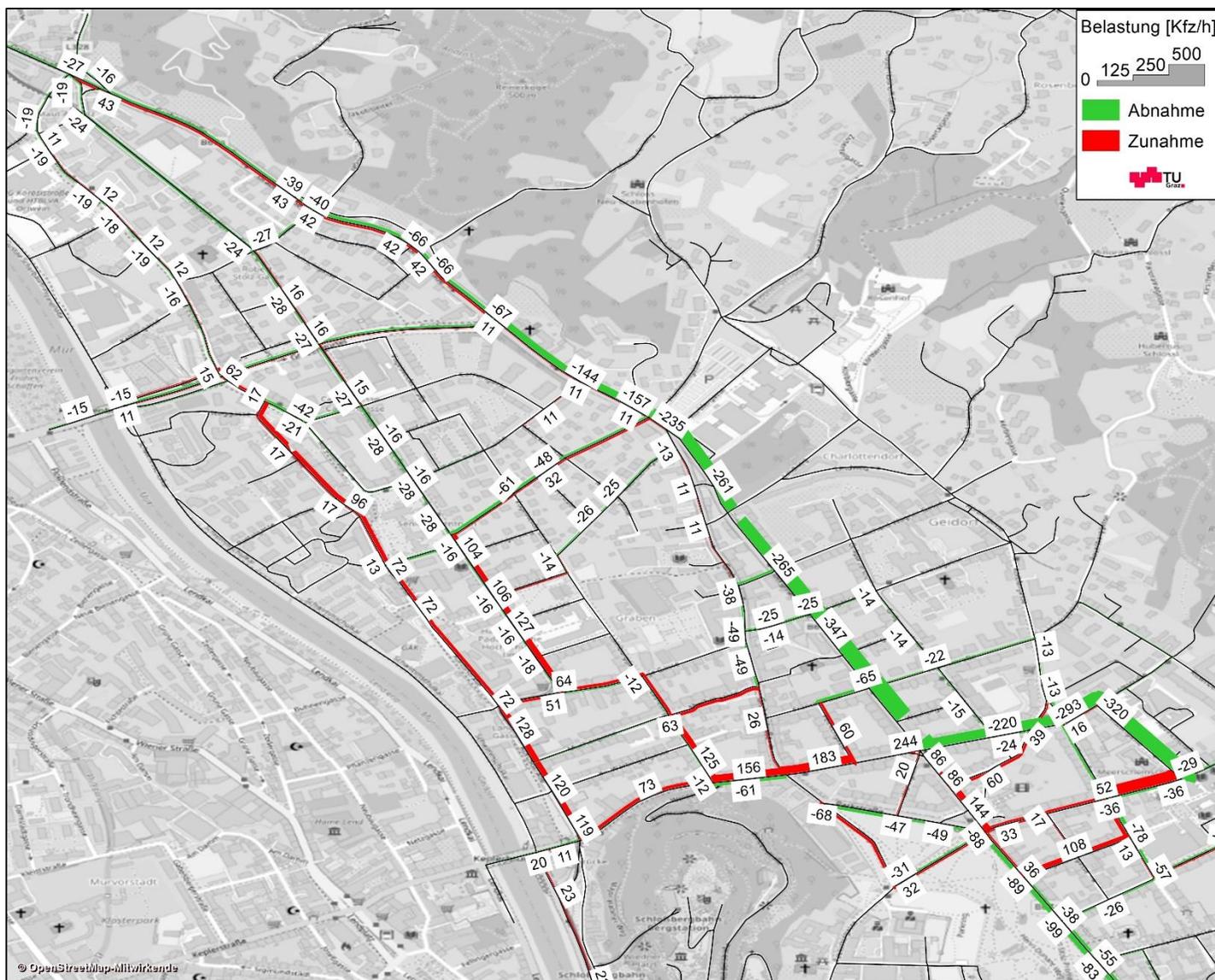


Abbildung 119: Differenz Verkehrsbelastung Planfall 2

Anhang 4: Streckenspinnen

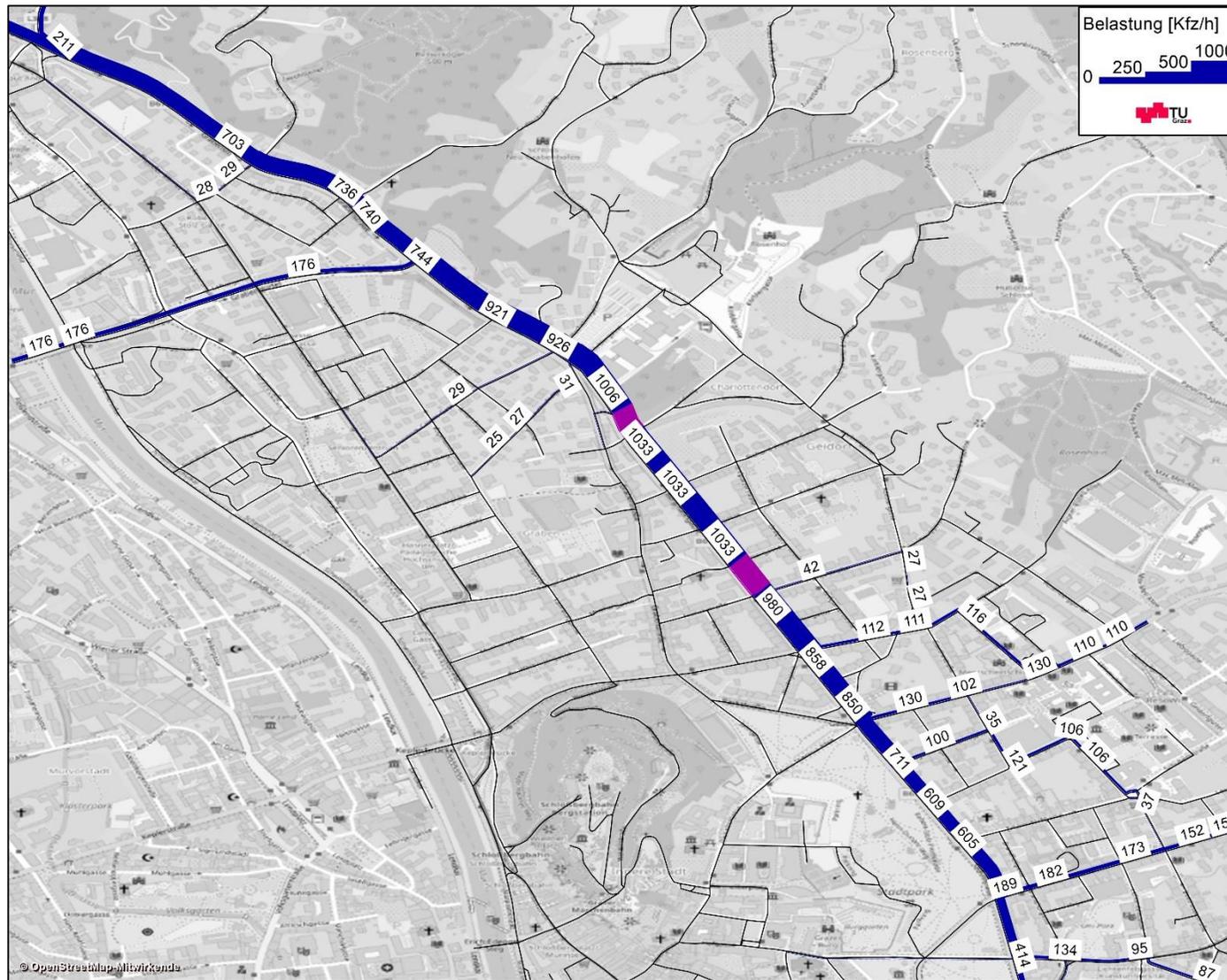


Abbildung 120: Streckenspinne Bergmannsgasse Basisfall

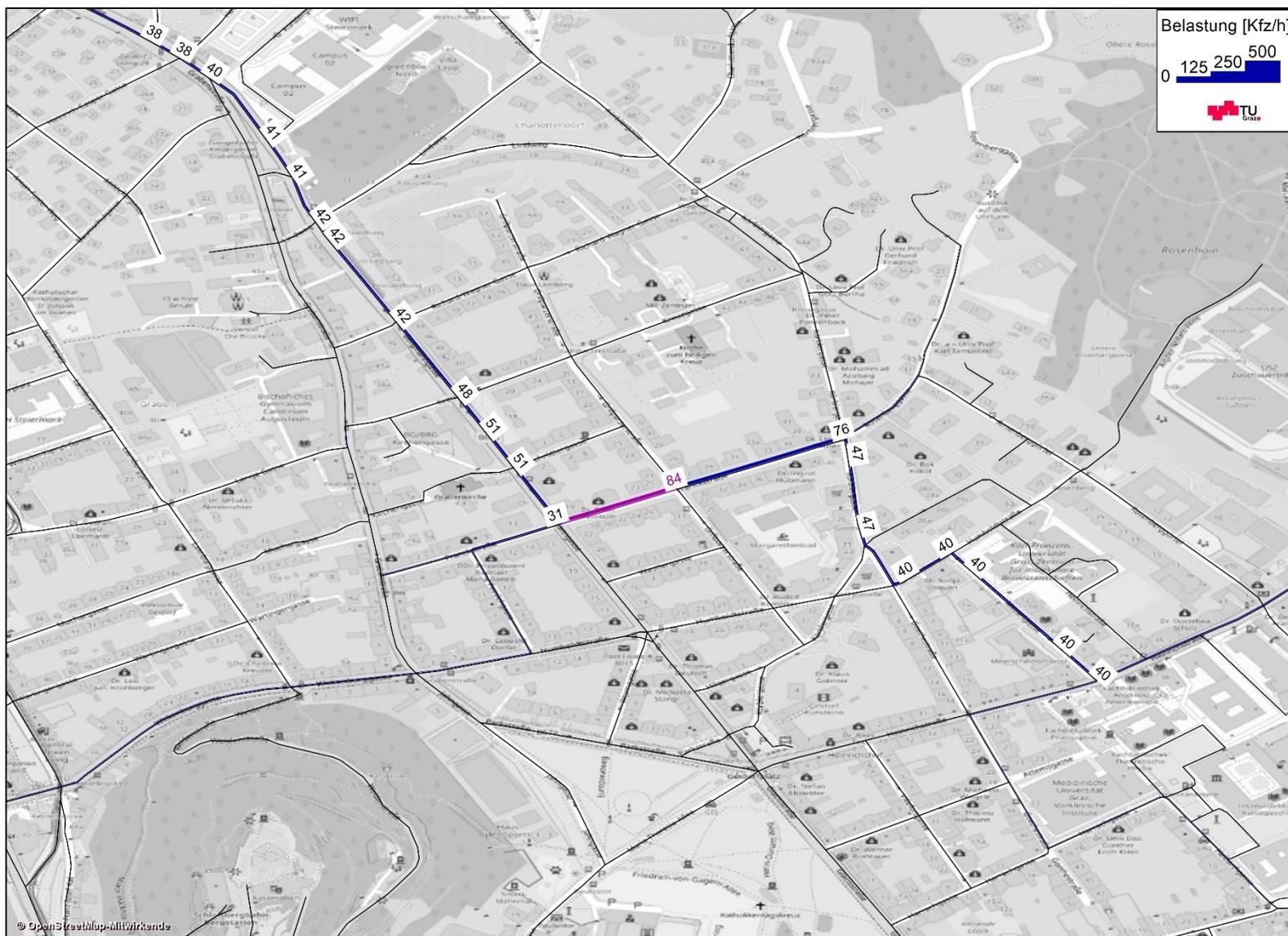


Abbildung 121: Streckenspinne Franckstraße Basisfall



Abbildung 122: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Basisfall

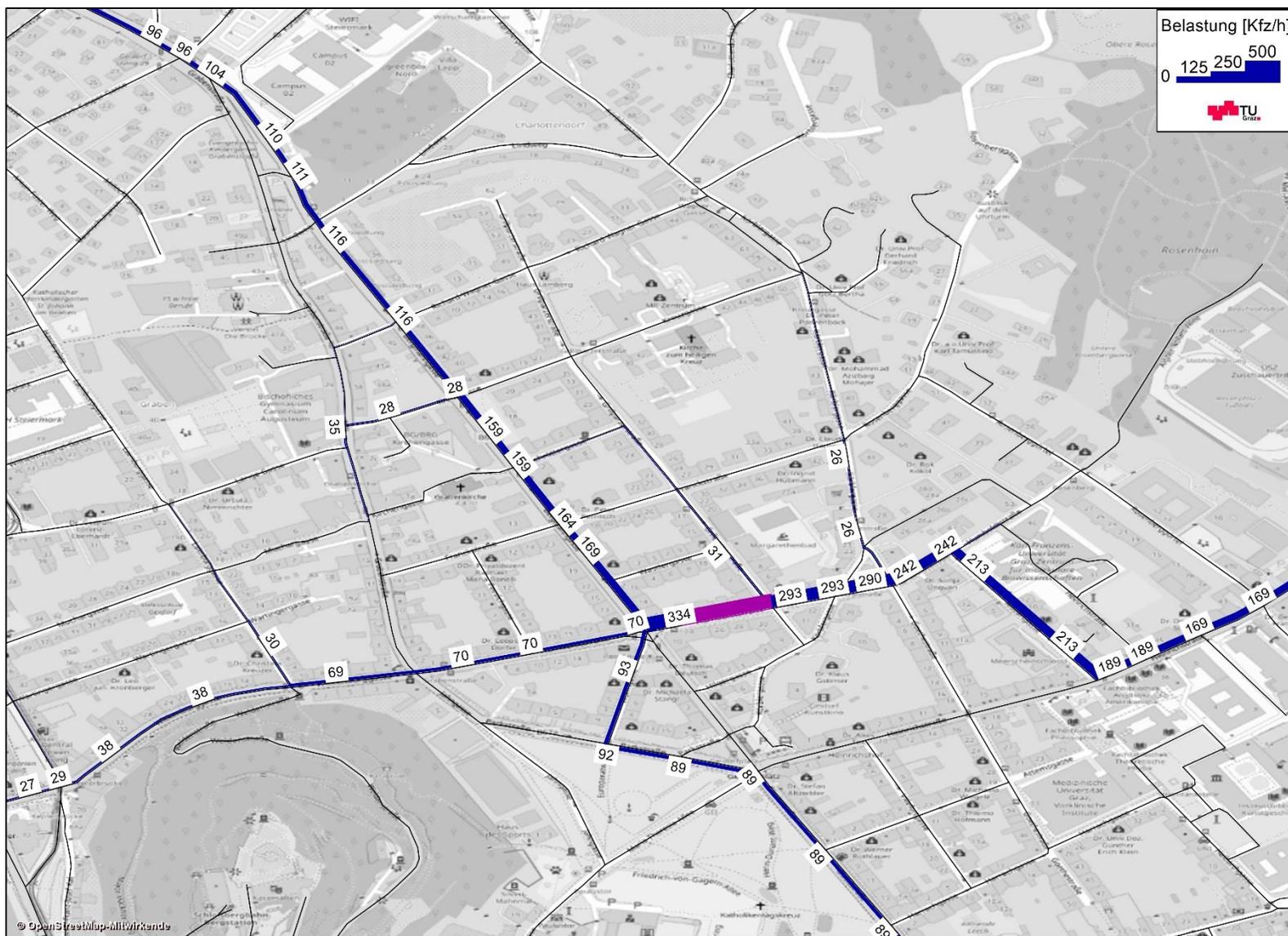


Abbildung 123: Streckenspinne Humboldtstraße Basisfall



Abbildung 124: Streckenspinne Körblergasse Basisfall

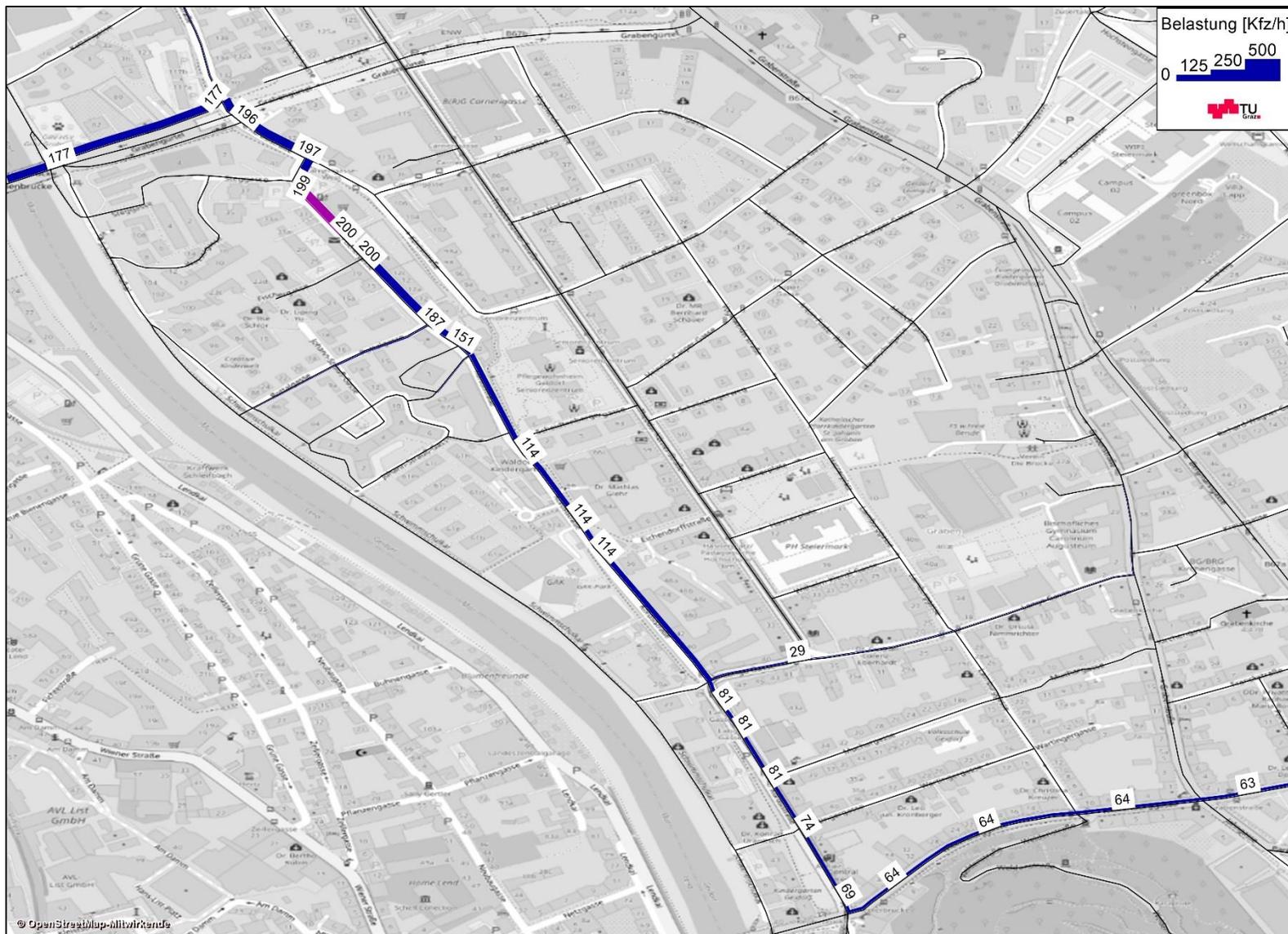


Abbildung 125: Streckenspinne Korösisstraße Basisfall



Abbildung 127: Streckenspinne Wickenburggasse Basisfall

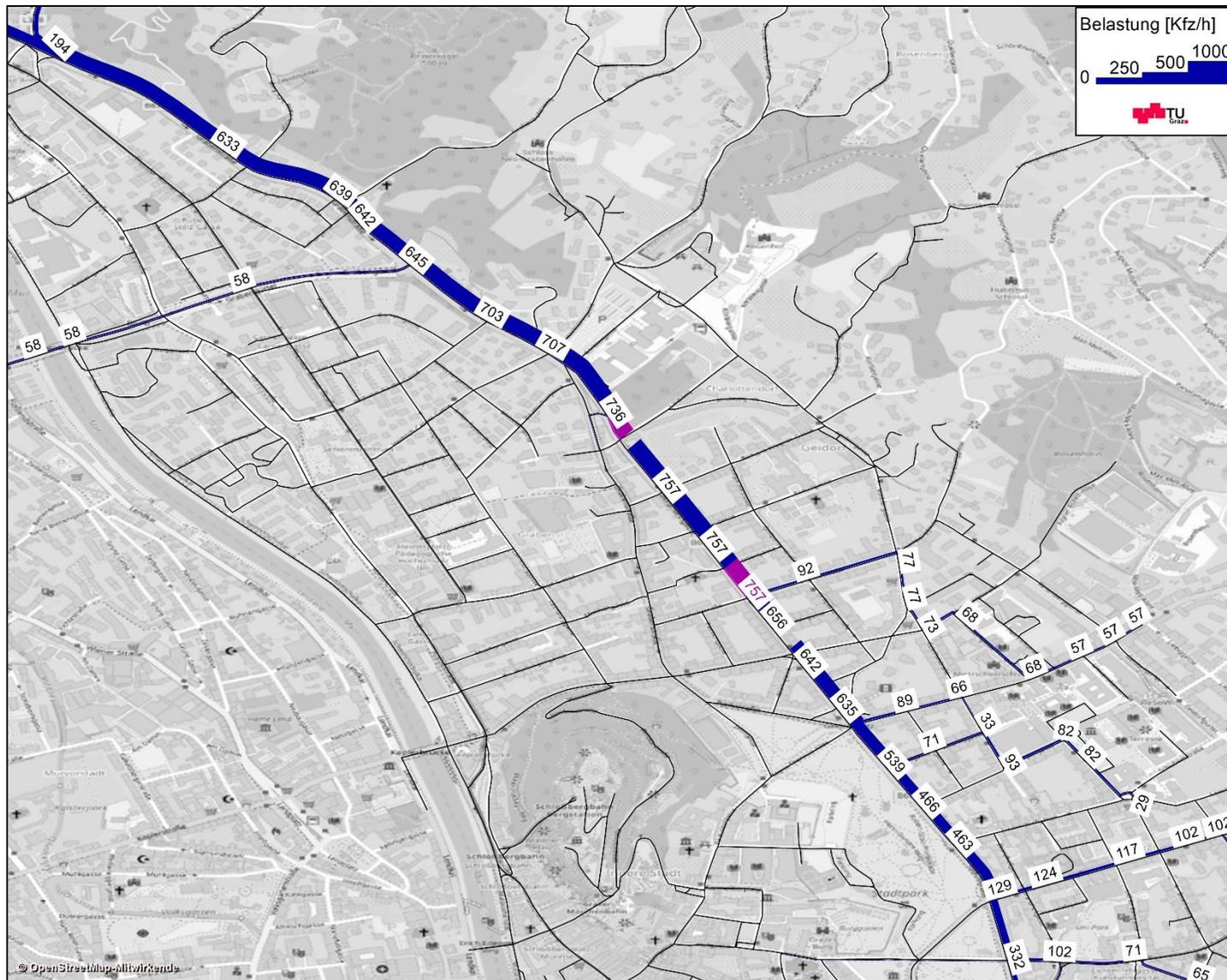


Abbildung 128: Streckenspinne Bergmannsgasse Planfall 1

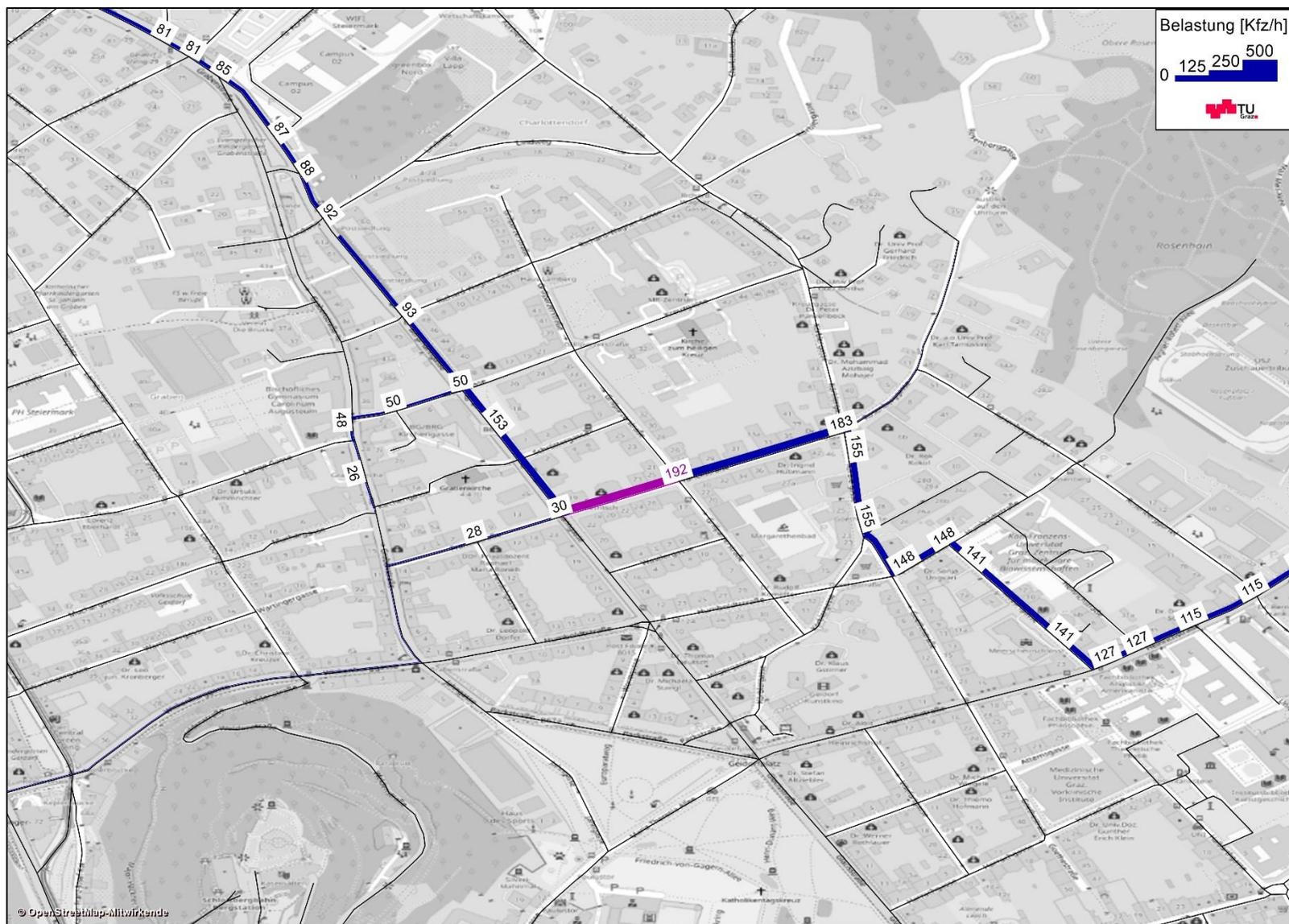


Abbildung 129: Streckenspinne Franckstraße Planfall 1



Abbildung 130: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Planfall 1

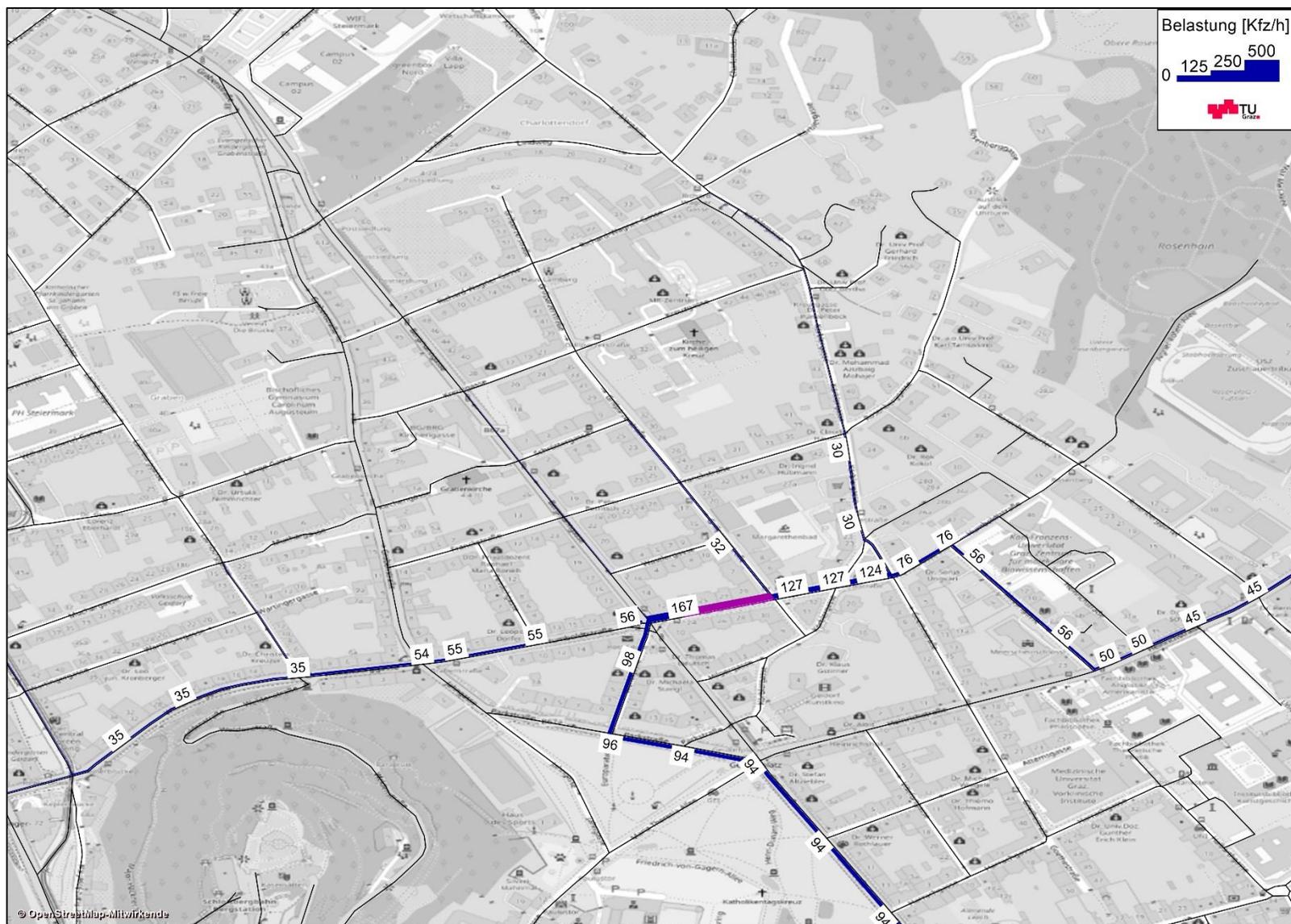


Abbildung 131: Streckenspinne Humboldtstraße Planfall 1

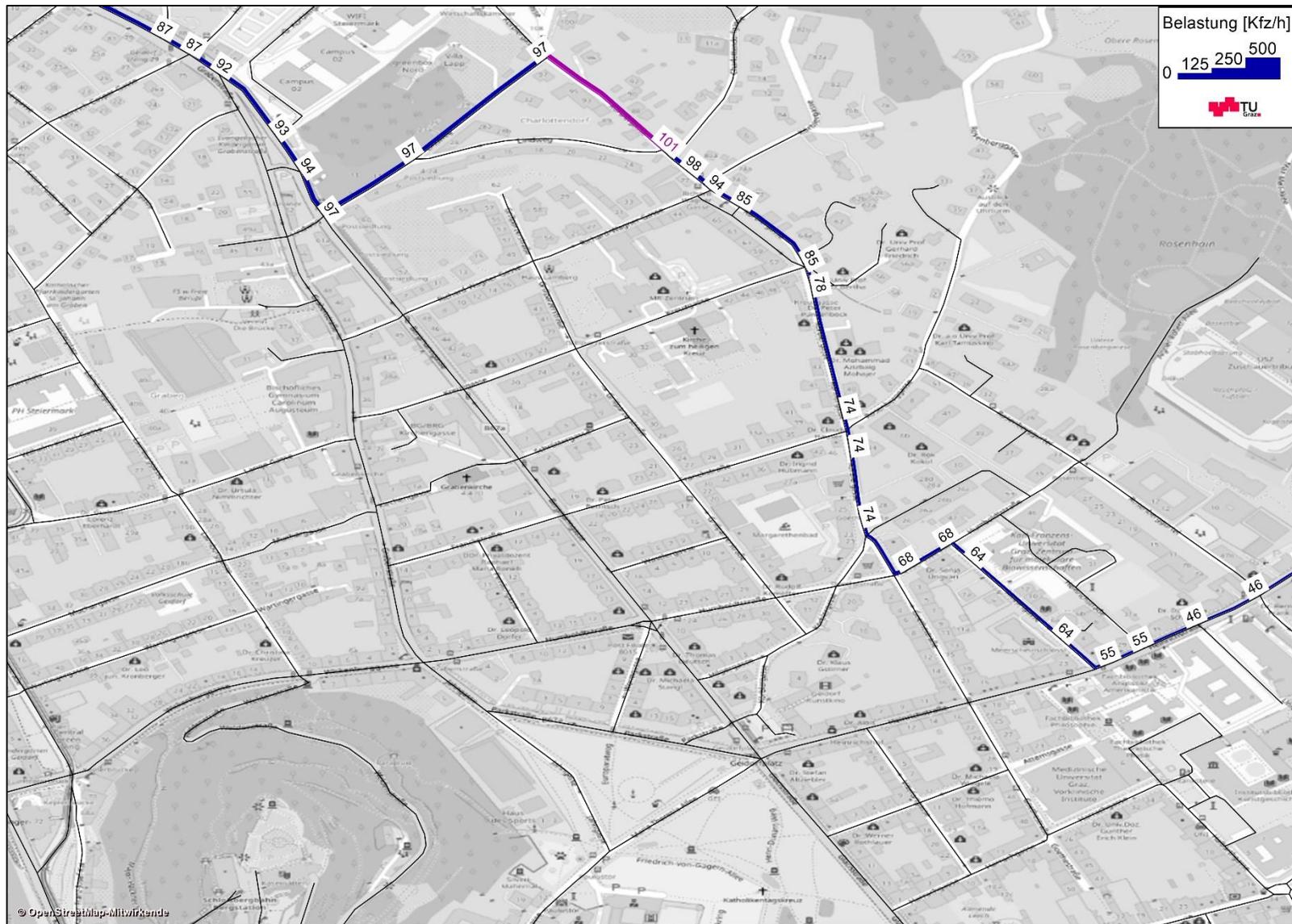


Abbildung 132: Streckenspinne Körblergasse Planfall 1

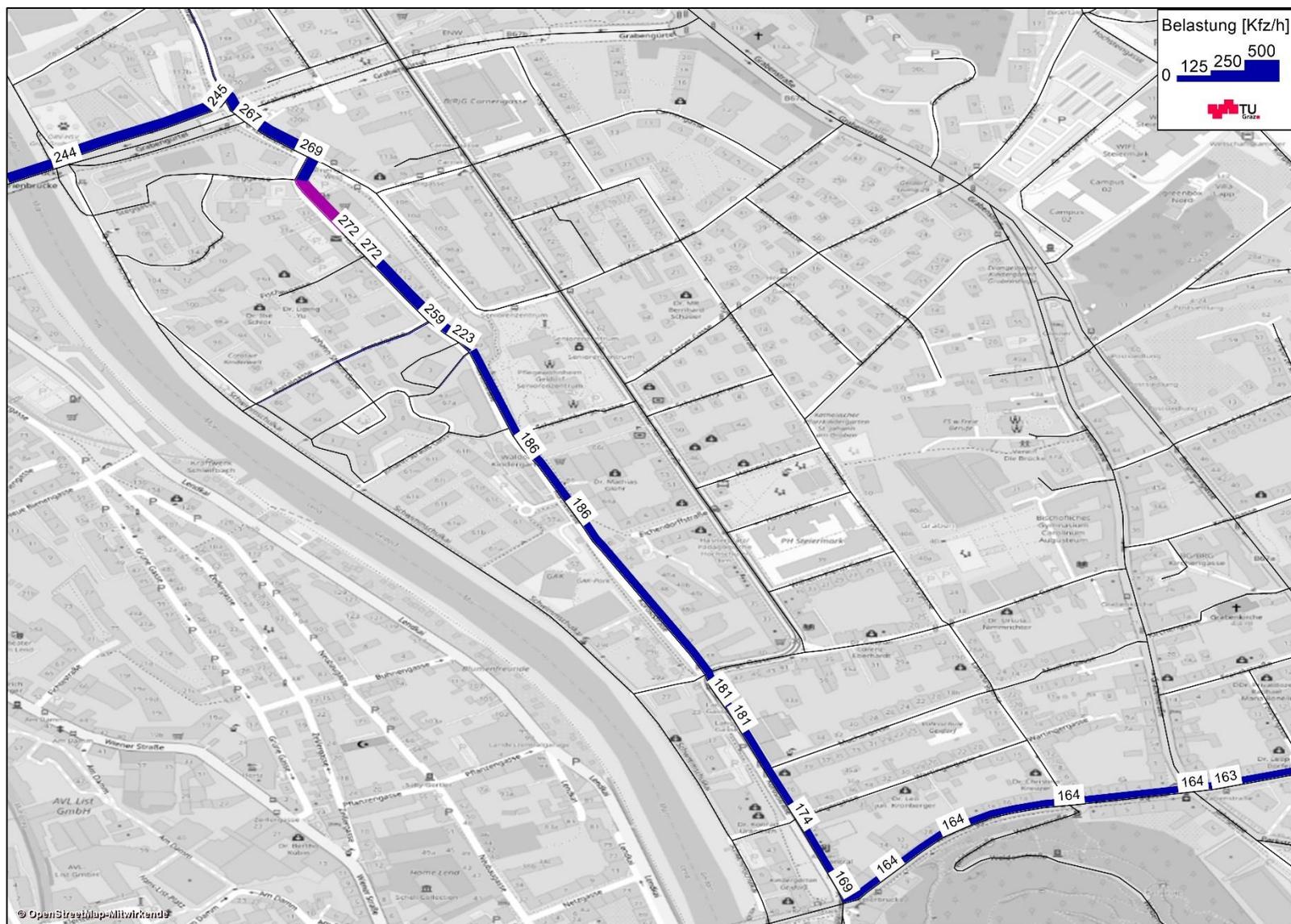


Abbildung 133: Streckenspinne Korösstraße Planfall 1



Abbildung 134: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße Planfall 1

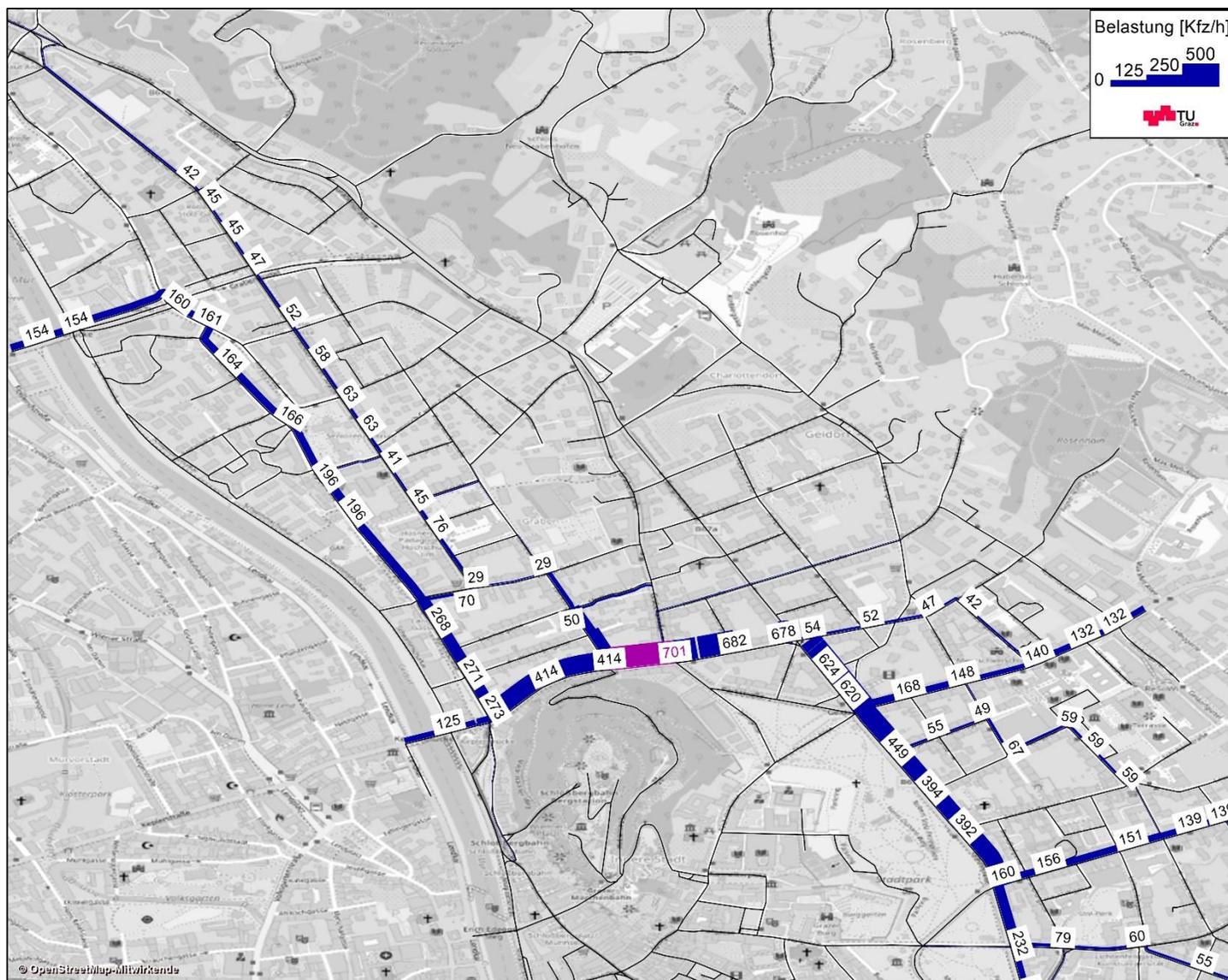


Abbildung 135: Streckenspinne Wickenburggasse Planfall 1

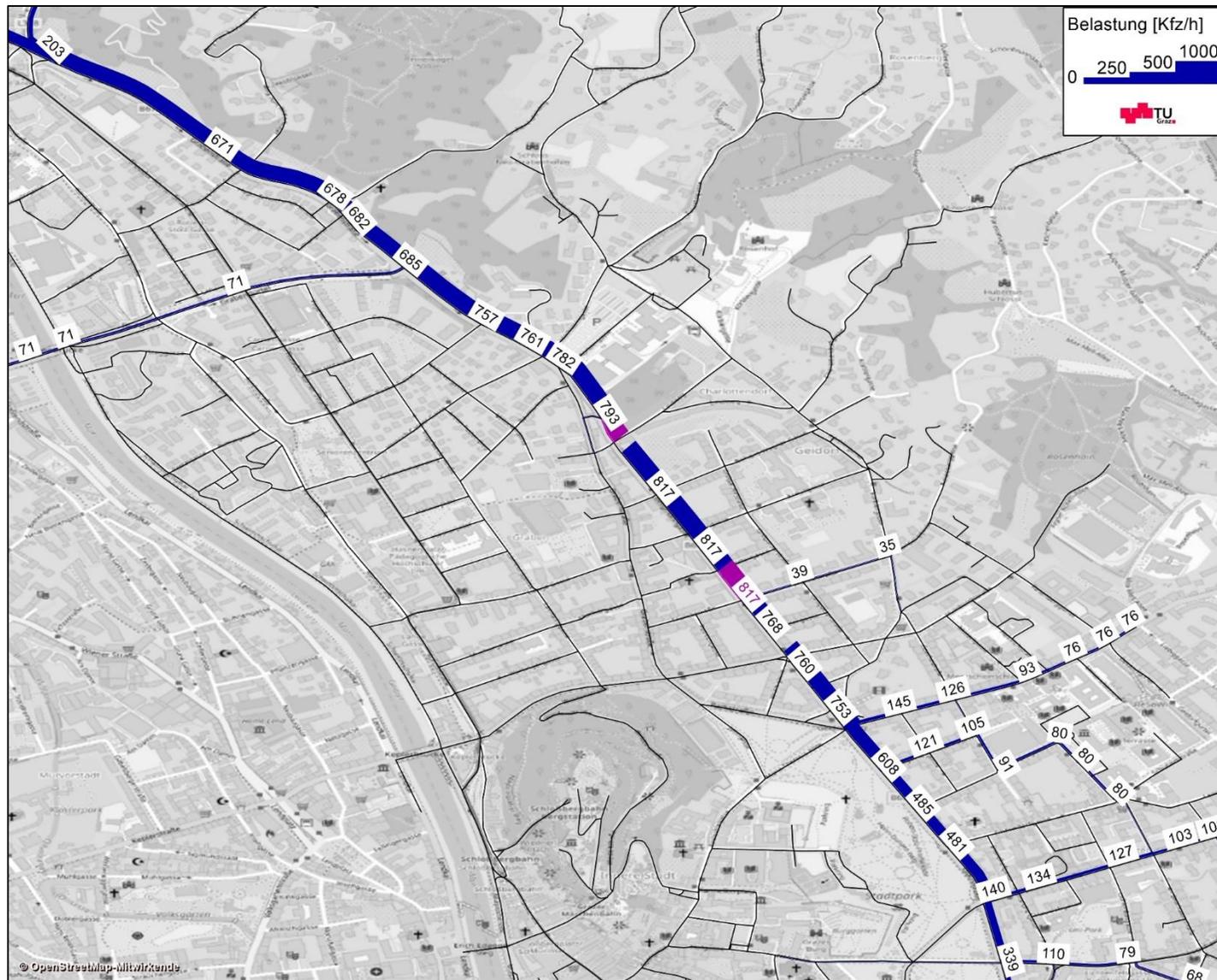


Abbildung 136: Streckenspinne Bergmannsgasse Planfall 2

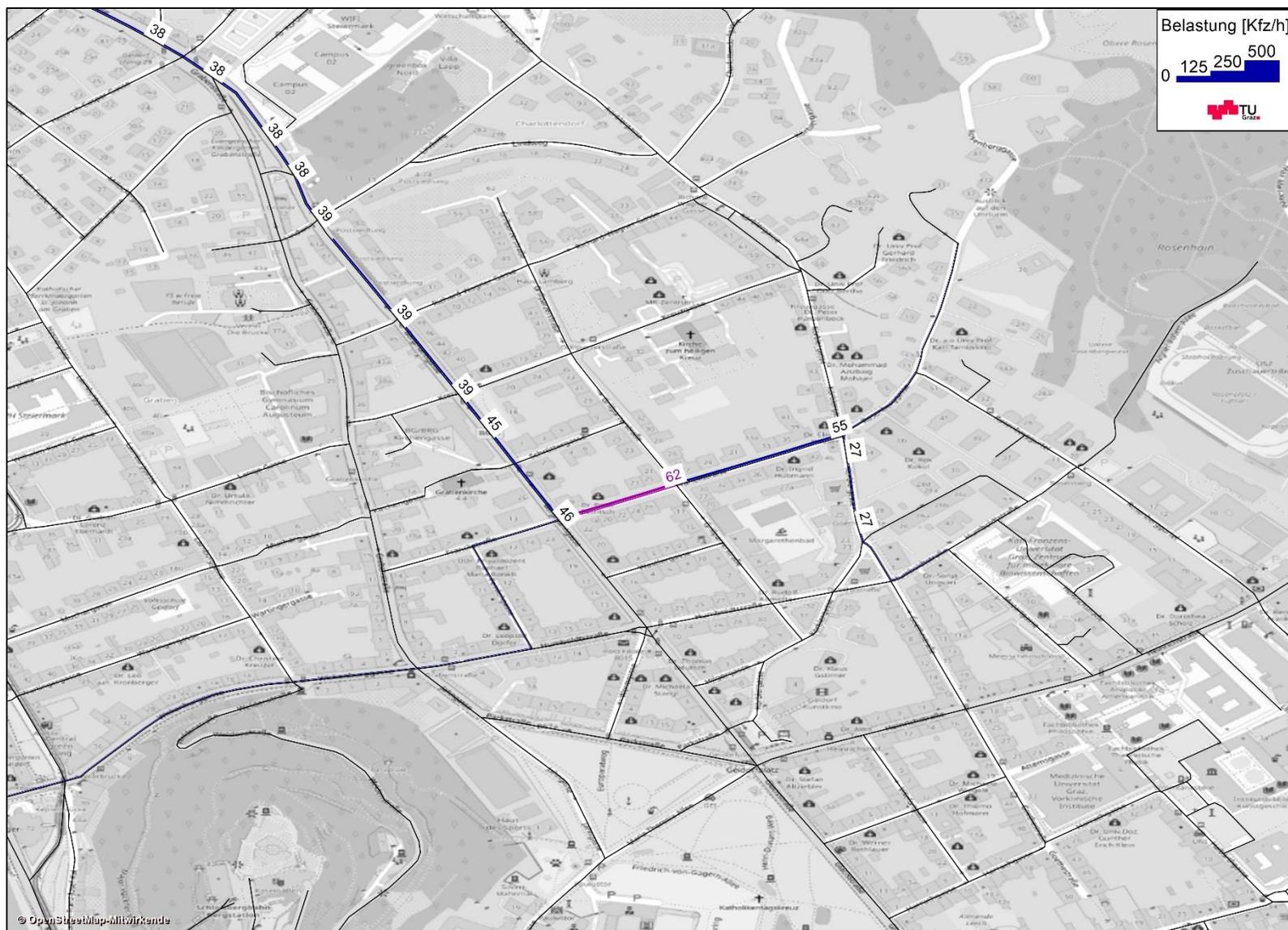


Abbildung 137: Streckenspinne Franckstraße Planfall 2



Abbildung 138: Streckenspinne Heinrich-Casper-Gasse Planfall 2

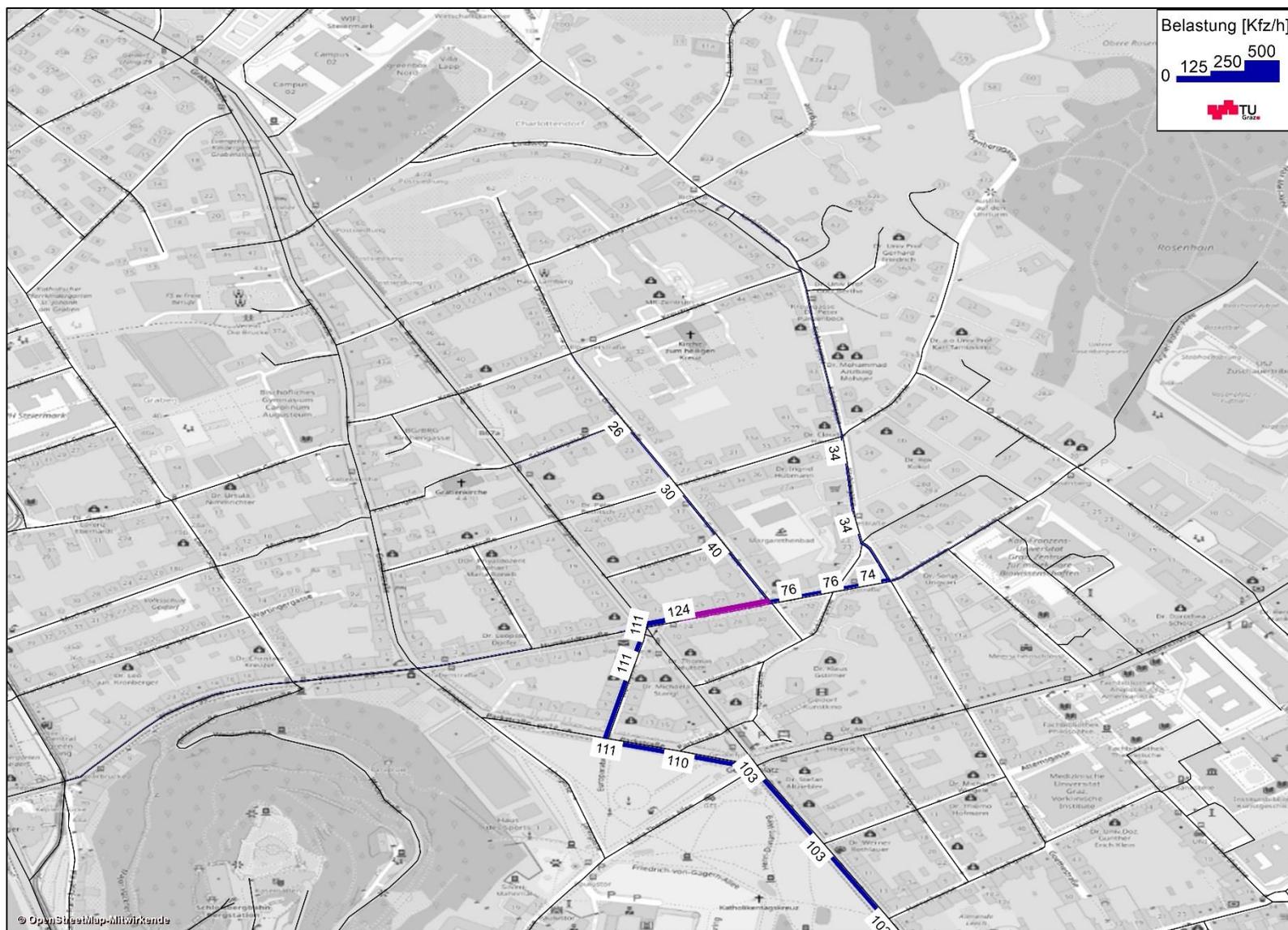


Abbildung 139: Streckenspinne Humboldtstraße Planfall 2



Abbildung 140: Streckenspinne Körblergasse Planfall 2

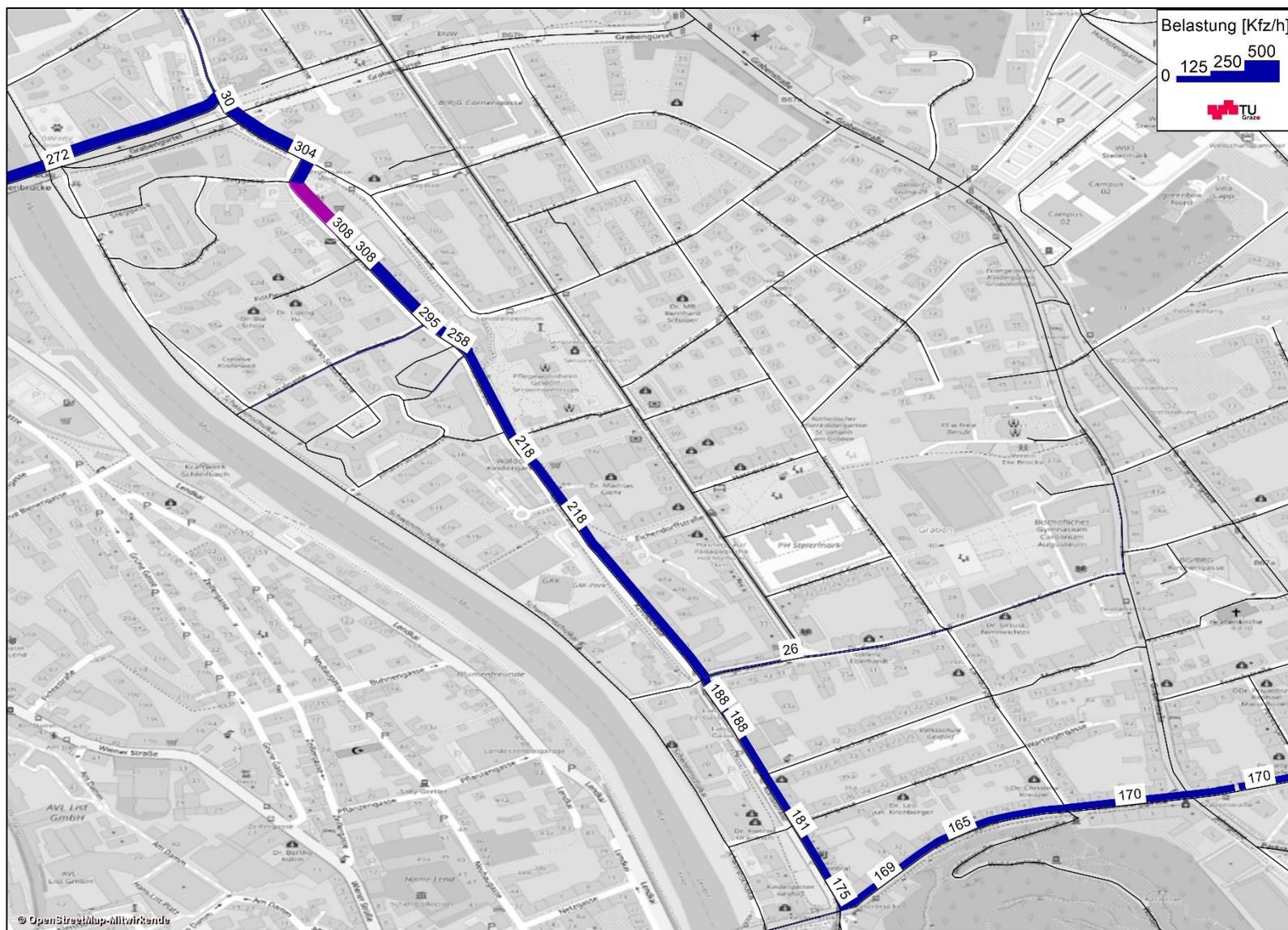


Abbildung 141: Streckenspinne Korösstraße Planfall 2



Abbildung 142: Streckenspinne Theodor-Körner-Straße Planfall 2



Abbildung 143: Streckenspinne Wickenburggasse Planfall 2

Anhang 5: Knoten LOS

Tabelle 36: Knoten 502 – Level of Service

BF									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K14	W-O (Bus)		12		22	12	63	0,00	C
K14	W-S	528		23		12	63	0,83	C
K11	N-W	13		50		23	97	2,17	D
K11	N-O (Bus)		4		20	0	43	0,00	B
K11	N-S	700		32		23	95	0,84	C
K12	O-W	435	10	8	32	7	81	0,34	A
K12	O-S	36		17		7	81	3,21	B
Summe 502		1712	26	23	26	13	99	0,77	C

PF2-1									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K14	W-O (Bus)		12		21	10	54	0	B
K14	W-S	470		20		10	54	0,75	C
K11	N-W	13		39		24	108	1,7	D
K11	N-O (Bus)		4		23	18	58	0	C
K11	N-S	728		33		24	107	0,84	C
K12	O-W	604	10	13	34	16	173	0,42	B
K12	O-S	62		23		16	173	2,93	C
Summe 502		1876	26	23	26	17	174	0,76	C

PF2-2									
502 - Grabenstraße/Wickenburggasse									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K14	W-S (Bus)		12		21	10	54	0	C
K14	W-S	470		20		10	54	0,81	C
K11	N-W	14		40		25	107	1,71	D
K11	N-S (Bus)		4		40	25	106	0	C
K11	N-S	729		33		25	106	0,85	C
K12	O-W	576	10	11	43	14	105	0,46	B
K12	O-S	57		19		14	105	1,01	C
Summe 502		1845	26	23	32	15	118	0,73	C

PF2-3									
502 - Wickenburggasse/Grabenstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K14	W-S (Bus)		12		23	10	56	0	C
K14	W-S	469		21		10	56	0,87	C
K11	N-W	12		45		35	137	1,81	D
K11	N-S (Bus)		4		54	34	136	0	D
K11	N-S	715		44		34	136	1,21	D
K12	O-W	626	10	11	31	16	148	0,47	B
K12	O-S	64		23		16	148	1,14	C
Summe 502		1887	26	27	31	19	168	0,88	C

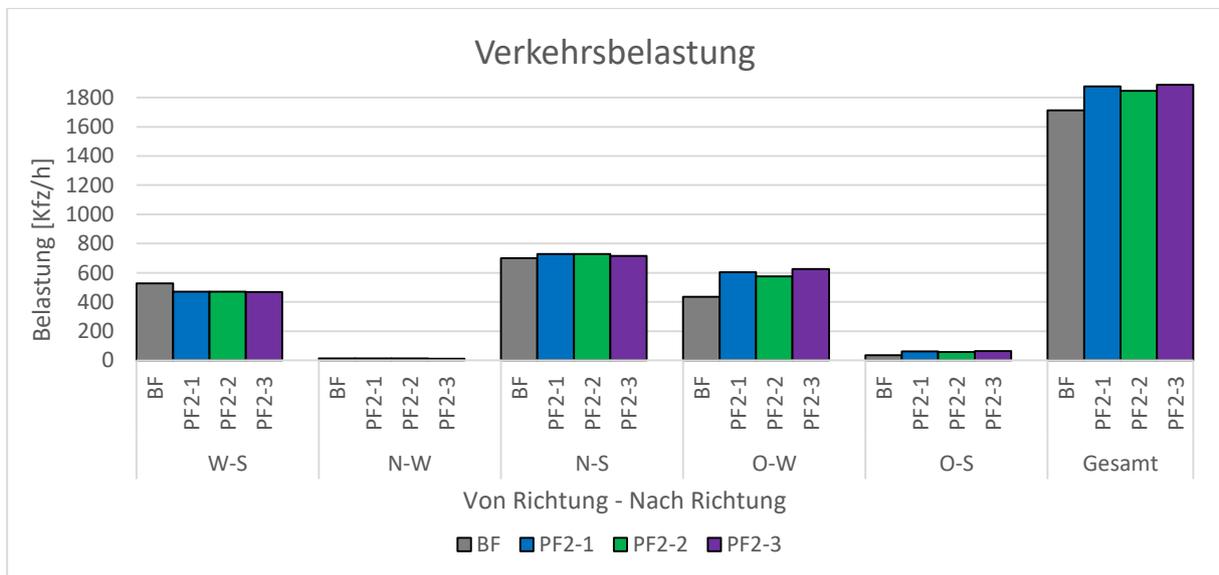


Abbildung 144: Verkehrsbelastung Knoten 502

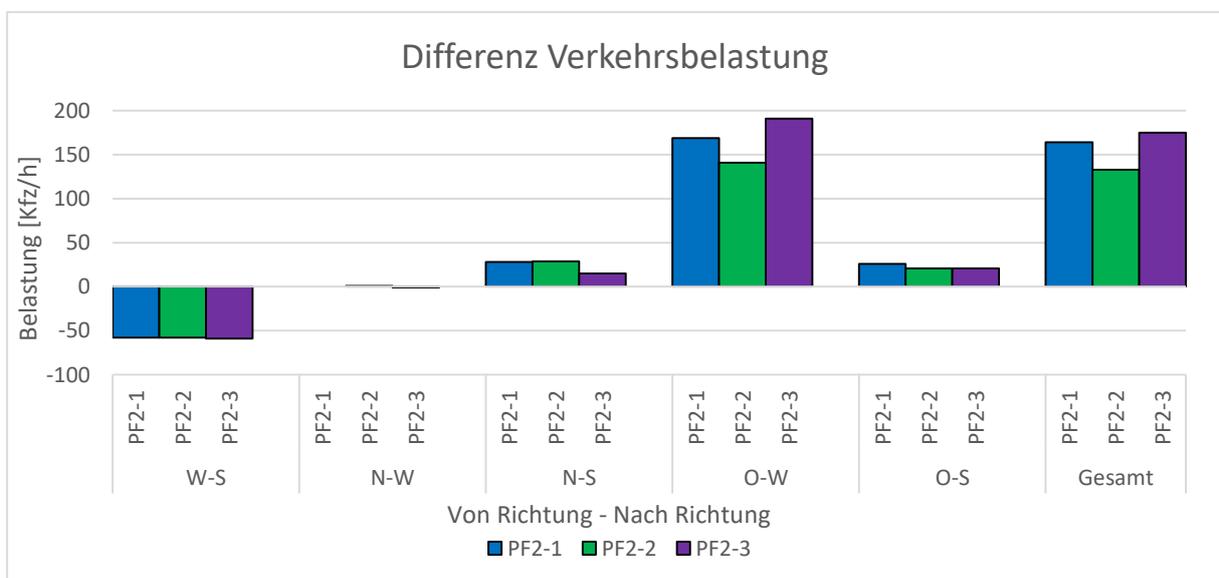


Abbildung 145: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 502

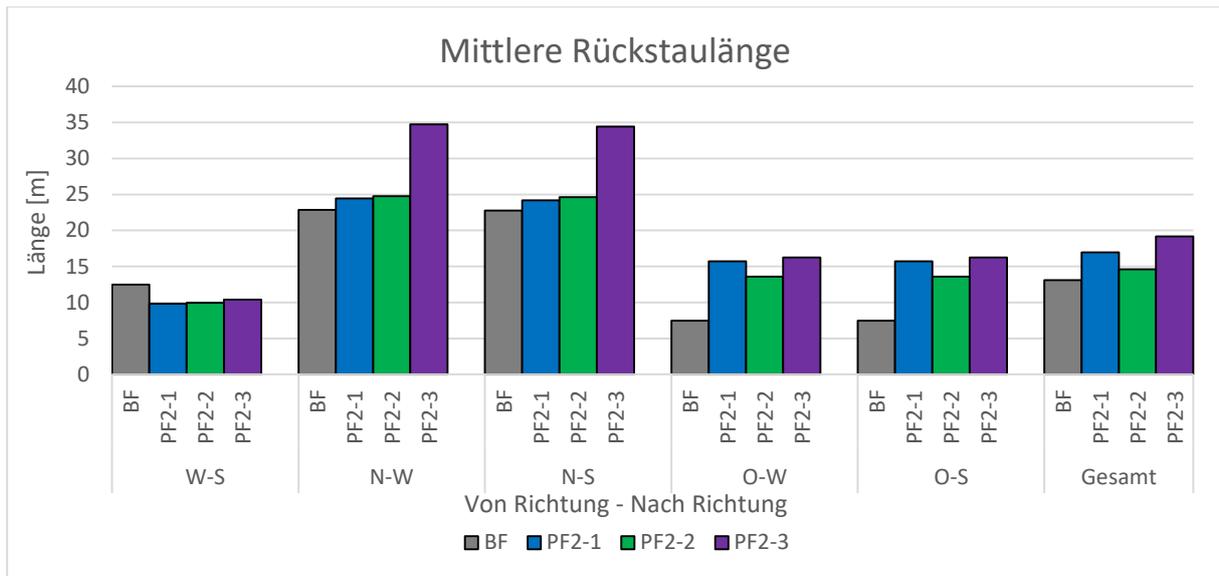


Abbildung 146: Mittlere Rückstaulänge Knoten 502

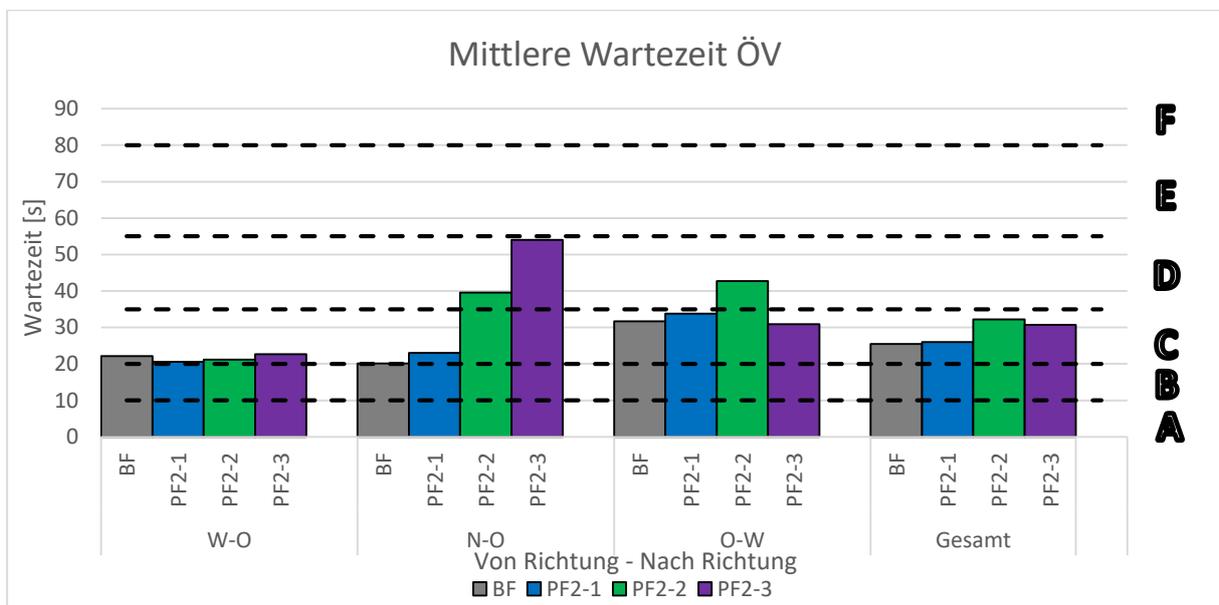


Abbildung 147: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 502

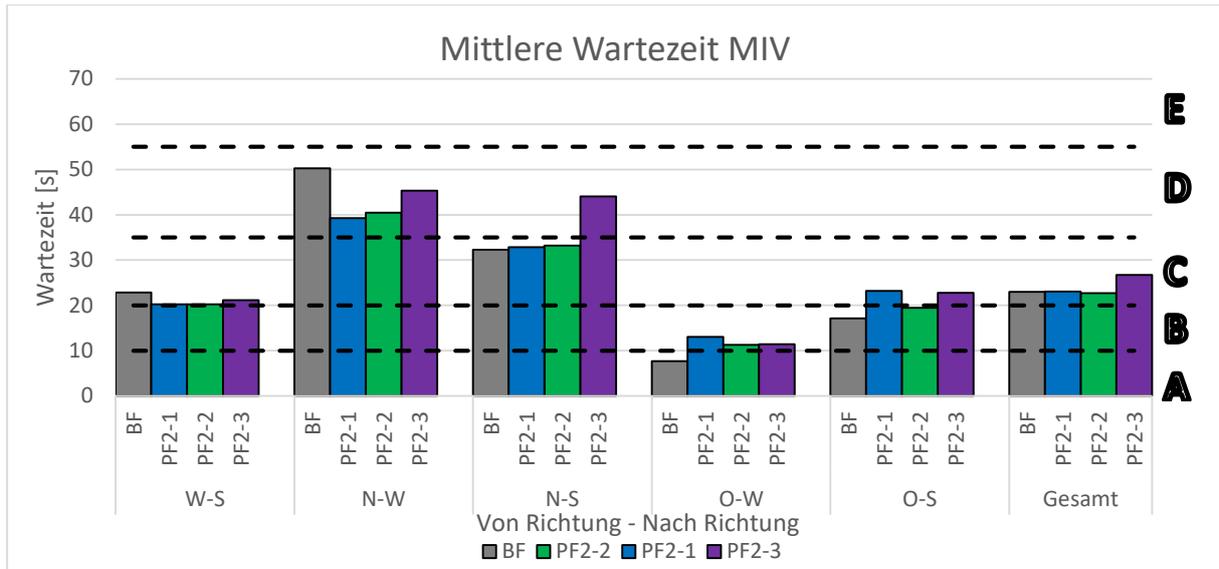


Abbildung 148: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 502

Tabelle 37: Knoten 503 – Level of Service

BF									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K13	S-N	1018	4	14	18	52	170	0,63	B
K13	S-O	8	4	17	4	16	172	0,9	B
K13	S-W	369	10	16	12	24	159	0,67	B
K12	O-N	165		72		42	158	1,9	E
K12	O-SW	102		57		42	158	1,32	E
K12	O-W	70		73		42	158	1,81	E
K12	O-S (Bus)		10		48	24	133	0	D
Summe 503		1731	28	25	24	31	192	0,85	C

PF2-1									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K13	S-N	842	4	21	19	28	194	0,67	C
K13	S-O	9	5	26	22	61	191	0,91	C
K13	S-W	652	10	26	29	78	173	0,92	C
K12	O-N	1		26		6	50	0,75	C
K12	O-SW	122		31		6	50	0,81	C
K12	O-W	12		28		3	50	0,74	C
K12	O-S (Bus)		10		21	0	25	0	C
Summe 503		1639	29	24	24	22	195	0,78	C

PF2-2									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K13	S-N	812	4	16	24	16	186	0,54	B
K13	S-O	9	5	17	35	31	189	0,58	C
K13	S-W	624	10	20	23	44	169	0,72	C
K12	O-N	1		27		0	0	0,81	C
K12	O-SW	122		30		7	57	0,76	C
K12	O-W	12		28		4	57	0,77	C
Summe 503		1579	29	19	28	13	193	0,63	C

PF 2-3									
503 - Bergmannngasse/Humboldtstraße									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	mittl. Halte	LoS
K13	S-N	879	4	17	12	24	197	0,64	B
K13	S-O	9	5	19	27	64	194	0,85	C
K13	S-W	680	11	22	30	75	175	0,85	C
K12	O-N	1		27		0	0	0,81	C
K12	O-SW	122		30		7	57	0,76	C
K12	O-W	12		28		4	57	0,77	C
Summe 503		1704	29	20	27	21	199	0,73	C

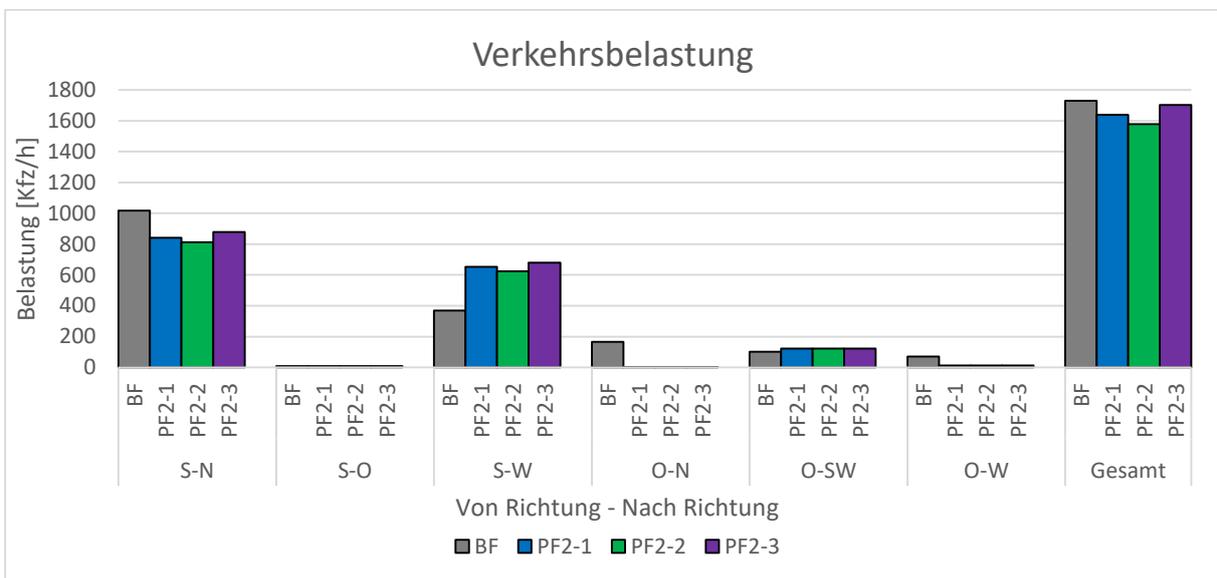


Abbildung 149: Verkehrsbelastung Knoten 503

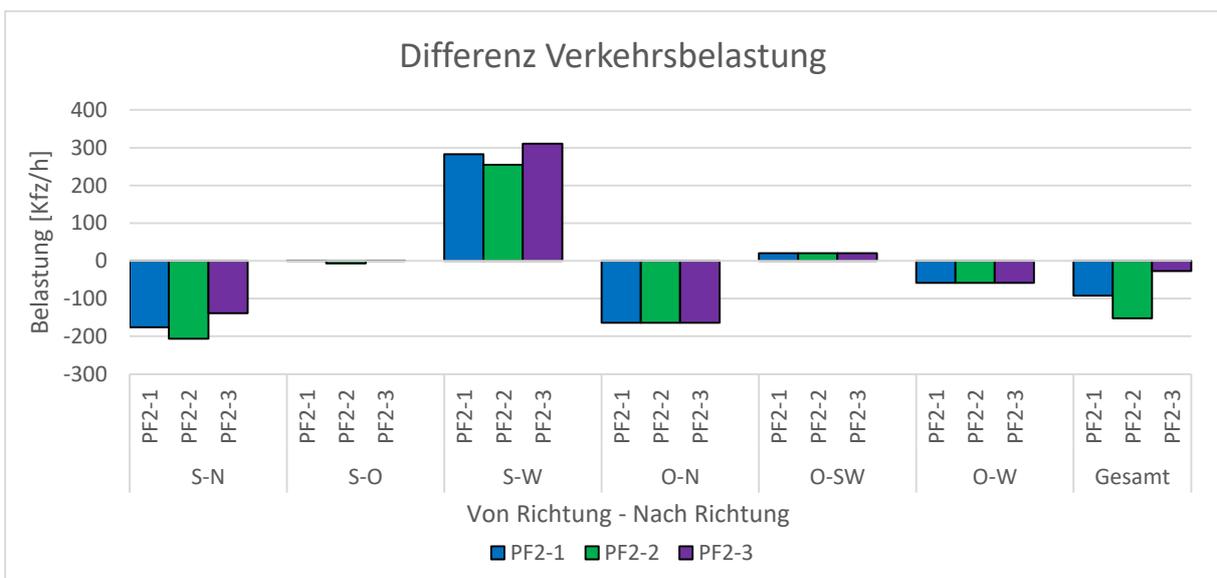


Abbildung 150: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 503

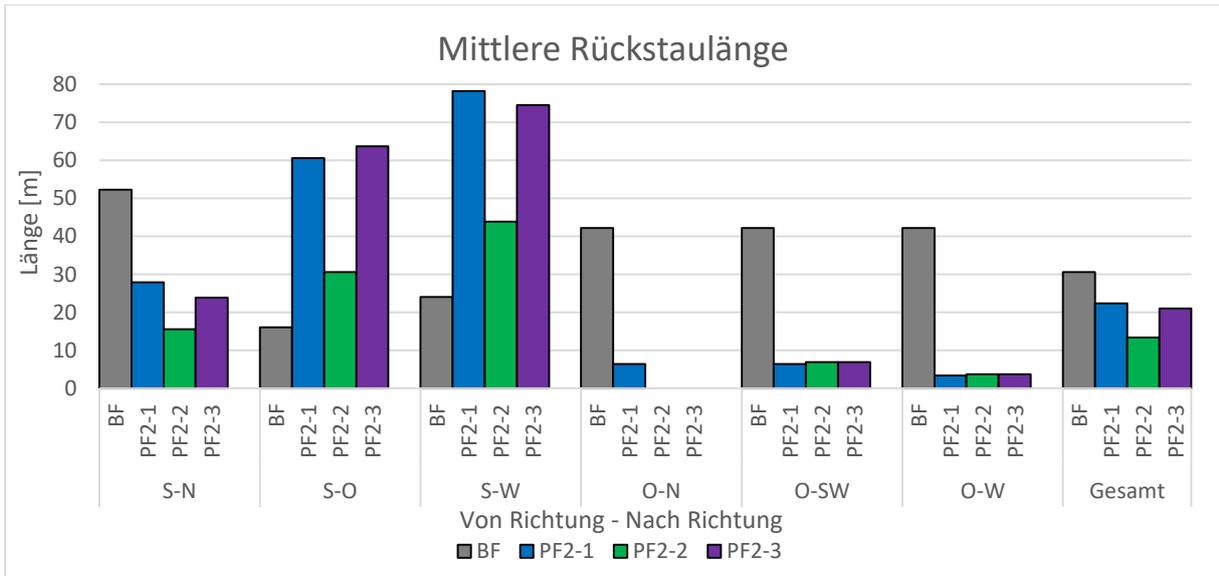


Abbildung 151: Mittlere Rückstaulänge Knoten 503

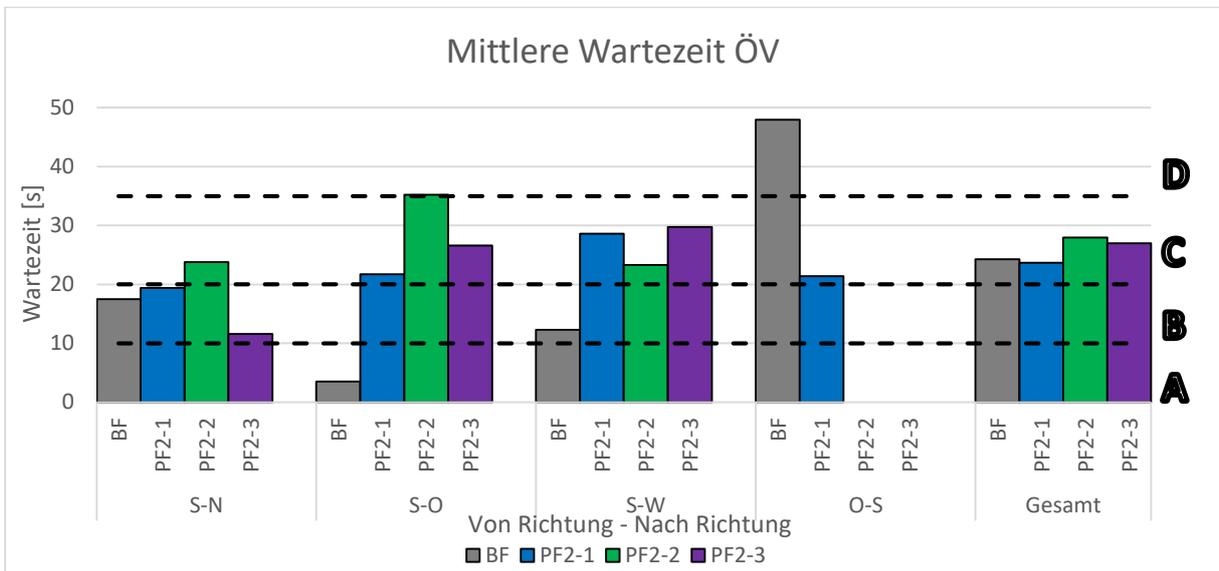


Abbildung 152: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 503

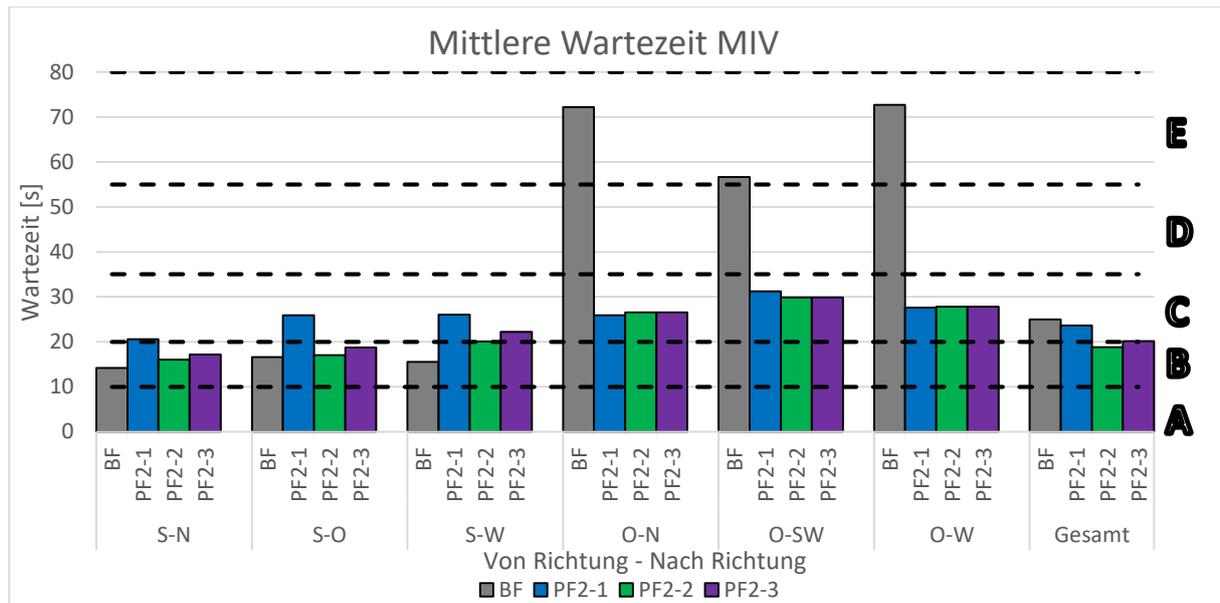


Abbildung 153: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 503

Tabelle 38: Knoten 504 – Level of Service

BF									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LoS
K15GR	NW-S	1034		35		481	512	0,9	C
K15L	NW-O	208		47		369	510	1,01	D
K15GR	NW-W	2		31		60	172	0,88	C
K13	S-W	12		78		369	510	1,74	F
K13	S-N	1048		76		481	512	1,71	E
K13	S-N (Bus)		4		106	481	512	0	F
K14	W-S	18		22		481	512	0,78	C
K14	W-O	108	4	33	52	6	45	0,81	C
K14	W-N	8		4		0	0	0,05	A
K12	O-N (Bus)		14		53	481	512	0	D
K12	O-S	177		318		481	512	8,79	F
K12	O-W	49		134		481	512	3,28	F
K12	O-N	325		133		481	512	3,59	F
Summe 504		2997	22	79	63	305	512	1,99	E

PF2-1									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LoS
K15GR	NW-S	1017		35		478	507	0,92	D
K15L	NW-O	191		45		311	506	0,9	D
K15GR	NW-W	1		42		59	178	1,38	D

K13	S-O	21		71		311	506	1,69	E
K13	S-N	1110		73		467	497	1,83	E
K13	S-N (Bus)		5		97	467	497	0	F
K14	W-S	20		24		478	507	0,85	C
K14	W-O	155	4	35	51	10	70	0,87	D
K12	O-N (Bus)		15		84	450	485	0	F
K12	O-S	111		166		448	478	4,48	F
K12	O-W	10		214		448	478	5,01	F
K12	O-N	377		218		450	485	5,34	F
Summe 504		3012	24	78	81	295	512	1,96	E

PF2-2									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LoS
K15GR	NW-S	1011		22		1	74	0,85	C
K15L	NW-O (Bus)		21		54	32	171	0	E
K15L	NW-O	189		42		3	128	1,14	D
K15GR	NW-W	1		27		85	231	1,25	C
K13	S-O	22		1		3	128	0,14	A
K13	S-N	1194		24		474	497	1,32	C
K13	S-N (Bus)		5		55	474	497	0	D
K14	W-S	18		17		1	74	0,84	B
K14	W-O	153	4	26	16	7	62	0,71	C
K14	W-N	0		0		0	4	0	A
K12	O-N (Bus)		14		52	474	497	0	D
K12	O-S	71		136		455	478	3,85	F
K12	O-W	4		294		455	478	7,01	F
K12	O-N	235		341		455	478	8,18	F
Summe 504		2919	44	53	50	137	512	1,72	D

PF 2-3									
504 - Geidorfplatz									
Abbiege- relation	Strom	Kfz Anzahl	Bus Anzahl	Kfz Wartezeit [s]	Bus Wartezeit [s]	mittl. Rückstau [m]	max. Rückstau [m]	Kfz mittl. Halte	LoS
K15GR	NW-S	995		38		1	48	1,3	D
K15L	NW-O (Bus)		21		76	326	488	0	E
K15L	NW-O	188		48		137	357	1,17	D
K15GR	NW-W	1		49		207	348	1,63	D
K13	S-O	20		1		137	357	0,12	A
K13	S-N	1115		81		463	497	2,53	E
K13	S-N (Bus)		5		69	463	497	0	E
K14	W-S	18		16		1	48	0,79	B

K14	W-O	153	4	26	13	7	57	0,7	C
K14	W-N	0		0		0	2	0	A
K12	O-N (Bus)		15		58	444	478	0	E
K12	O-S	133		89		444	478	3,19	F
K12	O-W	9		172		444	478	5,65	F
K12	O-N	433		183		444	478	6,18	F
Summe 504		3086	44	76	64	194	512	2,47	E

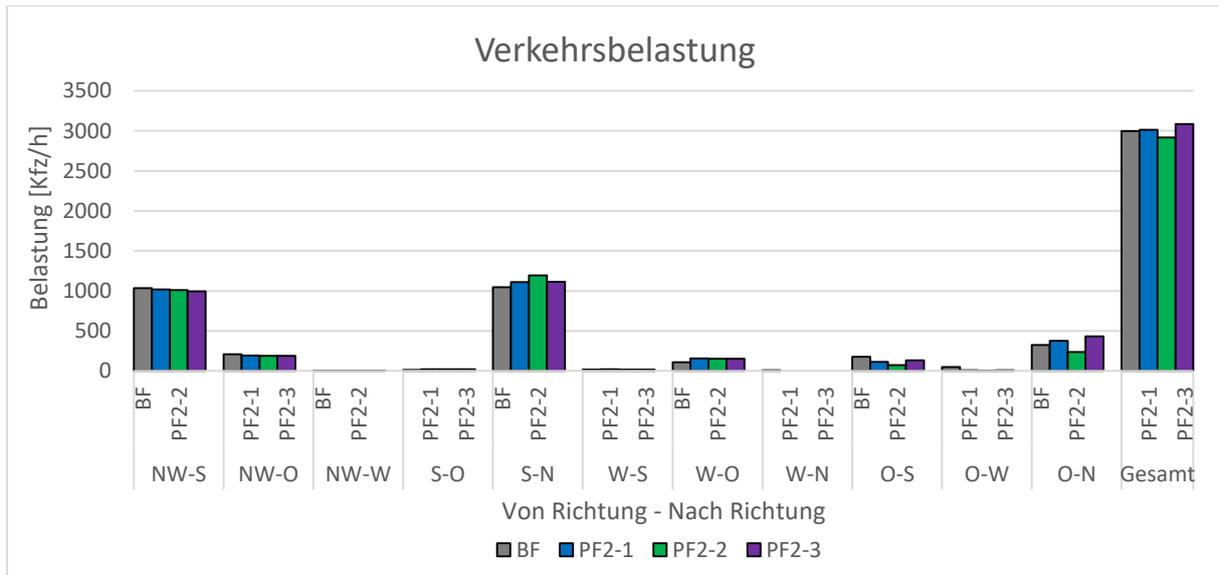


Abbildung 154: Verkehrsbelastung Knoten 504

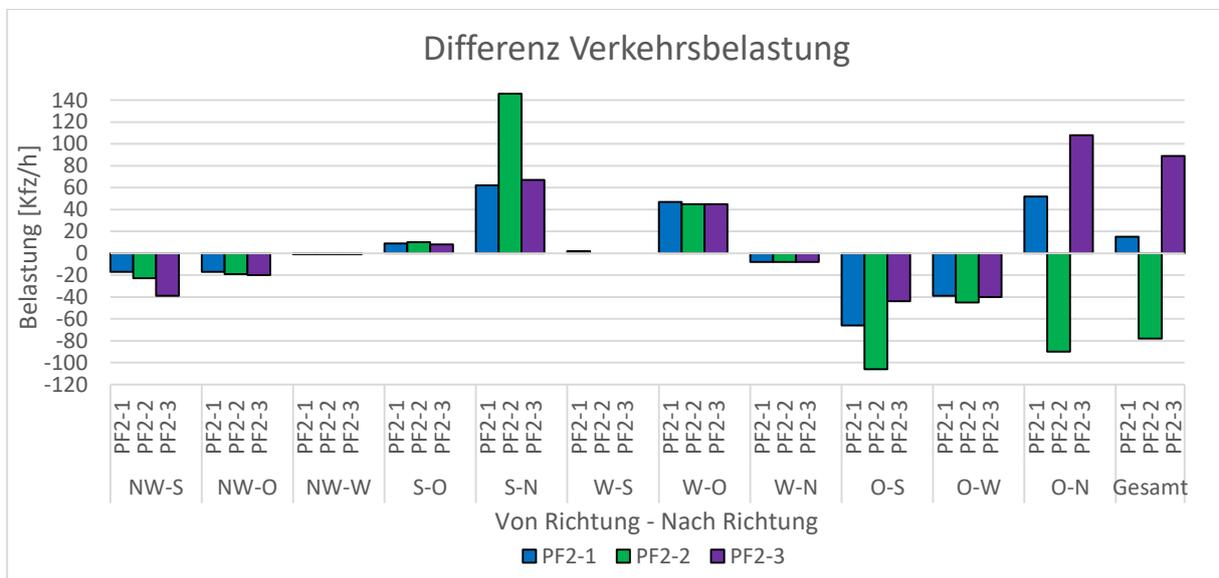


Abbildung 155: Differenz Verkehrsbelastung Knoten 504

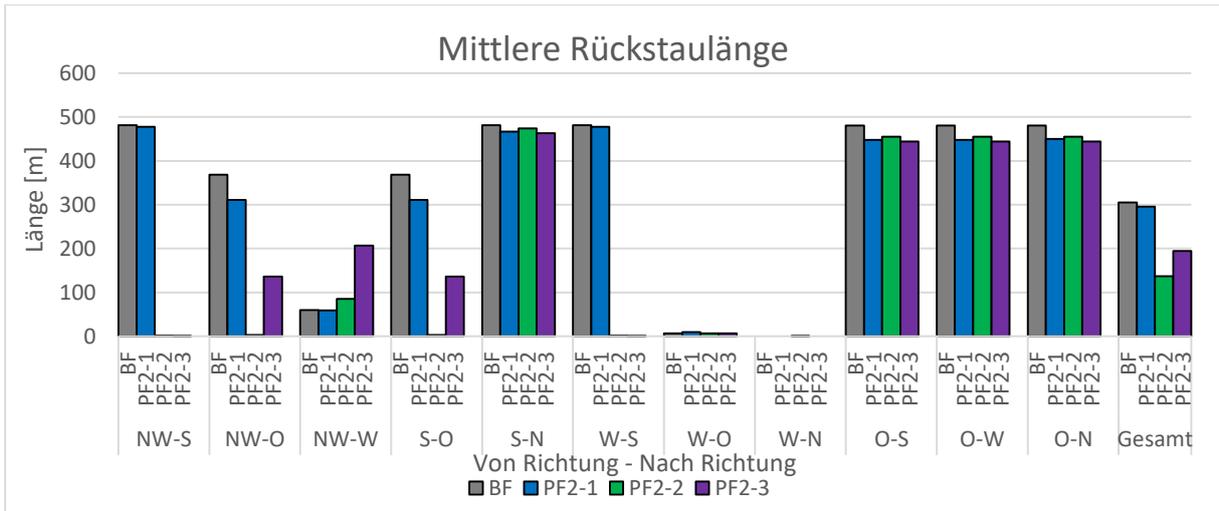


Abbildung 156: Mittlere Rückstaulänge Knoten 504

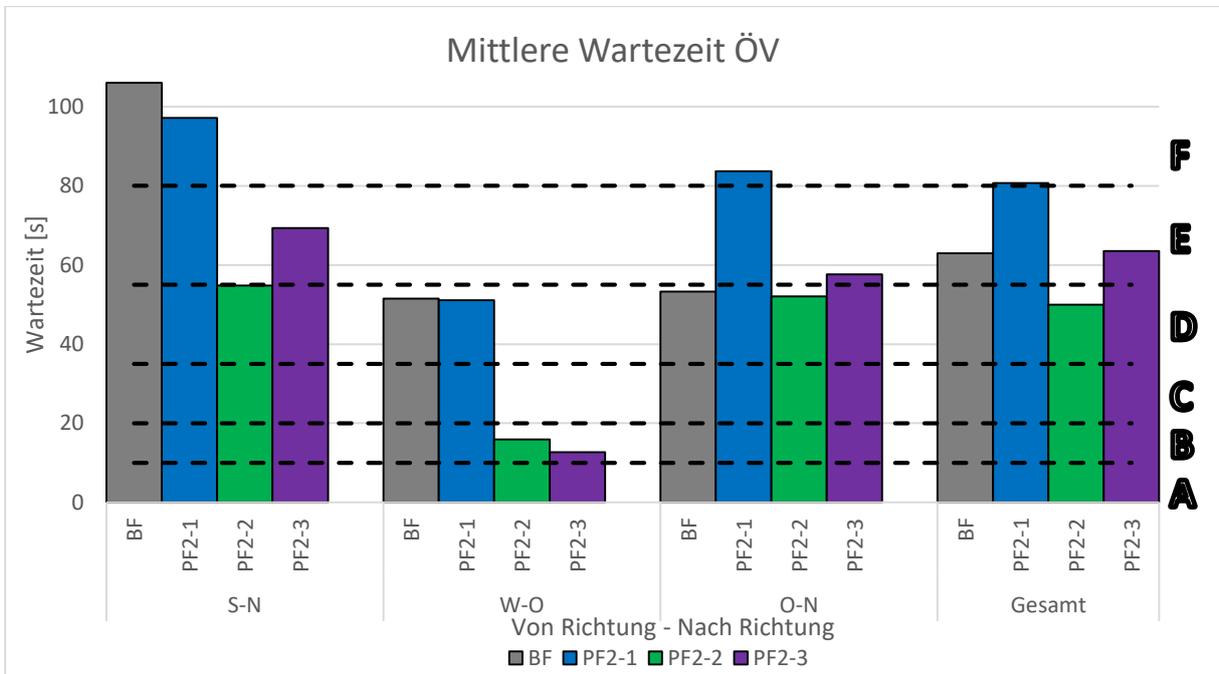


Abbildung 157: Mittlere Wartezeit ÖV Knoten 504

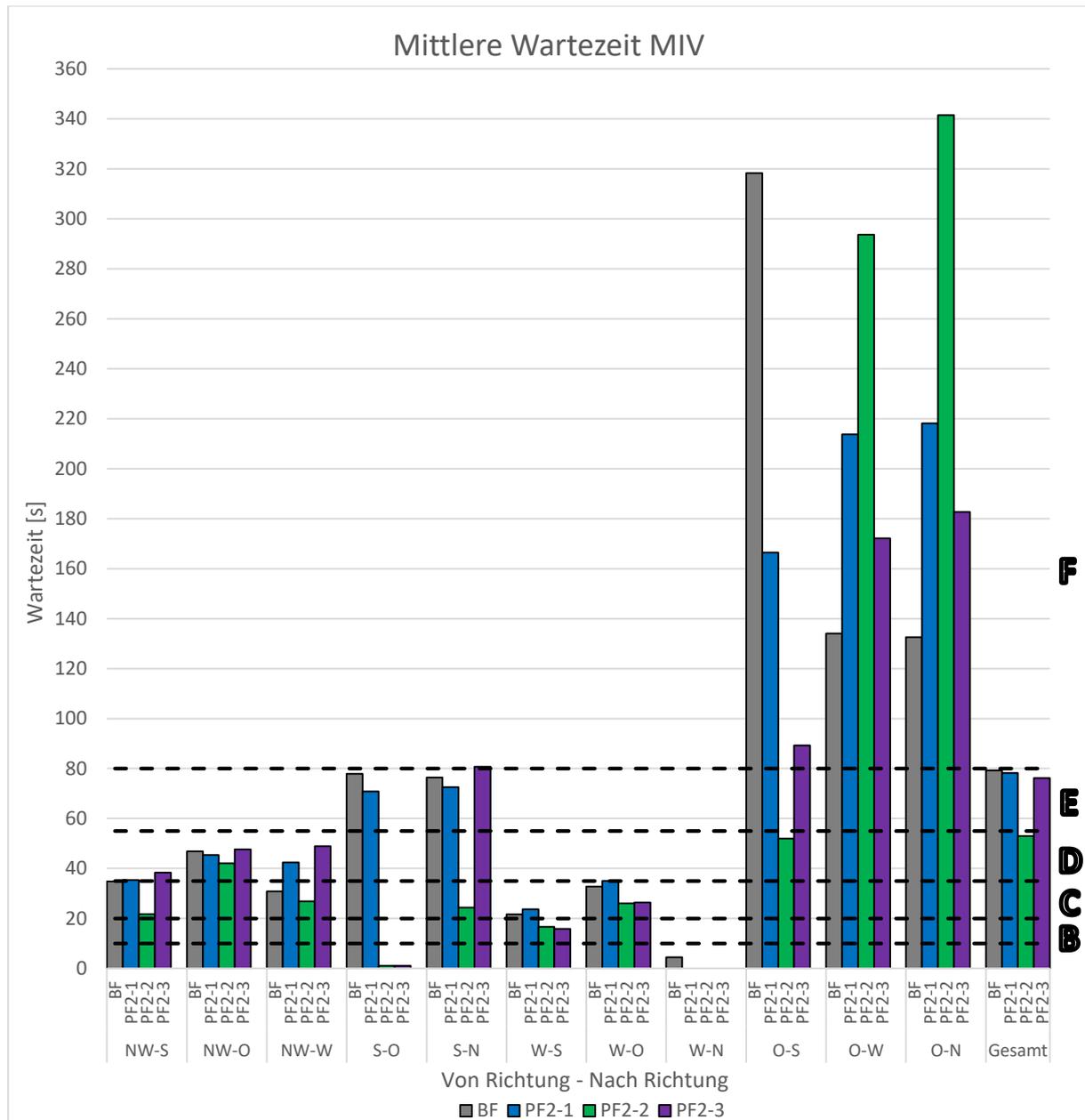


Abbildung 158: Mittlere Wartezeit MIV Knoten 504

Anhang 6: Reisezeiten Bus

Tabelle 39: Busreisezeiten

BF				
Name	Distanz [m]	10 Sim. Mittl. Reisezeit [s]	10 Sim. StAbw Reisezeit [s]	10 Sim. Mittl. Fz. Anzahl
B41-N	1216,91	262,86	19,93	3
B41-S	831,6	248,79	10,38	4
B63/58-W	778,33	205,76	21,92	10
B63/58-O	787,34	245,85	11,4	11
B39-N	832,59	448,26	34,06	4
B30-O	464,77	116,78	10,79	4

B39-S	558,03	186,92	23,45	5
B30-W	555,17	192,75	21,71	3

PF2-1				
Name	Distanz [m]	10 Sim. Mittl. Reisezeit [s]	10 Sim. StAbw Reisezeit [s]	10 Sim. Mittl. Fz. Anzahl
B41_N	1217,07	319,85	48,39	3
B41-S	831,6	337,19	18,55	4
B63/58-W	778,47	268,57	19,7	10
B63/58-O	787,34	281,11	8,54	11
B39-N	832,59	407,37	47,71	5
B30-O	464,77	116,59	9,79	4
B39-S	558,02	171,65	15,33	5
B30-W	555,16	185,86	19,59	3

PF2-2				
Name	Distanz [m]	10 Sim. Mittl. Reisezeit [s]	10 Sim. StAbw Reisezeit [s]	10 Sim. Mittl. Fz. Anzahl
B41-N	1216,24	284,31	13,37	3
B41-S	766,5	236,42	28,16	4
B63/58-W	779,81	243,23	11,96	10
B63/58-O	716,91	184,88	12,97	11
B39-N	832,95	243,38	11,35	5
B30-O	464,78	81,63	1,91	4
B39-S	663,33	147,87	23,77	6
B30-W	0	0	0	0

PF2-3				
Name	Distanz [m]	10 Sim. Mittl. Reisezeit [s]	10 Sim. StAbw Reisezeit [s]	10 Sim. Mittl. Fz. Anzahl
B41-N	1216,85	294,26	18,77	4
B41-S	766,5	301,44	76,66	4
B63/58-W	780,41	252,73	24,7	10
B63/58-O	716,91	225,74	37,05	11
B39-N	832,95	322,88	58,26	5
B30-O	464,78	78,26	1,96	4
B39-S	663,33	184,79	40,37	6
B30-W	0	0	0	0

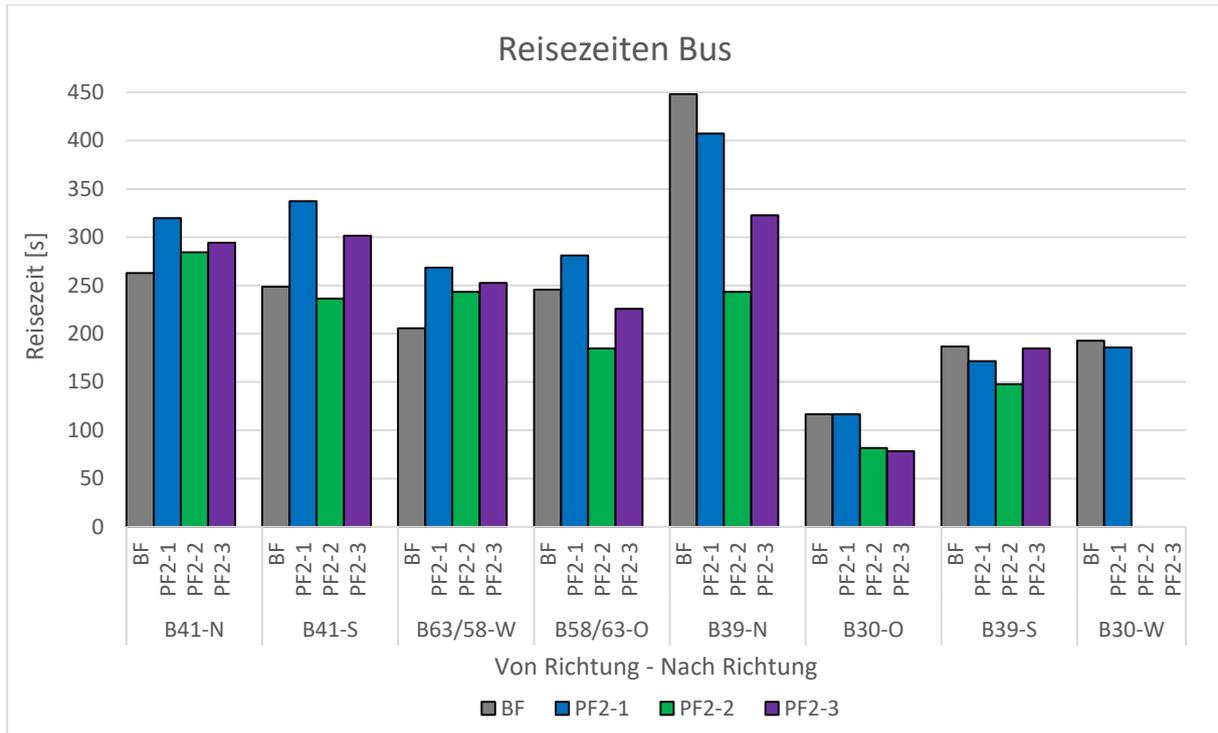


Abbildung 159: Reisezeiten Bus