



Ermittlung des Nachfragepotentials moderner urbaner Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Graz

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Thomas Kislinger, BSc.

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuende Assistenten:

Dipl.-Ing. Karl Hofer

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Dipl.-Ing. Michael Haberl

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, am 3. September 2020

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. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit identisch.

Graz, _____

Thomas Kislinger, 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. This document is identical with the electronic version uploaded via TUGRAZonline.

Graz, _____

Thomas Kislinger, BSc.

Danksagung

Ich möchte mich sehr herzlich beim Institut für Straßen- und Verkehrswesen unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf für die Ermöglichung dieser Masterarbeit und der Zurverfügungstellung der Infrastruktur bedanken. Auch im Zuge der speziellen Situation durch die Corona-Pandemie wurde ich in meiner Arbeit nicht eingeschränkt, da alles sehr unkompliziert und unbürokratisch ablief.

Des Weiteren möchte ich mich recht herzlich bei Dipl.-Ing. Michael Haberl und speziell bei Dipl.-Ing. Karl Hofer für die fachlich kompetente Unterstützung und die gute Zusammenarbeit bedanken. Die unzähligen persönlichen und telefonischen Besprechungen haben mir bei Erstellung dieser Arbeit sehr geholfen.

Der größte Dank gilt meinen Eltern für den persönlichen Rückhalt und die finanzielle Unterstützung während meines gesamten Bildungsweges. Ich bin mir durchaus bewusst, dass das mit großen Aufwendungen verbunden war und daher keineswegs als selbstverständlich anzusehen ist. Im Zuge dessen möchte ich mich auch bei meiner Schwester recht herzlich bedanken, die mir seit jungen Jahren immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Ein besonderer Dank geht an meine Freundin, die mich beim Verfassen dieser Arbeit immer aufs Neue motivierte und sehr viel Rücksicht und Verständnis während dieser nicht immer leichten Zeit zeigte.

Abschließend möchte ich mich noch bei meinen Studienkollegen und Freunden für die vielen unvergesslichen und lustigen Stunden bedanken. Ich blicke mit einem weinenden und einem lachenden Auge auf diese Zeit zurück.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von BSc. Thomas Kislinger

Graz, 30.09.2019

Ermittlung des Nachfragepotentials moderner urbaner Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Graz

Problemstellung

Graz ist mit ca. 278.000 Einwohnern (Stand: 01.01.2016) die zweitgrößte Stadt Österreichs. Laut Prognoseberechnungen der Statistik Austria ist in Graz bis 2030 bundesweit mit dem prozentuell höchsten Bevölkerungswachstum zu rechnen. Bis 2030 soll die Stadt um rund 43.000 Personen wachsen. Auch im Umland von Graz ist mit einer positiven Bevölkerungsentwicklung zu rechnen. Wie in zahlreichen anderen hoch entwickelten Ländern ist eine Überlagerung von verstärkter Urbanisierung und weiter anhaltender Suburbanisierung zu erkennen. Die Konzentrationsentwicklung auf urbane Räume in Städten und ihrem Umland führt weiterführend zu Verkehrsproblemen in diesen Gebieten. Sowohl Arbeitswege als auch sonstige Wege steigen durch die wachsende Bevölkerung. Für die Arbeitswege weist die Pendler- und Erwerbsstatistik des Landes Steiermark von 2011 einen deutlichen Überhang an Arbeitsplätzen in der Stadt Graz auf. Täglich pendeln ca. 83.000 Personen nach Graz und 30.000 Grazer pendeln aus.

Eine weitere Herausforderung stellt die räumliche Enge des historisch gewachsenen Stadtzentrums dar, die einen starken Ausbau der konventionellen Verkehrsinfrastruktur, insbesondere des ÖPNV, nicht oder nur mit großen Einschränkungen zulässt. In international vergleichbaren Städten hat bereits ein Entwicklungsprozess zum Ausbau öffentlicher Verkehrssysteme eingesetzt. Beflügelt wird dieser Prozess durch technologische Entwicklungen von Digitalisierung bis zu autonom fahrenden U-Bahnen. Es zeigt sich aber auch, dass Steigerungen des Anteils im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) nur möglich sind, wenn den Fahrgästen hinsichtlich Reisezeit und Komfort attraktive Angebote zur Verfügung stehen. Bereits eine Steigerung des ÖPNV-Anteils von derzeit 20 auf 30% würde in der Stadt Graz bei gleichbleibendem Nutzungsverhalten zu einer Mehrbelastung von 50% der bestehenden Verkehrsträger (Straßenbahnen, Busse, Regionalbahn) führen. Diese haben jedoch im Ballungsraum und besonders in der Innenstadt zu den Spitzenzeiten bereits die Kapazitätsgrenze erreicht. Eine weitere Steigerung der Fahrgastzahlen ist nur bei einer Ausweitung des Angebots möglich. Auf den Hauptachsen wie der Annenstraße sind kaum noch Taktverdichtungen möglich, so dass nur durch Alternativrassen eine Kapazitätsausweitung in diesem Bereich möglich erscheint.

Um Klima- und Stadtentwicklungsziele erreichen zu können, muss das bestehende ÖPNV-System in Graz überdacht werden. Dabei sollten neue technische Möglichkeiten sowie neuartige, innovative Verkehrsträger berücksichtigt werden, die ein Erreichen der vorgegebenen Ziele ohne Einschränkung der wirtschaftlichen Aktivitäten ermöglichen. Basierend auf internationalen Erfahrungen kommt für Graz ein weiterer Ausbau des Rad- und Straßenbahnnetzes, urbane Seilbahnen oder ein U-Bahnsystem in Frage.

Aufgabenstellung

In der Masterarbeit sollen Systemeigenschaften moderner urbaner Mobilitätssysteme (Seilbahn, Mini-U-Bahn.) analysiert und innerhalb eines makroskopischen Verkehrsmodells modellierbar gemacht werden. Dafür gilt es das bestehende Verkehrsmodell für die Anforderungen einer Szenarienstudie zu ertüchtigen. Die Szenarienstudie umfasst unterschiedliche Kombinationen von bereits bestehenden konventionellen Mobilitätssystemen und der Berücksichtigung innovativer, neuartiger Verkehrsmittel. Die Potentiale und stellt deren Verkehrsnachfragepotentiale anhand geeigneter verkehrlicher Kenngrößen gegenüber.

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

- Literaturrecherche zu modernen urbanen Mobilitätssystemen: Systemeigenschaften (Vorteile/Nachteile) im Vergleich zu herkömmlichen Systemen des ÖPNV)
- Erarbeitung eines Tagesmodells auf Basis eines bestehenden 24*1h-Modells für den Großraum-Graz (GUARD-Modell) mit dem Ziel symmetrischer Nachfragematrizen sowie einer Reduktion der Rechenzeiten um eine leichte Handhabbarkeit bei nachfolgenden Szenarienberechnungen zu gewährleisten
- Modellseitige Berücksichtigung der Systemeigenschaften von alternativen Mobilitätssystemen (Fokus U-Bahn- und Seilbahnsysteme).
 - Abbildung einer Mini-U-Bahn bzw. Seilbahn in der Nutzenfunktion unter Berücksichtigung zusätzlicher Nutzeigenschaften (Zuverlässigkeit, etc.);
 - Unterscheidung des Nutzens im vgl. zu herkömmlichen ÖPNV-Systemen
- Szenariendefinition und modellseitige Berücksichtigung der Szenarien mit unterschiedlichen Mobilitätssystemen (Tram, Seilbahn, Mini-U-Bahn, etc.) und Konzepterstellung der Linienführungen
- Nachfrage- und Verkehrsbelastungsberechnungen der aufgebauten Szenarien für mIV und ÖV für das Jahr 2030 im GUARD-Nachfragemodell

Für die Anfertigung der Masterarbeit stehen die Verkehrsplanungssoftware VISUM mit einem Aktivitäten-orientiertem Nachfragemodell 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

Institut für Straßen- und
Verkehrswesen, TU Graz

Betreuer

Dipl.-Ing.

Michael Haberl

Tel. 0316 873 - 6226

Michael.haberl@tugraz.at

Institut für Straßen- und
Verkehrswesen, TU Graz

Mitbetreuender Assistent

Dipl.-Ing.

Karl Hofer

Tel. 0316 873 - 6725

karl.hofer@tugraz.at

Institut für Straßen- und
Verkehrswesen, TU Graz

Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Ermittlung des Nachfragepotentials moderner urbaner Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Graz

138 Seiten, 47 Abbildungen, 87 Tabellen

Die Kapazitäten des öffentlichen Verkehrs (ÖV) gelangen in Graz speziell im Stadtzentrum an ihre Grenzen. Aufgrund des hohen erwarteten Bevölkerungswachstums und des damit einhergehenden höheren Fahrgastaufkommens wird sich die bereits angespannte Situation weiter verschärfen. Eine Möglichkeit, Kapazitäten im ÖV massiv zu erweitern, stellen moderne urbane Mobilitätsformen wie U-Bahnen oder Seilbahnen dar. Diese sind unabhängig von der bestehenden Bebauung und könnten somit auf neuen Beziehungen Kapazitäten schaffen. Zusätzliche Attraktivität verleiht diesen Systemen eine hohe Reisegeschwindigkeit (U-Bahn) bzw. die stetige Verfügbarkeit ohne Wartezeiten (Seilbahn). Im Rahmen dieser Masterarbeit soll die Wirkung dieser modernen urbanen Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Graz untersucht werden.

Basierend auf einem bestehenden stundenbasierenden Verkehrsnachfragemodell (GUARD) wurde ein neues Verkehrsnachfragemodell entwickelt, das als Bezugszeitraum einen Werktag verwendet (GUARD20). Neben der deutlich verkürzten Rechenzeit ist es mit diesem Nachfragemodell möglich, den Nutzen der verschiedenen ÖV-Systeme (Bus, Regionalbus, Tram und Zug) unterschiedlich zu bewerten und darauf basierend die speziellen Eigenschaften von U-Bahn und Seilbahn zu modellieren. GUARD20 verwendet den Aktivitätenketten-basierenden Berechnungs-Algorithmus VISEM zur Nachfrageberechnung. Neben der Entwicklung des neuen Nachfragemodells waren die Implementierung von Strukturgrößen und Verhaltensdaten sowie die Kalibrierung auf aktuelle verkehrliche Kenngrößen (Modal Split, Reiseweitenverteilungen, Fahrgastzahlen etc.) und insbesondere die Qualitätsprüfung der Kalibrierung wesentliche Punkte des ersten Teils der Masterarbeit.

Der zweite Teil befasst sich mit der modellgestützten Untersuchung der modernen urbanen Mobilitätssysteme. Es werden entwickelte Szenarien inklusive der Linienführungen, Fahrpläne und der dazugehörigen Haltestellenwahl näher erklärt. Zusätzlich wird eine Sensitivitätsanalyse zu möglichen Parametersets dieser neuen Systeme durchgeführt. Der Vergleich der unterschiedlichen Szenarien zeigt, dass speziell durch die Implementierung einer U-Bahn oder einer Seilbahn eine starke Zunahme des ÖV-Modal Splits der Grazer Bevölkerung möglich ist und viele Neukunden gewonnen werden können.

Mit dieser Arbeit ist es gelungen, ein Verkehrsnachfragemodell zu entwickeln, das die Verkehrsnachfrage für mögliche neue Optionen für den ÖV in Graz abschätzen und somit die Auswirkungen unterschiedlicher ÖV-Varianten auf die Verkehrssituation in Graz bestimmen kann.

Abstract

Travel demand of modern urban public transport systems in the city of Graz

138 pages, 47 figures, 87 tables

The capacity of public transport in Graz, especially in the city center, is reaching its limits. Due to the large expected population growth and the resulting increase in passenger volume, the already tense situation will further aggravate. Modern urban mobility forms such as subways or cable cars are a possibility to massively expand public transport capacities. These are independent of existing buildings and could therefore create capacities on new routes. Additional attractiveness of these systems is provided by a high travel speed (subway) or the constant availability without waiting times (cable car). In the context of this master thesis the effect of these modern urban mobility systems will be investigated using the city of Graz as an example.

Based on an existing hour-based transport demand model (GUARD), a new transport demand model was developed using one working day as a reference period (GUARD20). In addition to the significantly shortened calculation time, this demand model allows to evaluate the benefits of the various public transport systems (bus, regional bus, streetcar and train) differently and to model the special characteristics of metro and cable car on this basis. GUARD20 uses the activity chain based calculation algorithm VISEM to calculate demand. Besides the development of the new demand model, the implementation of structural and behavioral data as well as the calibration to current traffic parameters (modal split, travel distance distributions, passenger numbers etc.) and especially the quality check of the calibration were essential points of the first part of the master thesis.

The second part deals with the model-based investigation of modern urban mobility systems. Developed scenarios, including the routes, timetables and the corresponding stop selection are explained in more detail. In addition, a sensitivity analysis of possible parameter sets of these new systems is carried out. The comparison of the different scenarios shows that especially the implementation of a metro or a cable car can lead to a strong increase of the public transport modal split of the population of Graz and that many new customers can be won.

This thesis developed a transport demand model that can estimate the transport demand for possible new options for public transport in Graz and thus determine the effects of different public transport variants on the traffic situation in Graz.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	v
Abkürzungen.....	vii
1 Einleitung.....	1
2 Öffentliche Verkehrssysteme im urbanen Raum.....	5
2.1 Bus und Tram.....	5
2.2 U-Bahn.....	6
2.3 Seilbahn.....	7
2.4 Vergleich der unterschiedlichen Verkehrssysteme.....	9
2.5 Referenzbeispiele moderner urbaner Mobilitätssysteme.....	11
2.5.1 U-Bahnen in mittelgroßen Städten.....	11
2.5.2 Seilbahnen in Städten.....	13
2.6 Grazer ÖPNV-Grundnetz im Bestandsjahr 2020.....	14
3 Methodische Grundlagen von Verkehrsplanungsmodellen.....	16
3.1 Allgemeines zu Verkehrsplanungsmodellen.....	16
3.1.1 Aufgabe von Verkehrsplanungsmodellen.....	16
3.1.2 Grad der Disaggregation.....	16
3.1.3 Planungsraum, Untersuchungsraum.....	17
3.2 Komponenten eines Verkehrsplanungsmodells.....	18
3.2.1 Grundlagen der Verkehrsangebotsmodellierung.....	18
3.2.2 Grundlagen der Verkehrsnachfragemodellierung.....	20
3.2.3 Standard-Vier-Stufen-Algorithmus.....	22
3.2.4 Verkehrsnachfragemodellierung mittels VISEM.....	29
4 Verkehrsmodell für den Großraum Graz (GUARD20).....	30
4.1 Unterschied Tagesmodell zum bestehenden Stundenmodell.....	30
4.2 Untersuchungsgebiet.....	32
4.3 Modellierung des Verkehrsangebots.....	33
4.3.1 Strecken und Streckentypen.....	34
4.3.2 Anbindung.....	34
4.3.3 Bezirk (Verkehrszelle).....	35
4.4 Modellierung der Verkehrsnachfrage.....	35
4.4.1 Verkehrserzeugung.....	35
4.4.2 VISEM kombinierte Verkehrsverteilung und Moduswahl.....	38

4.4.3	Umlegung.....	44
5	Ergebnisse Kalibrierung auf den IST-Zustand (Jahr 2020).....	46
5.1	Verkehrsplanerische Kenngrößen	46
5.2	Pendlerzahlen.....	51
5.3	Anpassung auf bestehende Zählraten	52
5.4	Qualitätskenngrößen.....	58
5.4.1	Gütemaß <i>GEH</i>	58
5.4.2	Gütemaß <i>SQV</i>	59
5.4.3	Coincidence Ratio	61
5.4.4	Sensitivitätstest	63
6	Systemvarianten des Öffentlichen Verkehrs in Graz.....	67
6.1	ÖPNV Netz 2023	67
6.2	Tram Erweiterungen 2030 (Hüsler-Studie).....	68
6.3	Urbane Seilbahn	69
6.4	U-Bahnen.....	72
6.4.1	West-Ost-Korridor (U1)	73
6.4.2	Nord-Süd-Korridor (U2)	75
6.5	Spezifikation der U-Bahn Linien	77
6.6	Festlegung Modellparameter U-Bahn	83
7	Ergebnisse der Szenarienanalyse.....	84
7.1	Referenzfall.....	85
7.2	Planfall 1 (Linie 2)	89
7.3	Planfall 2 (Linie 8)	90
7.4	Planfall 3 (Linie 9)	92
7.5	Planfall 4 (alle Hüsler Linien)	93
7.6	Planfall 5 (U1)	95
7.7	Planfall 6 (U2)	97
7.8	Planfall 7 (U1 + U2).....	99
7.9	Planfall 8 (Linie 8&9 + U1)	101
7.10	Planfall 9 (Linie 2 + U2).....	105
7.11	Planfall 10 (Seilbahn)	108
7.12	Planfall 11 (U1 + Seilbahn).....	111
7.13	Planfall 12 (alle Hüsler Linien + Seilbahn).....	113
7.14	Vergleich aller Planfälle	116
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	119
	Literaturverzeichnis.....	122
	Anhang	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	<i>Linienverläufe Hüsler 2030 inkl. der zugehörigen Haltestellen</i>	1
Abbildung 2:	<i>Linienverläufe U-Bahnen + Seilbahn inkl. der zugehörigen Haltestellen</i>	3
Abbildung 3:	<i>Taxonomie der Seilbahnbauweisen</i>	7
Abbildung 4:	<i>Verschiedene Typen von Seilbahnsystemen</i>	8
Abbildung 5:	<i>Einsatzbereich verschiedener Verkehrsträger in Abhängigkeit der Systemlänge und der notwendigen Beförderungskapazität</i>	10
Abbildung 6:	<i>Straßenbahn- und Buslinien mit mehr als 10.000 Fahrgästen pro Tag (Stand 2020)</i> ..	14
Abbildung 7:	<i>Räume und Verkehrsarten in einem Verkehrsnachfragemodell</i>	18
Abbildung 8:	<i>CR-Funktionstyp BPR (Bureau of Public Roads) mit $a=1$, $c=1$ und Variation des Parameter b</i>	20
Abbildung 9:	<i>Beispiele für eine Segmentierung von Wegezwecken</i>	21
Abbildung 10:	<i>Beispiele für eine Segmentierung von Personengruppen</i>	22
Abbildung 11:	<i>Klassischer Vier-Stufen-Algorithmus</i>	23
Abbildung 13:	<i>Verfahrensablauf Stundenmodell (GUARD)</i>	30
Abbildung 14:	<i>Verfahrensablauf Tagesmodell (GUARD20)</i>	31
Abbildung 15:	<i>Untersuchungsgebiet mit der Verkehrszelleneinteilung und den politischen Bezirken</i>	32
Abbildung 16:	<i>Auszug der Mobilitätsraten für die Verkehrserzeugung in GUARD20</i>	38
Abbildung 17:	<i>Widerstandsfunktionsverlauf für unterschiedliche α-Parameter</i>	39
Abbildung 18:	<i>Nutzenfunktion bezogen auf die Bedienungshäufigkeit des ÖV</i>	43
Abbildung 19:	<i>Vergleich des empirischen und modellierten Modal Splits der Wegezanzahl für die Grazer und der Umlandbevölkerung</i>	46
Abbildung 20:	<i>Modal Split je verhaltenshomogener Gruppe - Graz</i>	48
Abbildung 21:	<i>Kumulierte Reiseweitenverteilung der Grazer Pkw-Lenker</i>	49
Abbildung 22:	<i>Kumulierte Reiseweitenverteilung der Pkw-Lenker aus dem Umland</i>	50
Abbildung 23:	<i>Kumulierte Reiseweitenverteilung der Grazer ÖV-Fahrer</i>	50
Abbildung 24:	<i>Kumulierte Reiseweitenverteilung der ÖV-Fahrer aus dem Umland</i>	51
Abbildung 25:	<i>Asfinag Zählstellen rund um Graz</i>	55
Abbildung 26:	<i>Quantifizierung der Übereinstimmung von Verteilungen mit dem Coincidence Ratio</i>	61
Abbildung 27:	<i>Überlagerung der Pkw-Reiseweitenverteilung aus GUARD20 und Österreich Unterwegs</i>	62
Abbildung 28:	<i>Überlagerung der ÖV-Reiseweitenverteilung aus GUARD20 und Österreich Unterwegs</i>	62
Abbildung 29:	<i>Veränderung der PKW-Belastung im Großraum Graz aufgrund temporäre Sperre des Plabutschunnel</i>	64
Abbildung 30:	<i>Veränderung der PKW-Belastung im Großraum Graz aufgrund dauerhafter Sperre des Plabutschunnel</i>	65
Abbildung 31:	<i>Veränderung der ÖV-Belastung im Großraum Graz aufgrund dauerhafter Sperre des Plabutschunnel</i>	66
Abbildung 32:	<i>Linienverläufe ÖV2023</i>	67
Abbildung 33:	<i>Linienverlauf Seilbahn</i>	69
Abbildung 34:	<i>Linienverläufe U-Bahn</i>	72
Abbildung 35:	<i>Anzahl Anbindungen je Anbindungslänge</i>	79

<i>Abbildung 36: Modal Split Vergleich Basisfall/Referenzfall</i>	86
<i>Abbildung 37: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Basisfall und Referenzfall</i>	87
<i>Abbildung 38: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 5</i>	96
<i>Abbildung 39: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 6</i>	98
<i>Abbildung 40: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 7</i>	100
<i>Abbildung 41: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 8</i>	103
<i>Abbildung 42: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Referenzfall und Planfall 8</i>	104
<i>Abbildung 43: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 9</i>	106
<i>Abbildung 44: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Referenzfall und Planfall 9</i>	107
<i>Abbildung 45: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 10</i>	109
<i>Abbildung 46: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 11</i>	112
<i>Abbildung 47: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 12</i>	115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fassungsvermögen von Bussen unterschiedlicher Länge	5
Tabelle 2: Fassungsvermögen von Straßenbahnen unterschiedlicher Länge	6
Tabelle 3: Vergleich verschiedener Umlaufseilbahnsysteme.....	8
Tabelle 4: Leistungskennwerte von ÖV-Systemen.....	9
Tabelle 5: Mini-U-Bahn als Lösung für mittelgroße Städte	12
Tabelle 6: Urbane Seilbahnprojekte und die Gründe für den Bau	13
Tabelle 7: Fahrgastzahlen der Grazer Straßenbahnlinien (Reihung Stand 2018)	15
Tabelle 8: Fahrgastzahlen der Buslinien mit über 10.000 Fahrgästen pro Tag (Reihung Stand 2018) .	15
Tabelle 9: Bezirke im Untersuchungsgebiet mit Flächen und Einwohnern	33
Tabelle 10: c-Faktor je Streckentyp.....	33
Tabelle 11: Anbindungstypen im Verkehrsmodell GUARD20	34
Tabelle 12: Verhaltenshomogene Personengruppen in GUARD20.....	36
Tabelle 13: Aktivitäten in GUARD20.....	37
Tabelle 14: Auszug aus Verkehrsverteilung von GUARD20 für die Personengruppe EmP_Graz.....	40
Tabelle 15: Empfundene Reisezeit (ERZ) des ÖV	40
Tabelle 16: Faktor Fahrzeit je Verkehrssystem für Graz und Umland.....	41
Tabelle 17: Nutzenfunktionen für die einzelnen Modi	43
Tabelle 18: Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Reiseweiten und den Modal-Split-Anteil	44
Tabelle 19: Widerstand der fahrplanfeinen Umlegung.....	45
Tabelle 20: Pendlerzahlen GUARD20 und der Landesstatistik im Vergleich.....	51
Tabelle 21: Linienbeförderungsfälle der wichtigsten Zug- und Tramverbindungen.....	52
Tabelle 22: Linienbeförderungsfälle der wichtigsten Tram- und Busverbindungen.....	53
Tabelle 23: Anzahl der Trameinsteiger an den wichtigsten Haltestellen.....	54
Tabelle 24: Anzahl der Buseinsteiger an den wichtigsten Haltestellen	54
Tabelle 25: mIV-Belastung an den Asfinag Zählstellen im hochrangigen Straßennetz.....	56
Tabelle 26: mIV-Belastung an den Grazer Zählstellen	57
Tabelle 27: Beurteilung des g_{SQV}	59
Tabelle 28: Gütemaß SQV für die täglichen Verkehrsstärken.....	60
Tabelle 29: Coincidence Ratio der Reiseweiten pro Person und Modus	62
Tabelle 30: Elastizitätswerte bei Steigerung der Einwohner um 10%, 20% und 50%.....	64
Tabelle 31: Start- und Endhaltestellen der Straßenbahnlinien 2023.....	68
Tabelle 32: Verlauf Seilbahn von Nord nach Süd (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit).....	70
Tabelle 33: wichtigste Haltestellen der Seilbahn und die Intention für die Stationswahl	71
Tabelle 34: Parameter für die Seilbahn Planfälle	72
Tabelle 35: Verlauf U1 (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit)	73
Tabelle 36: wichtigste Haltestellen der U1 und die Intention für die Stationswahl	74
Tabelle 37: Standardtakt U1 bzw. U2.....	74
Tabelle 38: Verlauf U2 (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit)	75
Tabelle 39: wichtigste Haltestellen der U2 und die Intention für die Stationswahl	76
Tabelle 40: Varianten Referenzfall inkl. U1 mit unterschiedlichen Parametern.....	77
Tabelle 41: Linienbeförderungsfälle Parameterset 0.....	78
Tabelle 42: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 1	79

Tabelle 43: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 2	80
Tabelle 44: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 3	81
Tabelle 45: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 4	81
Tabelle 46: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 5	82
Tabelle 47: Taktfahrplan U1 bzw. U2 anhand Grazer Ganglinie	82
Tabelle 48: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 6	83
Tabelle 49: Parameter für die U-Bahn Planfälle	83
Tabelle 50: Auflistung der unterschiedlichen Planfälle	84
Tabelle 51: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Referenzfall	86
Tabelle 52: Linienbeförderungsfälle Tram im Referenzfall	88
Tabelle 53: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Referenzfall	88
Tabelle 54: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 1	89
Tabelle 55: Linienbeförderungsfälle Planfall 1	89
Tabelle 56: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 1	90
Tabelle 57: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 2	90
Tabelle 58: Linienbeförderungsfälle Planfall 2	91
Tabelle 59: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 2	91
Tabelle 60: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 3	92
Tabelle 61: Linienbeförderungsfälle Planfall 3	93
Tabelle 62: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 3	93
Tabelle 63: Linienbeförderungsfälle Planfall 4	94
Tabelle 64: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 4	95
Tabelle 65: Taktfahrplan U1 bzw. U2 anhand Grazer Ganglinie	95
Tabelle 66: Linienbeförderungsfälle Planfall 5	96
Tabelle 67: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 5	97
Tabelle 68: Linienbeförderungsfälle Planfall 6	99
Tabelle 69: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 6	99
Tabelle 70: Linienbeförderungsfälle Planfall 7	101
Tabelle 71: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 7	101
Tabelle 72: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 8	102
Tabelle 73: Linienbeförderungsfälle Planfall 8	104
Tabelle 74: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 8	105
Tabelle 75: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 9	106
Tabelle 76: Linienbeförderungsfälle Planfall 9	107
Tabelle 77: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 9	108
Tabelle 78: Einfluss Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys Planfall 10	108
Tabelle 79: Linienbeförderungsfälle Planfall 10	110
Tabelle 80: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 10	110
Tabelle 81: Eingabeparameter für die Verkehrssysteme in Planfall 11	111
Tabelle 82: Linienbeförderungsfälle Planfall 11	113
Tabelle 83: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 11	113
Tabelle 84: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 12	114
Tabelle 85: Linienbeförderungsfälle Planfall 12	116
Tabelle 86: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 12	116
Tabelle 87: Vergleich der Kenngrößen aller Planfälle	117

Abkürzungen

BDH	Bedienungshäufigkeit
BF	Basisfall
BPR	Bureau of Public Roads
CR	Capacity-Restraint
EBW	Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz
GUARD	Guaranteed Ride Home; Verkehrsmodell
GUARD20	Guaranteed Ride Home 2020; Adaptierung von GUARD
ISV	Institut für Straßen- und Verkehrswesen
IV	Individualverkehr
KFU	Karl-Franzens-Universität
mIV	motorisierter Individualverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PF	Planfall
RF	Referenzfall
SQV	Scalable Quality Value
t_0	Reisezeit im unbelasteten Netz
t_{Akt}	Reisezeit zum aktuellen Zeitpunkt im belasteten Netz
UTO	unattended train operation – vollautomatische fahrerlose Zugbetrieb
VAL	véhicule automatique léger – vollautomatische fahrerlose Zugbetrieb
VHG	Verhaltenshomogene Gruppe
VISEM	Verkehrs-Informationen-System-Erzeugungs-Modell
V_{sys}	Verkehrssystem
ZuAb	Zu- und Abgangszeit

1 Einleitung

In der steirischen Landeshauptstadt Graz ist bis 2030 laut Prognoseberechnungen bundesweit mit dem prozentuell höchsten Bevölkerungswachstum zu rechnen. Die Bevölkerung der Stadt soll von 294.000 Einwohnern im Jahr 2020 auf bis zu 324.000 Einwohner im Jahr 2034 wachsen (Magistrat Graz, 2015). Gleichzeitig gelangen jedoch die Kapazitäten des öffentlichen Verkehrs (ÖV) an ihre Grenzen. Seit Jahrzehnten flammt nun die Diskussion über die Einführung einer U-Bahn immer wieder auf. Zusätzlich wird seit einigen Jahren auch die Errichtung einer Seilbahn entlang der Mur in Betracht gezogen.

Die Gründe für diese Überlegungen sind die auftretenden Kapazitätsengpässe im Bestandsnetz des öffentlichen Verkehrs, speziell im Innenstadtbereich. Vor allem die Herrengasse ist hinsichtlich der Taktung an der absoluten Kapazitätsgrenze angelangt. Täglich verkehren auf diesem Streckenabschnitt knapp 1.600 Straßenbahnen. Durch die alternierende Führung einiger Linien über die Neutorgasse wird zum einen die Herrengasse mit dem Hauptplatz als wichtige Haltestelle entlastet aber auch Möglichkeiten einer alternativen Linienführung im Störfungsfall geschaffen. Die Entlastungsstrecke führt jedoch zu keiner wesentlichen Kapazitätserweiterung, da andere Streckenbereiche wie die Annenstraße ebenfalls ihre Kapazitätsgrenze erreichen. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass in Graz über 50% der Netzlänge des Straßenbahnnetzes im Mischverkehr abgewickelt werden, d.h. wegen eines fehlenden eigenen Gleiskörpers verzögern sich die Straßenbahnfahrten durch rückstauende Kraftfahrzeuge vor Knotenpunkten. Um diese angeführten Probleme vor allem hinsichtlich der stark zunehmenden Bevölkerungszahlen und Pendlerzahlen in den Griff zu bekommen, werden nun unterschiedliche Möglichkeiten untersucht um Kapazitäten im ÖV zu erweitern.

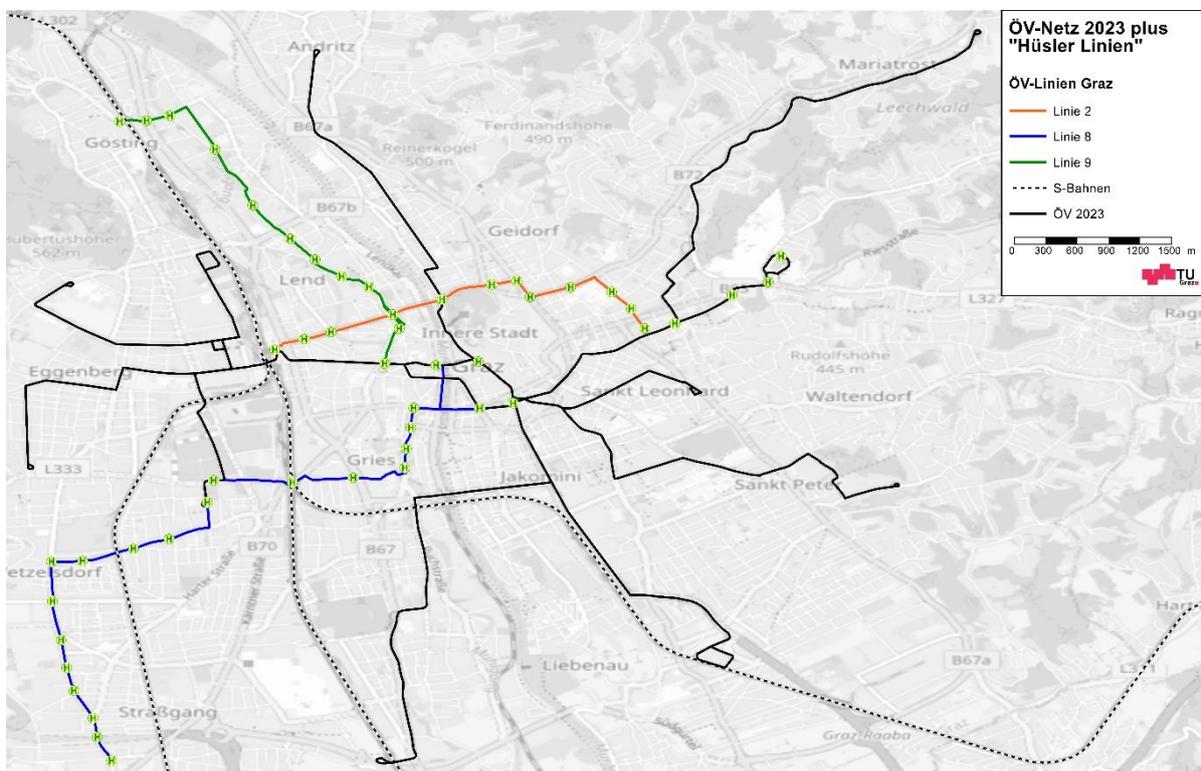


Abbildung 1: Linienverläufe Hüsler 2030 inkl. der zugehörigen Haltestellen (Datengrundlage „Hüslerstudie 2020“)

Das Schweizer Ingenieurbüro für Verkehrsplanung, die IBV Hüsler AG¹, wurde mit einer Studie beauftragt, das Verkehrsverhalten für die Stadt Graz zu untersuchen und mögliche Varianten für die Lösung dieser Kapazitätsengpässe zu finden. Ergebnis dieser Studie war es, drei zusätzliche Straßenbahnlinien zu errichten (siehe Abbildung 1). Diese führen vom Norden (Gösting) in die Innenstadt (Linie 9), von der Innenstadt in den Südwesten der Stadt (Linie 8) und zusätzlich soll eine West-Ost-Verbindung (Linie 2) vom Hauptbahnhof über die Keplerstraße zum LKH, zur Entlastung der bestehenden Linien im Bereich der Annenstraße errichtet werden.

Die Berichterstattung in den Grazer Medien folgt allgemeinen Erkenntnissen zu U-Bahnen und Seilbahnen. So werden in der öffentlichen Diskussion als Vorteile einer U-Bahn oder Seilbahn die höheren Kapazitäten im Gegensatz zu einer Straßenbahn angeführt. Die Fahrzeuge der Straßenbahn gelangen derzeit speziell am Morgen an ihre Kapazitätsgrenzen. Zusätzlich haben U-Bahnen und Seilbahnen gegenüber dem bisherigen Grazer Straßenbahnnetz den Vorteil der vollkommenen Entkopplung des Netzes mit dem Straßennetz, sodass keine Behinderungen durch den Kfz-Verkehr entstehen. Bei einer Verlagerung der Verkehrsnachfrage auf diese beiden Massenverkehrsmittel findet eine Entlastung des Straßenverkehrs statt. Die Reisezeiten, der Reisekomfort und die stetige Verfügbarkeit durch sehr hohe Folgezeiten werden ebenfalls positiv bei U-Bahnen und Seilbahnen hervorgehoben. Bei einem weiteren Ausbau des Straßenbahnnetzes und einer größeren Nutzung durch weitere Straßenbahnen wird das stark belastete Straßennetz noch zusätzlich genutzt. Als Nachteil der U-Bahn werden die hohen Investitionskosten im Gegensatz zu Seilbahn und Tram angeführt. Die Seilbahn wird vor allem von Umweltschützern negativ betrachtet. Kritiker betonen die negativen Folgen auf das Stadtbild und sehen das UNESCO Kulturerbe gefährdet.

Daraus entwickelt sich folgende **Forschungsfrage für diese Masterarbeit**. *Wie und mit welchen Modellen kann die Verkehrsnachfrage für die möglichen Optionen des Öffentlichen Verkehrs in Graz abgeschätzt werden.* Bisher wird am Institut für Straßen- und Verkehrswesen ein multimodales makroskopisches Verkehrsnachfragemodell unter der Bezeichnung GUARD gepflegt. Dieses Modell erfüllt nicht die besonderen Anforderungen zur Abbildung der Nachfrage im Öffentlichen Verkehr, da das Nutzerverhalten zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln des Öffentlichen Verkehrs wie Bus, Tram und Regionalbahn nicht ausreichend abgebildet wird. Weiterhin sind die Rechenzeiten des Modells sehr hoch, da die Nachfrage in Stundenmatrizen und nicht in Tagesmatrizen abgebildet wird. Für Langfristprognosen sind Tagesmatrizen ausreichend und beschleunigen die Bearbeitungszeit wesentlich. Daher besteht eine Aufgabe dieser Arbeit darin, ein gut kalibriertes makroskopisches Modell auf Basis des bestehenden GUARD zu erstellen, in dem verkehrsmittelspezifische Nutzerverhalten des Öffentlichen Verkehrs und des motorisierten Individualverkehrs (mIV) für unterschiedliche Planungsszenarien abgebildet werden. Basierend auf dem neuen Basismodell mit einer Tagesverkehrsnachfrage sollen Planszenarien mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln des Öffentlichen Verkehrs erstellt und ihre Wirkungen auf Verkehrsnachfrage erstellt werden. Es sollen fundierte quantitative Aussagen zu Verkehrsbelastungen im Öffentlichen Verkehr wie auch im mIV gemacht werden, die später als Basis für wirtschaftliche Bewertungen dienen sollen. Kostenargumente oder umweltrelevante Fragestellungen zur Beurteilung der Verkehrssysteme sind nicht Ziel dieser Arbeit.

¹ In der Studie zum Netzausbau Tram 2030+, die unter Mitarbeit der Ingenieurbüros IBV Hüsler AG, BIM und der Gesellschaft für Verkehrsberatung und Systemplanung mbH (GVS) im Dezember 2019 veröffentlicht wurde, werden 3 Straßenbahnlinien favorisiert, die in der weiteren Arbeit mit „Hüsler-Linien“ bezeichnet werden.

In der Arbeit werden die von Hüsler entwickelten Linien einzeln oder in unterschiedlichen Kombinationen mit möglichen U-Bahn-Führungen oder einer Seilbahn untersucht. Die verschiedenen Verläufe der zu untersuchenden Linien sind in Abbildung 2 dargestellt. Die U1 stellt dabei die West-Ost-Verbindung zwischen Eggenberg und Berliner Ring dar. Sie soll als Alternative zur Linie 2 dienen und die Annenstraße bzw. Herrengasse entlasten. Die U-Bahn U2 führt von Gösting über den Jakominiplatz nach Straßgang. Eine alternative Nord-Süd-Verbindung stellt die Seilbahn entlang der Mur dar.

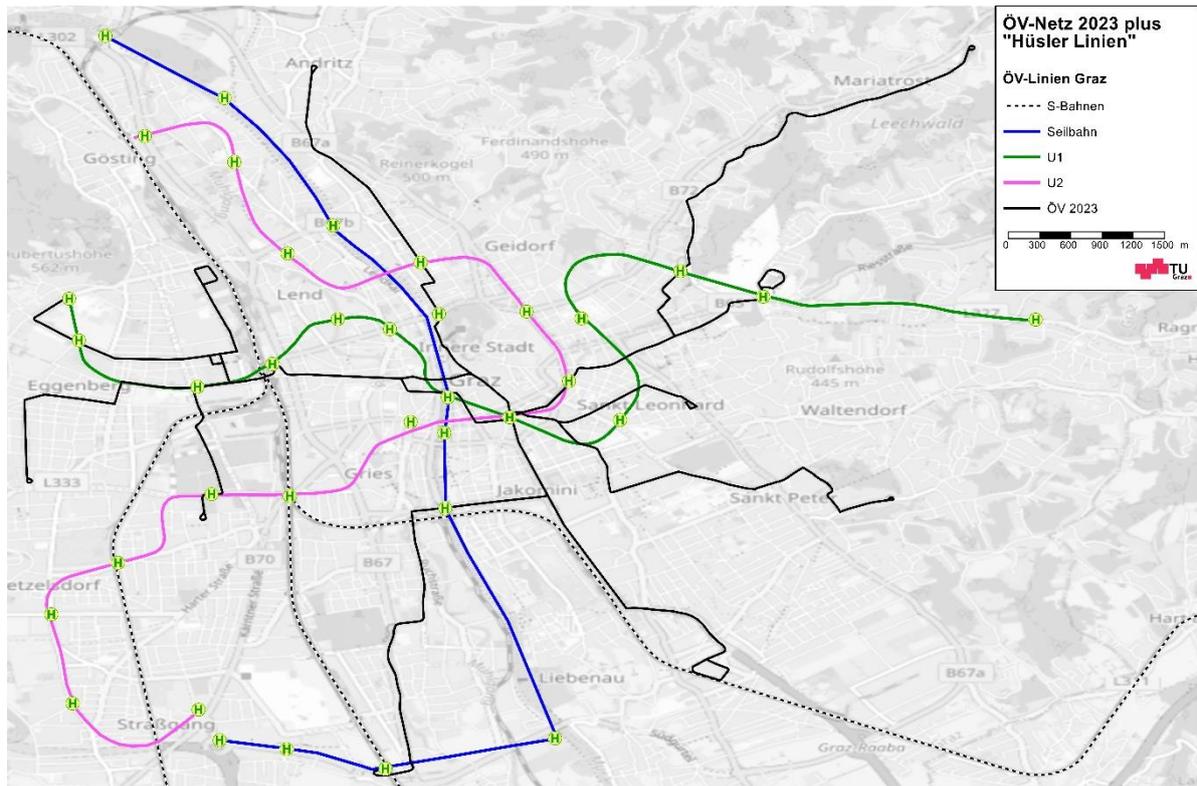


Abbildung 2: Linienverläufe U-Bahnen + Seilbahn inkl. der zugehörigen Haltestellen

Nach diesem einführenden Kapitel wird näher auf die einzelnen städtischen ÖV-Verkehrssysteme und deren unterschiedliche Eigenschaften eingegangen. Dabei werden neben einem Systemvergleich der Systeme Referenzbeispiele für U-Bahnen und Seilbahnen in anderen Städten angeführt und ein Vergleich zur Stadt Graz gezogen. Des Weiteren wird das derzeitige Grazer Verkehrsnetz genauer erläutert, um ein Gefühl für die Größenordnungen und den Verlauf der einzelnen Linien zu bekommen. Kapitel 3 beschäftigt sich mit den Grundlagen eines Verkehrsplanungsmodells. Hier wird speziell auf den Standard-Vier-Stufen-Algorithmus der Verkehrsplanung eingegangen. Dieser ist Grundlage für das im Zuge dieser Arbeit angewendete Aktivitätenketten-basierende Verkehrsmodell (VISEM).

Danach wird das entwickelte Verkehrsmodell GUARD20 näher erklärt. Dabei werden die einzelnen Eingabeparameter erläutert und darauf eingegangen, wie sich das Modell durch Veränderung dieser Parameter verhält. Auf die einzelnen Schritte der Verkehrsnachfragemodellierung (Verkehrserzeugung, kombinierte Verkehrsverteilung und Moduswahl und Verkehrsumlegung) und die Überlegungen hinsichtlich der Modellierung wird näher eingegangen. Auf die Modellierung des Öffentlichen Verkehrs wird besonderes Augenmerk gelegt, da hier der größte Unterschied zum GUARD Modell liegt.

Kapitel 5 befasst sich mit den Ergebnissen der Kalibrierung auf den bestehenden Zustand 2020 (Modal Split, Reiseweitenverteilungen, Linienbeförderungsfälle, etc.) und der Qualität dieser Ergebnisse. Hierbei wurden verschiedene Qualitätsparameter untersucht, um eine Aussage hinsichtlich der Validität von GUARD20 zu bekommen.

In Abschnitt 6 werden die Systemvarianten des Öffentlichen Verkehrs (Hüsler-Linien, U-Bahnen, Seilbahn) näher erläutert und die wichtigsten Überlegungen hinsichtlich der Haltestellenwahl bzw. des Linienverlaufs dargelegt. Des Weiteren werden Untersuchungen hinsichtlich der Bestimmung der Modellparameter für die U-Bahnen angeführt. Dabei wird auf den in Kapitel 2 angeführten Vergleich der Kenngrößen der einzelnen Verkehrssysteme eingegangen. Es wird versucht, die Vor- und Nachteile der U-Bahn im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln ins Modell zu implementieren. Die Ergebnisse werden daraufhin untersucht und auf Plausibilität geprüft.

Diese ermittelten Parameter werden für das Hauptkapitel, Kapitel 7, benötigt, um die einzelnen Planungsfälle zu berechnen. Anhand dieser Berechnungen erhält man Rückschlüsse darüber, wie die einzelnen Szenarien das Verkehrsverhalten der Stadt Graz beeinflussen. Abschließend folgt eine Zusammenfassung dieser Masterarbeit sowie ein Ausblick.

2 Öffentliche Verkehrssysteme im urbanen Raum

Einleitend wird auf die unterschiedlichen öffentlichen Verkehrssysteme im urbanen Raum eingegangen. Ein spezielles Augenmerk liegt dabei auf den modernen urbanen Mobilitätssystemen. Moderne urbane Mobilitätssysteme sind Systeme, die eine neue Ebene für die Verkehrsabwicklung nutzen. Diese Ebene kann entweder unter dem aktuell genutzten Niveau der Straßenoberfläche (z.B. U-Bahn) oder darüber (z.B. Seilbahn) liegen. Der große Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass sie von anderen Verkehrsteilnehmern (vor allem Pkw) unabhängig sind und somit in Bezug auf Verspätungen, Zuverlässigkeit, Komfort etc. nicht beeinflusst werden. Zusätzlich werden die einzelnen Kenngrößen von Bus, Tram, U-Bahn und Seilbahn nun näher betrachtet und in weiterer Folge miteinander verglichen.

2.1 Bus und Tram

Bus

Das Verkehrssystem Bus ist sehr flexibel und kann gut an verschiedene topographische und nachfrageseitige Situationen angepasst werden. Der Vorteil ist, dass man keine gesonderte Infrastruktur benötigt, Linienveränderungen rasch und kostengünstig möglich sind und dass die Fahrzeuggrößen jederzeit abhängig von der Nachfrage variiert werden können. Zusätzlich sind Busfahrzeuge auch wesentlich kostengünstiger in der Anschaffung gegenüber Fahrzeugen anderer Verkehrssysteme. Standardlinienbusse haben eine Länge von ca. 12 m. In Tabelle 1 sind auch weitere Busse nach unterschiedlicher Länge und Bauart angeführt. Midi-Busse werden hauptsächlich auf engen Straßen in historischen Innenstädten oder zur Anpassung an geringe Nachfragen verwendet. Die Fahrgastzahlen von Bussen bewegen sich im Bereich von ca. 50 bis 200 Personen pro Fahrzeug. Die übliche Taktung bei Bussystemen liegt bei etwa 600 Sekunden, also zehn Minuten. Damit können abhängig von der Fahrzeuglänge innerhalb einer Stunde zwischen 250 und 1.200 Fahrgäste befördert werden. Die durchschnittliche Geschwindigkeit von Stadtbussen beträgt ca. 20 km/h. (Cerwenka, et al., 2004)

Tabelle 1: Fassungsvermögen von Bussen unterschiedlicher Länge (Cerwenka, et al., 2004)

Fahrzeuglänge [m]	Fahrgäste insgesamt (gerundet)	Kapazität [Pers./h] in eine Richtung [10' Takt]
9m (Midi-Bus)	40 - 50	240 - 300
12m (Standardbus)	100	600
18m (Gelenkbus)	150	900
24m (Doppelgelenkbus)	200	1.200

Straßenbahn

Straßenbahnen sind Schienenbahnen, die sich hinsichtlich der Betriebsweise dem Straßenverkehr anpassen und der Beförderung von Personen im Orts- oder Nahverkehr dienen. Straßenbahnschienen verlaufen auf der Straßenoberfläche, können aber auch auf einem eigenen oder besonderen Bahnkörper verlaufen. Aufgrund der Mitbenützung der vorhandenen Verkehrsflächen können Behinderungen auftreten, die an Knotenpunkten durch Signalbevorrechtigung reduziert werden können. Die durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit bewegt sich zwischen 15 und 25 km/h. Die geringe Geschwindigkeit ist vor allem auf die relativ kurzen Haltestellenabstände von 300 bis 800 m zurückzuführen. Die übliche Taktung liegt bei 450 Sekunden, sprich 7,5 Minuten. Die minimale

Kursfolgezeit beträgt 60 Sekunden. Das Fassungsvermögen und die Fahrgastkapazitäten bezogen auf die Fahrzeuglängen sind in Tabelle 2 angeführt. Dabei ist erkennbar, dass sich die Fahrgastzahlen pro Straßenbahn zwischen ca. 100 und 400 bewegen. Eine Erhöhung der Nachfrage kann mit dem Wechsel auf ein längeres Fahrzeug oder mittels Verdichtung des Taktes erreicht werden.

Tabelle 2: Fassungsvermögen von Straßenbahnen unterschiedlicher Länge (Cerwenka, et al., 2004)

Fahrzeuglänge [m]	Fahrgäste insgesamt (ang. Dichte: 4 FG/m ²)	Kapazität [Pers./h] in eine Richtung [10' Takt]
18,8	98 - 118	588 - 708
27,2	152 - 179	912 - 1074
33,8	198 - 232	1188 - 1392
37,2	224 - 265	1344 - 1590
45,5	273 - 321	1638 - 1926
50,6	312 - 371	1872 - 2226

2.2 U-Bahn

U-Bahnen (Untergrundbahnen) finden sich vor allem in Millionenmetropolen (New York, London, Wien etc.). Das ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass U-Bahnen ein Massenverkehrsmittel mit hohen Investitionskosten sind, die erst bei einer großen Personenzahl, hoher Bevölkerungsdichte und dadurch bedingter hoher Verkehrsnachfrage bei ausreichenden Reiseweiten rentabel betrieben werden können. Sie werden unabhängig von anderen Verkehrsmitteln auf einem eigenen Fahrweg außerhalb des Straßenraumes (meist im Tunnel) betrieben. Der Bahnsteig und der Fahrzeugboden sind niveaugleich. Die U-Bahn findet vor allem innerhalb der Kernstadt entlang von Achsen mit hohem Fahrgastaufkommen Anwendung. Aus wirtschaftlichen Gründen ist eine feine Verästelung des Netzes nicht möglich, da die üblichen Haltestellenabstände zwischen 500 und 1.000 Metern liegen. Das Fassungsvermögen eines Wagens (ca. 18 m lang) beträgt ca. 150 Personen und die Beförderungsgeschwindigkeit beträgt in etwa 40 km/h. Die übliche Taktung ist 300 Sekunden (= 5 Minuten) und die Mindestkursfolgezeit ist 90 Sekunden. Kursfolgezeiten unter 90 Sekunden sind kaum realisierbar, weil hier die Haltestellenaufenthaltszeiten zum limitierenden Faktor werden. Circa 40 Sekunden werden für den Fahrgastwechsel bei starker Nachfrage angesetzt und eine minimale Reserve gegen Verspätung ist ebenfalls zu berücksichtigen. (Cerwenka, et al., 2004)

Eine Weiterentwicklung von klassischen U-Bahnen sind die vollautomatischen U-Bahn-Systeme. Die Vorteile des fahrerlosen Betriebs liegen in der Personaleinsparung, der gezielteren Fahrweise, da die U-Bahn in ständigem Kontakt mit der Leitzentrale ist und der kostengünstigeren Herstellung aufgrund zahlreicher standardisierter Komponenten. Zusätzlich ist es wegen der automatischen und damit gezielten Fahrweise möglich, Bahnsteigtüren zu verwenden. Dadurch wird zusätzlich die Sicherheit erhöht. Beispiele für vollautomatisierte Systeme werden in Tabelle 5 angeführt.

Betriebswirtschaftlich sinnvoll ist eine Voll-U-Bahn laut internationalen Erfahrungswerten ab einer Nachfrage von etwa 8.000 Fahrgästen pro Stunde und Richtung am stärksten Querschnitt. Als Voll-U-Bahn wird eine Bahn bezeichnet, die im 3 bis 5 min Intervall fährt und eine rechnerische Fahrgastkapazität von durchschnittlich ca. 750 Fahrgästen/Zug hat. Dabei wird von Zugverbänden länger als 100 m ausgegangen. Vollautomatisierte Klein-U-Bahnen sind anhand erster Überlegungen und Einschätzungen ab einer Nachfragedimension von etwa 4.000 Fahrgästen pro Richtung in der Spitzenstunde betriebswirtschaftlich zielführend. (TU Graz - ISV, et al., 2019)

2.3 Seilbahn

Seilbahnen werden in unterschiedliche Nutzungen untergliedert. Sie dienen dem Gütertransport, dem Ski- und Bergsport oder auch als urbane Seilbahnen. Im urbanen Bereich werden sie sowohl für Tourismus als auch als öffentliches Verkehrsmittel eingesetzt. Aus verkehrsrechtlicher Sicht zählen Seilbahnen ebenso zu den Eisenbahnsystemen. Die Leistungsfähigkeit ist vergleichbar mit jenen der Straßenbahn oder auch sehr leistungsfähigen Buslinien. Der Vorteil von Seilbahnsystemen ist die Unabhängigkeit vom Individualverkehr im Straßenniveau, was die Störungssicherheit und die Betriebsqualität positiv beeinflusst (TU Graz - ISV, et al., 2019). Weitere positive Aspekte sind die einfache Überwindung von topographischen und baulichen Hindernissen, die geringen Betriebskosten, die rasche Realisierbarkeit, der geringe Energieverbrauch und das hohe Sicherheitsniveau. Gritsch (2016) zeigt neben den Vorteilen jedoch auch einige Nachteile auf, wie die geringere Haltestellendichte im Vergleich zu Linienbussen, die überwiegend lineare Trassierung und rechtliche Hindernisse bei der Überschneidung von Grundstücken.

Seilbahnen werden in Umlaufbahnen und Pendelbahnen unterschieden. Abbildung 3 zeigt die einzelnen Teilgebiete der Seilbahnen. Sie können nach der Art der Bauweise in Seilschwebbahnen und Standseilbahnen unterschieden werden. Schwebbahnen unterteilen sich in Pendelbahnen und Umlaufseilbahnen. In dieser Arbeit wird lediglich die Gruppe der Umlaufseilbahnen näher betrachtet, da sie die gebräuchlichere Form der Stadtseilbahnen ist.

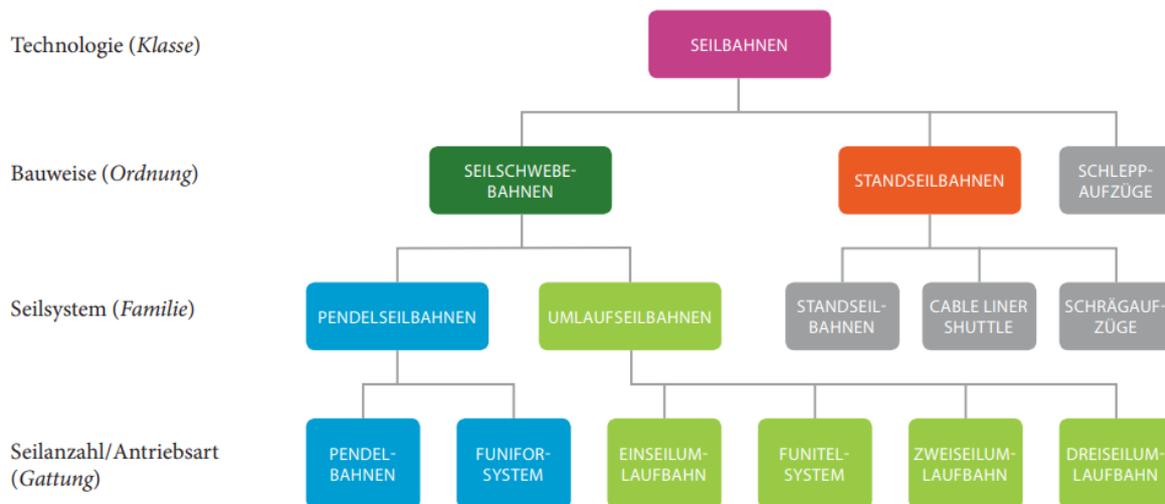


Abbildung 3: Taxonomie der Seilbahnbauweisen (Quelle: Kremer, 2015)

Umlaufseilbahnen werden auch als Stetigförderer bezeichnet, da mehrere Kabinen hintereinanderfahren und somit die Wartezeit auf das nächste Gefäß sehr gering ist. Im Gegensatz dazu verfügen die Pendelbahnen nur über eine fest mit dem Seil verbundene Kabine je Richtung, also in Summe zwei Kabinen.

Tabelle 3: Vergleich verschiedener Umlaufseilbahnsysteme (Monheim, et al., 2010)

System	Fahrzeuggröße [Pers.]	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Förderleistung [Pers./h/Richtung]
Drei-Seil (3S)	bis 35	bis 27	bis 5.000
Zwei-Seil (2S)	bis 16	bis 25	bis 3.500
Ein-Seil (1S)	bis 15	bis 21	bis 3.600
Funitel	bis 24	bis 25	bis 4.000

Im Zuge dieser Arbeit werden lediglich die Umlaufseilbahnen betrachtet, welche in Tabelle 3 angeführt werden. Es gibt 4 unterschiedliche Systeme, wobei 3-Seil-Systeme die größten Kabinen (Kapazität bis zu 35 Pers.), die höchste Fahrgeschwindigkeit (7,5 m/s ~ 27 km/h) und somit auch die meisten Personen pro Stunde (bis zu 5.000) transportieren können (Monheim, et al., 2010). In Vietnam wurde 2018 die Seilbahn Hòn Thơm in Betrieb genommen, welche sogar eine Geschwindigkeit von 8,5 m/s = 30 km/h aufweist (Doppelmayr, 2015). Zudem sind 3S-Systeme extrem windstabil (Windgeschwindigkeiten bis 100 km/h) und es bedarf nur weniger Stützen und im Zuge dessen auch weniger Inanspruchnahme von Flächen. Spannfeldlängen von bis zu 3.000 Meter können realisiert werden. Der Nachteil sind die hohen Investitionskosten im Gegensatz zu den anderen Systemen. Bei Ein-Seil-Systemen kommen kleinere Kabinen zum Einsatz (max. 10 Personen) und es werden auch mehr Stützen benötigt, da das Bahnsystem nur über ein Förderseil und kein Tragseil verfügt. Hier kann der Betrieb bei Windgeschwindigkeiten bis zu 70 km/h aufrechterhalten werden. Das Zwei-Seil-System ist dem 1S-System ähnlich, nur sind dabei, wie der Name schon verrät, die Kabinen an zwei Seilen befestigt, wodurch eine höhere Stabilität sichergestellt wird. (Monheim, et al., 2010)

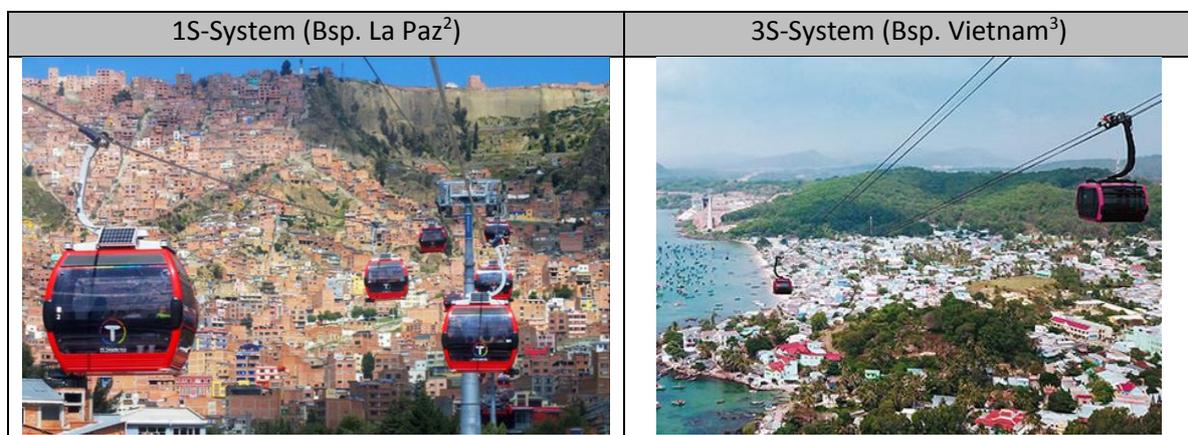


Abbildung 4: Verschiedene Typen von Seilbahnsystemen

² [Quelle] <https://www.stadtmarketing.eu/stadtseilbahn/> (25.08.2020)

³ [Quelle] <https://www.doppelmayr.com/de/systeme/referenzen/30-tgd-hon-thom/> (25.08.2020)

2.4 Vergleich der unterschiedlichen Verkehrssysteme

In Tabelle 4 ist ein Vergleich zwischen den vorhin beschriebenen ÖV-Systemen angeführt. Die Daten dazu wurden von Cerwenka, et al. (2004), TU Graz-ISV, et al. (2019) und Monheim, et al. (2010) übernommen.

Tabelle 4: Leistungskennwerte von ÖV-Systemen

Leistungskennwerte	Bus	Tram	U-Bahn	Seilbahn
übliche Leistungsfähigkeit [Pers./h]	480 - 900	1.200 - 2.000	8.000 - 14.400	2.800 - 8.000
Haltestellenabstand [m]	300 - 700	300 - 800	500 - 1.000	100 - 3.000
∅ Reisegeschwindigkeit [km/h]	20	20	30 - 40	20 - 30
Erschließungsqualität	hoch	mittel	tief - mittel	tief
Zuverlässigkeit	tief - mittel	tief - mittel	hoch	hoch
zeitliche Verfügbarkeit	hoch	hoch	mittel	hoch
räumliche Verfügbarkeit	sehr hoch	hoch	mittel	Niedrig
Baukosten / km [in Mio €]	-	25 - 30	~ 200	20 - 25

Die großen Vorteile des Busses sind die hohe Flexibilität und die geringen Anschaffungskosten. Es können jederzeit Busse anhand der Nachfrage angepasst werden und es wird keine eigene Infrastruktur für die Abwicklung des Betriebes benötigt. Zusätzlich ist die Erschließungsqualität sehr hoch. Die Dichte an Bushaltestellen ist in Städten meist sehr hoch, wodurch viele Personen Zugang zu dem Verkehrssystem haben. Die Nachteile gegenüber den anderen Systemen sind die geringe Leistungsfähigkeit und dass der Busverkehr vom motorisierten Individualverkehr stark beeinflusst wird, worunter vor allem die Zuverlässigkeit hinsichtlich Pünktlichkeit zu den Spitzenbelastungszeiten leidet.

Die Straßenbahn hebt sich vom Bus vor allem durch höhere Kapazitäten ab. Die in Tabelle 4 angeführten Leistungsfähigkeiten sind lediglich übliche Werte, es können auch noch höhere Kapazitäten erreicht werden. Speziell, wenn sie auf einem eigenen Bahnkörper verlaufen, haben Trams einen großen Vorteil gegenüber dem Bussystem, da sie dadurch vom mIV unabhängig und somit zuverlässiger sind. Üblicherweise werden Straßenbahnen abhängig von der Nachfrage auch in einem kürzeren Takt (7,5') als Busse (10') betrieben. In der Spitzenstunde werden Straßenbahnen in Graz beispielsweise im 4 Minuten Takt geführt.

Abbildung 5 zeigt die Einsatzbereiche der verschiedenen ÖV-Verkehrssysteme in Abhängigkeit der Systemlängen und der Beförderungskapazitäten pro Stunde und Richtung. Moderne urbane Mobilitätssysteme, in diesem Fall Seilbahn und U-Bahn, haben große Vorteile gegenüber den konventionellen ÖV-Systemen Bus und Tram, da verkehrsbedingte Wartezeiten an Kreuzungen und aufgrund von Staus nicht auftreten. Zusätzlich ist die Leistungsfähigkeit dieser Systeme viel höher als die der Busse. Ein weiterer Vorteil der Seilbahn gegenüber den anderen ÖV-Systemen ist, dass die taktbedingten Wartezeiten beim Ein- und Umsteigen nahezu wegfallen, da durch den Umlaufbetrieb keine oder nur geringe Wartezeiten auftreten. Die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit der Umlaufseilbahn ist geringer als die der U-Bahn. Jedoch ist die Seilbahn durch die nicht vorhandenen Wartezeiten für kurze und mittlere Distanzen konkurrenzfähig. Für längere Distanzen (ab ca. 8-9 km) hat die U-Bahn wiederum Vorteile (Monheim, et al., 2010). Erkennbar ist auch, dass U-Bahnen die bei weitem größten Kapazitäten aufweisen.

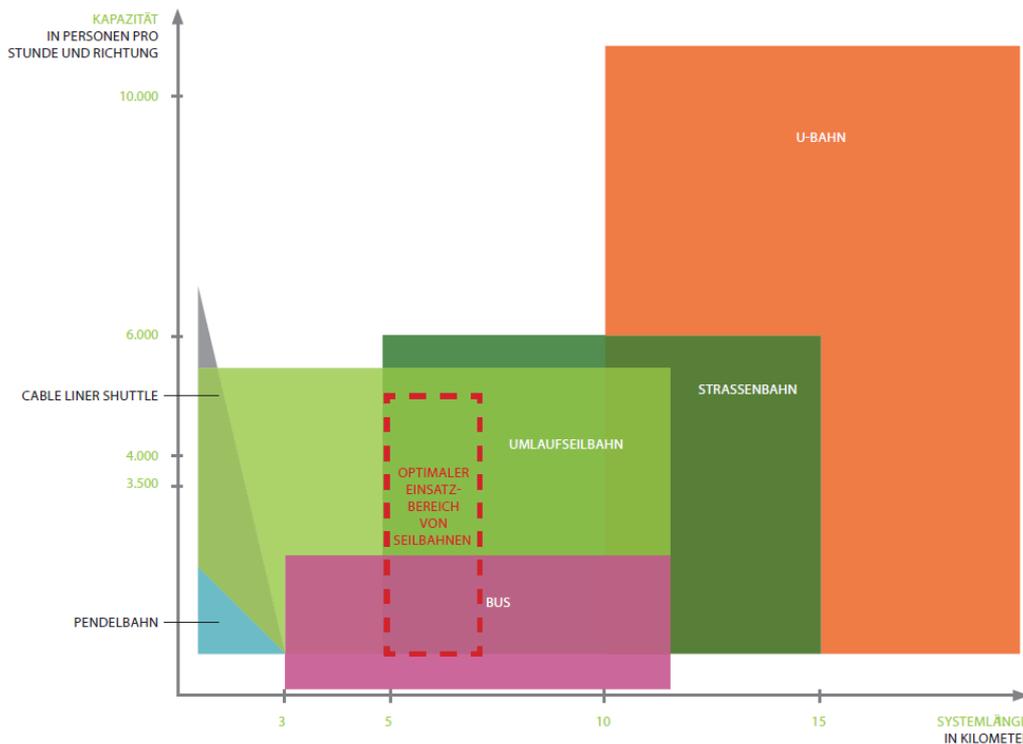


Abbildung 5: Einsatzbereich verschiedener Verkehrsträger in Abhängigkeit der Systemlänge und der notwendigen Beförderungskapazität (Quelle: Kremer, 2015)

Ein Nachteil der U-Bahn sind die hohen Investitionskosten gegenüber den anderen Verkehrssystemen. Ein Kilometer U-Bahn kostet in etwa das zehnfache von einem Kilometer Straßenbahn (siehe Tabelle 4). Des Weiteren sind die Bauarbeiten für eine U-Bahn sehr aufwändig und zeitintensiv. Vor allem ist es komplex, das bestehende ÖV-Netz während der Bauphase nicht oder nur wenig zu beeinflussen.

Im Vergleich zur Seilbahn kann sich die U-Bahn vor allem durch die höhere Flexibilität der Trasse und der höheren Akzeptanz in der Bevölkerung abheben. Zusätzlich weist sie eine viel höhere Transportleistung und eine geringere Fahrzeit auf. Die Seilbahn dagegen hat zusätzlich zum Kostenaspekt noch Vorteile hinsichtlich der Bauzeit, der Umweltfreundlichkeit und der schnelleren bzw. leichteren Zugänglichkeit.

Grundsätzlich kommen U-Bahnen und Seilbahnen nie als einziges Verkehrssystem innerhalb einer Stadt vor. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte immer eine Kombination aus den oben genannten Systemen angestrebt werden. Somit können auch jene Bereiche mit geringerer Nachfrage an das ÖV-Netz angeschlossen werden.

2.5 Referenzbeispiele moderner urbaner Mobilitätssysteme

Im folgenden Abschnitt werden Referenzbeispiele von U-Bahnen und Seilbahnen in Städten angeführt, die hinsichtlich der Einwohnerzahlen mit jenen der Stadt Graz vergleichbar sind.

2.5.1 U-Bahnen in mittelgroßen Städten

Betrachtet man die in 2.2 angeführten Erfahrungswerte, insbesondere die benötigte Nachfrage für eine Voll-U-Bahn, kann man darauf schließen, dass diese in Graz aus derzeitigem Stand nicht sinnvoll ist. Einerseits besitzt Graz nicht die beschriebene Stadtgröße und andererseits treten die geforderten 8.000 Fahrgäste in der Spitzenstunde pro Richtung derzeit nirgends im bestehenden Netz auf. Die beiden am stärksten belasteten Querschnitte liegen in der Herrengasse und zwischen dem Südtiroler Platz und Hauptplatz mit 3.600 bzw. 2.700 Fahrgästen in der Spitzenstunde pro Richtung.

In Tabelle 5 ist jedoch ersichtlich, dass auch in Städten, die einwohnermäßig mit Graz vergleichbar sind, auf U-Bahnen als Verkehrssystem gesetzt wird. Der Grund hierfür liegt insbesondere an den Vorteilen von Automatisierung und fahrerlosem Betrieb. Der vollautomatische fahrerlose Zugbetrieb (UTO – unattended train operation oder VAL - véhicule automatique léger) bietet viele Vorteile, womit auch in kleineren Städten eine Mini-U-Bahn zweckmäßig zum Einsatz kommen kann. Durch die kleinen Zugeinheiten und die Vollautomatisierung ist es möglich, die U-Bahn betrieblich und betriebswirtschaftlich sinnvoll zu betreiben. Der größte Vorteil besteht dabei in der Flexibilität:

- kürzere Wartezeiten
- weniger Umsteigeverlustzeiten
- kürzere Reisezeiten

Durch die genannten Vorteile wird auch die Attraktivität und die Akzeptanz in der Bevölkerung gesteigert und es kann somit von höheren Fahrgastzahlen ausgegangen werden.

In Brescia erfreuen sich die Mini-U-Bahnen großer Beliebtheit. So sind die Fahrgastzahlen innerhalb von 5 Jahren von 12 auf 18 Mio. Fahrgäste pro Jahr gestiegen. Im gesamten städtischen ÖV sind dabei die Fahrgäste von 41,4 Mio. (2012) auf 56,7 Mio. (2018) und somit um fast 40% gestiegen. (TU Graz - ISV, et al., 2019)

Im Gegensatz zu Graz ist in Brescia aufgrund der verwinkelten Innenstadt beinahe das gesamte Gebiet für den motorisierten Verkehr gesperrt. Somit bietet es sich an, mit dem öffentlichen Verkehrsmittel oder dem Fahrrad zu fahren. In Graz hingegen ist nur der Bereich zwischen Jakominiplatz und Südtiroler Platz nicht für den Bus- und Pkw-Verkehr zugänglich. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Städten liegt auch darin, dass Brescia kein Straßenbahnnetz besitzt und somit vor dem Bau der U-Bahn die Nachfrage im ÖV nur mit Bussen bedient wurde. Die Intentionen für den Bau einer U-Bahn waren somit die ÖV-Anbindung der Innenstadt und die wesentliche Verkürzung der Wege in die Innenstadt. Die U-Bahn wird von den Pendlern gut angenommen. Der mIV-Anteil in der Stadt konnte reduziert werden - ein Erfolg der auch mit den Zielen der Stadt Graz einhergehen würde. Die gesamte Streckenlänge in Brescia ist knapp 14 km. Im Zuge dieser Arbeit werden für Graz zwei U-Bahn Linien untersucht, die Längen von 11,9 und 13,7 km aufweisen würden. (siehe Abschnitt 6.4).

Tabelle 5: Mini-U-Bahn als Lösung für mittelgroße Städte (TU Graz - ISV, et al., 2019, eigene Ergänzung)

Stadt	Einwohner	System	Fzg	FG/Zug (Sitzpl.+Stehpl.)	FG täglich	Streckenlänge [km]
Graz	294.598 ⁴	-	-	-	-	
Brescia	196.745	UTO - Stahl	39m	94+294	50.000	13,7 ⁵
Kopenhagen	777.218	UTO - Stahl	39m	94+294	200.000	27,9 ⁶
Rennes	216.268	UTO - Gummi	26m	156	153.000	9,4 ⁷
Lille	232.787	VAL - Gummi	26m	-	260.000	45,5 ⁸
Wien	1.911.728 ⁹	teil.-autom.	110m	260+622	2.250.000	83,3 ³

Die Einwohnerzahlen von Lille sind durchaus mit jenen von Graz vergleichbar, jedoch ist die Metropolregion von Lille mit ca. 1,1 Mio. Menschen deutlich größer als jene von Graz mit rund 640.000 (Statistik Austria, 2020). In Lille verkehren zwei Linien mit einer Gesamtlänge von knapp 46 km. Der Grund für die große Länge liegt darin, dass die U-Bahn nicht nur im Stadtgebiet verläuft, sondern auch die suburbanen Gebiete angebunden werden. Die Metro in Lille war 1983 die erste vollautomatisch betriebene U-Bahn. Die Absicht für den Bau einer U-Bahn war es, die Stadt aufgrund des hohen mIV-Anteils zu entlasten. (Mapa-Metro, 2020)

Das U-Bahnsystem in Kopenhagen wird von der Bevölkerung ebenfalls gut angenommen. So steigerten sich die Fahrgastzahlen innerhalb von 14 Jahren von 20 Mio. (2003) auf 63,5 Mio. (2017). Das bedeutet einen Zuwachs von knapp 320%. (TU Graz - ISV, et al., 2019)

Wien wird in der Tabelle ebenfalls angeführt, um ein Gefühl für die Größenordnungen zwischen einer Voll-U-Bahn und einer Mini-U-Bahn zu bekommen. Derzeit verkehren 5 U-Bahn-Linien mit einer Gesamtnetzlänge von 83,3 km (Wiener Linien, 2019). 2025 soll mit der U5 zwischen Elterleinplatz und Karlsplatz die erste vollautomatische U-Bahn-Linie eröffnet werden. (Stadt Wien, 2020)

Aus den o.a. Erfahrungswerten könnte eine Mini-U-Bahn in Graz sinnvoll sein. Weitere Gründe, die eine U-Bahn als sinnvoll erachten lassen, sind das große Bevölkerungswachstum in der Stadt Graz und im unmittelbaren Umland sowie die hohe Anzahl an Pendlern (tägl. rund 83.000), die zu 85% mit dem Pkw in die Stadt kommt. Des Weiteren befindet sich der Großteil der Arbeitsplätze im Zentrum und speziell dort sind die bestehenden ÖV Kapazitäten beinahe ausgereizt. Der bereits geplante oder in Bau befindliche ÖV-Linien Ausbau, um dieses Problem in den Griff zu bekommen, ist mit sehr hohen Kosten und großen Restriktionen für andere Verkehrsteilnehmer verbunden.

⁴ [Quelle] Statistikamt der Stadt Graz – Stand Mai 2020

⁵ [Quelle] <https://mapa-metro.com/de/italien/brescia/brescia-metropolitana-karte.htm> (11.08.2020)

⁶ [Quelle] Wiener Linien, 2019

⁷ [Quelle] <http://www.railfocus.eu/index.php?/category/metro-rennes> (11.08.2020)

⁸ [Quelle] <https://mapa-metro.com/de/Frankreich/Lille/Lille-Metro-Karte.htm> (14.08.2020)

⁹ [Quelle] Statistik Austria, 2020

2.5.2 Seilbahnen in Städten

In seiner Arbeit listet Gritsch (2016) wichtige urbane Seilbahnprojekte und die Gründe für den jeweiligen Bau auf. Diese werden in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Urbane Seilbahnprojekte und die Gründe für den Bau

Stadt	Bau-Intention
Ankara, Türkei	Integration der Vorstadt kurze Fahrzeit
Medellín, Kolumbien	Schadstoffreduktion Strukturveränderungen in den Armenvierteln Reduktion der Transferzeit Topographische Gegebenheiten
Caracas, Venezuela	Anbindung von Stadtteilen Synergie von U-Bahn und Seilbahn durch Zubringersystem
La Paz, Bolivien	Ausgleich schwieriger Topographie Verbindung zwischen La Paz und El Alto Erleichterung für chaotische öffentliche Verkehrssituation Reduktion der Fahrzeit

Aktuell werden Seilbahnen häufig in Südamerika genutzt. In Europa werden Bauten von Seilbahnen hauptsächlich im Zuge von touristischen Großereignissen, wie den Olympischen Spielen in London oder der Bundesgartenschau in Koblenz, in Betracht gezogen. Zusätzlich werden in beiden Gebieten Hindernisse wie der Rhein oder die Themse überflogen. Bei fast allen Seilbahnprojekten spielt die Reduktion der Fahrzeit und die Anbindung von Stadtteilen eine große Rolle. Auch auf Graz lassen sich diese Gründe umlegen. Zum einen würde die Fahrzeit von Randbezirken in die Innenstadt verkürzt werden und zum anderen könnte man in diesen Randbezirken Park&Ride Anlagen errichten, um dadurch den mIV im Stadtgebiet zu verringern. Das hätte neben der Reduktion des Straßenverkehrslärms auch eine Luftschadstoffreduktion wie in Medellín zur Folge. Viele Seilbahnsysteme werden auch aufgrund der topographischen Gegebenheiten gebaut, um große Höhen zu überwinden, wie zum Beispiel in La Paz. Dort dient das Seilbahnnetz unter anderem zur Verbindung zweier zusammengewachsener Städte, El Alto und La Paz. Mit einer Gesamtlänge von rund 30 km ist es das größte städtische Seilbahnnetz der Welt. Zusammen haben die beiden Städte ca. 1,6 Mio. Einwohner und es werden ca. 300.000 Fahrgäste pro Tag mit der Seilbahn befördert. Im Vergleich zu Wien mit einer Beförderungszahl von über 2 Mio. Fahrgästen pro Tag ist die Fahrgastanzahl in La Paz viel geringer. Das ist jedoch auch auf den unterschiedlichen Lebensstandard zurückzuführen. Im Fall von Graz ist die Topographie nicht ausschlaggebend, sondern vielmehr sind es die baulichen Gegebenheiten. So könnte eine Seilbahn errichtet werden, ohne grobe bauliche Eingriffe speziell im Innenstadtbereich vorzunehmen. Mit vergleichsweise geringem Aufwand kann der bestehende Öffentliche Verkehr entlastet werden. Jene Städte, die in Tabelle 6 angeführt sind, haben eine viel höhere Bevölkerungszahl als Graz. Somit sind sie dahingehend nur bedingt mit Graz vergleichbar. Durch den Bau einer Seilbahn könnte Graz eine Vorreiterrolle in Europa übernehmen.

2.6 Grazer ÖPNV-Grundnetz im Bestandsjahr 2020

Nachdem die unterschiedlichen möglichen ÖV-Verkehrssysteme nun näher erläutert wurden, wird hier das bestehende ÖV-Netz in Graz betrachtet. In Abschnitt 5 wird genauer auf die statistisch ermittelten Fahrgastzahlen eingegangen und dabei ein Vergleich zum Verkehrsmodell GUARD20 gezogen. In Graz besteht das städtische öffentliche Verkehrsnetz aus Straßenbahn- und Buslinien. Abbildung 6 zeigt die Verläufe der Verbindungen mit über 10.000 Fahrgästen pro Tag.

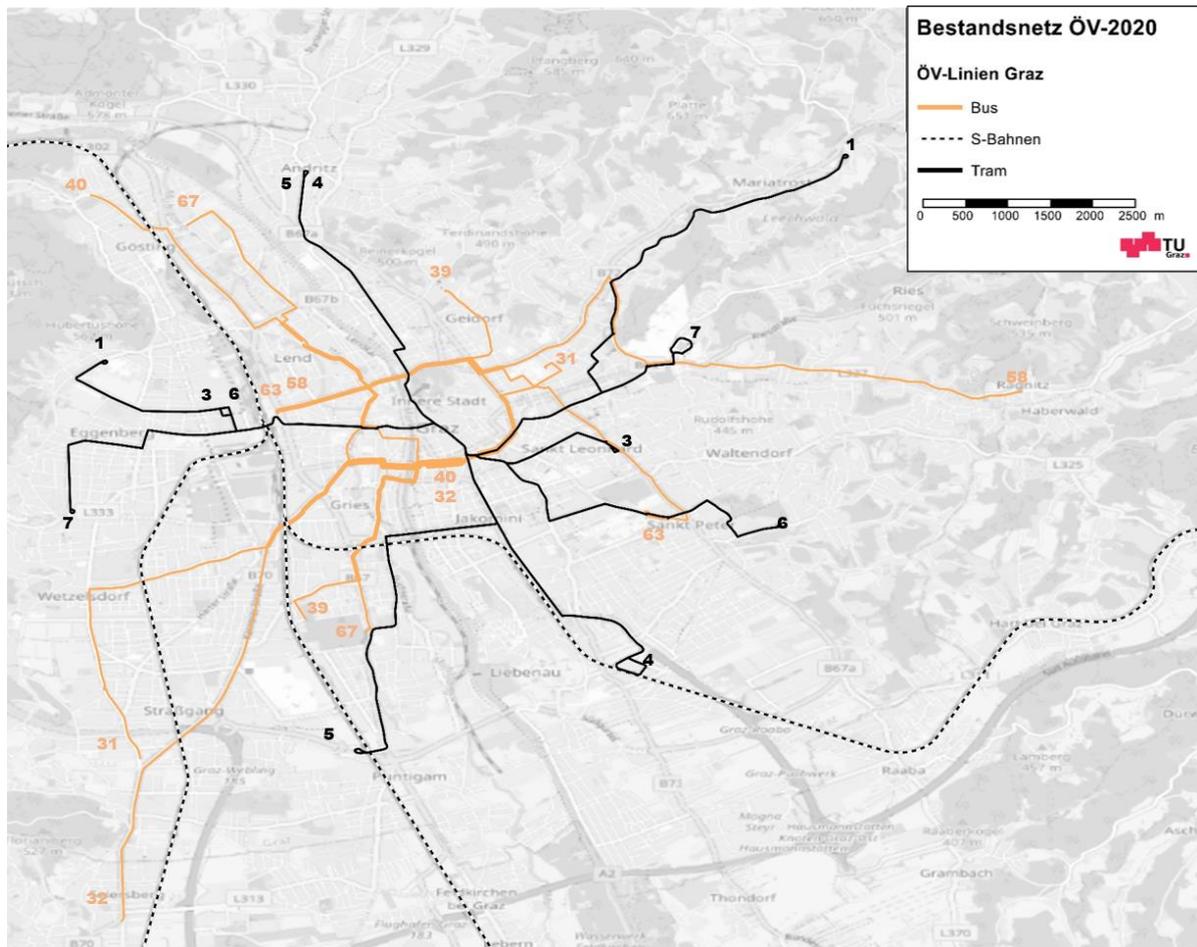


Abbildung 6: Straßenbahn- und Buslinien mit mehr als 10.000 Fahrgästen pro Tag (Stand 2020)

Straßenbahn

Mit Stand 2020 beinhaltet das Grazer Straßenbahnnetz 6 Linien mit einer Gesamtlänge von rund 50 km. Die Linien verlaufen sternförmig vom Zentrum in die Randbezirke. Alle Linien befahren den Abschnitt Herrengasse zwischen Hauptplatz und Jakominiplatz. Die Anzahl der täglichen Fahrgäste wird von der Holding Graz zur Verfügung gestellt. Diese Zahlen werden täglich mittels automatisierten Einsteigerzählungen ermittelt. Die am stärksten frequentierte Straßenbahn ist die Linie 7 von Wetzelsdorf zum LKH mit ca. 50.000 Fahrgästen am Tag. Die Linien 1, 4, 5 und 6 weisen vergleichbar hohe Fahrgastzahlen zwischen 23.100 und 28.100 auf. Die geringste Fahrgastfrequenz bei den Tramlinien tritt auf der kürzesten Linie, der Linie 3 von der Laudongasse zur Krenngasse, mit knapp 15.700 Fahrgästen pro Tag auf. Damit ist erkennbar, dass die West-Ost-Achse besonders stark belastet ist. Ebenfalls hohe Fahrgastzahlen weist die Nord-Süd-Achse nach Andritz auf. In Summe werden von der Straßenbahn täglich knapp 170.000 Fahrgäste befördert. Eine Besonderheit der Tram in Graz ist,

dass die Fahrzeugbreite maximal 2,30m statt den üblichen 2,65m ist. Der Grund dafür ist, dass die Grazer Innenstadt, speziell die Murgasse, baulich sehr begrenzt und daher für breitere Fahrzeuge nicht ausreichend Platz vorhanden ist. In Graz werden 10,5 km (15,6%) auf einem eingleisigen eigenen Gleiskörper, ca. 22 km (33,1%) auf einem zweigleisigen eigenen Gleiskörper und 34,5 km (51,3%) im Mischverkehr abgewickelt.

Tabelle 7: Fahrgastzahlen der Grazer Straßenbahnlinien (Reihung Stand 2018)

Nr.	Linie	Anzahl Fahrgäste pro Tag ¹⁰
7	Wetzelsdorf - LKH Med Uni / Klinikum Nord	49.800
5	Andritz – Puntigam	28.100
4	Andritz – Liebenau / Murpark	26.700
6	Laudongasse – St.Peter	25.300
1	Eggenberg / UKH – Mariatrost	23.100
3	Laudongasse – Krenngasse	15.700
	Σ Fahrgäste	168.700

Bus

Das gesamte Grazer Busnetz umfasst mit Stamm- und Ergänzungslinien derzeit 50 Buslinien. In Tabelle 8 sind die Buslinien mit mehr als 10.000 Fahrgästen pro Tag angeführt. Die Daten stammen von der Holding Graz. Die Fahrgastzahlen der Busse werden im Gegensatz zu jenen der Tram nicht täglich, sondern ein- bis zweimal pro Jahr für jeweils eine Woche gezählt. Daraus wird ein werktäglicher Mittelwert gebildet. Besonders stark sind hier die Busse im Nordwesten des Stadtgebietes (Linie 40 und 67) sowie im Südwesten (Linie 31, 32, 39 und 67) belastet. Die am stärksten frequentierte Linie, die Linie 40 mit einer Belastung von ca. 14.300 Fahrgästen täglich, erreicht beinahe die Frequenz der Straßenbahnlinie 3. Zusätzlich haben auch die West-Ost-Verbindungen über die Karl-Franzens-Universität eine hohe Auslastung (Linie 58 und 63). In Abschnitt 5.3 sind noch weitere stark belastete Buslinien angeführt. Buslinien werden in Graz einerseits radial in Bereichen geführt, wo noch keine Straßenbahnen verkehren und andererseits als tangentielle Linien, um äußere Bezirke der Stadt miteinander zu verbinden.

Tabelle 8: Fahrgastzahlen der Buslinien mit über 10.000 Fahrgästen pro Tag (Reihung Stand 2018)

Nr.	Linie	Anzahl Fahrgäste pro Tag ¹⁰
40	Gösting – Jakominiplatz	14.300
58	Hauptbahnhof – Ragnitz	12.800
32	Seiersberg – Jakominiplatz	12.600
31	Webling – Resowi	12.400
63	Hauptbahnhof – Schulzentrum St.Peter	11.100
67	Zentralfriedhof – Zanklstraße	10.900
39	Wirtschaftskammer – Urnenfriedhof	10.500

¹⁰ Holding Graz - Stand Winter 2018

3 Methodische Grundlagen von Verkehrsplanungsmodellen

In diesem Kapitel wird eine Einführung über Verkehrsplanungsmodelle gegeben. Es soll einen Überblick über Verkehrsplanungsmodelle und deren Aufgaben geben. Des Weiteren wird näher auf die einzelnen Komponenten eingegangen und die einzelnen Schritte des 4-Stufen-Algorithmus näher beschrieben. Der Berechnungsalgorithmus VISEM des im Zuge dieser Arbeit verwendeten Verkehrsmodells ist ebenfalls Teil dieses Abschnitts.

3.1 Allgemeines zu Verkehrsplanungsmodellen

Verkehrsmodelle sind der wichtigste Parameter für zukünftige verkehrsplanerische Maßnahmen. Sie sollen die Realität so gut wie möglich abbilden. Sollte nämlich das Verkehrsplanungsmodell fehlerhaft sein, könnte das sehr hohe Kosten verursachen, da verkehrstechnische Maßnahmen zumeist sehr teuer sind. In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der Verkehrsplanungsmodelle erklärt.

3.1.1 Aufgabe von Verkehrsplanungsmodellen

Die Aufgabe eines Verkehrsplanungsmodells ist es, den derzeitigen Verkehr bzw. den zukünftigen Verkehr in einem Untersuchungs- bzw. Planungsgebiet (siehe Abschnitt 3.1.3) so gut wie möglich abzubilden. Ein Verkehrsplanungsmodell liefert also Kenngrößen für den heutigen Zustand und für zukünftige Zustände. Diese Kenngrößen dienen als Grundlage für zukünftige verkehrsplanerische Entscheidungen. Zukünftige Zustände beinhalten sowohl Veränderungen, die von der Verkehrsplanung beeinflusst werden können, als auch solche, bei denen dies nicht der Fall ist. Zu den nicht beeinflussbaren Maßnahmen zählen z.B. die Veränderung der Einwohnerzahl, die Änderung der soziodemografischen Struktur der Bevölkerung oder technische Entwicklungen bei der Fahrzeugflotte. Veränderungen, die von der Verkehrsplanung gesteuert werden können, sind unter anderem raumplanerische, infrastrukturbezogene, betriebliche oder monetäre Maßnahmen. (Friedrich, et al., 2019)

Fellendorf (2010) beschreibt die Aufgabe des Verkehrsplanungsmodells wie folgt: *„Die Aufgabe von Verkehrsmodellen besteht in der idealisierten Nachbildung der Wirklichkeit, wobei versucht wird, diese Wirklichkeit mit erklärenden und prognostizierbaren Größen zu beschreiben. Die Umsetzung erfolgt dabei mittels Formulierung von Algorithmen. Voraussetzung für die Brauchbarkeit solcher Modelle ist, dass sie die Wirkungszusammenhänge richtig und hinreichend genau wiedergeben. Ein Verkehrsmodell umfasst also ein Gesamtpaket von Daten, die einen Zustand beschreiben und von Funktionen, die die Verknüpfungen zwischen diesen Daten formulieren. Dazu ist es notwendig, die Verhaltensweisen und Entscheidungen der Menschen im Untersuchungsgebiet nachzubilden, wozu detaillierte Daten erforderlich sind.“*

Daten haben also eine große Bedeutung hinsichtlich des Ergebnisses des Verkehrsmodells. Je genauer die Inputdaten sind, desto genauer wird auch das Modellergebnis sein, was jedoch auch zu einem erhöhten Rechenaufwand führt. Darüber hinaus ist noch zu erwähnen, dass das Verkehrsmodell die Realität nie exakt abbilden wird. Es ist lediglich eine Hilfestellung, um die Zukunft so genau wie möglich vorherzusagen und Prognosen zu erstellen.

3.1.2 Grad der Disaggregation

Man kann Verkehrsplanungsmodelle bezüglich des Grads der Aggregation in aggregierte oder disaggregierte Modelle unterscheiden. Je höher der Grad der Disaggregation ist, desto mehr wird die Entscheidung der Einzelperson im Verkehrsmodell berücksichtigt.

Ein **aggregiertes Verkehrsplanungsmodell** betrachtet das Verkehrsgeschehen wenig differenziert. Das bedeutet, dass keine Entscheidungen von einzelnen individuellen Entscheidungsträgern berücksichtigt werden. Sie werden lediglich zu einer großen Gruppe zusammengefasst (lat. aggregare = beigesellen, anhäufen). Mit aggregierten Modellen können Verkehrsverhalten von großen Bevölkerungsgruppen mithilfe eines fest vorgeschriebenen Mechanismus abgebildet werden. Grundlage hierfür bildet die Annahme, dass sich alle Einheiten der großen Personengruppe vollständig homogen verhalten und sich dadurch mögliche individuelle Streuungen weitgehend ausgleichen.

Beim **disaggregierten Verkehrsplanungsmodell** wird das Verkehrsgeschehen stark differenziert betrachtet. Das bedeutet, dass die Bevölkerung in verhaltenshomogene Gruppen aufgeteilt wird und ebenfalls eine Unterscheidung hinsichtlich der Aktivität erfolgt. Somit rückt dabei das Individuum bzw. die (verhaltenshomogene) Gruppe in den Vordergrund. Des Weiteren können disaggregierte Modelle mikroskopisch oder makroskopisch betrachtet werden. Beim **disaggregierten, makroskopischen Modell** erfolgt die Berechnung des Verkehrsverhaltens der Personengruppe auf Basis von mathematischen Algorithmen hinsichtlich Aktivitätswahl, Verkehrsaufkommen und Moduswahl. Wohingegen beim **disaggregierten, mikroskopischen Modell** das Verkehrsverhalten in allen Schichten mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen der Aktivitäten von einzelnen statistischen Personen abgebildet wird. (Lohse, 1997)

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein disaggregierter, makroskopischer Modellierungsansatz verwendet. Der Grund dafür ist, dass für die Größe des Untersuchungsgebiets (Graz + umliegende Bezirke) ein mikroskopischer Ansatz nicht zielführend ist. Es konnte jedoch auch nicht auf die Unterschiede zwischen den verhaltenshomogenen Gruppen und die Unterscheidung zwischen der Grazer Bevölkerung und jener des Umlandes verzichtet werden.

3.1.3 Planungsraum, Untersuchungsraum

Ein Verkehrsplanungsmodell dient dazu, den zukünftigen Verkehr in einem Untersuchungsraum so gut wie möglich abzubilden. Der Planungsraum wiederum ist das Gebiet, in dem die Maßnahmen untersucht werden. Der Außenraum ist das Gebiet, das den Untersuchungsraum begrenzt. Beispielsweise sind das überregionale Züge oder Autobahnen. Diese Personen werden mittels externen Matrizen ins Modell implementiert. In Abbildung 7 sind die unterschiedlichen Räume dargestellt. (Friedrich, et al., 2019)

In der Regel treten in einem Verkehrsmodell fünf unterschiedliche Verkehrsarten auf, welche in Abbildung 7 dargestellt sind (Friedrich, et al., 2019):

- **Binnenverkehr (BV):** Jene Wege welche Quelle und Ziel im Untersuchungsraum haben. Sie werden vollständig im Modell abgebildet.
- **Quellverkehr (QV) und Zielverkehr (ZV):** Jene Wege mit Quelle oder Ziel im Untersuchungsraum. Diese werden aus externen Datenquellen (übergeordnetes Modell) übernommen und nicht modelliert.
- **Durchgangsverkehr (DV) und Außenverkehr (AV):** Jene Wege, welche weder Quelle noch Ziel im Untersuchungsraum haben. Diese werden aus externen Datenquellen (übergeordnetes Modell) übernommen und nicht modelliert.

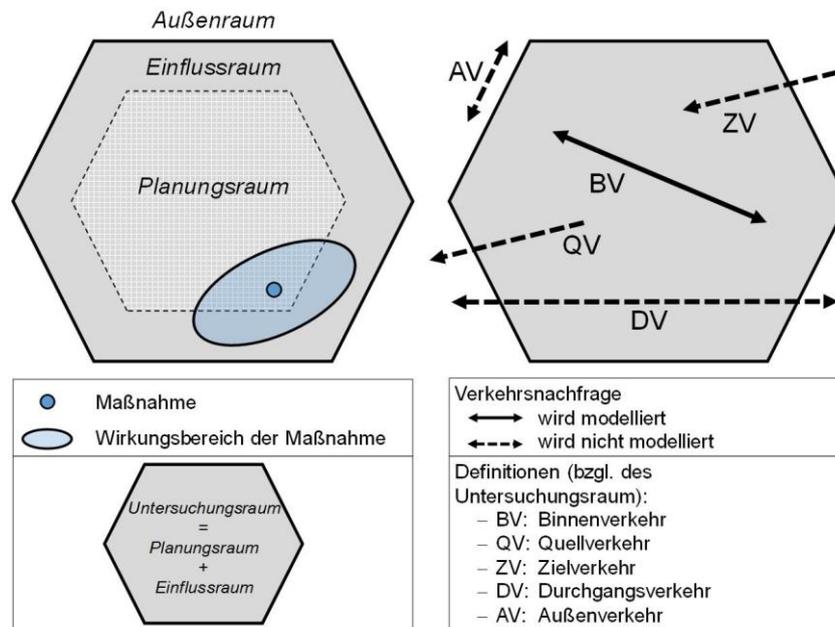


Abbildung 7: Räume und Verkehrsarten in einem Verkehrsnachfragemodell (Quelle: Friedrich, et al., 2019)

3.2 Komponenten eines Verkehrsplanungsmodells

In diesem Abschnitt wird auf die unterschiedlichen Komponenten eines Verkehrsplanungsmodells eingegangen. Allgemein betrachtet besteht ein Verkehrsmodell aus Verkehrsangebot (siehe Abschnitt 3.2.1) und Verkehrsnachfrage (siehe Abschnitt 3.2.2). Zusätzlich wird auf den „Standard“-Fall der Modellerstellung, den Vier-Stufen-Algorithmus, eingegangen und die einzelnen Stufen genauer betrachtet.

3.2.1 Grundlagen der Verkehrsangebotsmodellierung

Ein Verkehrsangebotsmodell fasst alle dem Verkehrsangebot zuordenbare Elemente zusammen und wird als Netzmodell bezeichnet (PTV Group, 2019). Zu einem Netzmodell gehören alle Güter und Leistungen, welche für Ortsveränderungen zur Verfügung gestellt werden, wie zum Beispiel (Friedrich, 2009):

- die Netze von Schiene, Straße oder Luft und ihre Verknüpfungspunkte (z.B. Haltestellen, Flughäfen, Bahnhöfe)
- die Verkehrsmittel, welche auf den unterschiedlichen Netzen verkehren (z.B. Pkw, Bus, Zug, Rad, Tram, U-Bahn)
- die Fahrpläne und Liniennetze des öffentlichen Verkehrs
- Lichtsignalanlagen oder Verkehrsleitsysteme

Das Verkehrsnetz wird mithilfe der Graphentheorie beschrieben. Dabei werden beim IV Kreuzungen als Knoten und Straßen als gerichtete Kanten repräsentiert (Schiller, 2007). Jede Strecke hat einen Anfangs- und einen Endpunkt und zusätzlich weitere Attribute, wodurch sie charakterisiert wird. Die bedeutendsten Streckenattribute sind die Freifahrtgeschwindigkeit, die Verkehrssysteme, für welche die Strecke freigegeben ist und die Kapazität. Die Freifahrtgeschwindigkeit v_0 ist jene Geschwindigkeit, die im unbelasteten Zustand gefahren werden kann. Die Kapazität gibt die Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage [Fzg/h oder Fzg/Tag] an. Der Zusammenhang zwischen Kapazität und

Verkehrsbelastung wird durch eine Kapazitätsbeschränkungsfunktion (CR-Funktion) beschrieben. Strecken können für unterschiedliche Verkehrssysteme freigegeben werden, z.B. Fuß, Rad, mIV, Bahn. Es ist nicht nur möglich, ein Verkehrssystem einer Strecke zuzuordnen, man kann auch eine Strecke für mehrere Verkehrssysteme gleichzeitig zugänglich machen, z.B. Straßenbahn, mIV und Radverkehr.

Wichtige Netzobjekte für die Modellierung des Verkehrsangebots sind Abbieger und Anbindungen. Abbieger definieren die Abbiegerelationen zwischen einzelnen Strecken. Sie geben an, ob es zulässig bzw. möglich ist, von einer auf eine andere Strecke abzubiegen. Jene Abbiegeelemente haben eigene Kapazitäten und können mit Zuschlägen hinsichtlich Abbiegezeit beschrieben werden. Damit können die Effekte einer Kreuzung auf die Leistungsfähigkeit des Netzes modelliert werden.

Anbindungen sind das Bindeglied zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage (siehe Abschnitt 3.2.2). Sie dienen dazu, die Verkehrszellen (Bezirke) mit dem Verkehrsnetz zu verbinden. Durch Anbindungen können Personen auf das Streckennetz gelangen und so ihren Bedürfnissen nach Ortsveränderungen nachgehen.

Das öffentliche Verkehrsnetz wird ebenfalls in einem Knoten-Kantenmodell dargestellt. Dabei stellen die Knoten die Haltestellen und die Kanten die Verbindung einer ÖV-Linie zwischen den Haltestellen mit der summierten Kantenlänge als Distanz und der summierten Kantenzeit als Fahrzeit laut Fahrplan dar.

Im Gegensatz zum mIV wird bei der Modellierung des Öffentlichen Verkehrs keine belastungsabhängige Reisezeit berücksichtigt. Die Kapazitätsbeschränkungsfunktion ist somit nur für den mIV maßgebend.

Exkurs: Kapazitätsbeschränkungsfunktion

Eine Kapazitätsbeschränkungsfunktion, auch CR-Funktion (Capacity-Restraint), beschreibt den Zusammenhang zwischen der Auslastung und der Fahrzeit einer Strecke. Mit Zunahme der Verkehrsbelastung wird die Reisegeschwindigkeit geringer und demzufolge die Fahrzeit auf der Strecke länger.

Durch die CR-Funktion kann die aktuelle Reisezeit in einem belasteten Netz berechnet werden. Es existieren unterschiedliche Arten von CR-Funktionen. Die am häufigsten verwendete Funktion ist die BPR-Funktion (Bureau of Public Roads – Funktion):

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

mit:

t_{akt} aktuelle Reisezeit im belasteten Netz

t_0 Reisezeit im unbelasteten Netz

q aktuelle Belastung

q_{max} maximale Belastung (Kapazität)

a, b, c Parameter

Abbildung 8 zeigt eine CR-Kurve mit dem Funktionstyp BPR für die Parameter $a = 1$ und $c = 1$, wobei Parameter b zwischen den Werten 2 und 5 variiert. Der Parameter a übernimmt je nach Größe eine dämpfende (Wert < 1) oder verstärkende (Wert > 1) Wirkung für die Exponentialfunktion.

Der Parameter c ist für die Abbildung der Spitzenstunde einer Strecke maßgebend. Bei Stundenmodellen wird hierfür der Wert 1 verwendet. Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Tagesmodellansatz gewählt und dafür wurde der c -Wert mit 10 multipliziert. Das bedeutet, dass das 10-fache Verkehrsaufkommen in der Spitzenstunde dem Gesamtverkehrsaufkommen des Streckenabschnitts pro Tag entspricht.

Im Diagramm ist erkennbar, dass bei Erhöhung von b die Kurve nach Erreichen der Kapazitätsgrenze stärker ansteigt. Vor dem Erreichen der Kapazitätsgrenze nähern sich die Kurvenverläufe mit einem hohen b -Parameter näher an die Null-Reisezeit (t_0) an als die Kurven mit einem niedrigen b -Wert.

Außerdem ist ersichtlich, dass es möglich ist, dass die Verkehrsbelastung die Kapazitätsgrenze überschreitet. Hierbei wird von einer „Übersättigung“ gesprochen, welche auch in der Realität auftritt. Eine „Übersättigung“ tritt jedoch nur für kurze Zeitspannen auf, da nach einer bestimmten Zeit der Verkehrsabfluss wieder größer wird als der Zufluss. In einem Verkehrsnachfragemodell werden, abhängig von den unterschiedlichen Streckentypen (Autobahn, Landstraße, Stadtstraße) unterschiedliche CR-Funktionen, also unterschiedliche Parameter, verwendet. Das Ziel für die Anwendung unterschiedlicher CR-Funktionen für unterschiedliche Streckentypen ist, die Verkehrssituation so gut wie möglich im Modell darzustellen.

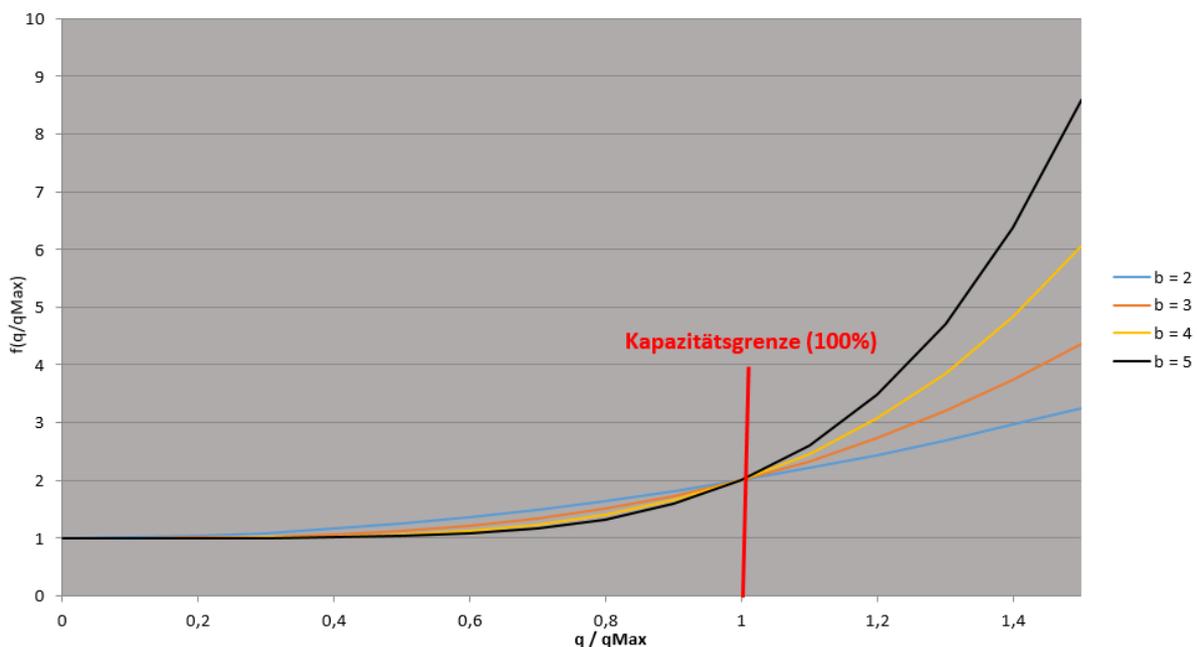


Abbildung 8: CR-Funktionstyp BPR (Bureau of Public Roads) mit $a=1$, $c=1$ und Variation des Parameter b

3.2.2 Grundlagen der Verkehrsnachfragemodellierung

Jeder Mensch hat Bedürfnisse nach Aktivitäten wie Einkaufen, Bildung, Freizeitaktivitäten, usw. Doch meist sind diese Bedürfnisse mit notwendigen Ortsveränderungen verbunden, da es nicht möglich ist, jede Aktivität von zu Hause zu erledigen.

Als Verkehrsnachfrage werden somit alle Ortsveränderungen von Subjekten (z.B. Personen) oder Objekten (z.B. Fahrzeuge) bezeichnet, die unter den politischen, ökonomischen und verkehrsplanerischen Gegebenheiten realisiert werden. (Schiller, 2007)

Bei makroskopischen Modellen ist es zumindest notwendig, die Verkehrsnachfrage nach Wegezwecken (Arbeit, Freizeit, Einkaufen etc.) zu unterscheiden. Darüber hinaus kann mit einer zusätzlichen Segmentierung in verhaltenshomogene Personengruppen die Transparenz und die Aussagekraft des Modells erhöht werden. Damit ist es möglich, auch Prognosen für die Zukunft zu erstellen. Ein Beispiel hierfür wäre, dass sich die Bevölkerungszusammensetzung dahingehend ändert, dass in Zukunft der Anteil der Bevölkerung im Pensionsalter steigt und somit der Anteil des Wegezwecks „Freizeit, private Erledigungen“ ebenfalls zunimmt. Wohingegen der Anteil der jungen Bevölkerung, welche über keinen Pkw verfügt, eher rückläufig sein wird und somit anteilmäßig mehr Personen mit dem Pkw fahren werden. (Friedrich, et al., 2019)

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind Beispiele für unterschiedliche Wegezwecke und unterschiedliche Personengruppen angeführt. Hier ist jedoch zu erwähnen, dass man diese Kategorien individuell wählen kann. Bevorzugt sollen jene Kategorien ins Modell implementiert werden, auf die die Befragungen und andere Strukturdatenermittlungen am besten zutreffen.

Aktivitätsbedürfnisse können normalerweise an mehreren Zielorten befriedigt werden. Der Entscheidungsprozess wird hierfür in erster Linie vom Wegeaufwand bzw. Zeitaufwand und der Zielattraktivität bestimmt.

Wegezwecke Segmentierung 1	Wegezwecke Segmentierung 2
Wohnen	Wohnen
Arbeiten	Arbeit qualifiziert
	Arbeit einfach
	Arbeit selbständig
	Arbeit Teilzeit
Ausbildung	Kindergarten, Vorschule
	Ausbildung Grundschule
	Ausbildung weiterführende Schule
	Ausbildung Berufsschule
	Ausbildung Hochschule
Einkaufen	Einkaufen täglicher Bedarf
	Einkaufen sonstige Waren
Freizeit, private Erledigung	private Erledigung (Arzt, Bank, Post)
	Freizeit (Besuche)
	Freizeit (Restaurant, Kultur)
	Freizeit (Sport, Grünanlagen)
	Freizeit (Tagesausflug)
Sonstige	Rundwege
	Bringen / Holen

Abbildung 9: Beispiele für eine Segmentierung von Wegezwecken (Quelle: Friedrich, et al., 2019)

Die verhaltenshomogenen Personengruppen sollen ebenfalls so angepasst werden, dass sie die Befragungen und Strukturdaten der Bevölkerung am besten widerspiegeln. Es kommt immer darauf an, welche Daten zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren ist zu beachten, die zur Verfügung gestellten Daten vor Beginn der Modellierung genau zu verstehen. Kann man beispielsweise das Mobilitätsverhalten eines Studenten, der nebenbei 20 Stunden in einem Unternehmen arbeitet, zu jenem der Erwerbstätigen oder zu jenen der Studenten zählen? Das ist von Befragung zu Befragung unterschiedlich und muss immer individuell betrachtet werden.

Personengruppen Segmentierung 1	Personengruppen Segmentierung 2	Segmentierung nach Pkw- und Zeitkartenverfügbarkeit
Kinder	Kinder	
Personen in der Ausbildung	Grundschilder	
	Schilder	
	Azubi	
	Studenten	<input checked="" type="checkbox"/>
Erwerbstätige	Angestellte qualifiziert	<input checked="" type="checkbox"/>
	Angestellte einfach	<input checked="" type="checkbox"/>
	Selbständige und freiberuflich Tätige	<input checked="" type="checkbox"/>
	Teilzeitbeschäftigte	<input checked="" type="checkbox"/>
Nicht Erwerbstätige	Arbeitslose	<input checked="" type="checkbox"/>
	Hausmann / -frau	<input checked="" type="checkbox"/>
Rentner	Rentner ≤ 75	<input checked="" type="checkbox"/>
	Rentner > 75	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 10: Beispiele für eine Segmentierung von Personengruppen (Quelle: Friedrich, et al., 2019)

3.2.3 Standard-Vier-Stufen-Algorithmus

Jahre des Experimentierens und der Entwicklung haben zu einer allgemeinen Struktur geführt, die als klassischer 4-Stufen-Algorithmus bezeichnet wird. Dieser Ablauf ist das Ergebnis aus der Praxis in den 1960er Jahre. Trotz erheblicher Verbesserungen der Modellierungstechniken ist dieser Ansatz seitdem mehr oder weniger unverändert geblieben. Die allgemeine Form des Vier-Stufen-Algorithmus ist in Abbildung 11 dargestellt. Der Ablauf beginnt mit der Betrachtung eines Netzes sowie der Sammlung von Planungs- Kalibrierungs- und Validierungsdaten. Diese Daten beinhalten neben Bevölkerungszahlen auch Strukturdaten, wie die Anzahl der Arbeitsplätze, Einkaufsflächen sowie Bildungs- und Freizeitflächen für jeden Bezirk (Verkehrszelle). Diese Daten werden für die Ermittlung der Anzahl von Wegen im Untersuchungsgebiet benötigt. Dabei wird für jede Zelle der erzeugte und angezogene Verkehr bestimmt (Verkehrserzeugung). Der nächste Schritt ist die Zuordnung dieser Wege zu bestimmten Zielen, wodurch eine Quelle-Ziel-Matrix (engl. origin-destination-matrix) entsteht (Verkehrsverteilung). Der dritte Schritt beinhaltet die Modellierung der Verkehrsmittelwahl (Moduswahl), was zu einem Modal Split, d.h. der Aufteilung der Wege in der Matrix auf verschiedene Verkehrsträger führt. Zum Schluss erfolgt die Umlegung der Wege der einzelnen Verkehrsträger auf ihre zugeordneten Netze. Typischerweise werden die Fahrten dem Individualverkehr (Fuß, Rad, Pkw) und dem Öffentlichen Verkehr zugeordnet. (Ortúzar & Willumsen, 2011)

Der 4-Stufen-Algorithmus besteht also zusammengefasst aus:

- Verkehrserzeugung (Trip generation)
- Verkehrsverteilung (Distribution)
- Verkehrsmittelwahl (Modal Split)
- Verkehrsumlegung (Assignment)

Es handelt sich um einen sequentiellen Verfahrensablauf, der den Entscheidungsprozess von Personen in vier unabhängige Teilentscheidungen zerlegt. Hierbei wird von einem verhaltensorientierten Ansatz gesprochen, da das Verhalten jedes einzelnen Verkehrsteilnehmers untersucht wird.

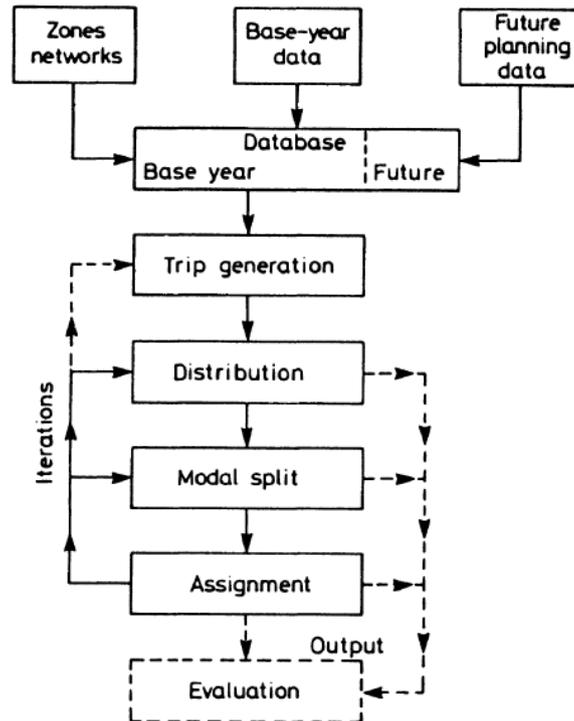


Abbildung 11: Klassischer Vier-Stufen-Algorithmus
(Quelle: Ortúzar & Willumsen, 2011)

Im Standard-Vier-Stufen-Algorithmus wird jeder Verfahrensschritt geschlossen und nacheinander ausgeführt. In der Realität ist das jedoch nicht der Fall. Denn hier ist die Entscheidung von Verkehrsverteilung (Was ist mein Ziel?) und die Verkehrsmittelwahl (Wie komme ich dorthin?) voneinander abhängig. Im Zuge dieser Arbeit wurde der VISEM-Ansatz angewendet. Dabei wird eine Verknüpfung zwischen Verkehrsverteilung und Verkehrsmittelwahl berücksichtigt (siehe Abschnitt 3.2.4).

Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über die einzelnen Verfahrensschritte.

Verkehrserzeugungsmodell

Aufgabe der Verkehrserzeugungsmodelle ist es, das Verkehrsaufkommen, d.h. die Anzahl an Ortsveränderungen zu ermitteln, welche innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z.B. eines Werktages) und innerhalb einer Verkehrszelle (Bezirk) durchgeführt werden. (Fellendorf, 2010)

Hierbei wird das Quell-, Ziel- und Gesamtverkehrsaufkommen berechnet, welches später für die Nachfragematrix benötigt wird. Als Quellverkehr wird jener Verkehr bezeichnet, welcher in der Verkehrszelle (Bezirk) produziert wird, wohingegen der Zielverkehr jener Verkehr ist, der von der Verkehrszelle angezogen wird.

Die wichtigsten Strukturgrößen bei der Ermittlung des Quellverkehrsaufkommens sind die Anzahl der Einwohner sowie die Anzahl der Erwerbstätigen und Auszubildenden einer Verkehrszelle. Beim Zielverkehrsaufkommen sind die wichtigsten Strukturdaten die Anzahl an Arbeitsplätzen, Ausbildungsplätzen und des Freizeitangebotes.

Es gibt viele unterschiedliche Möglichkeiten, den erzeugten Verkehr zu berechnen. Unter anderem können Steigerungsfaktorenmodelle (Überschlagmodelle), Regressionsmodelle,

Raumaggregatmodelle und Modelle, welche verhaltensspezifische Kennwerte verwenden, wie das von Lohse entwickelte Kennwertmodell, angewendet werden. (Schiller, 2004)

Die Formeln für die Berechnung des erzeugten und angezogenen Verkehrs auf Basis des Kennwertmodells lauten (Fellendorf, 2010):

Erzeugter Verkehr: Quellverkehr Q bzw. produzierter Verkehr P (engl. „Production“) der Zelle i:

$$Q_i = P_i = p_1 \cdot X_{1i} + p_2 \cdot X_{2i} + \dots + p_n \cdot X_{ni} \quad (2)$$

Angezogener Verkehr: Zielverkehr Z bzw. angezogener Verkehr A (engl. „Attractions“) der Zelle i:

$$Z_i = A_i = a_1 \cdot X_{1i} + a_2 \cdot X_{2i} + \dots + a_n \cdot X_{ni} \quad (3)$$

mit:

$Q_i = P_i$ Quellverkehr bzw. produzierter Verkehr (engl. „Production“)

p_n, a_n Koeffizienten, die den Einfluss der Strukturgröße X_n auf das Verkehrsaufkommen angeben. Dieser Wert ist für alle Zellen gleich, kann aber unterschiedliche Werte für unterschiedliche Personengruppen annehmen

X_n Strukturgröße der Zelle i

Durch die Ermittlung des Verkehrsaufkommens sind nun die Randsummen der Nachfragematrix bekannt. Jedoch ist nicht bekannt, wie sich dieser Verkehr verteilt. Hierzu ist der nächste Schritt im Algorithmus, die Verkehrsverteilung, notwendig.

Verkehrsverteilungsmodell

Die Verkehrsverteilung bedeutet die Zuordnung des Quellverkehrsaufkommens Q auf mögliche Zielverkehrsbezirke j und des Zielverkehrsaufkommens Z auf mögliche Quellverkehrsbezirke i (Schiller, 2004). Beide Verteilungsrichtungen sind aufgrund ihrer Komplexität voneinander unabhängig.

Die am häufigsten verwendeten Verkehrsverteilungsmodelle sind das Gravitationsmodell und das Nutzenmaximierungsmodell. Gravitationsmodelle basieren auf dem Newton'schen Gravitationsgesetz und gehen davon aus, dass die Anzahl der Fahrten zwischen den Zellen i und j („Anziehungskraft“) proportional zur Attraktivität der beiden Zellen („Massen“) ist und umgekehrt proportional zur Distanzwirkung zwischen den beiden Zellen („Abstand zwischen den Massen“). Das bedeutet vereinfacht, je größer (mehr „Masse“) die Zelle ist, desto mehr Fahrten (größere „Anziehungskraft“) entstehen. Je größer die Entfernung der beiden Zellen („Massen“) ist, desto geringer ist die Anzahl an Fahrten zwischen den beiden Zellen („geringere Anziehungskraft“). (Friedrich, 2009)

Als Beispiel für den Gravitationsansatz wird die Formel für das quellseitig gekoppelte Verkehrsmodell angeführt: (Friedrich, 2009)

$$F_{ij} = P_i \cdot \frac{A_j \cdot f(w_{ij})}{\sum_j A_j \cdot f(w_{ij})} \quad (4)$$

mit:

- F_{ij} Anzahl der Ortsveränderungen (Fahrten) zwischen den Zellen i und j
- P_i erzeugter Verkehr (Production) der Zelle i
- A_j angezogener Verkehr (Attraction) der Zelle j
- w_{ij} Widerstand (z.B. Zeit, Kosten, Entfernung) zwischen den Zellen i und j
- $f(w_{ij})$ Funktion zur Bewertung des Widerstandes w_{ij}

Dieses Modell berücksichtigt die Bedingung

$$\sum_j F_{ij} = P_i \quad (5)$$

Diese Bedingung besagt, dass jede in Verkehrszelle i erzeugte Ortsveränderung genau einer Verkehrszelle j als Ziel zugeordnet wird. Deshalb spricht man hier von einem quellseitig gekoppelten Modell oder auch einem eindimensional gekoppelten Modell.

Wird zusätzlich zur oben angeführten Bedingung (5) auch noch Bedingung (6) erfüllt, so wird das als zweidimensional gekoppeltes Verteilungsmodell bezeichnet.

$$\sum_i F_{ij} = A_j \quad (6)$$

Nutzenmaximierungsmodelle gehen vom Ansatz des homo oeconomicus aus. Hier wird angenommen, dass jeder Verkehrsteilnehmer seine Nutzenfunktion und alle Alternativen kennt und sich dadurch für die beste Alternative (größten Nutzen) entscheidet. Dieses Modell verwendet deterministische und stochastische Nutzenkomponenten, welche auf verschiedenen Logit-Modellen basieren.

Das Nutzenmaximierungsmodell arbeitet wie das Gravitationsmodell ebenfalls mit Widerstandsfunktionen. Diese Widerstände beschreiben die abnehmende Bereitschaft zur Auswahl eines bestimmten Reiseziels. Die Haupteinflussfaktoren sind, wie bei Formel (4) bereits ersichtlich, die Reisezeit, die Reisekosten oder die Entfernung zwischen den einzelnen Zellen. Es gibt unterschiedliche Arten von Widerstandsfunktionen, welche von verschiedenen Verhaltensparametern abhängig sind.

Die häufigsten Widerstandsfunktionen sind (Schütte, 2000):

$$\begin{aligned} f(w) &= e^{-\alpha \cdot w} & (\alpha > 0) \\ f(w) &= w^{-\alpha} & (\alpha > 0) \\ f(w) &= w^{-\alpha} \cdot e^{-\beta \cdot w} & (\alpha > 0, \beta > 0) \\ f(w) &= e^{-\alpha \cdot w^2} & (\alpha > 0) \end{aligned} \quad (7)$$

Verkehrsaufteilungsmodell (Verkehrsmittelwahl)

Unter dem Verkehrsaufteilungsmodell versteht man die Wahl des Verkehrsteilnehmers für einen Modus (Fuß, Rad, Pkw, ÖV, Park&Ride etc.). Aufgrund dessen spricht man dabei auch vom sogenannten Modal Split. Als Modal Split wird jedoch nicht nur das Rechenmodell bezeichnet sondern auch der Prozentanteil des jeweiligen Modus am Gesamtverkehr. Die unterschiedlichen Modi in einem Verkehrsmodell müssen immer individuell ermittelt werden. Beispielsweise werden in einem städtischen System die Verkehrsmittel Fuß oder Rad als Wahlalternativen betrachtet, während sie in Systemen im ländlichen Bereichen aus offensichtlichen Gründen nicht berücksichtigt werden. In einigen Fällen werden „gemischte“ Kombinationen verschiedener Verkehrsträger, wie beispielsweise Auto + Zug oder Auto + Bus als Modus ins Modell implementiert. Für die Verkehrsmittelwahl ist die Nutzenfunktion jeder verhaltenshomogenen Gruppe besonders wichtig. So stehen nicht allen Verkehrsteilnehmern alle Verkehrsmittel zur Verfügung, sei es aufgrund einer objektiven Unmöglichkeit (z.B. steht der Pkw Benutzern ohne Führerschein nicht zur Verfügung) oder weil es nicht als Alternative für einen bestimmten Weg in Frage kommt (z.B. werden motorisierte Modi für sehr kurze Reisen nicht berücksichtigt). (Cascetta, 2001)

Die Unterscheidung beim Modal Split erfolgt häufig zwischen (Maier & Weiss, 1990):

- bimodalem Split: Wahl zwischen Pkw und ÖV
- multimodalem Split: Wahl zwischen Pkw, ÖV und weiteren Modi (Fuß, Rad, Park&Ride, Mitfahrer etc.)

Ziel ist es, die aus der Verkehrsverteilung berechnete Matrix auf mögliche Verkehrsmittel aufzuteilen. Dies geschieht unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren wie objektiver Einflüsse (es besteht keine Wahlmöglichkeit zwischen unterschiedlichen Verkehrsmitteln) und subjektiver Einflüsse (persönliche Einstellung für oder gegen gewisse Verkehrsmittel). (Schütte, 2000)

Im Falle des bimodalen Splits wird zwischen „captive drivers“ (mIV gebundene Verkehrsteilnehmer), „captive riders“ (ÖV gebundene Verkehrsteilnehmer) und „choice riders“ (Wahlfreiheit) unterschieden. Letztere können demnach die Wahl so treffen, dass sie den maximalen Nutzen bewirkt.

Einflussfaktoren auf die Wahl des Verkehrsmittels sind sowohl Faktoren der Verkehrsmittel (lokales und zeitliches Verkehrsmittelangebot, Reisezeiten, Komfort, spezielle Einsatzbedingungen wie Parkmöglichkeit, Kosten, etc.) als auch Faktoren der Verkehrsteilnehmer (Lebensstandard, Einkommen, berufliche Stellung, soziale Bedingungen, Verkehrsmittelbesitz und -verfügbarkeit, Alter) und Faktoren der jeweiligen Ortsveränderung im Untersuchungsgebiet (Zweck der Ortsveränderung, Lagegunst der Verkehrsquelle, Verkehrswege- und Verkehrsmittelangebote). (Schnabel & Lohse, 2011)

Häufig kommen Logit-Modelle, siehe Formel (8) zum Einsatz, um so die Nutzungswahrscheinlichkeit zu berechnen. Für die Kalibrierung des Logit-Modells werden Haushaltsbefragungen durchgeführt, somit findet auch das Verhalten der Choice Riders Berücksichtigung. (Fellendorf, 2010)

$$P_{gijm} = \frac{e^{V_{gijm}}}{\sum_{k=1}^M e^{V_{gijk}}} \quad (8)$$

mit:

i, j Indizes der Verkehrszellen

P_{gijm} Auswahlwahrscheinlichkeit für Modus m durch Personengruppe g

V_{gijm} objektiver Nutzenbetrag von Modus m durch Personengruppe g

M Zahl der alternativen Modi

Verkehrsumlegungsmodell (Routenwahl)

Nach Generierung der Quell-Zielströme und der Wahl des Modus wird nun das Verkehrsaufkommen auf das Verkehrsnetz umgelegt. Dies erfolgt unter der Ermittlung der möglichen Routen und dem Routenwahlverfahren. Hier erfolgt die Berechnung des Wahlverhaltens der Verkehrsteilnehmer und die Aufteilung auf das Verkehrsnetz. (Schiller, 2007)

Diese Stufe nimmt als Hauptkriterium für die Routenwahl die aktuelle Reisezeit jedes Verkehrsteilnehmers an. Die Routen des öffentlichen Verkehrs sind durch die Linienführung vorgegeben. Es geht somit darum, wie sich der Individualverkehr verteilt. (Schnabel & Lohse, 2011) Daneben geben Fellendorf und Van Dulmen (2018) weitere Kriterien wie Straßenbenutzungsgebühren, Länge, Treibstoffverbrauch, Ortskenntnisse etc. an.

Schütte (2000) klassifiziert die Routenwahlmodelle des mIV in vier Verfahren:

- Klassische Bestwegverfahren (Alles-oder-Nichts)
- Klassische Mehrwegverfahren (Alternativroutensuchverfahren)
- Belastungsabhängige Mehrwegverfahren (Sukzessivverfahren)
- Gleichgewichtsmodelle

Das klassische Bestwegverfahren ist ein sehr einfacher Ansatz. Jeder Verkehrsteilnehmer wählt den kürzesten Weg. Da die Entscheidung jedes Verkehrsteilnehmers aufgrund der Belastung im Verkehrsnetz jeden anderen Teilnehmer in der Routenwahl und Reisezeit beeinflusst, ist die Belastungsunabhängigkeit nicht praxisnahe. Somit funktionieren Bestwegverfahren nur bedingt und werden zum Beispiel im Fahrradverkehr verwendet.

Das Alternativroutensuchverfahren nimmt als Ansatz das Kirchhoff'sche Gesetz aus der Elektrizitätslehre. Die Streckenumlegung wird auf mehrere Wege durchgeführt.

Sowohl beim Sukzessivverfahren als auch beim Gleichgewichtsverfahren wird eine belastungsabhängige Routenwahl dargestellt. Der Widerstand wird häufig mit der Capacity-Restraint-Funktion (siehe Abschnitt 3.2.1) abgebildet.

Wie der Name vermuten lässt, wird beim Sukzessivverfahren die Belastung mit festgelegten Teilmengen der Verkehrsnachfrage Schritt für Schritt umgelegt. Schrittweise wird der Anteil auf die Route gelegt, die in der Neuberechnung den geringsten Widerstand aufweist. Die Vorgehensweise wiederholt sich, bis alle Verkehrsteilnehmer auf das Netz umgelegt sind. Vorteilhaft sind die kurze Rechenzeit und die Einfachheit, jedoch liegt große Abhängigkeit in der Wahl der Teilmengen. Somit kann nur eine annähernde Lösung gefunden werden. In GUARD20 wird das Sukzessivverfahren für die Umlegung von Lkws verwendet.

Gleichgewichtsverfahren liefern klare Lösungen. Basis dafür sind die Wardrop-Prinzipien, in denen versucht wird, eine vorgegebene Zielfunktion zu optimieren. Dafür gibt es zwei Ansätze:

- **Nutzeroptimum (1. Wardrop'sches Prinzip) (Ortúzar & Willumsen, 2011):**
Die Routen werden so gewählt, dass sich überall der gleiche Widerstand einstellt. Die Reisezeit auf den nicht benutzten Routen weist den gleichen oder einen höheren Widerstand auf, deshalb kann sich kein Verkehrsteilnehmer durch einen Routenwechsel Vorteile hinsichtlich der Reisezeit verschaffen.
- **Systemoptimum (2. Wardrop'sches Prinzip)**
Dieses Prinzip besagt, dass die Route so gewählt wird, dass die Summe der Fahrzeiten minimal ist und so ein Optimum im Gesamtsystem erreicht wird (Schütte, 2000). Damit kann ein Verkehrsteilnehmer nur einen Vorteil erzielen, wenn ein anderer einen Nachteil hat (Fellendorf, 2010). Das Ziel der öffentlichen Hand ist es, das Systemoptimum so gut wie möglich zu erreichen.

Diese Modelle setzen voraus, dass alle Verkehrsteilnehmer über das Verkehrsaufkommen auf den Routen informiert sind, was nur in der Theorie möglich ist.

Im Öffentlichen Verkehr wird zwischen der fahrplanfeinen und der taktfeinen Umlegung unterschieden. Ist der Takt relativ hoch, z.B. alle 10 Minuten im städtischen Bereich und 15 bis 20 im ländlichen Raum, werden Fahrgäste keinen Fahrplan (falls verfügbar) benutzen oder auswendig lernen, sondern nur für die taktbedingte kurze Wartezeit an der Haltestelle erscheinen. In diesen Fällen kann es deshalb angebracht sein, den Takt der Linien als ausreichenden Faktor für die Abschätzung der Wartezeiten zu verwenden. Dieser Ansatz ist jedoch nicht für größere Streckenabschnitte, bei denen die Fahrgäste ihre Anfahrt so planen, dass sie nur wenige Minuten vor der fahrplanmäßigen Abfahrt des öffentlichen Verkehrsmittels ankommen, geeignet.

Dieses Problem könnte durch die Berücksichtigung einer maximalen Wartezeit von beispielsweise 10 Minuten je nach Kontext gelöst werden. Damit werden jedoch zwei Situationen nicht vollständig berücksichtigt. Einerseits können in der Praxis unregelmäßige Takte vorgesehen sein. Beispielsweise wäre das ein fahrplanmäßiger Dienst um 5, 15, 20, 35, 45 und 50 Minuten nach der vollen Stunde. Andererseits können gut koordinierte Dienste auch bei geringer Taktfrequenz angeboten werden. Dies kann beispielsweise eine halbstündliche Busverbindung zu einem Bahnhof, die 5 Minuten vor Abfahrt des Zuges zum Hauptziel ankommt, sein. (Ortúzar & Willumsen, 2011)

Bei der fahrplanfeinen Umlegung geht man typischerweise davon aus, dass die Passagiere bei ihrer Routenwahl den Linienfahrplan berücksichtigen, da dieser verfügbar ist und als zuverlässig erachtet wird. Probleme bei der fahrplanfeinen Umlegung können jedoch dahingehend auftreten, dass die Fahrpläne aus diversen Gründen nicht zur Verfügung stehen. Außerdem liegt es an den einzelnen Betreibern, wie viel und welche Fahrplaninformation der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden sollen. Aufgrund der Überlastungen im Streckennetz (Mischverkehr ÖV und mIV), des zufälligen Verhaltens der Pkw-Fahrer, Lichtsignalanlagen sowie überfüllten Gefäßen im Öffentlichen Verkehr (lange Verweilzeiten in der Haltestelle aufgrund der Ein- und Ausstiegsvorgänge) kann die Regelmäßigkeit des Fahrplans so schlecht sein, dass es irreführend ist, den Fahrplan zu veröffentlichen. Zusätzlich können bei Verspätungen einer Fahrt einige Anschlussfahrten vom Betreiber verzögert oder annulliert werden, ohne dass die Öffentlichkeit informiert werden muss. (Gentile & Noekel, 2016)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Wahl zwischen fahrplanfeiner und taktfeiner Umlegung je nach Situation und vorgegebenen Zielen des Verkehrsmodells immer individuell zu beurteilen ist.

3.2.4 Verkehrsnachfragemodellierung mittels VISEM

VISEM bedeutet „Verkehrs-Information-System-Erzeugungs-Modell“. Es wurde von der PTV-AG entwickelt und in die Verkehrssimulationssoftware Visum implementiert.

Es ist ein disaggregiertes verhaltensorientiertes Verkehrsnachfragemodell, das es möglich macht, sozio-demographische und verkehrspolitische Einflüsse in die Rechnung mit einzubeziehen. Die Verkehrsnachfrage wird in den drei Schritten Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Moduswahl berechnet. Der Unterschied zu den anderen Verkehrsnachfragemodellen liegt daran, dass die einzelnen Schritte nicht nacheinander ausgeführt werden, sondern ineinandergreifen. Die Verkehrsverteilung (Zuordnung des Quellverkehrsaufkommens auf mögliche Zielverkehrsbezirke und des Zielverkehrsaufkommens auf mögliche Quellverkehrsbezirke) und die Verkehrsaufteilung (Wahl eines zur Verfügung stehenden Verkehrsmittels) werden beim VISEM-Verkehrsmodell für jede Quelle-Ziel-Gruppe simultan in einem einzigen Verfahren ausgeführt. VISEM geht davon aus, dass außerhäusliche Aktivitäten die Ursache von Mobilität sind. Dafür wird der Ansatz der Aktivitätenketten-basierenden Verkehrsmodellierung angewendet. Eine Aktivitätenkette beschreibt eine Abfolge von Aktivitäten im Tagesablauf einer Person (z.B. Wohnen – Arbeiten – Freizeit – Einkaufen – Wohnen). (PTV Group, 2019)

4 Verkehrsmodell für den Großraum Graz (GUARD20)

In diesem Kapitel wird das Verkehrsmodell für den Großraum Graz aus dem Jahr 2020 (GUARD20) genauer erläutert. Der wesentliche Unterschied zwischen dem bestehenden GUARD-Modell aus dem Jahr 2010 und GUARD20 besteht darin, dass aus dem bestehenden Stundenmodell ein Tagesmodell erstellt wurde. Der Berechnungsablauf wurde komplett überarbeitet und um neue Verkehrsmittel mit anderen Verhaltensparametern angepasst. Zusätzlich wurden raumbezogene Verhaltensunterschiede in GUARD20 aufgenommen und die Strukturdaten (Einwohnerzahlen, Arbeitsplätze, Schulplätze, ...) aktualisiert. Das Netz (Knoten, Strecken etc.) wurde zu einem großen Teil vom bereits vorhandenen Stundenmodell übernommen. Die größten Veränderungen im Netzmodell sind das Hinzufügen des Südgürtels und der Autobahnabfahrt in Hengsberg.

Der grundsätzliche Unterschied im Ablauf der beiden Verfahren, sowie die wichtigsten Parameter hinsichtlich des Berechnungsablaufs aus GUARD20 werden in diesem Kapitel erläutert.

4.1 Unterschied Tagesmodell zum bestehenden Stundenmodell

Einleitend soll der Unterschied in der Methodik zwischen Stundenmodell (GUARD) und Tagesmodell (GUARD20) erläutert werden. Dieser liegt darin, dass beim Stundenmodell jede Stunde einzeln berechnet wird und danach die 24 „Einzelwerte“ aufsummiert werden, um das Verkehrsverhalten des Tages zu erhalten. Im Gegensatz dazu wird beim Tagesmodell nur ein „Wert“ ausgegeben.

In Abbildung 12 ist der Ablauf des Stundenmodells abgebildet. In dieser Arbeit wird nur kurz darauf eingegangen, um den Gegensatz zum in Abbildung 13 dargestellten Tagesmodell aufzuzeigen.

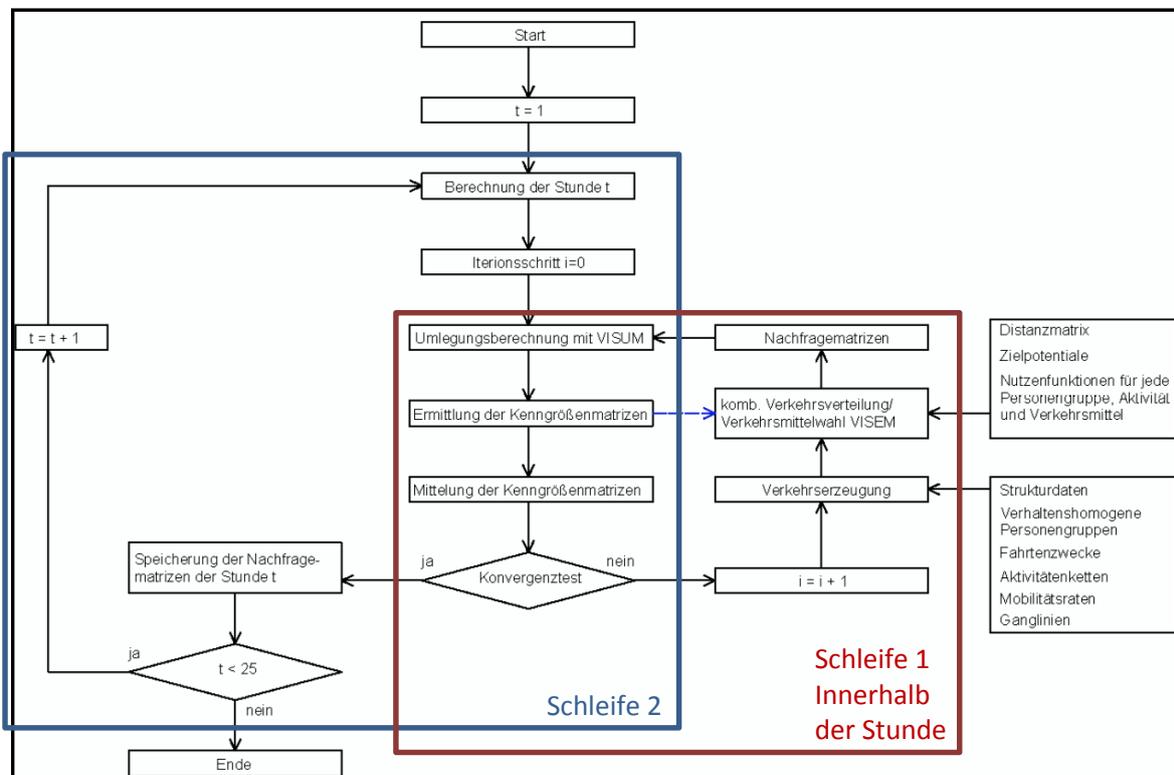


Abbildung 12: Verfahrensablauf Stundenmodell (GUARD)
(Quelle: Höfler, 2013)

Im Gegensatz zu GUARD besteht GUARD20 nur noch aus einer Schleife. Der Ablauf dieser Schleife ist ident mit dem Ablauf im Stundenmodell, abgesehen davon, dass hier nicht mehr jede Stunde einzeln sondern die gesamte Belastung des Tages (24 h) auf einmal berechnet wird. Grundsätzlich wird im ersten Iterationsschritt das mIV-Netz ohne Verkehrsbelastung angenommen und die Verkehrsnachfrage ermittelt. Dadurch ergibt sich ein geringer Widerstand des Straßennetzes und deshalb werden im ersten Schritt zu viele Pkw Fahrten und zu wenig Linienbeförderungen im öffentlichen Verkehr berechnet. Diese Verkehrsnachfrage wird daraufhin auf das Netz umgelegt. Aufgrund dessen herrscht nun ein hohes mIV Aufkommen im Netz und die Widerstände für den Pkw werden höher (Reisezeit, Reiseweite). In der nächsten Iteration tritt somit das genaue Gegenteil der ersten Berechnung auf, die Linienbeförderungen nehmen zu und die mIV-Fahrten sind zu gering. Diese Schritte werden so lange durchgeführt, bis der Konvergenztest positiv ist oder die maximale Anzahl an Iterationen erreicht ist. Um die Rechenzeit so kurz zu halten, werden die Widerstandsmatrizen aus den jeweiligen Iterationsschritten gemittelt. Die Schwankung der Nachfrageberechnung klingt dadurch schneller ab und nähert sich asymptotisch an den Zielwert an.

Ein Vorteil des Tagesmodells ist die stark verkürzte Rechenzeit. Zudem sind für grundlegende Verkehrskonzepte bzw. -entwicklungen und Prognoseberechnungen die Tagesbelastungen völlig ausreichend. Der Vorteil des Stundenmodells liegt darin, dass auch die Spitzenstunde separat betrachtet werden kann und so Aussagen darüber getroffen werden können, wann und wo ein eventuelles Überlastungsproblem auftreten könnte. Im Tagesmodell kann diese Untersuchung nicht so exakt, jedoch auch ansatzweise über einen Prozentsatz der Spitzenstunde untersucht werden. Ein großer Nachteil des GUARD-Stundenmodells ist, dass aus Rechenzeitgründen nur zwei Iterationen innerhalb der Stunde durchgeführt wurden. Um die Qualität zu steigern, sollten jedoch mehrere Iterationsschritte durchgeführt werden, was jedoch eine massive zusätzliche Rechendauer bedeuten würde. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass keine symmetrischen Nachfragematrizen in der Berechnung entstehen. Dies ist durch die Ganglinien und Mobilitätsraten, die auf einzelne Stunden aufgeteilt werden, begründet.

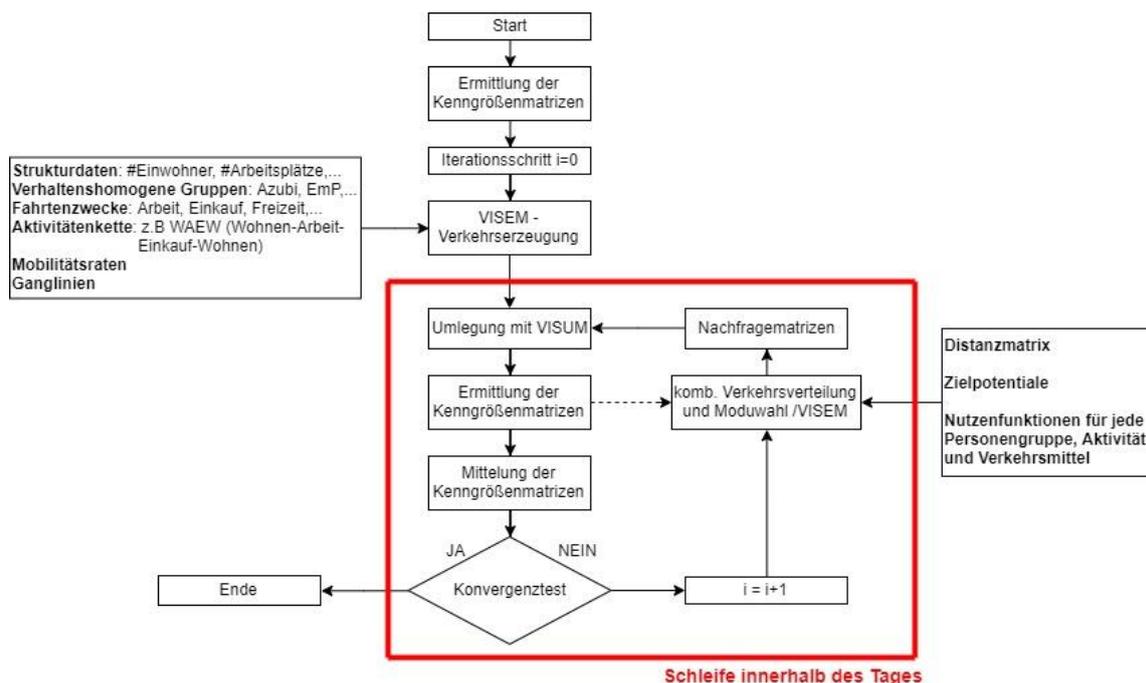


Abbildung 13: Verfahrensablauf Tagesmodell (GUARD20)

4.2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst die West-, Ost- und die Südsteiermark. Der Planungsraum ist die Stadt Graz. Das Untersuchungsgebiet wird im Norden durch die Obersteiermark, im Osten durch Ungarn und Burgenland, im Süden durch Slowenien sowie im Westen durch Kärnten begrenzt. Das gesamte Untersuchungsgebiet umfasst somit ca. 910.000 Einwohner und eine Fläche von ca. 6.800 km². Das Planungsgebiet Graz hat dabei ca. 1/3 der Einwohner des gesamten Untersuchungsgebiets.

Abbildung 14 zeigt das Untersuchungsgebiet mit den einzelnen Bezirken. In Tabelle 9 sind die politischen Bezirke sowie die jeweilige Einwohnerzahl und Fläche angeführt.

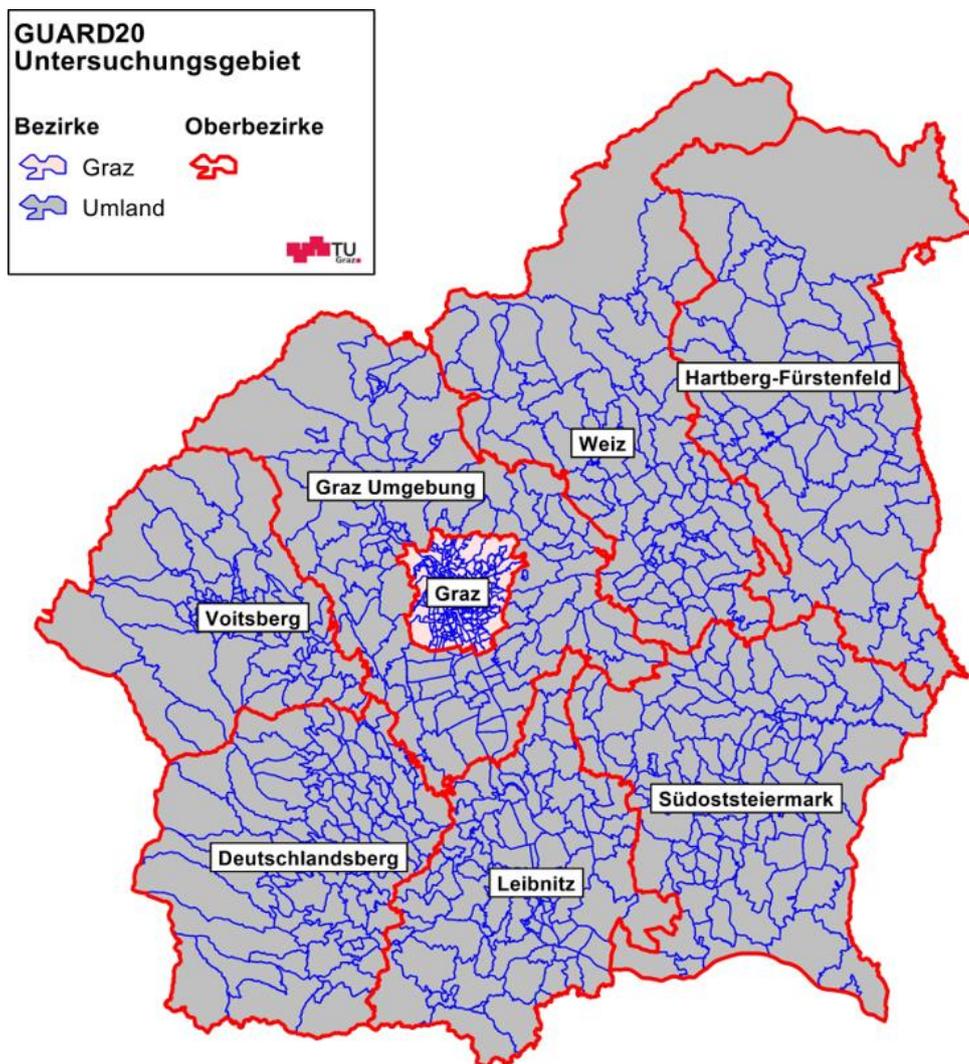


Abbildung 14: Untersuchungsgebiet mit der Verkehrszelleneinteilung und den politischen Bezirken

Tabelle 9: Bezirke im Untersuchungsgebiet mit Flächen und Einwohnern

Bezirke	Einwohner ¹¹	Fläche ¹² [km ²]
Graz	294.598 ¹³	128
Graz Umgebung	154.007	1.086
Deutschlandsberg	60.810	863
Hartberg-Fürstenfeld	89.950	1.224
Leibnitz	80.427	726
Südoststeiermark	88.907	1.007
Voitsberg	51.160	678
Weiz	90.305	1.098
GESAMT	910.164	6.810

4.3 Modellierung des Verkehrsangebots

Das Verkehrsangebot besteht aus Strecken, Knotenpunkten, Anbindungen, Abbiegern, Haltestellen, Haltestellenbereichen, Haltepunkten, ÖV-Linien und Fahrplänen sowie aus den Verkehrszellen (Bezirke). Das Netz wurde zu einem großen Teil aus dem GUARD Modell übernommen. Da hierbei jedoch der Stundenansatz verwendet wurde, war es notwendig, die Kapazitäten der einzelnen Strecken, Knoten und Abbieger anzupassen. Für die unterschiedlichen Streckentypen werden die in Tabelle 10 angeführten c-Faktoren für die CR-Funktion (siehe Abbildung 8) verwendet. Daran ist erkennbar, dass die Belastung der Spitzenstunde der Autobahn knapp 14% der Tagesbelastung ausmacht. Bei den Stadtstraßen ist dieser Wert vergleichsweise geringer. Dabei treten 12% der Gesamtverkehrsbelastung in der morgendlichen Spitzenstunde auf.

Tabelle 10: c-Faktor je Streckentyp

Streckentyp	c-Faktor
Autobahn	14,0
Schnellstraße	13,0
Landesstraße	13,0
Stadtstraßen	12,0

Die wichtigsten Parameter für die Modellierung des Verkehrsangebots wie Strecken, Anbindungen und Bezirke werden hier überblicksmäßig beschrieben. Eine detailliertere Erklärung der Verkehrsangebotsparameter für das GUARD Modell ist in der Masterarbeit von Ruzicka (2017) angeführt.

¹¹ [Quelle] Landesstatistik Steiermark – Stand 2019

¹² [Quelle] Statistik Austria, 2019

¹³ [Quelle] Statistikamt der Stadt Graz – Stand Mai 2020

4.3.1 Strecken und Streckentypen

Strecken werden in Streckentypen bzgl. folgende Parameter eingeteilt:

- IV-Kapazität
- Fahrstreifenanzahl
- zulässige Geschwindigkeit
- zulässige Verkehrssysteme

Streckentypen werden wiederum folgenden Obergruppen zugeordnet:

- Autobahnen
- Schnellstraßen
- Landesstraßen B
- Landesstraßen L
- Stadtstraßen
- Kreisfahrbahnen u. sonstige ÖV-Strecken
- sonstige Strecken

4.3.2 Anbindung

Eine Anbindung dient dazu, den Bezirk mit dem Verkehrsnetz zu verknüpfen. Jeder Bezirk verfügt über zumindest eine Anbindung für den motorisierten Individualverkehr und eine für den öffentlichen Verkehr. Die Anbindung für den motorisierten Individualverkehr verbindet den Bezirksschwerpunkt mit einem Netzknoten an Landes-, Gemeinde- oder Stadtstraßen. Die Anbindung für den öffentlichen Verkehr verbindet den Bezirksschwerpunkt mit einem Haltepunkt im Netz.

In GUARD20 spielt die Länge der Anbindung für die Nachfrageberechnung oder die Umlegung keine Rolle. Hierfür wird für jeden Bezirk ein eigenes Bezirksattribut (ZuAb - siehe Abschnitt 4.3.3) berücksichtigt. Die Anbindungen dienen lediglich dazu, dass die Bewohner Zugang zum Verkehrsnetz haben.

Abbildung 11 zeigt die unterschiedlichen Anbindungstypen. Für die Implementierung der U-Bahn wurden in weiterer Folge zusätzliche Anbindungen mit Typ Nr. 9 hinzugefügt.

Tabelle 11: Anbindungstypen im Verkehrsmodell GUARD20

Typ Nr.	Gebiet	Verkehrssystem	Anmerkung
0	Graz + Steiermark	Zug	
1	Graz	Tram + (U-Bahn)	
2	Graz	Bus	
3	Steiermark	Bus	
4	Graz	IV	
5	Steiermark (Städte)	IV	
6	Steiermark	IV	
7	Graz	Bus	Ergänzung
8	Park & Ride	Bus	
9	Steiermark	IV	Kordonanbindung (+ U-Bahn)

4.3.3 Bezirk (Verkehrszelle)

Der Untersuchungsraum wird in Bezirke (Verkehrszellen) eingeteilt. Jede Ortsveränderung beginnt und endet in einem Bezirk. Um die Nachfragegrößen bzw. Quell- und Zielpotentiale jedes einzelnen Bezirks zu ermitteln, sind den Bezirken Informationen bzgl. Einwohnerzahlen, Strukturgrößen sowie Zu- und Abgangszeiten hinterlegt. In der Stadt Graz werden die Verkehrszellen auf Basis der Zählsprenkel und manchmal noch detaillierter eingeteilt. Die Bezirke im ländlichen Raum werden nach den Gemeindeflächen bzw. Katastralgemeinden abgegrenzt. Ausnahme hierfür bilden Gemeinden mit einer hohen Einwohnerzahl oder Bezirkshauptstädte. Hier werden die Bezirke so gewählt, dass ca. 1.000 Einwohner auf einen Bezirk entfallen. (Ruzicka, 2017)

Einwohnerzahlen

Die Einwohnerzahlen für Graz stammen vom Statistikamt der Stadt Graz (Stand Mai 2020). Die Einwohnerzahlen für die restliche Steiermark wurden von der Landesstatistik Steiermark (Stand 2019) zur Verfügung gestellt. Die Einwohnerzahlen für ausgewählte Bezirke werden im Anhang 1 dargestellt.

Strukturgröße

Die Werte der Strukturgrößen beschreiben die Attraktivität des Bezirkes (siehe Abschnitt 3.2.1). Jene Daten stammen von:

- Arbeitsplätze: Landesstatistik Steiermark (Stand 2019)
- Schulplätze: Landesstatistik Steiermark und Bildungsdirektion Steiermark (Stand 2019)
- Volksschulplätze: Landesstatistik Steiermark und Bildungsdirektion Steiermark (Stand 2019)
- Berufsschulplätze: Landesstatistik Steiermark und Bildungsdirektion Steiermark (Stand 2019)
- Hochschulplätze: Studienplatzzahlen der steirischen Universitäten und Fachhochschulen (Stand 2019)
- Freizeitpotential: GUARD-Stundenmodell (aus altem GUARD Modell)
- Einkaufspotential: GUARD-Stundenmodell (aus altem GUARD Modell)

Im Anhang 2 ist ein Ausschnitt einzelner Bezirke mit den zugehörigen Strukturgrößen angeführt.

4.4 Modellierung der Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrage wird in dieser Arbeit auf Basis des VISEM – Nachfragemodells berechnet (siehe Abschnitt 3.2.4). Das VISEM-basierte Nachfragemodell ist ein Aktivitätenketten-basierendes Verkehrsnachfragemodell. Im folgenden Abschnitt werden die unterschiedlichen Parameter des Verkehrsmodells erklärt.

4.4.1 Verkehrserzeugung

Die Verkehrserzeugung berechnet, wie in Abschnitt 3.2.3 genauer erklärt, das Quellaufkommen im Bezirk. Dabei wird eine Verknüpfung zwischen 4 Parametern erstellt:

- verhaltenshomogene Gruppe
- Aktivitätenkette
- Mobilitätsrate
- Untersuchungsraumanteil Heimat

Für die Berechnung der Verkehrsnachfrage benötigt das Modell Personen. Diese Personen werden für eine genauere Nachfrageberechnung im VISEM – Nachfragemodell in **verhaltenshomogene Personengruppen (VHG)** eingeteilt. Jene VHG werden hinsichtlich Alter, Ausbildung, Pkw-Verfügbarkeit und Erwerbstätigkeit eingeteilt. Die Personenanzahl einer VHG wird aus der

Einwohnerzahl, der Altersverteilung, dem Motorisierungsgrad, der Erwerbstätigenquote und dem Bildungsniveau berechnet. Diese wird jedem Bezirk (Verkehrszelle) einzeln zugeordnet. Die grundsätzliche Idee für die Einteilung ist, dass die Realität besser abgebildet werden kann, da sich die Personengruppen hinsichtlich Anzahl der zurückgelegten Wege pro Tag, Wegelänge, das hauptsächlich verwendete Verkehrsmittel und die hauptsächlich durchgeführte Aktivität unterscheiden und das Verhalten in einer Gruppe annähernd gleich ist.

Tabelle 12: Verhaltenshomogene Personengruppen in GUARD20

VHG	Abkürzung	Personengruppe	Anteil an der Gesamtbevölkerung (bez. auf Graz bzw. Umland)
1	K	Kinder	6%
2	K_Graz	Kinder aus Graz	6%
3	GSCH	Grundschüler	4%
4	GSCH_Graz	Grundschüler aus Graz	3%
5	Sch	Schüler	7%
6	Sch_Graz	Schüler aus Graz	6%
7	Azubi	Auszubildende	1%
8	Azubi_Graz	Auszubildende aus Graz	1%
9	Stud	Studenten	2%
10	Stud_Graz	Studenten aus Graz	11%
11	EmP	Erwerbstätige mit Pkw	43%
12	EmP_Graz	Erwerbstätige mit Pkw aus Graz	29%
13	EoP	Erwerbstätige ohne Pkw	6%
14	EoP_Graz	Erwerbstätige ohne Pkw aus Graz	15%
15	NEmP	Nichterwerbstätige mit Pkw	5%
16	NEmP_Graz	Nichterwerbstätige mit Pkw aus Graz	5%
17	NEoP	Nichterwerbstätige ohne Pkw	3%
18	NEoP_Graz	Nichterwerbstätige ohne Pkw aus Graz	6%
19	RJmP	Rentner unter 75 Jahren mit Pkw	10%
20	RJmP_Graz	Rentner unter 75 Jahren mit Pkw aus Graz	7%
21	RJoP	Rentner unter 75 Jahren ohne Pkw	4%
22	RJoP_Graz	Rentner unter 75 Jahren ohne Pkw aus Graz	4%
23	RAmP	Rentner über 75 Jahren mit Pkw	3%
24	RAmP_Graz	Rentner über 75 Jahren mit Pkw aus Graz	3%
25	RAoP	Rentner über 75 Jahren ohne Pkw	6%
26	RAoP_Graz	Rentner über 75 Jahren ohne Pkw aus Graz	6%

Im GUARD20 Modell gibt es 13 unterschiedliche Personengruppen, wobei diese wiederum für Graz und das Umland getrennt betrachtet werden. Der Grund dafür liegt im unterschiedlichen Mobilitätsverhalten zwischen den Grazern und den Bewohnern im Umland von Graz bzw. der ländlichen Bereiche der Steiermark. Beispielsweise treten Personen aus Deutschlandsberg ihren Weg zur Arbeit tendenziell früher an als Personen aus Graz. Durch die regionale Trennung kann eine höhere

Genauigkeit erreicht werden. Somit gibt es insgesamt 26 unterschiedliche verhaltenshomogene Personengruppen (siehe Tabelle 12). Ebenfalls ist der prozentuelle Anteil jeder VHG an der Gesamtbevölkerung von Graz bzw. dem Umland angeführt. Auffallend dabei ist, dass in Graz prozentuell weniger Personen einen Pkw besitzen und prozentuell mehr Studenten leben als im Umland.

VISEM verwendet, wie bereits erwähnt, ein Aktivitätenketten-basierendes Verkehrsnachfragemodell. Eine **Aktivitätenkette** besteht aus aneinandergereihten Aktivitätenpaaren, wobei immer die Aktivität Wohnen am Anfang und am Ende stattfinden muss. Ein Aktivitätenpaar besteht wiederum aus zwei Aktivitäten. In Tabelle 13 sind die im GUARD20 verwendeten Aktivitäten angeführt. Ein Beispiel für eine Aktivitätenkette wäre somit Wohnen-Arbeiten-Wohnen (W-A-W) oder Wohnen-Arbeiten-Freizeit-Wohnen (W-A-F-W). Eine Person kann beliebig viele Aktivitätenketten an einem Tag zurücklegen. Die Strukturgröße Einwohner ist für alle Aktivitäten relevant, da jede Aktivitätenkette mit der Aktivität Wohnen beginnt sowie endet. Jedem Bezirk werden 8 unterschiedliche Strukturgrößen zugeordnet.

Tabelle 13: Aktivitäten in GUARD20

VHG	Aktivität	Strukturgröße	Wert der Strukturgröße
W	Wohnen	Einwohner	Anzahl der Einwohner
A	Arbeiten	Arbeitsplätze	Anzahl der Arbeitsplätze
B	Berufsschule	Berufsschulplätze	Anzahl der Berufsschulplätze
E	Einkaufen	Einkaufsmöglichkeiten	Verkaufsflächen des Einzelhandels
F	Freizeit	Freizeitmöglichkeiten	Anzahl der Nennung des Bezirks als Freizeit-Ziel
G	Grundschule	Grundschulplätze	Anzahl der Grundschulplätze
H	Hochschule	Hochschulplätze	Anzahl der Hochschulplätze
S	Schule	Schulplätze	Anzahl der Schulplätze

In Abbildung 15 ist die Verknüpfung der verhaltenshomogenen Gruppe, der Aktivitätenkette und der Mobilitätsraten anhand eines Ausschnitts aus GUARD20 erkennbar. Die **Mobilitätsraten** der Verkehrserzeugung stammen zum einen aus der Grazer Mobilitätsbefragung (Grazer Bevölkerung) und zum anderen aus Österreich Unterwegs (Bevölkerung Umland). Die Mobilitätsrate beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Aktivitätenkette angetreten wird. Es ist z.B. wahrscheinlicher, dass ein Erwerbstätiger mit Pkw die Aktivitätenkette Wohnen-Arbeiten-Wohnen wählt, als die Aktivitätenkette Wohnen-Freizeit-Wohnen. In unserem Beispiel werden 66,4% aller Aktivitätenketten, die ein Erwerbstätiger mit Pkw zurücklegt, von der Aktivitätenkette Wohnen-Arbeiten-Wohnen belegt. Einige Mobilitätsraten werden auch 0 gesetzt, da z.B. der Anteil der Studenten, welche die Aktivitätenkette Wohnen-Grundschule-Wohnen wählen verschwindend gering ist. In Abbildung 15 ist ebenfalls der Unterschied zwischen den einzelnen VHG erkennbar. Die Studenten aus Graz verhalten sich z.B. anders als die Studenten aus dem Umland. In Graz wird in 73% der Fälle die Aktivitätenkette Wohnen-Hochschule-Wohnen gewählt, wohingegen es im Umland nur knapp 67% sind. Insgesamt existieren in GUARD20 in Summe 51 unterschiedliche Aktivitätenketten.

Der Untersuchungsraumanteil Heimat gibt an, wie viele Menschen anteilmäßig innerhalb des Analysezeitraums ihre Aktivitäten im Untersuchungsraum durchführen. Er bezieht sich auf die Anzahl der angetretenen Wege. Es wird somit der Binnenverkehrsanteil innerhalb des Untersuchungsgebiets dargestellt. Ein Beispiel für das Verlassen des Untersuchungsraums wäre z.B. die Fahrt mit dem Zug

von Graz nach Wien. Die Werte für den UR-Anteil Heimat wurden mittels Daten aus Österreich Unterwegs ermittelt. Dabei wird jener Anteil an Wegen bestimmt, die Quelle und Ziel im Untersuchungsgebiet haben. Der Binnenverkehrsanteil (UR-Anteil Heimat) der Grazer Wege liegt bei 96%. Bei den von Umlandbewohnern zurückgelegten Wege ist der UR-Anteil, mit ca. 95%, ein wenig geringer, was auf die Randbezirke zurückzuführen ist, da die Distanz zur Untersuchungsraumgrenze kürzer ist. Die Mobilitätsraten, verhaltenshomogene Gruppen sowie die Untersuchungsraumanteile wurden aus Ferreira (2020) übernommen.

Wegekette	Verhaltenshomogene Gruppe										
	Azubi	Azubi_Graz	EmP	EmP_Graz	EoP	EoP_Graz	Sch	Sch_Graz	Stud	Stud_Graz	...
WAW	0,688	0,278	0,664	0,627	0,467	0,635	0,036	0	0,090	0,044	
WBW	0,208	0,328	0,005	0	0,004	0	0	0	0	0	
WEW	0,047	0,159	0,085	0,202	0,081	0,215	0,015	0,066	0,057	0,193	
WFW	0,200	0,091	0,303	0,201	0,268	0,212	0,389	0,236	0,380	0,270	
WGW	0	0	0,005	0	0,004	0	0	0	0	0,000	
WHW	0	0	0,005	0,016	0,004	0,057	0	0	0,666	0,729	
WSW	0	0	0,005	0	0,004	0	0,845	0,857	0	0	
WAAW	0	0	0,023	0,043	0,018	0,022	0,002	0	0	0	
WAEW	0	0	0,028	0,072	0,031	0,065	0	0	0	0	
WAFW	0	0	0,038	0,035	0,032	0,031	0,001	0	0,035	0,018	
WAHW	0	0	0	0,001	0,001	0,007	0	0	0,002	0,017	
WBBW	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	
WBFW	0,039	0,060	0	0	0	0	0	0	0	0	
WEAW	0	0	0,004	0,022	0,007	0,036	0	0	0	0	
WEEW	0	0	0,005	0,029	0	0,034	0	0,005	0	0,015	
WEFW	0	0	0,017	0,014	0,010	0,015	0,007	0,006	0	0,017	
WFAW	0	0	0,019	0,001	0,010	0,001	0	0	0	0	
WFEW	0	0	0,013	0,015	0,001	0,007	0,009	0,003	0	0,014	
WFFW	0,071	0,038	0,047	0,034	0,026	0,020	0,036	0,005	0,034	0,018	
WFHW	0	0	0	0	0	0,005	0	0	0,026	0,023	
WFSW	0	0	0	0	0	0	0,004	0,009	0	0	
WGEW	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	
...											

Abbildung 15: Auszug der Mobilitätsraten für die Verkehrserzeugung in GUARD20

4.4.2 VISEM kombinierte Verkehrsverteilung und Moduswahl

In diesem Abschnitt werden die Eingabeparameter der Verkehrsverteilung und Moduswahl genauer betrachtet. In Abschnitt 3.2.4 ist das VISEM Verkehrsnachfragemodell allgemein beschrieben.

Verkehrsverteilung / Zielwahl

Die Berechnung der Verkehrsverteilung wird von der Widerstandsfunktion beeinflusst. Im GUARD20 lautet die Widerstandsfunktion wie folgt:

$$f(w) = e^{-\alpha w} \quad (\alpha > 0) \quad (9)$$

mit:

$f(w)$ Widerstandsfunktion abhängig von der Entfernung

α Skalierungsfaktor

w Entfernung

In Abbildung 16 sind die unterschiedlichen Verläufe der oben genannten Widerstandsfunktion mit unterschiedlichen α -Parametern (in VISUM $\alpha = c$) dargestellt. Hier ist erkennbar, dass, je kleiner α ist, desto längere Wege für die jeweilige Aktivität in Kauf genommen werden. Die α -Werte für Graz und das Umland wurden im Laufe der Kalibrierung so angepasst, dass die Reisweitenverteilung der Realität am besten abgebildet wird. Die Reisweitenverteilung für die Grazer Bevölkerung und das

Umland basieren jeweils auf den Auswertungen von Ferreira (2020) aus der Studie Österreich Unterwegs. Es werden dabei die angetretenen Wege an einem Werktag im Befragungszeitraum Herbst 2014 verschiedenen Reiseweiten-Entfernungsklassen zugeordnet. Vor allem die Pkw Reiseweitenverteilung war am besten mit dem Logit Faktor c beeinflussbar. Der Faktor c ist für die Grazer Bevölkerung mit $-0,00007$ betragsmäßig kleiner als für Bewohner des Umlandes mit $-0,00016$. Im Zuge der Kalibrierung wurden diese Faktoren in einem iterativen Prozess bestimmt.

Die Entfernung setzt sich aus einem Skalierungsfaktor und den realen Reiseweiten (Distanzen) im unbelasteten Netz zusammen (siehe Formel (10)). Der Skalierungsfaktor wurde anhand von Österreich Unterwegs ermittelt und ist ein Parameter dafür, welche Wegelänge man für eine gewisse Aktivität in Kauf nimmt. So wurde jene Aktivität, für die die Befragten den weitesten Weg in Kauf nehmen würden, mit dem Faktor 1 angenommen. Die anderen Werte wurden anhand der durchschnittlichen Reiseweiten der Befragten zu den jeweiligen Aktivitäten angepasst.

Tabelle 14 zeigt einen Auszug aus der Verkehrsverteilung für Erwerbstätige mit Pkw. Ein Erwerbstätiger nimmt die längste Reiseweite für den Weg zur Arbeit in Kauf. Der Weg zu einer Freizeiteinrichtung darf nur noch die Hälfte davon sein und die Distanz zu einer Einkaufsmöglichkeit darf nur noch ein Drittel von jener zur Arbeit sein. Dadurch ist z.B. bei der gleichen Distanz zu einer Freizeiteinrichtung und zur Arbeit die Attraktivität des Ziels Arbeit doppelt so hoch wie das der Freizeiteinrichtung.

$$w = \beta \cdot DIS \quad (10)$$

mit:

- w Entfernung
- β Skalierungsfaktor aus Österreich Unterwegs
- DIS Distanz im unbelasteten Netz

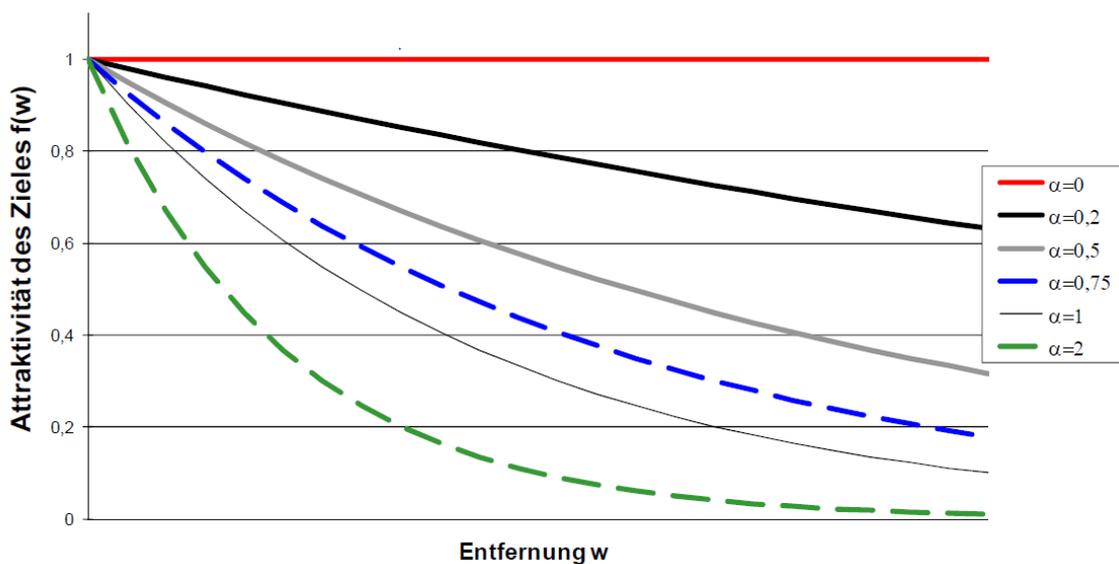


Abbildung 16: Widerstandsfunktionsverlauf für unterschiedliche α -Parameter
(Quelle: Fellendorf, 2018)

Tabelle 14: Auszug aus Verkehrsverteilung von GUARD20 für die Personengruppe EmP_Graz

Personengruppe	Aktivität	Nutzenfunktion
EmP_Graz	Arbeit	1*DIS
EmP_Graz	Berufsschule	1
EmP_Graz	Einkauf	3,2*DIS
EmP_Graz	Freizeit	2*DIS
EmP_Graz	Grundschule	2,67*DIS
EmP_Graz	Hochschule	2,67*DIS
EmP_Graz	Schule	1

Verkehrsmittelwahl / Moduswahl

Im Nachfragemodell gibt es 5 unterschiedliche Modi. Diese sind:

- Fuß
- Pkw-Mitfahrer
- ÖV
- Pkw-Lenker
- Rad

Die Moduswahl wird dabei von 3 unterschiedlichen Parametern beeinflusst:

- Reisezeit
- Zu- und Abgangszeit je Verkehrsmodus (bzw. Verkehrssystem)
- Bedienungshäufigkeit (nur für ÖV maßgebend)

Die **Reisezeit** für den Fuß- und Radverkehr wird mit t_0 berechnet. t_0 ist die Reisezeit im unbelasteten Netz. Das bedeutet, es ist unerheblich, wie viele Radfahrer bereits auf der Strecke unterwegs sind. Es wird angenommen, dass es nie zu einer Reisezeitverlängerung, also zu einer Überlastung oder Stauung kommt.

Die Reisezeit für den Pkw wird mit t_{Akt} berechnet. t_{Akt} ist die aktuelle Reisezeit für das belastete Netz. Das bedeutet, dass bei jeder Iteration ein neues t_{Akt} bestimmt wird. Damit wird sichergestellt, dass, wenn eine Streckenkapazität bereits erreicht ist, d.h. t_{Akt} größer wird als im unbelasteten Zustand, ein anderes Verkehrsmittel oder eine andere Route gewählt werden.

Reisende treffen ihre Entscheidungen zur Verkehrsmittelwahl und der Verbindungswahl im ÖV nicht nach der objektiven Reisezeit sondern nach der **empfundene Reisezeit**. Diese wird für Graz und das Umland getrennt bestimmt. Tabelle 15 zeigt die Einflussparameter für die empfundene Reisezeit des öffentlichen Verkehrs. Diese sind die Gehzeit, die Umsteigewartezeit und die Umsteigehäufigkeit. Zusätzlich fließt noch eine Fahrzeit im Fahrzeug in die empfundene Reisezeit ein.

Tabelle 15: Empfundene Reisezeit (ERZ) des ÖV

	Koeffizient	Attribut	
	1,00*	Fahrzeit im Fzg.	*Faktor Fahrzeit je VSys
+	0,16*	Gehzeit	
+	0,16*	Umsteigewartezeit	
+	29 sec.*	Umsteigehäufigkeit	

Die Fahrzeit im Fahrzeug wird mit einem dimensionslosen Faktor multipliziert, der für jedes Verkehrssystem unterschiedlich ist. Es soll dadurch eine unterschiedliche Bewertung der verschiedenen ÖV-Verkehrssysteme erreicht werden, da dies in der Nutzenfunktion direkt nicht möglich ist und nur das Gesamtsystem ÖV als Wahlmöglichkeit existiert. Je niedriger der Faktor bei einem Verkehrssystem ist, desto geringer ist die empfundene Reisezeit für dieses Verkehrssystem und die Wahlwahrscheinlichkeit wird höher. Innerhalb der Verkehrssysteme sind die Faktoren für alle Linien gleich.

Beispielsweise ist der Faktor für Busse im Umland (Regionalbusse) höher als für Stadtbusse um das reale Wahlverhalten der Umland Bewohner hinsichtlich der S-Bahn besser abzubilden. Wäre der Faktor von Regionalbussen gleich wie jener der Stadtbusse, würden die Fahrgastzahlen unbedeutender Regionalbuslinien sehr hoch sein. Der Hauptgrund hierfür sind einerseits die in Visum nicht beachtete Kapazität der Gefäßgrößen sowie andererseits die attraktive Möglichkeit, mit Regionalbussen ohne Umstieg ins Grazer Zentrum zu gelangen. Das entspricht jedoch nicht der Realität. Der Faktor für Trams ist für Umlandbewohner niedriger als für Stadtbewohner, um mehr Umstiege von der S-Bahn auf den städtischen ÖV zu erreichen bzw. auch den Schienenbonus abbilden zu können. In Tabelle 16 sind die Faktoren für die Fahrzeit je Verkehrssystem des GUARD20 Modells angeführt.

Tabelle 16: Faktor Fahrzeit je Verkehrssystem für Graz und Umland

Verkehrssystem	Faktor Fahrzeit je Vsys	
	Graz	Umland
Zug	0,36	0,47
Busse Graz	0,12	0,11
Busse Umland	0,32	0,22
Tram	0,122	0,046

Zusätzlich werden die Grazer Busse und die Busse, die hauptsächlich im Umland verkehren, unterschiedlich beurteilt. Den Grazer Bussen werden die oben angeführten Faktoren zugeordnet. Es gibt jedoch die Ausnahmen der Grazer Stadtbusse 33, 34, 40, 62 und 64. Da diese Linien durch das ganze Stadtgebiet führen, ist eine Kalibrierung hinsichtlich der Linienbeförderungsfälle nur mittels Veränderung der Zu- und Abgangszeit nicht möglich. Der Grund dafür ist, dass mit Anpassung dieses Parameters ebenfalls andere Linien beeinflusst werden. Aufgrund dessen werden diese Faktoren leicht adaptiert.

Die in Tabelle 15 angeführten Koeffizienten beeinflussen den Anteil der Geh- und Umsteigewartezeit an der empfundenen Reisezeit. Je kleiner dieser Faktor ist, desto eher wird ein Umstieg in Kauf genommen. Formel (11) zeigt den Rechengang für den in Tabelle 15 angeführten Koeffizienten für die Umsteigehäufigkeit. Der Faktor ist derselbe wie bei der Geh- und Umsteigezeit. Die Umsteigehäufigkeit wird, wie von Friedrich und Gerlach (2002) beschrieben, mit 3 Minuten angenommen.

$$Koeff. Umsteigehäufigkeit = 0,16 \cdot 3min = 0,48min = 29sec. \quad (11)$$

Die **Zu- und Abgangszeit** ist ein Bezirksattribut und somit für jeden Bezirk individuell anzupassen. Jeder Bezirk hat eine Zu- und Abgangszeit für folgende Verkehrsmodi:

- Pkw-Mitfahrer
- Pkw
- Rad
- Tram
- Zug
- Bus
- U-Bahn
- Seilbahn

Für die Verkehrsmoduswahl beim öffentlichen Verkehr wird eine gemittelte Zu- und Abgangszeit ($ZuAb_o$) verwendet (siehe Formel (12)). Sie setzt sich aus den Zu- und Abgangszeiten für die Verkehrssysteme Bus, Zug und Tram zusammen. Gibt es in einem Bezirk eine der drei genannten Anbindungen nicht, so wird der Mittelwert der beiden anderen genommen. Außerhalb von Graz gibt es beispielsweise keine Tram. Deshalb wird in den Bezirken mit Anbindungen zu einem Bahnhof der Mittelwert von $ZuAb_{Bus}$ und $ZuAb_{Zug}$ genommen. Bei jenen Bezirken, die weder eine Anbindung zu einem Zughaltepunkt, noch zu einem Tramhaltepunkt haben, ist die Zu- und Abgangszeit des Busses gleich der Zu- und Abgangszeit des gesamten öffentlichen Verkehrs ($ZuAb_o$). In den später berechneten Szenarien der modernen urbanen Mobilitätssysteme werden auch noch die Zu- und Abgangszeiten für Seilbahn und U-Bahn berücksichtigt.

$$ZuAb_o = \frac{ZuAb_{Zug} + ZuAb_{Tram} + ZuAb_{Bus}}{\sum ZuAb} \quad (12)$$

Formel (13) zeigt die Berechnung des **Nutzens** anhand der Bedienungshäufigkeit (BDH) bzw. des Takts vom ÖV. Bei der BDH werden alle ÖV Fahrten des Tages berücksichtigt, also unabhängig vom Verkehrssystem.

$$U_{\text{öV}} = 0,2 - \frac{150}{BDH^2 \cdot 0,65 + 750} \quad (13)$$

mit:

$U_{\text{öV}}$ Nutzen aus Bedienungshäufigkeit aller ÖV-Systeme (Bus, Tram, Zug, etc.)

BDH Bedienungshäufigkeit pro Tag

In Abbildung 17 kann man den Zusammenhang zwischen dem Nutzen und der Bedienungshäufigkeit, anhand der oben genannten Formel erkennen. Auffallend ist, dass bei einer Bedienungshäufigkeit zwischen 5 und 40 Fahrten pro Tag der Nutzen annähernd linear ansteigt. Ab 40 Fahrten/Tag nimmt der Mehrnutzen progressiv ab. Ab 200 Fahrten pro Tag ist der maximale Nutzen beinahe erreicht und es findet nur noch eine minimale Nutzenverbesserung statt.

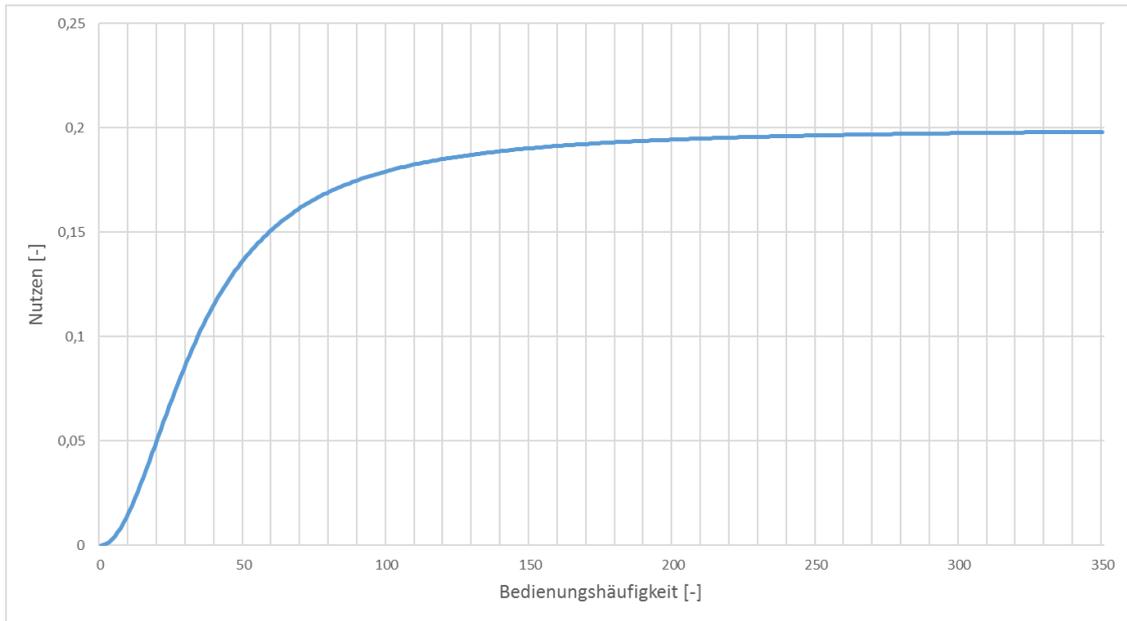


Abbildung 17: Nutzenfunktion bezogen auf die Bedienungshäufigkeit des ÖV

Die weiteren Einflussparameter auf die Moduswahl werden nun näher erläutert. Die unterschiedlichen Nutzenfunktionen sind in Tabelle 17 ersichtlich. Je kleiner der Wert ist, desto eher wird dieses Verkehrsmittel gewählt. Der einzige Faktor, der einen positiven Effekt auf den Nutzen hat, ist jener der Bedienungshäufigkeit.

Tabelle 17: Nutzenfunktionen für die einzelnen Modi

Modus	Nutzenfunktion
Fuß	$-p \cdot tO_{Fu\beta}$
Pkw-Mitfahrer	$-p \cdot tAkt_{PKW} - q \cdot ZU_{PKW-M} - q \cdot AB_{PKW-M}$
OEPNV	$-p \cdot PJT_o - q \cdot ZU_o - q \cdot AB_o + k \cdot U_o$
Pkw	$-p \cdot tAkt_{PKW} - q \cdot ZU_{PKW} - q \cdot AB_{PKW}$
Rad	$-p \cdot tO_{Rad} - q \cdot ZU_{Rad} - q \cdot AB_{Rad}$

mit:

- p Reisezeitfaktor
- tO Reisezeit im unbelasteten Netz
- $tAkt$ Reisezeit im belasteten Netz
- PJT empfundene Reisezeit
- q Zu- und Abgangszeitfaktor
- ZU Zugangszeit zum Verkehrssystem
- AB Abgangszeit vom Verkehrssystem
- k Faktor Nutzen Bedienungshäufigkeit
- U Nutzen (der Bedienungshäufigkeit)

Die einzelnen Faktoren p , q und k sind für jede VHG und jeden Modus individuell veränderbar. Dadurch ist es möglich, das Modell auch hinsichtlich des Modal Split pro VHG anzupassen (siehe Abschnitt 5.1). Diese Herangehensweise ist plausibel, da jede Verhaltensgruppe jeden Modus unterschiedlich bewertet. Ein Bewohner des Umlandes akzeptiert beispielsweise eher höhere Reiseweiten als ein Grazer. Durch den Ansatz der VHG kann somit das Modell individuell gesteuert bzw. kalibriert werden und die Realität besser abgebildet werden.

Tabelle 18 zeigt, wie sich das Modell verhält, wenn man die einzelnen Faktoren der Verkehrsmittelwahl verändert. Das ist vor allem in Bezug auf die Kalibrierung des Modells essentiell. Wird z.B. der Reisezeitfaktor kleiner, so wird der Widerstand einer längeren Fahrt ebenso kleiner und deshalb nehmen die Reiseweiten zu. Beim Faktor Reisezeit und ZuAb kann hinsichtlich des Modal Split gesagt werden, dass, je kleiner der Faktor ist, umso höher wird der Modal Split Anteil. Bei der Bedienungshäufigkeit ist es genau umgekehrt. Der Grund dafür ist, dass die Reisezeit und die Zu- und Abgangszeit den Widerstand erhöhen, also ein negatives Vorzeichen haben und die Bedienungshäufigkeit den Widerstand senkt, also ein positives Vorzeichen hat.

Tabelle 18: Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Reiseweiten und den Modal-Split-Anteil

Faktor		Output
Reisezeitfaktor	kleiner	längere Reiseweiten höherer Modal Split Anteil
	größer	kürzere Reiseweiten geringerer Modal Split Anteil
ZuAb Faktor	kleiner	kürzere Reiseweiten höherer Modal Split Anteil
	größer	längere Reiseweiten geringerer Modal Split Anteil
BDH-Faktor	kleiner	längere Reiseweiten geringerer Modal Split Anteil
	größer	kürzere Reiseweiten höherer Modal Split Anteil

4.4.3 Umlegung

Bei der Umlegung werden die berechneten modusfeinen Verkehrsnachfragematrizen auf das Netz umgelegt. Hierzu gibt es unterschiedliche Arten der Umlegung. Bei diesem Modell wurde für die Fuß- und Radwege die Sukzessivumlegung gewählt. Die Pkw Umlegung erfolgte anhand des Lernverfahrens. Das Lernverfahren berücksichtigt die Informationen der letzten Fahrt für die neue Routensuche. Es werden dabei in einem iterativen Prozess mehrfach kürzeste Wege gesucht, wobei der Widerstand für die Routensuche aus dem Widerstand der aktuellen Belastung und dem zuletzt geschätzten Widerstand abgeleitet wird. Somit wird die Realität am besten wiedergespiegelt. (PTV Group, 2019)

Die Umlegung des ÖV wird fahrplanfein durchgeführt, da in GUARD20 alle Fahrpläne aller Linien der Steiermark implementiert sind. Ein Suchverfahren wird fahrplanfein genannt, wenn alle Fahrten der ÖV-Linien mit ihren genauen Abfahrts- und Ankunftszeiten berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass auf einer Zeitachse Verbindungen am realen Fahrplan orientiert gesucht werden. Im Gegensatz dazu stellen bei der taktfeinen Umlegung Wege keine Verbindungen sondern Routen dar, da nicht auf der

Zeitachse gerechnet wird, sondern nur Fahrzeiten und Takte zugrunde liegen. Die Umsteigewartezeiten werden aufgrund des nicht vorhandenen Fahrplans lediglich pauschal mit einberechnet. Die Rechenzeit des taktfeinen Verfahrens ist deutlich kürzer als jene der fahrplanfeinen Umlegung.

Die Verkehrsumlegung des öffentlichen Verkehrs basiert auf der in

Tabelle 17 dargestellten Moduswahl und damit auch auf der in Tabelle 15 beschriebenen empfundenen Reisezeit. Da die empfundene Reisezeit für Graz und das Umland in der Kenngrößenermittlung getrennt berechnet wird, wird die Umlegung ebenfalls Nachfragesegmentfein ausgeführt.

In Tabelle 19 sind die für die Umlegung notwendigen Widerstandsgrößen angeführt. Die Umlegung sollte die identen Einflussparameter wie die Moduswahl haben und deshalb werden die in der Nutzenfunktion (siehe Tabelle 17) beschriebenen Parameter p und q ebenfalls herangezogen.

Tabelle 19: Widerstand der fahrplanfeinen Umlegung

	Koeffizient	Attribut	
	$p*1,00$	Fahrzeit im Fzg.	*Faktor Fahrzeit je VSys
+	$p*0,16$	Gehzeit	
+	$p*0,16$	Umsteigewartezeit	
+	$p*29 \text{ sec.}$	Umsteigehäufigkeit	
+	q	Zugangszeit je Haltepunkt [s]	
+	q	Abgangszeit je Haltepunkt [s]	

Die in der Kenngrößenermittlung bezirksabhängigen Zu- und Abgangszeiten werden im erweiterten Widerstand als Zuschlag für Ein- bzw. Ausstiege eingefügt. Dabei werden Zu- und Abgangszeiten auf den jeweiligen Haltepunkt umgerechnet. Es wird immer jene ZuAb herangezogen, die die kürzeste Anbindung zum Haltepunkt hat. Somit gibt es für jeden Haltepunkt eine eigene Zu- und Abgangszeit. Diese wird in Sekunden angegeben und mit dem Faktor q multipliziert. Der Faktor q ist ident mit jenem aus der Moduswahl (siehe Tabelle 17). Falls ein Haltepunkt für mehrere Verkehrssysteme (z.B. Bus, Tram und Zug) zugänglich ist, so wird der Mittelwert gebildet. Dies ist jedoch nur selten der Fall, da in den meisten Fällen nur jeweils ein Verkehrssystem einem Haltepunkt zugeordnet ist.

Ein mögliches Problem dieses Ansatzes ist, dass von mehreren Bezirken Anbindungen zum selben Haltepunkt führen können. Es wird jedoch immer nur die Zu- und Abgangszeit vom Bezirk mit der kürzesten Anbindung mit der ZuAb vom Haltepunkt verknüpft. So treten bei Park&Ride Anlagen beispielsweise lange Anbindungslängen auf. In der Moduswahl werden die ÖV-Fahrten auch noch mit den bezirksabhängigen Zu- und Abgangszeiten ermittelt. In der Umlegung ist jedoch für alle am jeweiligen Haltepunkt angebundene Bezirke die Zu- und Abgangszeit gleich. So spielt es in diesem Verfahrensschritt keine Rolle, ob der Weg vom Bezirk bis zur Park&Ride Anlage 2 km oder 5 km ist.

5 Ergebnisse Kalibrierung auf den IST-Zustand (Jahr 2020)

Um Prognosen für das Jahr 2030 in den unterschiedlichen Szenarien zu erstellen, muss zuerst eine Kalibrierung auf bekannte Kenngrößen erfolgen. Im Zuge dessen wird der Basisfall in GUARD20 auf verkehrsplanerische Kenngrößen (Modal Split und Reiseweitenverteilungen), aktuelle Pendlerzahlen und vorhandene Zählraten (Linienbeförderungsfälle je ÖV-Linie, Ein- und Aussteiger der ÖV-Linien und mIV-Zählstellen) kalibriert. In diesem Kapitel werden Vergleiche zwischen den gemessenen Kenngrößen und den modellierten Ergebnissen angeführt. Auf die Qualität der modellierten Kenngrößen wird ebenfalls genauer eingegangen.

5.1 Verkehrsplanerische Kenngrößen

Modal Split

Der Modal Split ist einer der wichtigsten Parameter, um über das Verkehrsverhalten einer Region oder einer Stadt Erkenntnisse zu gewinnen. Im Zuge dieser Arbeit werden die Untersuchungen hinsichtlich des Modal Split auf die Wegezählung pro Modus an einem durchschnittlichen Werktag bezogen. In den beiden nachfolgenden Abbildungen kann man erkennen, wie sich der Modal Split vom Verkehrsmodell GUARD20 zu jenem aus den empirischen Daten verhält. Die Datengrundlagen bilden dabei die Grazer Mobilitätsbefragung aus dem Jahr 2018 und Österreich Unterwegs vom BMK¹⁴ aus dem Jahr 2014.

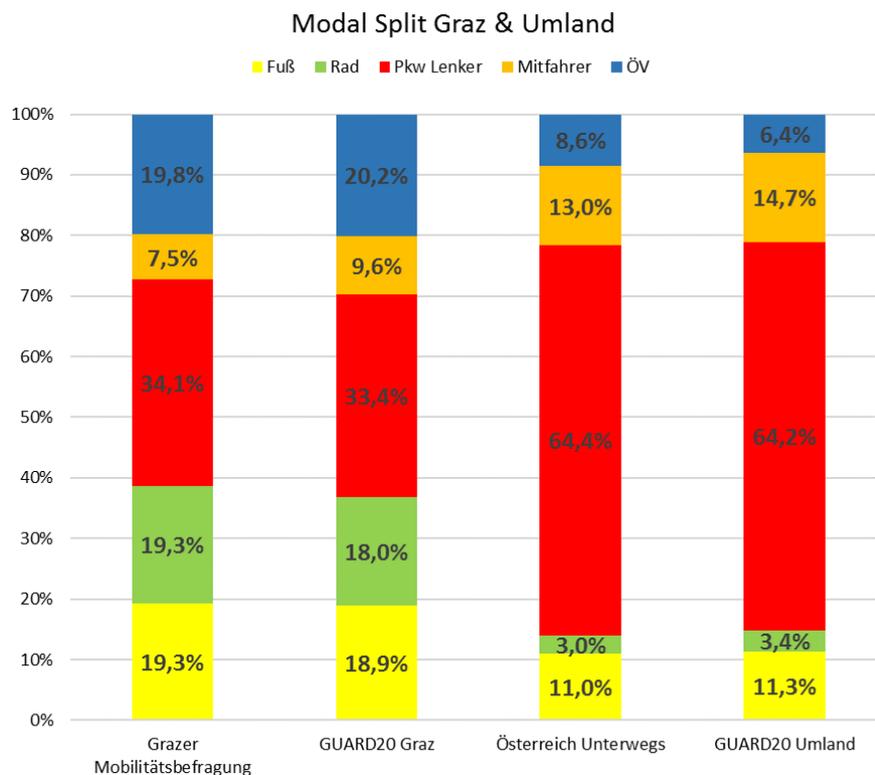


Abbildung 18: Vergleich des empirischen und modellierten Modal Splits der Wegezählung für die Grazer und der Umlandbevölkerung

¹⁴ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Innovation und Technologie

Auffallend ist, dass der ÖV-Anteil der Grazer Bevölkerung wesentlich höher ist als jener der Umland Bewohner. Der Grund dafür liegt vor allem im bedeutend besseren ÖV-Angebot. Gleichzeitig ist der Radanteil im Umland deutlich geringer als in Graz. Die Hauptgründe hierfür sind die längeren notwendigen Reiseweiten bei Arbeitswegen und Besorgungen des täglichen Bedarfs sowie das schlechter ausgebaute Radwegenetz im Vergleich zu Graz. Ähnlich verhält es sich bei Fußwegen.

Beim Modal Split für das Umland ist in GUARD20 der Anteil der ÖV Fahrer im Vergleich zu den Daten aus Österreich Unterwegs etwas geringer. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Stichprobe der Befragung von Österreich Unterwegs gering ist und in der Aufbereitung der Daten der ÖV optimistisch hochgerechnet wurde. Im Zuge dieser Arbeit wurde der ÖV-Modal Split eher anhand der vorhandenen Zählraten der stark belasteten Linien kalibriert. Die Kalibrierung des Modal Splits, der Reiseweitenverteilung und der Linienbeförderungsfälle erfolgte simultan.

Modal Split je verhaltenshomogener Gruppe

Diese Auswertung ist vor allem im weiteren Verlauf dieser Arbeit interessant, um zu erkennen, wie sich der Modal Split je VHG für die in Abschnitt 7 angeführten zukünftigen Szenarien (neue U-Bahn, zusätzliche Tramlinien) entwickelt. Ziel muss es sein, durch die neuen Verkehrssysteme klassische „Captive Driver“ zum Umstieg auf den ÖV zu bewegen. In Abbildung 19 sind die einzelnen VHG und die dazugehörigen Modal Splits angeführt.

Bei der Kalibrierung wird dabei auf eine nicht so hohe Genauigkeit wie bei den anderen Kalibrierungsgrößen Wert gelegt. Der Grund dafür ist, dass die „nicht Erwerbstätigen mit Pkw“ (NEmP) z.B. nur einen ÖV-Anteil von 4% aufweisen. Wenn der ÖV bei dieser Gruppe allerdings so einen geringen Wert aufweisen soll, müsste der Widerstand stark erhöht werden. Das würde aber eventuell mit dem Effekt der „Überkalibrierung“ einhergehen. Das bedeutet, dass der ÖV bei den NEmP schon so schlecht ist, dass auch mit einer starken ÖV-Verbesserung (Ausbau Tram, Bau einer U-Bahn) keine Verlagerung zum öffentlichen Verkehr (Modal Shift) mehr erfolgen würde.

Die VHG EmP und NEmP haben den größten Einfluss auf den gesamten Modal Split, da von ihnen die meisten Wege gemacht werden. Somit wird auch mit einer Veränderung der einzelnen Parameter dieser VHG der größte Einfluss auf den Gesamt Modal Split genommen. Auffallend ist, wie in Abbildung 19 ersichtlich, dass bei den Schülern ein relativ zu den anderen VHG gesehener stark erhöhter ÖV-Anteil auftritt. Das ist vor allem auf die Schülerfreifahrt zurückzuführen. Zusätzlich ist erkennbar, dass der Anteil der radfahrenden Studenten im Gegensatz zu den anderen Gruppen stark erhöht ist. Die VHG Azubi wird bei dieser Abbildung nicht berücksichtigt, da die Stichprobe aus den Befragungen zu klein war und deshalb auf kein plausibles Ergebnis zu schließen war. Dies ist aber nicht problematisch, da sowohl im Umland als auch in Graz Azubis nur 1% der jeweiligen Gesamtbevölkerung ausmachen.

Wie oben bereits erwähnt, ist der ÖV-Anteil bei der Befragung aus Österreich Unterwegs zu hoch ausgefallen. Das hat nicht nur Auswirkungen auf den Gesamt Modal Split, sondern insbesondere auf den Modal Split jeder VHG. Deshalb wird auf die Darstellung der Auswertung des Modal Splits pro VHG für das Umland verzichtet, da dies nicht zielführend wäre. Bei manchen verhaltenshomogenen Gruppen, wie z.B. Sch oder NEoP fällt auf, dass lt. Befragung von Österreich Unterwegs 2% der Wege mit dem Pkw gemacht werden (Bsp.: Fahrten von Personen ohne Pkw, die den einzig verfügbaren Pkw im Haushalt benutzen). Im Modell werden die Werte $\leq 2\%$ jedoch nicht berücksichtigt. Der Grund ist, dass diese Werte auf das Verkehrsverhalten einen sehr geringen Einfluss nehmen und generell der Modal Split je VHG nur auf 10% Genauigkeit kalibriert wird. Die Nutzenfunktion für jene Fälle wird somit auf 9999 gesetzt, womit der Widerstand extrem hoch ist und dadurch keine Person mehr das Verkehrsmittel wählt.

Reiseweitenverteilung

Die Verteilung der Reiseweite ist ein wichtiger Indikator dafür, ob die Personen die statistisch ermittelten Wegelängen erreichen und sich so im Netz ausreichend verteilen. Die Personen sollten somit angehalten sein, sich nicht nur für die Aktivitäten in unmittelbarer Nähe zu entscheiden, sondern auch längere Wege in Kauf zu nehmen. Dabei wurde ebenfalls zwischen Umland und Graz unterschieden. Angeführt sind die kumulierten Reiseweitenverteilungen der beiden wichtigsten Modi, dem ÖV und Pkw. Die Verteilung bezieht sich auf die angetretenen Wege an einem Werktag pro Verkehrsmodus.

Beim Vergleich der Abbildung 20 und Abbildung 21 ist erkennbar, dass die Grazer mit dem Pkw kürzere Wege zurücklegen als die Personen aus dem Umland. Ein Grund dafür ist, dass die Attraktionspotentiale der Stadt deutlich höher sind als im Umland. Die Grazer haben somit nur kurze Wege zu Arbeit, Freizeitmöglichkeiten, Einkaufsmöglichkeiten etc. Zusätzlich ziehen die hohen Potentiale in Graz auch viele Pendler aus dem Umland an und aufgrund dessen werden ebenso längere Wege produziert. Darüber hinaus ist die Bevölkerungsstruktur im Umland zersiedelter, was ebenso auf die längeren Wege der Umland Bewohner schließen lässt.

Bei den ÖV Reiseweitenverteilungen, wie in Abbildung 22 und Abbildung 23 ersichtlich, sind ebenfalls die oben erwähnten Gründe ausschlaggebend für die längeren Wege. Zusätzlich ist im ländlichen Raum das öffentliche Verkehrsangebot nicht so gut. Die längeren Reiseweiten beim ÖV lassen wiederum auf die vermehrten Zug- und Busfahrten von und nach Graz schließen. Die kürzeren Wege werden im ländlichen Gebiet eher vom Verkehrsmittel Pkw übernommen.

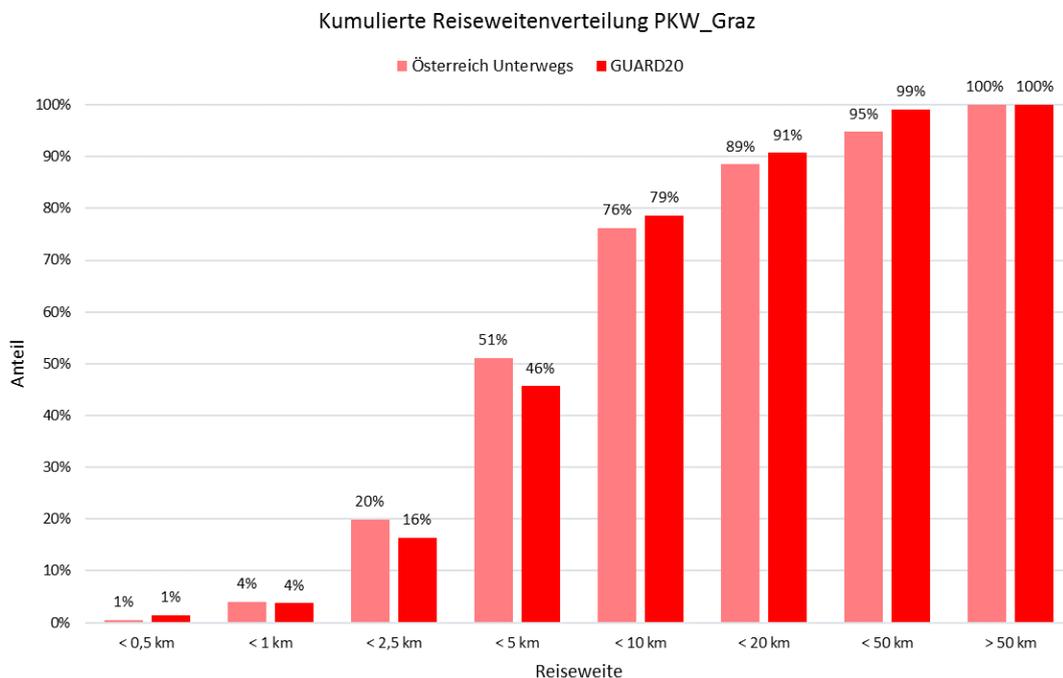


Abbildung 20: Kumulierte Reiseweitenverteilung der Grazer Pkw-Lenker

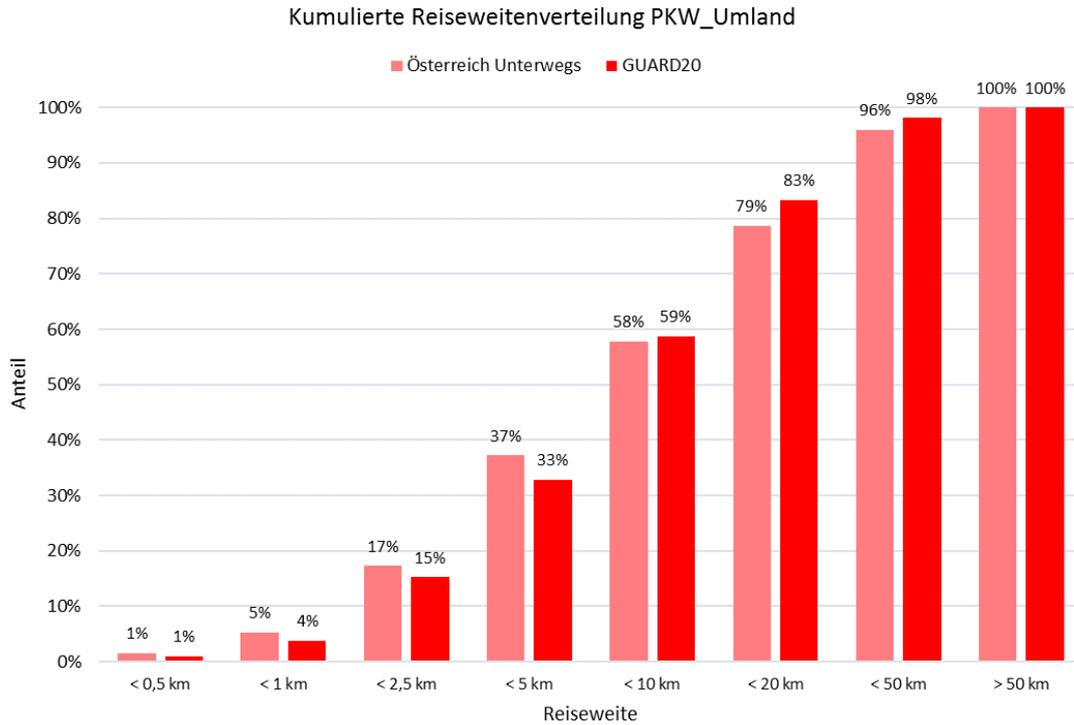


Abbildung 21: Kumulierte Reiseweitenverteilung der Pkw-Lenker aus dem Umland

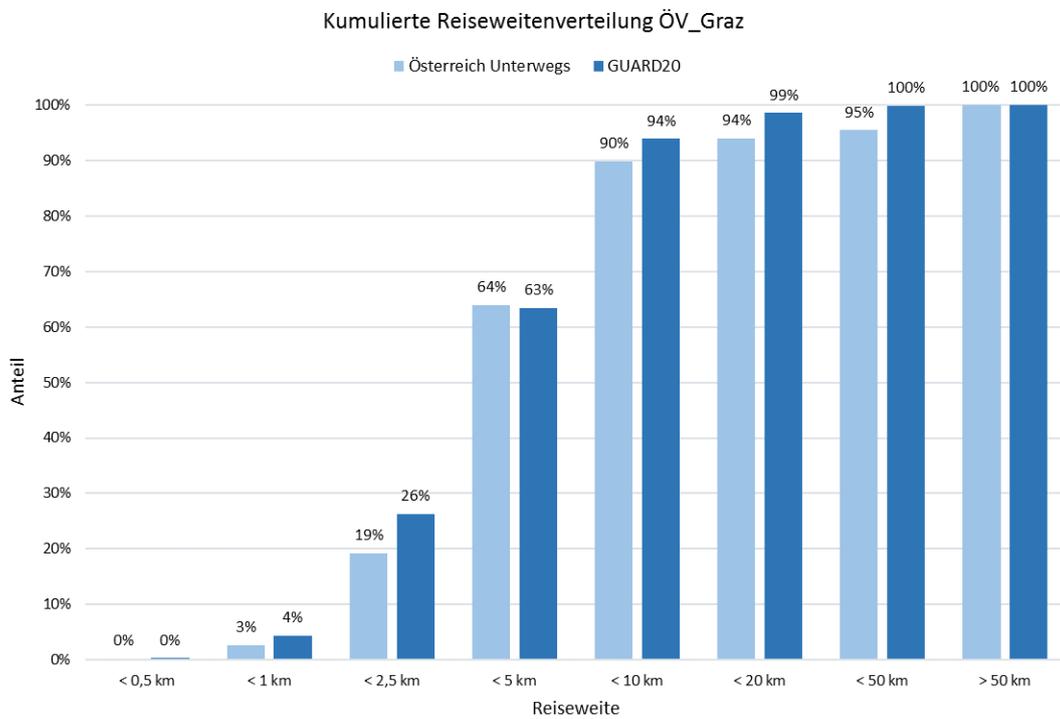


Abbildung 22: Kumulierte Reiseweitenverteilung der Grazer ÖV-Fahrer

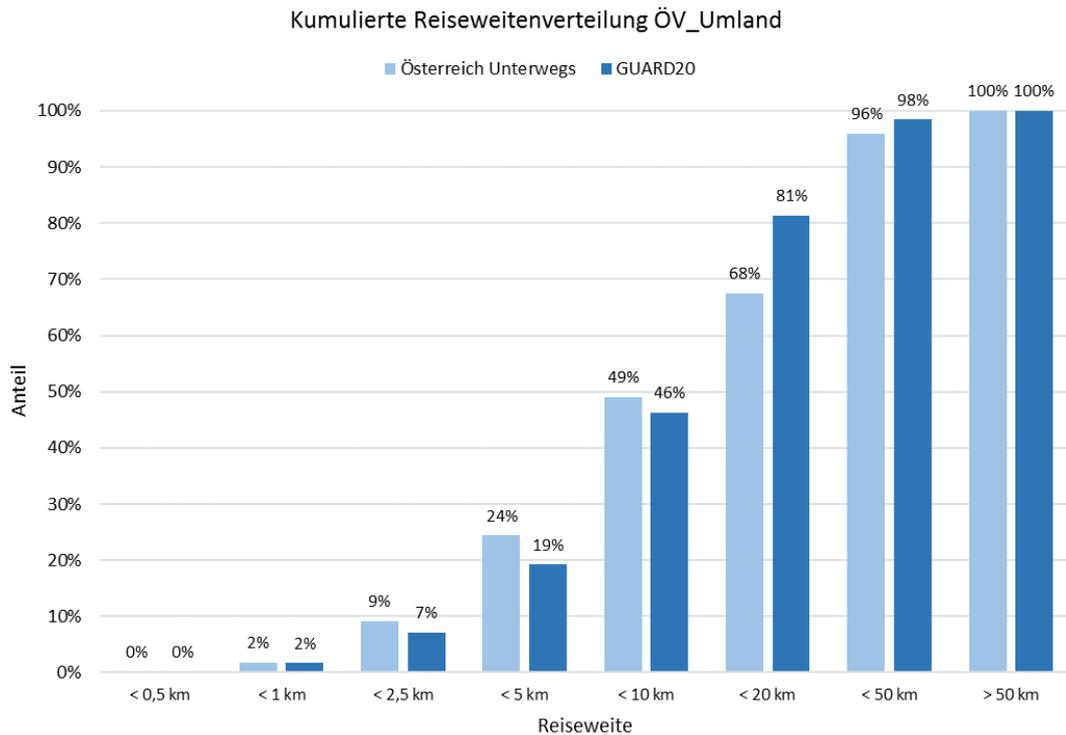


Abbildung 23: Kumulierte Reiseweitenverteilung der ÖV-Fahrer aus dem Umland

5.2 Pendlerzahlen

Um die korrekte Verteilung der Fahrten im Verkehrsmodell zu überprüfen, wird auf die aktuellen Pendlerzahlen aus dem Jahr 2019 eingegangen. Angegeben sind jene Pendler, die aus beruflichen Gründen innerhalb von Graz oder nach Graz pendeln. Die Daten stammen von der Landesstatistik Steiermark.

Tabelle 20: Pendlerzahlen GUARD20 und der Landesstatistik im Vergleich

Von	empirische Daten	GUARD20	Abweichung
Graz-Binnenverkehr	90.065	90.204	+0,2%
Deutschlandsberg	5.360	6.017	+12,3%
Graz-Umgebung	35.089	35.461	+1,1%
Leibnitz	8.952	7.583	-15,3%
Voitsberg	5.251	5.780	+10,1%
Weiz	6.974	10.120	+45,1%
Hartberg-Fürstenfeld	3.534	1.590	-55,0%
Südoststeiermark	6.275	4.523	-27,9%
Σ Steiermark (exkl. Graz-Binnen)	71.435	71.074	-0,5%

Bei der Kalibrierung der Pendlerzahlen wird aufgrund des Planungsraums Graz vor allem auf die Pendler innerhalb Graz und aus Graz Umgebung geachtet. Zusätzlich zu den geografischen Gründen spielt bei dieser Entscheidung auch die Anzahl der Pendler in diesen beiden Oberbezirken eine große Rolle. Sie sind für beinahe 80% der Gesamtpendler verantwortlich. Bei den Pendlern aus Graz und Graz Umgebung werden in GUARD20 die statistischen Erhebungen sehr genau wiedergespiegelt. Im

Gegensatz dazu kann man bei den politischen Bezirken, die weiter vom Planungsraum entfernt sind, erkennen, dass größere Abweichungen auftreten. Diese Abweichungen werden jedoch in Kauf genommen, da jene Bezirke anteilmäßig einen geringeren Einfluss auf den Planungsraum haben.

5.3 Anpassung auf bestehende Zählzeiten

Linienbeförderungsfälle je ÖV-System

Linienbeförderungsfälle geben die Summe aller Personenfahrten pro Tag und pro Linie in beide Fahrtrichtungen an. Personen, die eine Linie täglich mehrmals benutzen, werden somit mehrfach mitgezählt. Ebenso zählen Wege, die mit mehreren Linien zurückgelegt werden, bei jeder Linie. Im Zuge dessen werden die wichtigsten Zug-, Tram- und Busverbindungen im Untersuchungsraum genauer betrachtet. Bei den Busverbindungen ist zu erwähnen, dass nur auf die Grazer Stadtbusse genauer eingegangen wird, da sie einerseits die größten Fahrgastzahlen aufweisen sowie zusätzlich das Verkehrsverhalten im Planungsraum am meisten beeinflussen und andererseits keine Linienbeförderungen von Regionalbussen vorhanden sind. Tabelle 21 zeigt, dass die Fahrgastzahlen der Zuglinien gut getroffen werden. Die Schwankungsbreite liegt zwischen -5,9% und +6,6%. Die Ausnahme bildet die Linie S1 mit um 13,9% zu vielen Fahrgästen.

Tabelle 21: Linienbeförderungsfälle der wichtigsten Zug- und Tramverbindungen

Verkehrsmittel	Linie	empirische Daten ¹⁵	GUARD20	Abweichung
Zug	S1	7.427	8.461	+13,9%
	S5	11.985	11.418	-4,7%
	S6 (GKB)	3.627	3.684	+1,6%
	S7 (GKB)	4.853	4.904	+1,1%
	S61 (GKB)	3.624	3.711	+2,4%
	Ostbahn	9.973	9.382	-5,9%
	Weizer Bahn	1.753	1.868	+6,6%
Σ Zug		43.242	43.428	+0,4%

Bei den in Tabelle 22 angeführten Summen der Fahrgastzahlen der Tram- und Buslinien ist erkennbar, dass die empirischen Daten ebenfalls gut getroffen werden. Tram Linie 7 ist die mit Abstand meist belastete Linie im gesamten Untersuchungsraum. Sie führt vom Westen (Wetzelsdorf) in den Osten (LKH) und es werden täglich knapp 50.000 Fahrgäste befördert. Zum Vergleich: Alle betrachteten und demnach auch wichtigsten Zugverbindungen erreichen diesen Wert zusammen nicht. Die Schwankungsbreite der einzelnen Tramlinien liegt dabei zwischen -4,7% und +8,5%. Bei den Bussen werden nur die 17 meist belasteten Linien in Graz berücksichtigt. Die Abweichungen bewegen sich dabei zwischen -14,9% und +18,2%. Linie 66 ist eine neue Linie, die erst 2020 eingeführt wurde und deshalb gibt es dafür noch keine Zählzeiten. Von den Holding Graz Linien wurde lediglich eine Größenordnung von ca. 5.000 Linienbeförderungen pro Tag angegeben.

¹⁵ Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Stand 2018; Die Fahrgastzahlen der S-Bahnen werden manuell dreimal im Jahr von diversen Ingenieurbüros gezählt

Tabelle 22: Linienbeförderungsfälle der wichtigsten Tram- und Busverbindungen

Verkehrsmittel	Linie	empirische Daten ¹⁶	GUARD20	Abweichung
Tram	1	23.128	23.416	+1,2%
	3	15.652	15.793	+0,9%
	4	26.739	28.404	+6,2%
	5	28.093	27.317	-2,8%
	6	25.312	27.464	+8,5%
	7	49.775	47.441	-4,7%
Σ Tram		169.562	169.835	+0,2%
Bus	31	12.398	12.842	+3,6%
	32	12.577	12.213	-2,9%
	33	9.200	8.928	-3,0%
	34	6.287	6.341	+0,9%
	39	10.476	9.975	-4,8%
	40	14.330	14.095	-1,6%
	41	5.232	6.099	+16,6%
	50	3.502	3.497	-0,1%
	52	5.326	5.653	+6,1%
	53	8.005	7.941	-0,8%
	58	12.805	11.428	-10,8%
	60	1.922	1.712	-10,9%
	62	7.146	7.052	-1,3%
	63	11.066	10.331	-6,6%
	64	7.303	7.334	+0,4%
	65	2.846	2.998	+5,3%
	66	5.000	4.256	-14,9%
67	10.855	9.594	-11,6%	
74	2.152	2.544	+18,2%	
Σ Bus		148.428	144.834	-2,4%

Die Qualität der Kalibrierung hinsichtlich der Zählzeiten wird in Abschnitt 5.4.2 näher betrachtet.

Ein- und Aussteiger der ÖV-Haltestellen

Es sind jene Haltestellen hier angeführt, die laut empirisch ermittelten Daten über 3.000 Einsteiger pro Tag aufweisen. Bei der Untersuchung wird zwischen den Bus- und Trameinsteigern je Haltestelle unterschieden. Für die Zughaltestellen sind keine ausreichenden Daten vorhanden. Tabelle 23 zeigt, dass jene Haltestellen mit den höchsten Einsteigerzahlen (Jakominiplatz und Hauptplatz) von allen Straßenbahnlinien angefahren werden. Zusätzlich sind die Haltestellen der West-Ost Verbindung zwischen Hauptbahnhof und Hauptplatz ebenfalls angeführt. Hier fahren mit Ausnahme der Linie 4 und 5 alle Linien. Außerdem beinhaltet die Tabelle die Endhaltestelle der am stärksten belasteten

¹⁶ Holding Graz Linien - Stand 2019

Tramlinie in Graz (Linie 7) und die gemeinsame Endhaltestelle der Linie 4 und 5 (Andritz). Es werden auch die Endhaltestellen von der Linien 4 (Liebenau) und der Linie 5 (Puntigam) berücksichtigt, obwohl diese weniger als 3.000 Einsteiger haben.

Tabelle 23: Anzahl der Trameinsteiger an den wichtigsten Haltestellen

Haltestelle	empirische Daten ¹⁷	GUARD20	Abweichung
Jakominiplatz	33.354	30.920	-7,3%
Hauptplatz/Congress	18.687	16.693	-10,7%
Hauptbahnhof	11.826	12.053	1,9%
Roseggerhaus	6.011	6.255	4,1%
Südtiroler Platz/Kunsthhaus	5.641	1.633	-71,1%
St.Leonhard/LKH	4.630	4.572	-1,3%
Esperantoplatz/Arbeiterkammer	4.330	2.170	-49,9%
Andritz	3.506	4.909	40,0%
Puntigam (Bhf.+Brauhaus+Maut)	2.755	2.649	-3,8%
Liebenau Murpark	2.936	3.322	13,1%

Bei den Buseinsteigern (siehe Tabelle 24) sind ebenfalls die zwei Hauptumsteigeplätze, der Jakominiplatz und der Hauptbahnhof, angeführt. Außerdem sind die stark frequentierten Plätze interessant, welche über keine Tramanbindung verfügen (Lendplatz und Griesplatz). Auffallend ist ebenfalls, dass die Einsteiger der Bushaltestellen geringer sind als jene der Tramhaltestellen. Der Lendplatz weist in GUARD20 zu wenige Buseinsteiger auf. Der Grund dafür ist, dass vom Lendplatz eine Anbindung zu der Haltestelle Schloßbergbahn (Linie 4 und 5) führt, wodurch einige Fahrgäste die Tram und nicht den Bus wählen.

Tabelle 24: Anzahl der Buseinsteiger an den wichtigsten Haltestellen

Haltestelle	empirische Daten ¹⁷	GUARD20	Abweichung
Jakominiplatz	17.347	17.337	-0,1%
Hauptbahnhof	10.793	10.431	-3,4%
Lendplatz/tim	5.176	3.381	-34,7%
Griesplatz	3.859	3.945	2,2%
Puntigam Bhf.	3.201	2.339	-26,9%
Roseggerhaus	3.153	3.450	9,4%
Andritz	3.122	3.370	7,9%
Elisabethnergasse	3.057	2.701	-11,6%
Liebenau Murpark	3.035	3.467	14,2%

Die am stärksten frequentierten Haltestellen sind in beiden Fällen ausreichend genau kalibriert. Manche Haltestellen in GUARD20 haben jedoch eine erhöhte Abweichung gegenüber den statistischen Werten. Der Grund dafür ist, dass es aufgrund der Vielschichtigkeit des Modells komplex ist, jede Haltestelle genau zu kalibrieren. Zum einen, da manche Bezirke Anbindungen zu mehreren

¹⁷ Holding Graz Linien – Stand 2019

Haltestellen haben und somit durch Veränderungen der Zu- und Abgangszeit ebenfalls andere Haltestellen bzw. andere Linien beeinflusst werden. Zum anderen ist es schwierig, jene Haltestellen zu modellieren, die direkt hintereinanderliegen. Als Beispiel hierfür dienen die in Tabelle 23 angeführten Haltestellen Hauptbahnhof – Esperantoplatz – Roseggerhaus – Südtiroler Platz – Hauptplatz und Jakominiplatz. Hinzu kommt, dass diese Haltestellen nicht nur von einer Straßenbahnlinie bedient wird, sondern von vier Linien. Die dritte Schwierigkeit besteht darin, dass Haltestellen meist nicht nur für ein Verkehrssystem dienen sondern für mehrere (Zug, Bus, Tram). Somit geht mit einer Veränderung der Zu- und Abgangszeit nicht nur eine Veränderung der Einsteiger für ein Verkehrssystem (z.B. Bus) einher, sondern ebenfalls für den Zug oder die Tram. Hier muss somit ein Mittelweg gefunden werden, um die bestmögliche Kalibrierung zu erreichen. Im Zuge dieser Arbeit wurde die Kalibrierung der Linien auf Linienbeförderungsfälle und Einsteiger je Haltestelle simultan durchgeführt, wobei die Genauigkeit bei den Linienbeförderungsfällen priorisiert wurde.

mIV-Zählstellen im hochrangigen Straßennetz (Nähe Graz)

In diesem Abschnitt werden die Belastungen jener Strecken betrachtet, bei denen Zähldaten der Asfinag auf Autobahnen und Schnellstraßen zur Verfügung gestellt wurden und die sich zusätzlich in der Nähe von Graz befinden. Abbildung 24 zeigt die Lage der jeweiligen Zählstellen auf der Karte und in Tabelle 25 sind die zugehörigen Belastungen angeführt. Auffallend ist, dass, je näher die Zählstellen bei Graz liegen, die Belastungen stark zunehmen. Der Grund dafür liegt an der hohen Attraktivität der Stadt. Damit werden viele Pendler angezogen. Der am höchsten belastete Streckenabschnitt ist die A2 beim Knoten Graz West in beide Richtungen. An der Abweichung der einzelnen Zählstellen ist erkennbar, dass es schwieriger ist, jene Streckenabschnitte zu modellieren, die weiter vom Planungsgebiet entfernt sind (Nr. 4 und Nr.10), als jene die in der Nähe des Planungsgebiets liegen.

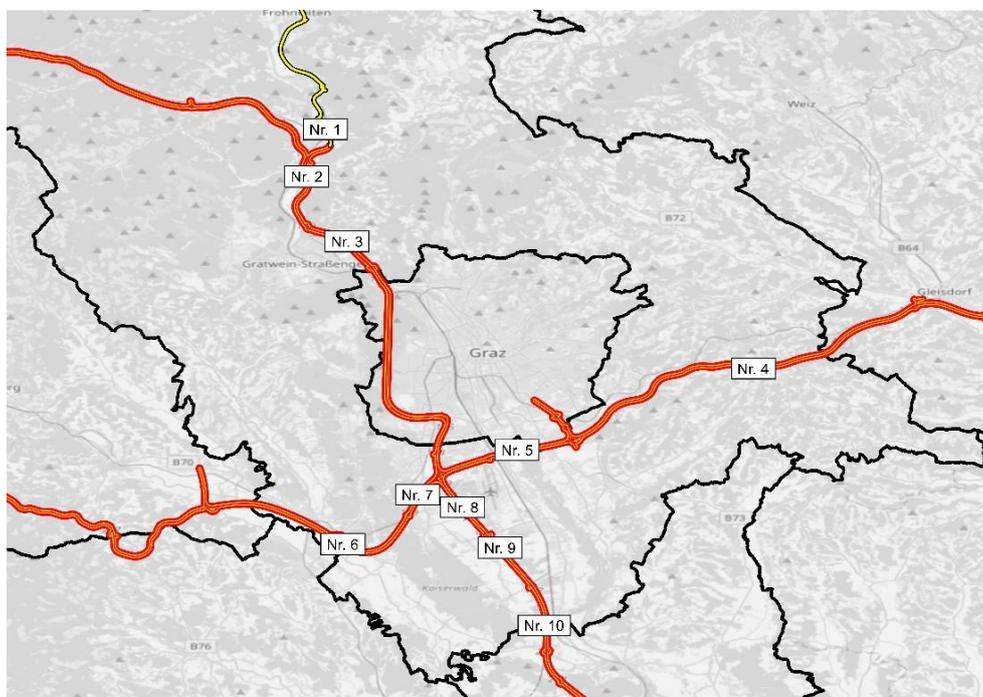


Abbildung 24: Asfinag Zählstellen rund um Graz

Tabelle 25: mIV-Belastung an den Asfinag Zählstellen im hochrangigen Straßennetz

Nr.	Bezeichnung	Richtung	emp. Daten	GUARD20	Abweichung
1	S35 - Brucker Schnellstraße	Frohnleiten	12.283	12.193	-0,7%
2	A9 - Pyhrnautobahn bei Ktn. Peggau	Voralpenkreuz	22.769	23.845	4,7%
		Graz	23.646	22.817	-3,5%
3	A9 - Pyhrnautobahn zw. Gratkorn Nord und Süd	Voralpenkreuz	24.903	28.649	15,0%
		Graz	24.369	23.784	-2,4%
4	A2 - Süd Autobahn bei Abfahrt Lafnitzhöhe	Wien	35.452	31.440	-11,3%
		Graz	33.421	32.613	-2,4%
5	A2 - Südautobahn bei Abfahrt Flughafen Graz	Wien	41.026	41.641	1,5%
		Ktn. Graz West	42.391	40.966	-3,4%
6	A2 - Südautobahn bei Abfahrt Lieboch	Klagenfurt	25.661	24.401	-4,9%
		Graz	25.650	26.078	1,7%
7	A2 - Südautobahn bei Oberpremstätten	Klagenfurt	30.974	33.626	8,6%
		Ktn. Graz West	31.161	32.637	4,7%
8	A9 - Pyhrnautobahn bei Abfahrt Schwarzl See	Spielfeld	37.846	35.331	-6,6%
		Graz	35.781	34.750	-2,9%
9	A9 - Pyhrnautobahn bei Abfahrt Kalsdorf	Spielfeld	33.577	33.147	-1,3%
		Graz	33.155	31.352	-5,4%
10	A9 - Pyhrnautobahn bei Abfahrt Wildon	Spielfeld	30.435	32.182	5,7%
		Graz	27.553	31.352	13,8%

mIV-Zählstellen Graz

Im Zuge dieser Arbeit wurde in erster Linie auf die Kalibrierung des öffentlichen Verkehrsnetzes geachtet und erst in weiterer Folge auf die Streckenbelastungen des motorisierten Individualverkehrs in Graz. Tabelle 26 zeigt die mIV-Belastung der wichtigsten Zufahrtsstraßen in die Stadt (Wiener Str., Triester Str., Weinzöttlstr., Kärntner Str., Plüddemanngasse), sowie die höchst belasteten Straßen innerhalb Graz. Auffallend ist, dass diese eine geringere Abweichung als die Zufahrtstraßen haben. Die am häufigsten befahrene Strecke pro Richtung ist der Joanneumring mit knapp 25.000 Fahrzeugen pro Tag. Der meist belastete Querschnitt ist der Eggenberger Gürtel am Hauptbahnhof mit rund 45.000 Fahrzeugen pro Tag. Hier weist das Modell etwas zu geringe Belastungen auf. Es treten schon bei der Zufahrtstraße zum Eggenberger Gürtel, der Triester Straße, zu wenig Fahrzeuge auf. Der Grund hierfür könnte sein, dass zu wenige Pendler aus dem Süden in die Stadt kommen. In Tabelle 20 ist erkennbar, dass aus Leibnitz und der Südoststeiermark die modellierten Zahlen zu gering sind. Zusätzlich ist der Pkw Anteil im Modal Split etwas zu gering. Das bedeutet, dass generell etwas zu wenig Pkw-Fahrer in Graz verkehren. Ein dritter Grund könnte sein, dass die Reiseweiten etwas zu kurz und deshalb die Zufahrtstraßen in die Stadt nicht so stark belastet sind. Schlussendlich könnte der vierte Grund sein, dass im Verkehrsmodell der Lkw-Verkehr nur bedingt und der Wirtschaftsverkehr nur sehr rudimentär modelliert wird, diese Fahrten jedoch in den Zählstellen enthalten sind. Die Qualität der Kalibrierung der Streckenbelastungen wird im nachfolgenden Abschnitt genauer untersucht.

Tabelle 26: mIV-Belastung an den Grazer Zählstellen

Bezeichnung	Richtung	emp. Daten	GUARD20	Abweichung
Wiener Straße	Norden	18.193	15.530	-14,6%
	Süden	17.771	14.643	-17,6%
Triester Straße	Norden	17.928	14.771	-17,6%
	Süden	16.110	16.701	3,7%
Weinzöttlstraße	Norden	10.469	11.159	6,6%
	Süden	10.624	11.429	7,6%
Kärntner Straße	Norden	13.350	14.242	6,7%
	Süden	12.175	11.974	-1,7%
Plüddemanngasse	Norden	12.182	10.881	-10,7%
	Süden	12.983	9.446	-27,2%
Münzgrabenstraße	Norden	9.503	9.184	-3,4%
	Süden	8.317	8.273	-0,5%
Joanneumring	Westen	24.677	25.102	1,7%
Eggenberger Gürtel	Norden	23.252	18.652	-19,8%
	Süden	22.403	18.742	-16,3%
Grazbachgasse	Osten	17.957	16.322	-9,1%
Glacisstraße	Norden	15.442	15.020	-2,7%
	Süden	14.582	14.510	-0,5%
Conrad-von-Hötzendorf Straße	Norden	9.320	9.498	1,9%
	Süden	11.340	11.210	-1,1%
Elisabethstraße	Westen	9.871	9.305	-5,7%
	Osten	7.489	7.260	-3,1%

5.4 Qualitätskenngrößen

Die Informationen über die Qualitätskenngrößen wurden aus dem Bericht „Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle“ von Friedrich et al. (2019) übernommen. Um einen Nachweis für die Validität eines Modells zu erbringen, müssen die Abweichungen zwischen Modellwerten m (model) und Messwerten c (count) durch geeignete statistische Gütemaße quantifiziert und bewertet werden.

In folgendem Kapitel werden ausgewählte Gütemaße angeführt und die Ergebnisse des Basisfalls dahingehend analysiert.

5.4.1 Gütemaß GEH

Ein verbreitetes Gütemaß für die Bewertung der Verkehrsstärke ist der nach Geoffrey E. Havers benannte GEH -Wert:

$$g_{GEH} = \sqrt{\frac{2 \cdot (m - c)^2}{m + c}} \quad (14)$$

mit:

g_{GEH}	Gütemaß GEH
m	Verkehrsstärke des Modells
c	Verkehrsstärke der Erhebung

Werden für die Kalibrierung Stunden-Werte verwendet, so gilt die Anpassung des Verkehrsmodells als erfolgreich, wenn 85% der Zählstellen einen GEH -Wert kleiner 5 aufweisen. Ist der Wert größer als 10 kann von einem Problem der Kalibrierung bzw. der Eingangsdaten ausgegangen werden. Der Annahme vorausgesetzt, dass die Verkehrsstärke der Spitzenstunde ca. 10% der Tagesverkehrsstärke ist, ergibt sich, dass der Stunden- GEH -Wert von 5 dem Tages- GEH -Wert von 15,8 entspricht.

Obwohl sich der GEH Wert in der Praxis durchgesetzt hat, gibt es einige Problemfelder:

- Der GEH ist nicht selbstskalierend. Das bedeutet, dass die Zählwerte einer Stundenzählung und einer Tageszählung keine vergleichbaren Ergebnisse liefern. Dafür müsste der Sollwert für die Tageszählung erhöht werden. Aufgrund dessen ist er auch nicht für die Bewertung anderer Kenngrößen, z.B. Wegelängen, geeignet.
- Der GEH -Wert ist nicht achsensymmetrisch zum Messwert, d.h. dieselbe absolute Abweichung eines Messwertes wird nach unten und oben unterschiedlich bewertet.
- Der GEH ist kein einheitenloses Gütemaß.

Aufgrund dieser Problemfelder wird in dieser Arbeit vom Gütemaß GEH abgesehen und stattdessen der von Friedrich et al. (2019) entwickelte SQV -Wert verwendet.

5.4.2 Gütemaß SQV

Das Gütemaß g_{SQV} (Scalable Quality Value) setzt sich wie folgt zusammen:

$$g_{SQV} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{(m-c)^2}{f \cdot c}}} \quad (15)$$

mit:

g_{SQV}	Gütemaß SQV
m	Verkehrsstärke des Modells
c	Verkehrsstärke der Erhebung
f	Skalierungsfaktor

Mithilfe des Skalierungsfaktors f lassen sich mit dem SQV-Wert auch andere Mobilitätskenngrößen, wie z.B. die Reiseweitenverteilung pro Person, bewerten. Dieser Faktor orientiert sich dabei an der typischen Größenordnung der Mobilitätskenngröße. Das bedeutet auch, dass bei einer anderen Einheit eine Umrechnung des Skalierungsfaktors erfolgen muss. Die in dieser Arbeit verwendeten Skalierungsparameter sind in der Arbeit von Friedrich et. al. (2019) angeführt.

Tabelle 27 zeigt, in welchem Bereich sich das Gütemaß SQV bewegen soll. Grundsätzlich gilt, dass 85% aller Untersuchungswerte mindestens den Wert 0,80 aufweisen sollten, um eine akzeptable Übereinstimmung zu erreichen.

Tabelle 27: Beurteilung des g_{SQV}

g_{SQV}	Beurteilung	Anwendung in Validierung
$\geq 0,90$	sehr gute Übereinstimmung	Mindeststandard bei Verkehrsstärken, der für 85% der Zählstellen eingehalten werden muss.
$\geq 0,85$	gute Übereinstimmung	
$\geq 0,80$	akzeptable Übereinstimmung	

In weiterer Folge werden nun einige Werte des Basisfalls mithilfe des Gütemaßes SQV analysiert und auf Validität überprüft.

Tägliche Verkehrsstärke

Tabelle 28 zeigt für die unterschiedlichen Verkehrsmittel und die jeweiligen Zählzeiten den Anteil an Werten, die den jeweiligen Grenzwert überschreiten. Für die Berechnung wird Formel (15) mit dem von Friedrich et al. (2019) entwickelten f -Faktor 10.000 verwendet. Dieser Faktor gilt für die Berechnung des SQV für die Verkehrsstärke pro Tag. Das Optimum wäre, wenn alle SQV-Werte den Wert 1 aufweisen würden, somit wären die Modelldaten ident mit den empirischen Daten. Die grau markierten Felder in Tabelle 28 dienen dazu, um darzustellen in welchem SQV Bereich 85% aller Kalibrierungsgrößen eine sehr gute, gute oder akzeptable Übereinstimmung zur statistischen Eingangsgröße aufweisen. So ergeben alle Berechnungen des SQV Faktors eine akzeptable Übereinstimmung, wobei für die Linienbeförderungsfälle eine gute bis sehr gute Übereinstimmung herrscht. 82% bzw. 83% aller zu untersuchenden Bus- bzw. Tramlinien erreichen den SQV-Wert von 0,90, womit beinahe eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und empirischen Daten

gegeben ist. Würden über 85% den Wert SQV-Wert $>0,90$ erreichen, so wäre eine sehr gute Übereinstimmung gegeben. Eine durchgehend sehr gute Übereinstimmung wäre durch weitere Kalibrierungen möglich, jedoch wurden in der Erstellung der Arbeit die vorliegenden Ergebnisse als ausreichend gut beurteilt.

Tabelle 28: Gütemaß SQV für die täglichen Verkehrsstärken

Verkehrsmittel	Modell- und Zähldaten	$g_{sqv} \geq 0,90$	$g_{sqv} \geq 0,85$	$g_{sqv} \geq 0,80$
Pkw	Zählstellen Asfinag ($n = 19$)	74%	84%	100%
	Zählstellen Graz ($n = 47$)	66%	81%	87%
Bus	Linienbeförderungen ($n = 17$)	82%	100%	100%
	Einsteiger je Hst. ($n = 71$)	56%	73%	85%
Tram	Linienbeförderungen ($n = 6$)	83%	100%	100%
	Einsteiger je Hst. ($n = 57$)	61%	74%	89%
Zug	Linienbeförderungen ($n = 7$)	86%	100%	100%

Die für die Berechnung notwendigen Daten werden aus Kapitel 5 verwendet. Der Parameter n gibt die jeweilige Anzahl an Zählstellen, Buslinien, Tramlinien, Haltestellen etc. an. Für die Buslinien werden somit beispielsweise 17 unterschiedliche Grazer Buslinien berücksichtigt. Die Linie 66 wird dabei nicht in die Qualitätsberechnung mit einbezogen, da die statistische Erhebung in diesem Fall lediglich eine Schätzung und keine genaue Zählung ist.

Bei den Einsteigern fließen alle Haltestellen mit Einsteigern über 500 Personen ein, wobei die Einsteigerzahlen von einigen Haltestellen aufsummiert werden mussten. Dieser Fall tritt auf, wenn beispielsweise eine Verkehrszelle an zwei Haltestellen derselben Linie angebunden ist. Da im Verkehrsmodell die Anbindungslänge keine Rolle spielt, sondern nur die Zugangs- und Abgangszeit wahlentscheidend ist, wählt der Homo Oeconomicus immer die Haltestelle bei der seine Reisezeit zum Ziel am geringsten ist. Beispielsweise wählt ein Bewohner des Brauquartiers in Puntigam für eine Fahrt ins Grazer Zentrum immer die Haltestelle Maut Puntigam anstatt der ebenfalls an die Verkehrszelle angebundene Haltestelle Brauquartier, da die gesamte Reisezeit geringer ist. In die Gegenrichtung würde er hingegen die Haltestelle Brauquartier nutzen. Bei der Tram werden die 57 am stärksten frequentierten Haltestellen und beim Bus die 71 meist belasteten Haltestellen berücksichtigt.

5.4.3 Coincidence Ratio

Hierbei wird untersucht, wie gut sich zwei Reiseweitenverteilungen überdecken (siehe Abbildung 25).

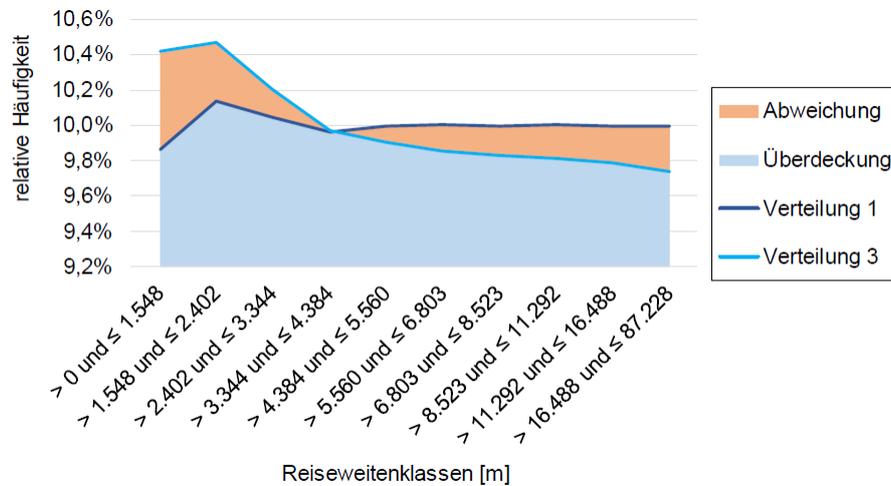


Abbildung 25: Quantifizierung der Übereinstimmung von Verteilungen mit dem Coincidence Ratio (Quelle: Friedrich, et al., 2019)

Die Formel für die *Coincidence Ratio* lautet wie folgt:

$$CoincidenceRatio = \frac{\sum_{k=1}^K \min\{p_k, q_k\}}{\sum_{k=1}^K \max\{p_k, q_k\}} \quad (16)$$

mit:

$$p_k = \frac{y_k}{\sum_{k=1}^K y_k} \quad \text{und} \quad q_k = \frac{z_k}{\sum_{k=1}^K z_k}$$

K Klassenanzahl

Y_k bzw. z_k Häufigkeit in der Klasse k

Die berechnete *Coincidence Ratio* hat einen Wertebereich von 0 bis 1, wobei 0 keine Übereinstimmung und 1 eine vollkommene Übereinstimmung bedeutet. Ab einem Wert von 0,7 wird von einer guten Übereinstimmung gesprochen. Im Zuge dieser Arbeit werden die *Coincidence Ratio*-Werte für die durchschnittliche Reiseweitenverteilung [km] pro Modus berechnet. Dabei werden die Modi ÖV und Pkw für Umland und Graz getrennt betrachtet. In Abbildung 26 sind die Überlagerungen der Pkw-Reiseweitenverteilung von Österreich Unterwegs und GUARD20 sichtbar. Auffallend dabei ist, dass in Graz der Anteil der mittleren Strecken (2,5-10 km) höher ist als jener im Umland. Tabelle 29 zeigt, dass die *Coincidence Ratio*-Werte der Pkw-Reiseweiten eine gute Übereinstimmung aufweisen, da die Werte mit 0,81 bzw. 0,84 deutlich höher sind als die geforderten 0,7.

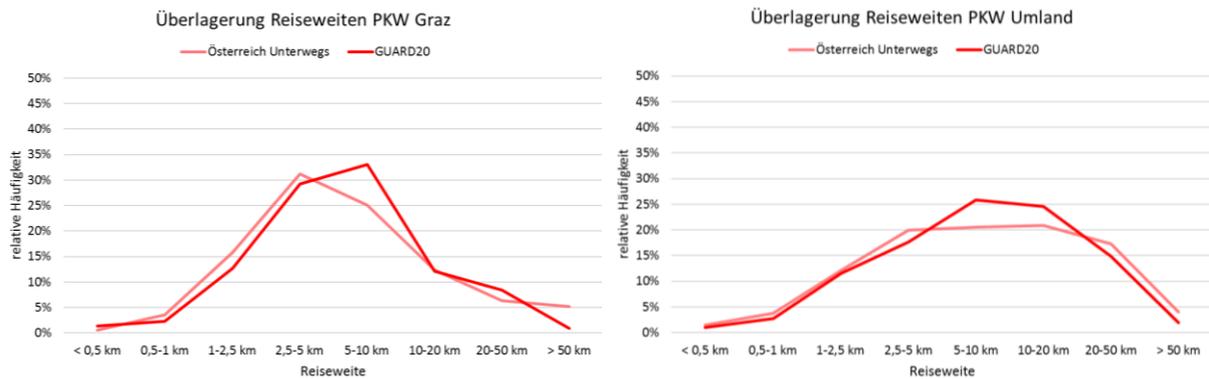


Abbildung 26: Überlagerung der Pkw-Reiseweitenverteilung aus GUARD20 und Österreich Unterwegs

Abbildung 27 zeigt die Überlagerungen der ÖV-Reiseweitenverteilungen. Hier ist bei der Grazer Bevölkerung der Peak bei 2,5-5 km deutlich zu erkennen. Im Umland hingegen ist der Anteil der längeren Reiseweiten höher als in Graz. Der Grund dafür ist, dass die Bedienungshäufigkeit und das Angebot viel niedriger sind als in der Stadt und somit beispielsweise die kurzen Wege zur Arbeit eher mit dem Pkw zurückgelegt werden. Zusätzlich ist das Bildungsangebot in Graz höher, wodurch viele Schüler in die Stadt pendeln und somit große Reiseweiten zurücklegen.

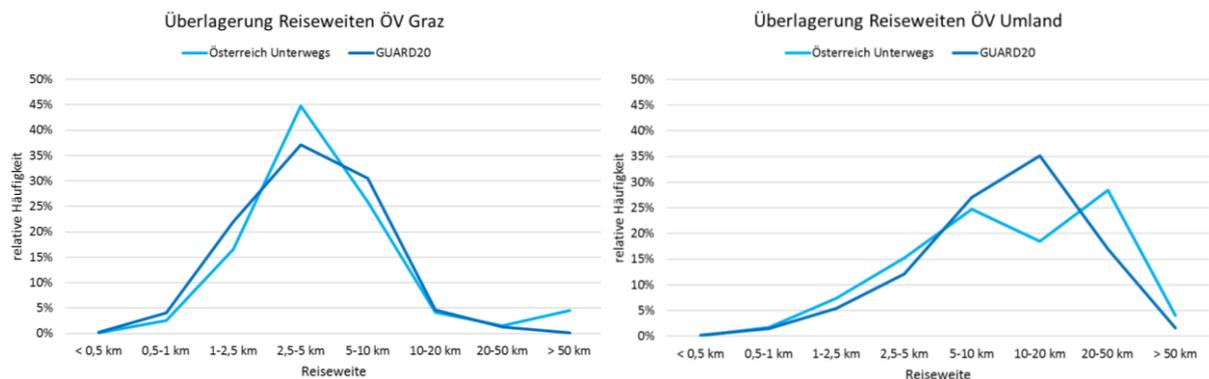


Abbildung 27: Überlagerung der ÖV-Reiseweitenverteilung aus GUARD20 und Österreich Unterwegs

Die *Coincidence Ratio* der ÖV-Reiseweiten weist für die Grazer eine gute Übereinstimmung zwischen Befragung und Modellierung auf. Für die Umlandbevölkerung wird der geforderte Wert von 0,7 knapp nicht erreicht. Das ist auf die Unsicherheit der Befragung aus Österreich Unterwegs zurückzuführen. Eine große Rolle spielt dabei die hohe Differenz zwischen Modell und Befragung zwischen 10 und 20 km (siehe Abbildung 27 Bild rechts). Der Knick bei der in Österreich Unterwegs ermittelten Daten ist kritisch zu betrachten.

Tabelle 29: Coincidence Ratio der Reiseweiten pro Person und Modus

Modi	Bevölkerungsgruppe	Coincidence Ratio	Beurteilung
ÖV	Graz	0,78	✓
	Umland	0,68	✗
Pkw	Graz	0,81	✓
	Umland	0,84	✓

Auffallend ist, dass die Pkw Reiseweitenverteilungen eine höhere *Coincidence Ratio* aufweisen und somit die Realität besser widerspiegeln als jene des öffentlichen Verkehrs.

5.4.4 Sensitivitätstest

Im Zuge dieses Tests wird geprüft, ob bei Änderungen der Variablen die Wirkungen auf das Modell im erwarteten Größenbereich liegen. Hierzu werden die Siedlungsstrukturdaten und die Variablen des Verkehrsangebots in kontrollierter Weise verändert. Daraufhin werden die Nachfrageänderungen ermittelt und ein Maß für die Stärke der Nachfrageveränderung sind Elastizitäten. In dieser Qualitätsuntersuchung wird die Veränderung der Einwohnerzahl und die Variation der Streckenkapazität einer Strecke berücksichtigt.

Veränderung der Einwohnerzahl

Die Einwohnerzahl im gesamten Untersuchungsraum wird um 10%, 20% und 50% erhöht. Die Elastizität wird wie folgt berechnet:

$$\varepsilon = \frac{\ln\left(\frac{\text{Verkehrsaufkommen}_{\text{nachher}}}{\text{Verkehrsaufkommen}_{\text{vorher}}}\right)}{\ln\left(\frac{\text{Einwohner}_{\text{nachher}}}{\text{Einwohner}_{\text{vorher}}}\right)} \quad (17)$$

wobei:

$\varepsilon < 1$ für kapazitätsabhängige Modi (Pkw, Pkw-Mitfahrer) sein soll

$\varepsilon > 1$ für kapazitätsunabhängige Modi (Fuß, Rad, ÖV) sein soll

Tabelle 30 zeigt die Elastizitätswerte der einzelnen Modi durch die jeweilige Einwohnererhöhung (+10%, +20% und +50%). Dabei ist erkennbar, dass alle ε bei allen Steigerungsvarianten im gewünschten Bereich liegen. Die kapazitätsabhängigen Modi (Pkw und Pkw-Mitfahrer) haben ein $\varepsilon < 1$ und nehmen somit relativ gesehen weniger stark zu als die kapazitätsunabhängigen (Fuß, ÖV, Rad; $\varepsilon > 1$). Beim Öffentlichen Verkehr tritt anteilmäßig die höchste Zunahme der Verkehrszahlen auf. Den niedrigsten Elastizitätswert und somit die niedrigste prozentuelle Zunahme erfährt der Pkw-Mitfahrer. Auffallend ist, dass ε bei den Varianten mit einer Einwohnererhöhung um 10% und 20% annähernd ident ist. Durch eine Erhöhung der Bevölkerungszahlen um 50% nehmen die ε -Werte der kapazitätsunabhängigen Modi weiter zu und jene der kapazitätsabhängigen werden geringer. Der Grund dafür ist, dass die Streckenkapazitäten durch zusätzliche Personen (Fahrzeuge) eher ausgelastet sind und somit längere Reisezeiten entstehen. Aufgrund dessen werden jene Modi, die kapazitätsunabhängig sind und durchgehend die gleiche Reisezeit haben, attraktiver und deshalb öfter ausgewählt. Das bedeutet also, dass, je größer die Einwohnerzahl bei gleichbleibendem Streckennetz ist, desto größer ist der prozentuelle Zuwachs der kapazitätsunabhängigen Modi und desto kleiner der prozentuelle Zuwachs bei kapazitätsabhängigen Modi. In der Realität ist der Öffentliche Verkehr nicht kapazitätsunabhängig. Das liegt zum einen daran, dass der Bus oder die Tram in gewissen Abschnitten dieselben Verkehrsflächen wie der mIV nutzen und zum anderen die Gefäßgrößen begrenzt sind.

Tabelle 30: Elastizitätswerte bei Steigerung der Einwohner um 10%, 20% und 50%

		Einwohner +10%		Einwohner +20%		Einwohner +50%	
Modi	Verkehr Basisfall	Verkehr	$\epsilon_{+10\%}$	Verkehr	$\epsilon_{+20\%}$	Verkehr	$\epsilon_{+50\%}$
Fuß	340.300	381.800	1,21	424.200	1,21	561.300	1,23
Mitfahrer	308.800	332.000	0,76	354.400	0,76	414.500	0,73
ÖV	276.600	313.000	1,30	350.800	1,30	475.500	1,34
Pkw	1.269.800	1.381.800	0,89	1.491.600	0,88	1.798.000	0,86
Rad	212.400	240.100	1,29	268.500	1,29	362.700	1,32

Variation der Streckenkapazität für ausgewählte Netzelemente

Ebenso wird die Veränderung der Belastungen untersucht, wenn die Streckenkapazität für ausgewählte Netzelemente verringert oder auf null gesetzt wird. Dabei werden zwei Varianten untersucht. Im ersten Fall wird der Plabutschtunnel, also der A9 Streckenabschnitt zwischen Graz Nord und Graz-Webling, temporär für einen Tag gesperrt. Im zweiten Fall wird untersucht, welche Auswirkungen es haben würde, wenn der Plabutschtunnel nicht existieren würde bzw. wenn er dauerhaft geschlossen werden würde. Dies dient lediglich zur Untersuchung, ob das Modell reagiert.

Temporäre Streckensperre Plabutschtunnel

In Abbildung 28 ist die Veränderung der PKW-Belastungen zwischen dem Sperrfall und dem Basisfall dargestellt. Hier ist erkennbar, dass aufgrund der Sperre viel mehr Verkehr in der Innenstadt auftritt. Grund dafür ist der vermehrte Durchgangsverkehr. Ebenfalls wird ein Teil der Belastungen der A9 von den Landesstraßen im Westen aufgenommen. Die ÖV-Belastungen sind ident mit jenen im Basisfall. Das ist deshalb der Fall, da keine neue Zielwahl durchgeführt wird, weil der Tunnel lediglich für einen Tag gesperrt ist und deswegen würde z.B. kein Arbeitnehmer aufgrund der erhöhten Reisezeiten eine neue Arbeitsstelle suchen.

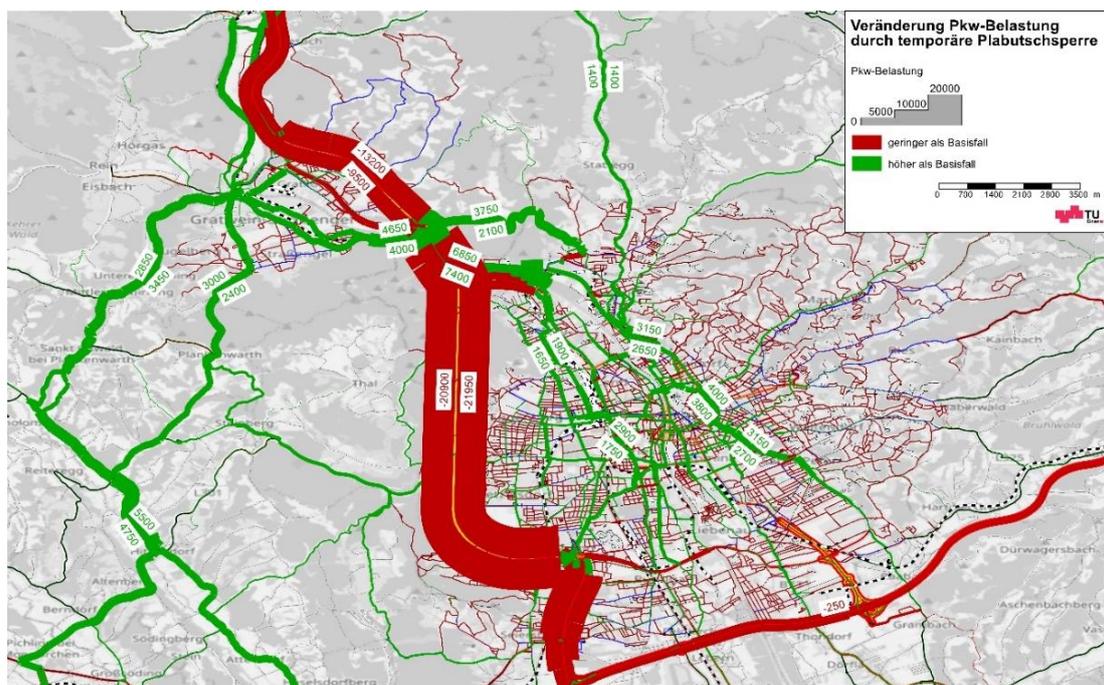


Abbildung 28: Veränderung der PKW-Belastung im Großraum Graz aufgrund **temporärer** Sperre des Plabutschunnel

Dauerhafte Streckensperre Plabutschtunnel

Durch die dauerhafte Sperre des Plabutschtunnels und der damit einhergehenden beständig stark erhöhten Reiseweiten und Reisezeiten werden von den Einwohnern aufgrund der geringeren Attraktivität nähere Ziele gewählt. Dadurch nehmen die Fahrten im Stadtgebiet im Vergleich zum Basisfall zwar zu, doch im Gegensatz zur temporären Streckensperre werden die Streckenbelastungen im Stadtgebiet kleiner. In Abbildung 29 ist der Belastungsunterschied des PKW-Verkehrs zwischen Basisfall und der dauerhaften Sperre angeführt. Hier fällt vor allem auf, dass im Bereich der Glacisstraße und Petersgasse beinahe keine Fahrtenzunahme auftritt und verglichen mit der temporären Sperre fast 3.000 Fahrten pro Richtung weniger auftreten (Vergleich zwischen Abbildung 28 und Abbildung 29).

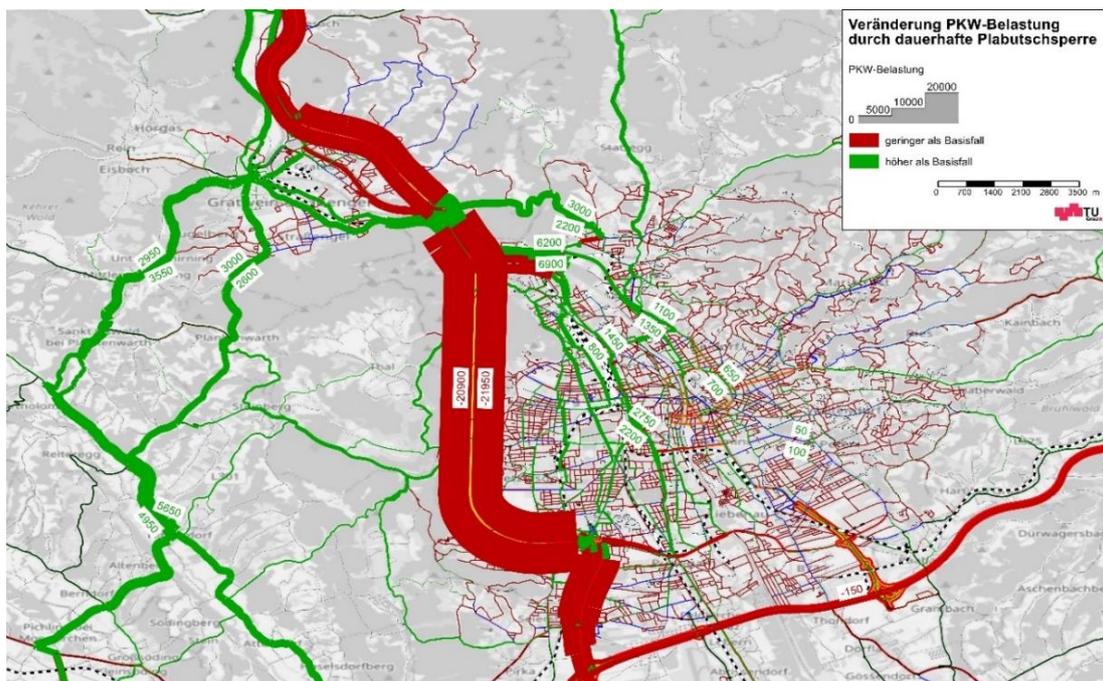


Abbildung 29: Veränderung der PKW-Belastung im Großraum Graz aufgrund **dauerhafter** Sperre des Plabutschtunnels

Aufgrund der höheren Reisezeit des PKW-Verkehrs nehmen auch die Zugfahrten, vor allem aus dem Norden, stark zu (siehe Abbildung 30). Dadurch steigen auch die Tram-Fahrten innerhalb des Stadtgebiets. Dabei sind vor allem die 1.700 zusätzlichen Linienbeförderungsfälle zwischen Hauptplatz und Jakominiplatz hervorzuheben. Die Linienbeförderungen in der Annenstraße mit den Linien 1, 3, 6 und 7 nehmen ebenfalls zu.

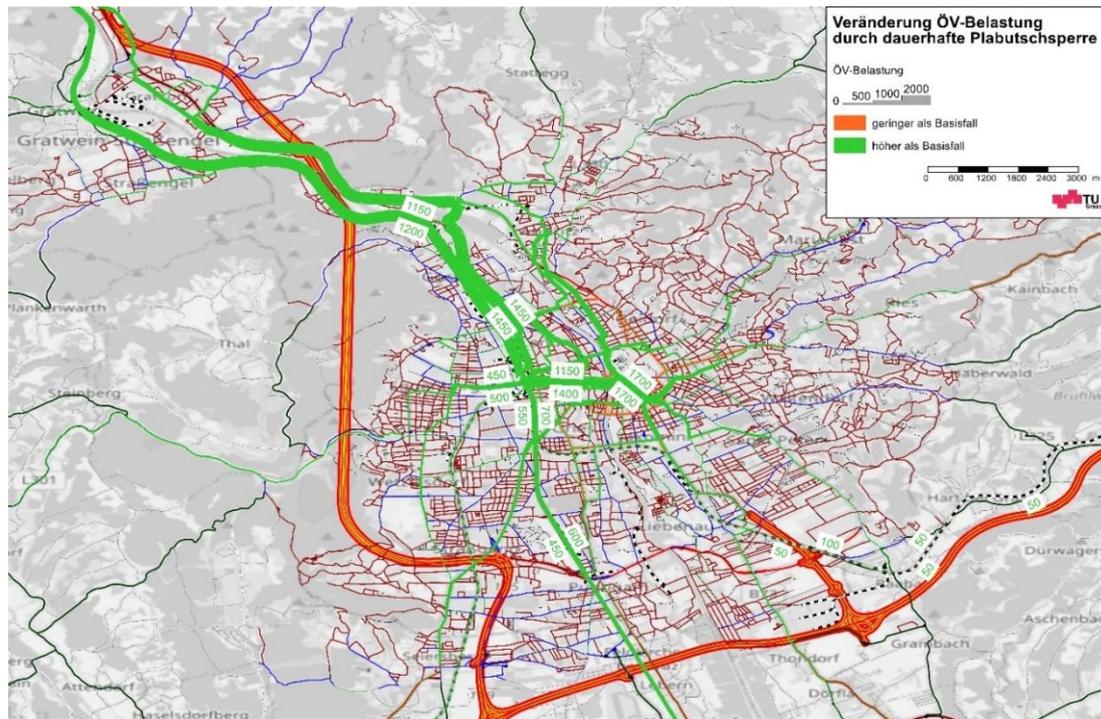


Abbildung 30: Veränderung der ÖV-Belastung im Großraum Graz aufgrund **dauerhafter** Sperre des Plabutschtunnels

Grundsätzlich kann man anhand dieser beiden Fälle erkennen, dass das GUARD20 auf Veränderungen richtig reagiert. Durch die dauerhafte Verschlechterung des mIV nimmt die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs zu und diejenigen, die weiterhin den PKW benützen, müssen einen Umweg durch das Stadtgebiet oder über die Landstraßen in Kauf nehmen.

Zusammenfassend kann bezüglich der unterschiedlichen Qualitätskenngrößen gesagt werden, dass alle Ergebnisse zufriedenstellend sind und das Modell somit **valide** ist.

6 Systemvarianten des Öffentlichen Verkehrs in Graz

6.1 ÖPNV Netz 2023

Das Grundnetz aus dem Bestandsjahr 2020 wurde bereits in Abschnitt 2.6 dargestellt und beschrieben. Bis 2023 soll ein umfangreicher Ausbau des Straßenbahnnetzes erfolgen. Das geplante Netz ist in Abbildung 31 ersichtlich und ist das Netz, das im Referenzfall verwendet wird. Der Referenzfall bildet die Basis für alle weiteren Szenarien.

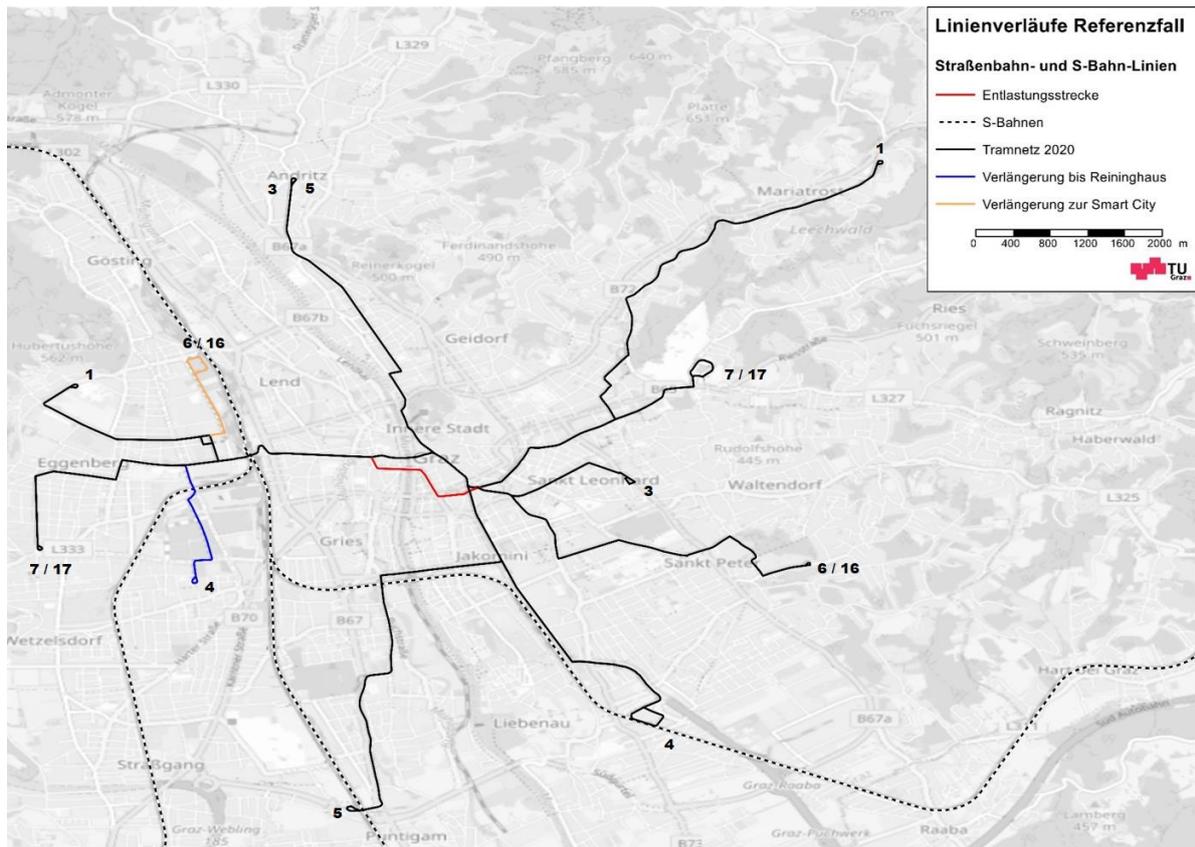


Abbildung 31: Linienvverläufe ÖV2023

Zum bereits bestehenden Straßenbahnnetz ist eine Entlastungsstrecke über Neutorgasse, Andreas-Hofer-Platz und Belgiergasse als Innenstadtentflechtung geplant. Dabei wird der Takt der bisherigen Linien 6 und 7 auf die neuen Linien 16 und 17 aufgeteilt. Die Linien 6 und 7 werden außerdem bis zur Smart City verlängert. Die Streckenabschnitte der Linien 3 und 4 werden getauscht. Der Grund dafür ist, dass Fahrgäste, die über den Hauptbahnhof anreisen, somit gleich direkt ohne Umstiege zu Zielen im Bereich südlich des Jakominiplatzes gelangen. Die Idee dabei ist, dass damit die vielen Arbeitsplätze (u.a. Styria Media Center) und Ausbildungsplätze (HAK und BORG Monsberger) für Personen außerhalb von Graz direkt angefahren werden können. Die neue Linie 3 führt damit von Andritz zur Krenngasse. Die Linie 4 wird bis Reininghaus verlängert und fährt von der Hummelkaserne bis nach Liebenau. Zusätzlich zu den neuen Trassen werden auch die eingleisigen Bereiche zwischen Mariatrost und Mariagrün (Linie 1) bzw. Maut Puntigam und Zentralfriedhof (Linie 5) zweigleisig ausgebaut. (TU Graz - ISV, et al., 2019).

In Tabelle 31 sind die geplanten bzw. bereits in Bau befindlichen Linienführungen für das Jahr 2023 angeführt.

Tabelle 31: Start- und Endhaltestellen der Straßenbahnlinien 2023

Nr.	Linie
1	Eggenberg / UKH – Mariatrost
3	Andritz – Krenngasse
4	Hummelkaserne – Liebenau / Murpark
5	Andritz – Puntigam
6	Smart City – St.Peter
7	Wetzelsdorf - LKH Med Uni / Klinikum Nord (über Hauptplatz bzw. Jakominiplatz)
16	Smart City – St.Peter (über Neutorgasse)
17	Wetzelsdorf - LKH Med Uni / Klinikum Nord (über Neutorgasse)

Bei den **Buslinien** wird der Takt der Linien 31 und 40 verdichtet. Linie 58E dient als Verstärkerlinie zwischen Hauptbahnhof und Uni/RESOWI. Linie 65 wird von der Eggenberger Allee über das UKH – Kalvariengürtel bis zum WIFI verlängert. Linie 62 verläuft bis Peter-Rosegger-Straße ident, danach wird sie allerdings über Reininghaus und die Georgigasse nach Gösting geleitet. Linie 85 wird zudem eingestellt.

Da die Untersuchung auf das Prognosejahr 2030 bezogen ist, wird im Straßennetz die Unterführung unter der Marienhütte von der Josef-Huber-Gasse zu den Reininghausgründen bereits mitberücksichtigt, ebenso das neue Straßennetz in Reininghaus.

6.2 Tram Erweiterungen 2030 (Hüsler-Studie)

In Abbildung 1 wurden die Hüsler Linien in blau, orange und grün dargestellt. Das ÖV-Straßenbahnnetz aus dem Referenzfall ist schwarz abgebildet. Die genauen Linienführungen werden nachfolgend textlich beschrieben.

Linie 2 (orange):

Hauptbahnhof – Marienplatz – Lendplatz/tim – Keplerbrücke – Grabenstraße – Wormgasse – Geidorfplatz – Uni/Mozartgasse – Uni/Resowi – Geidorfgürtel – Leonhardgürtel – Reiterkaserne – Odilien-Institut/Klinikum – St.Leonhard/Klinikum Mitte – LKH Med Uni/ Klinikum Nord

Linie 8 (blau):

Weblinger Straße – Stregengasse – Harter Straße – Ankerstr. – Zweierbosniakengasse – Gablenzkaserne – Grottenhofstr. – Peter-Rosegger-Str. – Abstallerstr. – NVK Wetzelsdorf/Reininghaus – Don Bosco Bhf. – Hohenstaufengasse/Citypark – Karlauer Kirche/ Citypark – Albert-Schweitzer-Gasse – Griesplatz – Wielandgasse – Jakominiplatz

Linie 9 (grün):

NVK Gösting – Exerzierplatzstr. – Zankstraße – Schippingerstr. – Hirtenkloster – Fröbelpark – Bienengasse – Am Damm – Zeillergasse – Lendplatz/tim – Volksgartenstr. – Roseggerhaus – Südtiroler Platz/Kunsthau – Hauptplatz/Congress – Jakominiplatz

Die **Linie 9 und 19** haben die identen Haltestellen. Jedoch wird das Stadtzentrum in einer Schleifenführung in beide Richtungen (Linie 9 im Uhrzeigersinn, Linie 19 gegen den Uhrzeigersinn) durchfahren. Die Veränderungen der Buslinien werden in den einzelnen Hüsler-Planfällen individuell betrachtet (Abschnitt 7).

6.3 Urbane Seilbahn

Die Seilbahn wird als 3-Seil-System ausgeführt und verläuft von der Weinzödlbrücke im Norden entlang der Mur bis zur Puntigamer Brücke (Nähe Murfelder Straße). Von dort führt sie weiter in den Westen bis zur Park&Ride Anlage Webling. In Abbildung 32 sind der Verlauf und die einzelnen Haltestellen grafisch dargestellt. Tabelle 32 liefert die Haltestellenabstände und die dazugehörigen Fahrzeiten zwischen den Haltestellen. Dabei ist erkennbar, dass die Gesamtlänge 11,9 km beträgt und sie somit gleich lang wie die in 6.4.1 angeführte U1 ist. Die Fahrzeit der Seilbahn beläuft sich auf knapp 34 Minuten. Sie ist somit um 14 Minuten langsamer als die U1. Der größte Haltestellenabstand tritt zwischen der Bertha-von-Suttner-Brücke und der Puntigamer Brücke mit 2,7 km auf. Durch die Linienführung entlang der Mur ist die Seilbahn baulich und Haltestellentechnisch eingeschränkt.

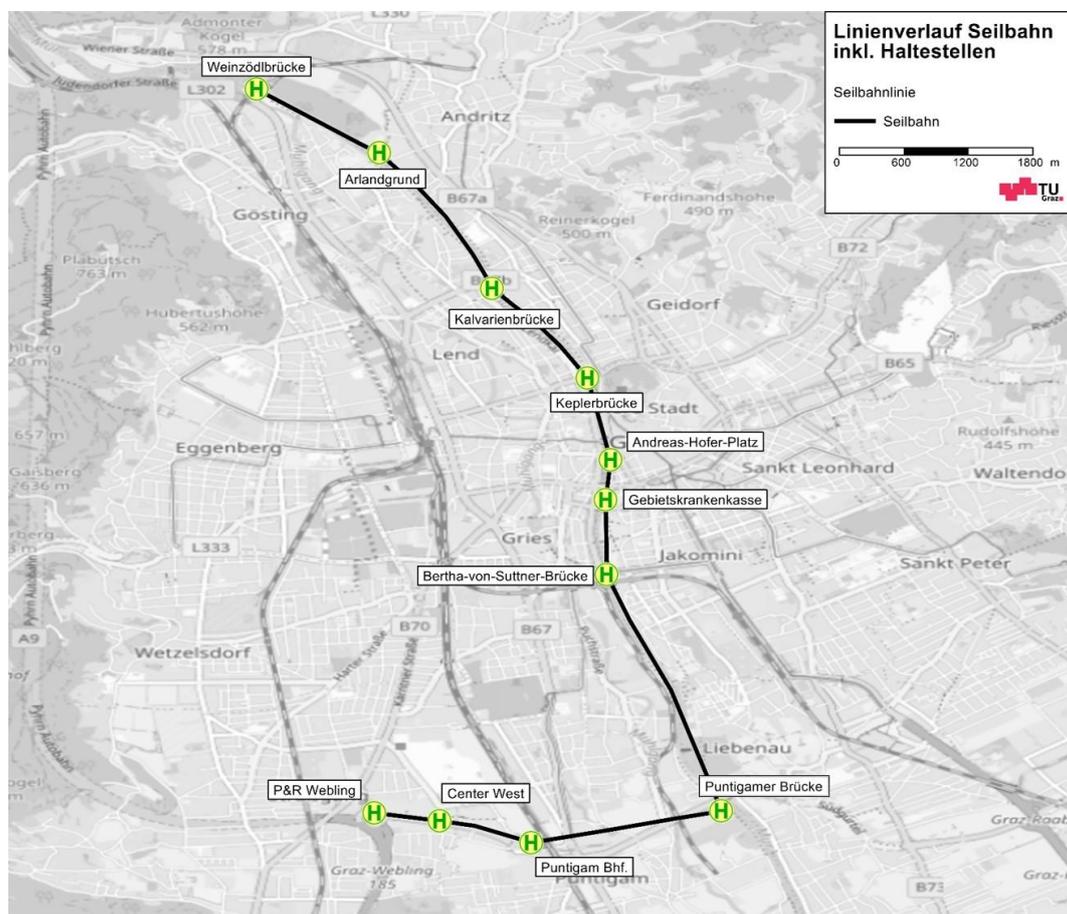


Abbildung 32: Linienerlauf Seilbahn

Die Fahrpläne und Fahrzeiten wurden vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz entwickelt und zur Verfügung gestellt (Fallast, et al., 2016). Die max. Geschwindigkeit der Seilbahn wurde dabei mit 7,5 m/s (27 km/h) angenommen, was vergleichbaren 3-Seil-Umlaufsystemen in anderen Städten entspricht. Die in Tabelle 32 angeführte kumulierte Fahrzeit setzt sich aus der Fahrzeit mit maximaler Geschwindigkeit, der Beschleunigungs- und Verzögerungszeit vor und nach der Haltestelle und der Fahrzeit mit verminderter Geschwindigkeit in der Station aufgrund der Ein- und Ausstiege der Fahrgäste zusammen. Der Fahrplan ist über den Tag gleichmäßig verteilt. So steht von 5:00 bis 23:00 alle 42 Sekunden eine Kabine für den Ein- und Ausstieg zur Verfügung. Bei einer Kabinengröße der 3S-Seilbahn mit einem Fassungsvermögen von 35 Personen und einem Takt von 42 Sekunden erreicht man eine Förderleistung von 3.000 Personen pro Stunde und Richtung.

Tabelle 32: Verlauf Seilbahn von Nord nach Süd (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit)

Haltestelle	kumulierte Länge [km]	kumulierte Fahrzeit
Weinzödlbrücke	0	0
Arlandgrund	1,2	2min 44s
Kalvarienbrücke	2,9	7min 28s
Keplerbrücke	4,2	11min 4s
Andreas-Hofer-Platz	5,1	13min 57s
Gebietskrankenkasse	5,5	15min 55s
Bertha-von-Suttner-Brücke	6,4	18min 37s
Puntigamer Brücke	9,1	25min 39s
Puntigam Bahnhof	10,6	29min 48s
Center West	11,4	32min 25s
P&R Webling	11,9	34min 23s

Haltestellen

Ziel der Implementierung einer Seilbahn in Graz ist zum einen die Entlastung der Zufahrtstraßen in die Innenstadt aufgrund der Pendler. Dafür werden die bestehenden P&R Anlagen bei der Weinzödlbrücke und in Webling angebunden und ausgebaut (jeweils 1.500 Stellplätze im Endausbau). Zusätzlich wird eine geplante P&R Anlage bei der Haltestelle Puntigamer Brücke (nahe bestehender Haltestelle Murfelder Straße) mit 2.000 Stellplätzen ebenfalls mitberücksichtigt. Zum anderen soll die Seilbahn als Alternative zu den bestehenden Straßenbahnlinien 4 und 5 dienen, um diese ebenfalls zu entlasten.

Die Haltestellenwahl ist aufgrund der Trassierung entlang der Mur stark eingeschränkt. Haltestellen können nicht an Orten platziert werden, an denen ein hohes Quell- oder Zielpotential vorhanden ist, sondern nur an Orten, wo eine bauliche Umsetzung im Rahmen der Nutzung von öffentlichen Flächen möglich ist. Unter diesen Rahmenbedingungen wird versucht, so attraktive Standorte wie möglich für potenzielle Fahrgäste festzulegen.

Der Innenstadtbereich ist mit den Stationen Keplerbrücke, Andreas-Hofer-Platz, Gebietskrankenkasse und der Bertha-von-Suttner-Brücke angebunden. Die Wahl der Haltestelle Keplerbrücke ist neben dem hohen Potential aufgrund der Wohnbesiedelung vor allem die Verknüpfung zu den Straßenbahnlinien 3 und 5 und den Buslinien 58 und 63, die beide zur Karl-Franzens-Universität führen. Der Andreas-Hofer-Platz weist aufgrund der Nähe zum Hauptplatz ein großes Fahrgastpotential auf. Außerdem dient er als zentraler Umsteigepunkt zwischen der Nord-Süd-Verbindung (Seilbahn) und den Ost-West-Verbindungen (Straßenbahnlinien 16 und 17). Ebenfalls wäre er als Verknüpfungspunkt zur U1 (West-

Ost-Verbindung) vorgesehen. Die Stationen Gebietskrankenasse und Bertha-von-Suttner-Brücke weisen ein hohes Freizeitangebot mit dem Augarten in Fußdistanz sowie einer hohen Bevölkerungsdichte im Bezirk Jakomini auf. Zusätzlich befindet sich ein hohes Einkaufspotential in der Nähe der Bertha-von-Suttner-Brücke und zahlreiche Arbeitsplätze in der Gebietskrankenasse an der gleichnamigen Haltestelle. Die Anbindung des Bahnhofs in Puntigam dient als Verknüpfung zum S-Bahn-Verkehr. Die Seilbahn weist eine Fahrzeit in die Innenstadt zum Andreas-Hofer-Platz von 15 Minuten auf. Im Vergleich dazu benötigt die Linie 5 von Bahnhof Puntigam zum Hauptplatz 21 Minuten. Somit ist neben der höheren Zuverlässigkeit auch eine Fahrzeiterparnis von 6 Minuten gegeben.

Tabelle 33: wichtigste Haltestellen der Seilbahn und die Intention für die Stationswahl

Haltestelle	Grund für die Haltestellenlage
Weinzödlbrücke	attraktiver Umsteigepunkt für Pkw-Fahrer (P&R Anlage mit 1.500 Stellplätzen)
Kalvarienbrücke	Verknüpfung zu Linien 53 und 65
Keplerbrücke	dichte Wohnbesiedelung Verknüpfung zu Linien 3 und 5
Andreas-Hofer-Platz	Nähe zum Hauptplatz Verknüpfung zum Busverkehr bzw. Straßenbahnverkehr (Linie 16 und 17) (mögliche Verknüpfung zur U1)
Gebietskrankenasse	Verknüpfung zum Busverkehr Arbeitsplätze (Gebietskrankenasse) hohe Bevölkerungsdichte
Bertha-von-Suttner-Brücke	Freizeit (Augarten, Raiffeisen Sportpark Graz) hohe Bevölkerungsdichte Einkaufspotential
Puntigamer Brücke	attraktiver Umsteigepunkt für Pkw-Fahrer (P&R Anlage mit 2.000 Stellplätzen)
Puntigam Bahnhof	Verknüpfung zum S-Bahn Verkehr
Center West	zahlreiche Einkaufsmöglichkeiten
P&R Webling	großes Wohnprojekt (ca. 600 Wohneinheiten) und bereits bestehende hohe Wohnbebauung attraktiver Umsteigepunkt für Pkw-Fahrer (P&R Anlage mit 1.500 Stellplätzen)

Eingabeparameter für die Modellierung

Für die Modellierung der Seilbahn im Zuge der Untersuchung der einzelnen Varianten in Kapitel 7 werden in Tabelle 34 die Eingabeparameter angeführt. Die Zu- und Abgangszeiten der Seilbahn werden dabei um eine Minute im Vergleich zur ZuAb der Tram verkürzt. Der Grund dafür ist, dass im Verkehrsmodell die Fahrgäste immer zum optimalen Zeitpunkt die Haltestelle erreichen und somit beim ersten ÖV-Verkehrssystem keine Wartezeiten auftreten. Da jedoch die Straßenbahn im Normalfall nur alle 7,5 – 10 min fährt und die Seilbahn einen Takt von 42 Sekunden aufweist, wird durch die Verringerung der Zu- und Abgangszeit die Wartezeit bei der Haltestelle berücksichtigt. Die Anbindungslänge wird mit maximal 400 m angenommen. Das ergibt eine durchschnittliche Anbindungslänge von 280m. Die Verteilung der Straßenbahnanbindungslängen ist in Abbildung 34 dargestellt und der Mittelwert davon beträgt ebenfalls 280 m. Die Verspätungen der Tram Linien

werden nicht berücksichtigt und die Fahrzeiten je Verkehrssystem sind ident mit jenen der Straßenbahnen.

Tabelle 34: Parameter für die Seilbahn Planfälle

Zu- und Abgangszeit	Anbindungs-länge (max.)	Takt	Verspätung Tram Linien	Faktor Fahrzeit je Vsys	
				Umland	Graz
Tram -2 min	400 m	42 sec.	n.b.	0,05	0,12

6.4 U-Bahnen

Ziel der Trassierung war es, möglichst viele Orte in Graz zu erreichen, die ein hohes Attraktions- und Anziehungspotential und somit eine hohe Wahrscheinlichkeit von hohen Fahrgastzahlen haben. Die Linienführungen wirken aus diesem Grund auf den ersten Blick möglicherweise etwas ungewöhnlich, halten sich dabei aber an Vorbilder in anderen Städten Europas. Dem Fahrgast wird die ungewöhnliche Linienführung jedoch am Linienplan oder auch aufgrund der Fahrzeit kaum auffallen. Die Trassierung der U-Bahn Linien wurde in Zusammenarbeit vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft sowie dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz außerhalb dieser Masterarbeit entwickelt. Zusätzlich wurden der Fahrplan und die Übergangsgehzeiten innerhalb einer Haltestelle zur Verfügung gestellt. In Abbildung 33 sind die Verläufe der beiden U-Bahnen dargestellt. Der West-Ost Korridor verläuft von Eggenberg zum Berliner Ring und der Nord-Süd Korridor von Gösting bis Webling. Die für die Modellierung benötigten Eingabeparameter werden in Abschnitt 6.5 ermittelt. Nun wird auf beide Linien genauer eingegangen.

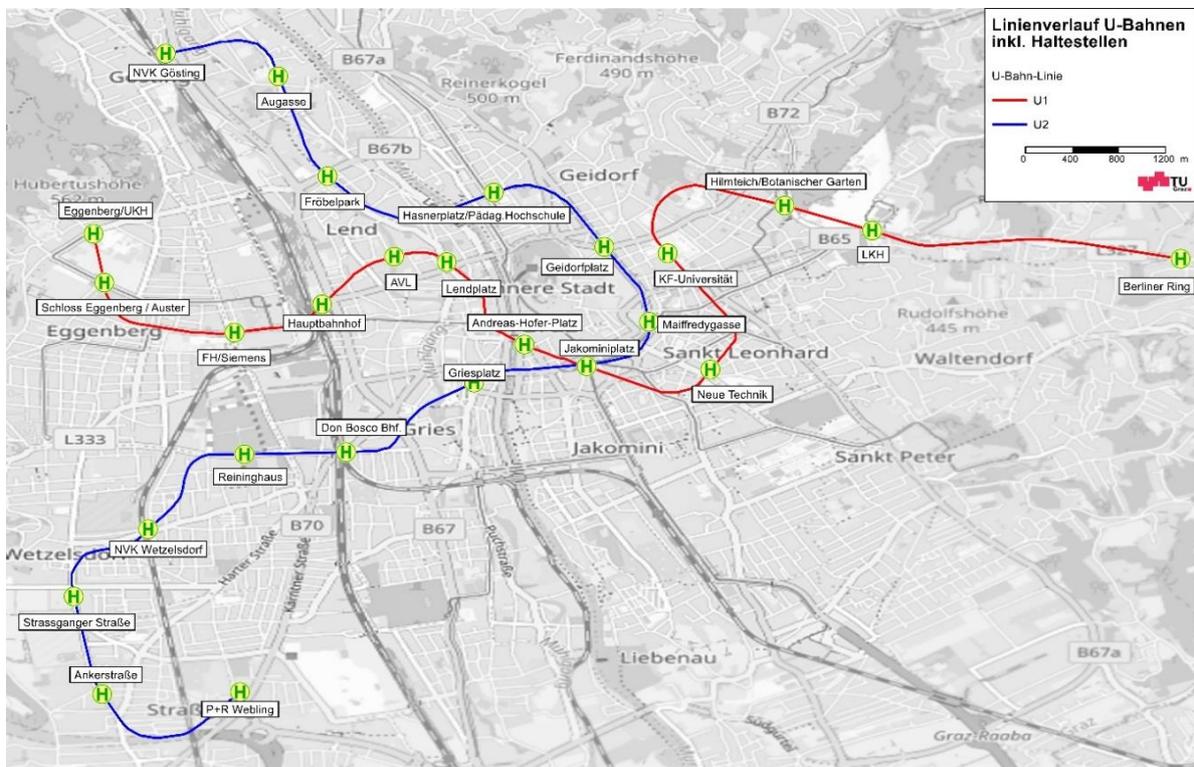


Abbildung 33: Linienverläufe U-Bahn

6.4.1 West-Ost-Korridor (U1)

Verlauf

Die Linie U1 hat eine Gesamtlänge von 11,9 km. Die Fahrt pro Richtung dauert in Summe 20 Minuten. Sie läuft zu großen Teilen parallel zur bestehenden Straßenbahnlinie 7. Die Überlegung hinsichtlich der Trassierung ist, die Haltestellen so auszuwählen, um möglichst viele potenzielle Fahrgäste anzubinden. Daraus ergibt sich der in Tabelle 35 dargestellte Verlauf (von West nach Ost).

Tabelle 35: Verlauf U1 (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit)

Haltestelle	kumulierte Länge [km]	kumulierte Fahrzeit [min]
Eggenberg/UKH	0,0	0
Schloss Eggenberg/Auster	0,5	1
FH/Siemens	1,8	3
Hauptbahnhof	2,5	4
AVL	3,1	5
Lendplatz	3,7	7
Andreas-Hofer-Platz	4,6	8
Jakominiplatz	5,1	10
Neue Technik/Sacre Coeur	6,1	11
Karl-Franzens-Universität	7,5	13
Botanischer Garten/Hilmteich	9,0	15
LKH	9,7	17
Berliner Ring	11,9	20

Haltestellen

In Tabelle 36 werden einige Gründe für die Wahl der wichtigsten Haltestellen angeführt. So sind die Hauptgründe für die Wahl einer Station beispielsweise die Anbindung für Studenten und Schüler. Vor allem die größte Bildungseinrichtung in Graz, die Karl-Franzens-Universität in Geidorf, wird bisher lediglich über Busverbindungen erreicht. Zusätzlich wird darauf geachtet, die U-Bahn mit den Straßenbahnen und den regionalen und überregionalen Zügen zu verknüpfen. Hier sind Hauptbahnhof, Andreas-Hofer-Platz und speziell der Jakominiplatz hervorzuheben. Der Jakominiplatz wäre ebenfalls für die Verknüpfung zwischen U1 und U2 vorgesehen. Einen großen Einfluss auf die Wahl spielt auch die Wohnbesiedelung. So wird berücksichtigt, dass jene Bereiche Zugang zur U-Bahn erhalten, die eine hohe Bevölkerungsdichte aufweisen. Auf der gesamten Strecke werden durch den Linienverlauf ebenfalls viele Unternehmen angebunden. Das LKH in St. Leonhard ist hier beispielsweise nicht nur aufgrund der Patienten und Besucher angebunden, sondern auch aufgrund der vielen Arbeitsplätze, da das LKH einer der größten Arbeitgeber in Graz ist. Ebenso ist hier auch der Arbeitgeber AVL zu erwähnen. Außerdem wird beim LKH die U1 mit der Straßenbahnlinie 7 verknüpft. Die Wohnsiedlung Berliner Ring wird ebenfalls an die U1 angebunden, da dort viele Wohneinheiten existieren und derzeit nur die Möglichkeit besteht, mit Linie 58 bis zum LKH und anschließend mit der Linie 7 in die Innenstadt zu gelangen.

Tabelle 36: wichtigste Haltestellen der U1 und die Intention für die Stationswahl

Haltestelle	Grund für die Haltestellenlage
FH Joanneum/Siemens	Anbindung für Studenten Unternehmen Siemens Mobility Austria
Hauptbahnhof	Verknüpfung zum Fern- und S-Bahn-Verkehr Verknüpfung mit Straßenbahnen/Bussen
Lendplatz	dichte Wohnbesiedlung Lokale/Einkaufsmöglichkeiten (derzeit keine Straßenbahn)
Andreas-Hofer-Platz	Nähe zum Hauptplatz Verknüpfung zum Regionalbusverkehr bzw. Straßenbahnverkehr (Linie 16 und 17)
Jakominiplatz	zentraler Umsteigeplatz mögliche Verknüpfung zwischen U1 und U2
Neue Technik/Sacre Coeur	attraktive Erschließungsfunktion aufgrund Studenten (Neue Technik und Alte Technik) und Schüler (Sacre Coeur) dichte Wohnbesiedlung
Karl-Franzens-Universität	größte Bildungseinrichtung in Graz (derzeit nur Busanbindungen)
Botanischer Garten	Verknüpfungsmöglichkeit Hilmteich zur Straßenbahnlinie 1
LKH	Krankenhaus (einer der größten Arbeitgeber der Stadt Graz) Verknüpfung mit Linie 7
Berliner Ring	hohe Einwohnerzahl (derzeit nur Buslinie 58)

Takt

Der vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft entwickelte Fahrplan wird in Tabelle 37 dargestellt. Dabei kann man erkennen, dass die Morgenspitze zwischen 7:00 und 9:00 die kürzeste Zugfolgezeit aufweist. Zu Mittag und am Nachmittag, wenn die Schüler und Erwerbstätigen am Heimweg sind, wird der Fahrplan ebenfalls verdichtet. Dieser Taktfahrplan ist die Basis für die Untersuchung der U-Bahn Parameter in Abschnitt 6.5.

Tabelle 37: Standardtakt U1 bzw. U2

Uhrzeit	Takt [Minuten]
5:00 – 6:00	5
6:00 – 7:00	4
7:00 – 9:00	2,5
9:00 – 13:00	4
13:00 – 18:00	2,5
18:00 – 19:00	4
19:00 – 21:00	5
21:00 – 24:00	7,5

6.4.2 Nord-Süd-Korridor (U2)

Verlauf

Die Linie U2 verläuft vom Nord-Westen in Gösting über die Mur in den Osten und anschließend in den Süd-Westen nach Webling. Sie hat eine Gesamtlänge von 13,7 km und die Fahrdauer beträgt in Summe 22 Minuten. Der Verlauf der U1 ist in Abbildung 33 grafisch dargestellt und die Haltestellenfolge wird in Tabelle 38 (von Nord nach Süd) angeführt.

Tabelle 38: Verlauf U2 (inkl. kum. Länge und kum. Fahrzeit)

Haltestelle	kumulierte Länge [km]	kumulierte Fahrzeit [min]
NVK Gösting	0,0	0
Augasse	1,0	1
Fröbelpark	2,1	3
Hasnerplatz/Pädag. Hochschule	3,5	5
Geidorfplatz	4,6	7
Maiffredygasse	5,4	8
Jakominiplatz	6,1	10
Griesplatz	7,0	11
Don Bosco Bhf.	8,2	13
Reininghaus	8,9	15
NVK Wetzelsdorf	10,0	17
Strassganger Straße	11,0	18
Ankerstraße/Green City	12,1	20
P&R Webling	13,7	22

Haltestellen

Tabelle 39 zeigt die wichtigsten Haltestellen der geplanten U2. In Gösting ist in den nächsten Jahren ein Nahverkehrsknoten geplant und wird bei dieser U-Bahn Variante schon berücksichtigt. Zusätzlich befindet sich im Bezirk Gösting derzeit noch keine Straßenbahn Anbindung. Der Geidorfplatz und die Haltestelle Maiffredygasse dienen zur Anbindung der dicht besiedelten Wohngebiete in St.Leonhard und des Freizeit Angebots des Stadtparks sowie zusätzlich auch als Verknüpfung zum Bus- und Straßenbahnnetz. Ebenso wird der Campus Alte Technik der TU Graz angebunden. Die Gründe für den Jakominiplatz wurden schon bei Linie U1 erläutert. Am Griesplatz herrscht eine dichte Wohnbesiedlung vor und derzeit ist dieser Platz nicht an das Straßenbahnnetz angebunden. Zusätzlich enden am Griesplatz zahlreiche Regionalbuslinien. Durch das in Bau befindliche Großprojekt bei den Reininghausgründen mit zusätzlichen 10.000 Bewohnern und 5.000 Arbeitsplätzen wird dieser neue Stadtteil durch die gleichnamige Haltestelle an die Linie 2 angebunden. In der Ankerstraße und beim P&R Webling ist ebenfalls die Wohnbesiedlung ausschlaggebend für die Anbindungen. Außerdem besteht beim Park & Ride in Webling großes Potential aufgrund der zahlreichen Pendler aus dem südlichen Umland.

Tabelle 39: wichtigste Haltestellen der U2 und die Intention für die Stationswahl

Haltestelle	Grund für die Haltestellenlage
NVK Gösting	Verknüpfung zum Zugverkehr (derzeit keine Tram-Verbindung zur Innenstadt)
Geidorfplatz	Verknüpfung zu Buslinien und hohe Bevölkerungsdichte Freizeit (Stadtpark)
Maiffredygasse	Verknüpfung zur Straßenbahn hohe Bevölkerungsdichte Anbindung für Studenten (Alte Technik)
Jakominiplatz	zentraler Umsteigeplatz mögliche Verknüpfung zwischen U1 und U2
Griesplatz	dichte Wohnbesiedlung Verknüpfung zu Regionalbussen (derzeit keine Straßenbahnanbindung)
Reininghaus	Anbindung Reininghausgründe (+10.000 Bewohner, +5.000 Arbeitsplätze) Verknüpfung zur neuen Straßenbahnlinie 4
NVK Wetzelsdorf	Verknüpfung zum S-Bahn-Verkehr aus dem Westen (GKB)
Ankerstraße/Green City	neues Siedlungsgebiet (Green City) und derzeit schlechte ÖV- Anbindung
P&R Webling	großes Wohnprojekt (ca. 600 Wohneinheiten) und schon bestehende hohe Wohnbebauung attraktiver Umsteigepunkt für Pkw-Fahrer (P&R Anlage)

Takt

Der in Tabelle 37 angeführte Taktfahrplan der U1 wird auch für die U2 verwendet.

6.5 Spezifikation der U-Bahn Linien

Wie jedes ÖV-System können auch U-Bahn-Systeme anhand durchschnittlicher Entwurfsgrößen entwickelt werden. Zu den Kennwerten eines ÖV-Systems gehören unter anderem der durchschnittliche Haltestellenabstand, die Taktfolge, die Gefäßgröße, die Reisegeschwindigkeit und der geplante Einzugsbereich der Haltestellen. In dieser Arbeit geht es um die Kalibrierung hypothetischer U-Bahn-Linien. Daher werden folgende Einflussgrößen auf die Nachfrage der U1 berücksichtigt:

- **Zu- und Abgangszeit:**
Zeitliche Entfernung vom Verkehrszellschwerpunkt zur Haltestellen (wird in einer Parametervariation verlängert, weil der Zugang zur unterirdischen Lage mehr Zeit benötigt)
- **maximale Anbindungslänge:**
Es werden jene Bezirke an das ÖV-System U-Bahn angebunden, wo der Verkehrszellschwerpunkt unter 600 m Luftlinie von der Haltestelle entfernt ist (in einer Variante wird dieser Wert verkleinert, um die Auswirkungen daraus zu erkennen). Ein Vergleich zu den durchschnittlichen Tramanbindungsängen wird ebenfalls gezogen
- **Takt:**
Zeitliche Abfolge der Fahrplanfahrten (der Standardtakt des EBW wird in einer Parametervariation auf einen Takt anhand der Grazer Ganglinie angepasst, um betriebliche Einsparungen zu generieren (weniger Verschleiß))
- **Verspätungen der Tram Linien:**
Der Vorteil der Zuverlässigkeit der einzelnen U-Bahn-Linien wird in einem Parameterset anhand der durchschnittlichen Verspätungen der Trams am selben Korridor abgebildet
- **Faktor Fahrzeit je Verkehrssystem (siehe Abschnitt 4.4.2):**
Faktor um das Wahlverhalten der Grazer und der Umlandbevölkerung zu beeinflussen (in zwei Szenarien werden diese Faktoren verringert, um einen positiven Grundeffekt für die U-Bahn zu modellieren)

In Tabelle 40 sind die zu untersuchenden Parametersets angeführt. Auf die einzelnen Parametervariationen wird in weiterer Folge noch näher eingegangen. Diese Untersuchung dient zum einen dazu, einen Überblick über den Einfluss der einzelnen Parameter auf das Ergebnis zu bekommen und zum anderen wird die plausibelste Lösung für die in Abschnitt 7 angeführten Untersuchungsvarianten mit U-Bahnsystemen angewendet.

Tabelle 40: Varianten Referenzfall inkl. U1 mit unterschiedlichen Parametern

Parameter-set	Zu- und Abgangszeit	Anbindungs-länge (max.)	Takt	Verspätung Tram Linien	Faktor Fahrzeit je Vsys	
					Umland	Graz
0	wie Tram	600 m	Standard	n.b.	0,05	0,12
1	Tram +2min	600 m	Standard	n.b.	0,05	0,12
2	wie Tram	300 m	Standard	n.b.	0,05	0,12
3	wie Tram	600 m	Standard	berücksichtigt	0,05	0,12
4	wie Tram	600 m	Standard	n.b.	0,04	0,12
5	wie Tram	600 m	Standard	n.b.	0,05	0,10
6	wie Tram	600 m	Grazer Ganglinie	n.b.	0,05	0,12

Parameterset 0

Parameterset 0 besteht aus den in Abschnitt 6.1 genauer beschriebenen ÖV-Ausbaustufen für das Prognosejahr 2030 und der in Abschnitt 6.4.1 erklärten U1.

Beschreibung

Die Zu- und Abgangszeiten je Bezirk und je Haltepunkt werden mit denselben Werten wie die Tram im Referenzfall angenommen. Für jene Bereiche, wo im Referenzfall noch keine Tram Anbindung war, werden die zugehörigen Zu- und Abgangswerte aus Planfall 4 (siehe Abschnitt 7.5) herangezogen. Das ist möglich, da die Hüsler Linien 2, 8 und 9 bzw. 19 in manchen Streckenabschnitten einen ähnlichen Verlauf wie die U1 haben. Für die U-Bahn werden jene Bezirke angebonden, die eine Distanz vom Bezirksschwerpunkt zur Haltestelle von weniger als 600 Metern aufweisen. Der vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft (EBW) entwickelte Fahrplan wird als Standardtakt für die Untersuchung angenommen. Die Übergangsgehzeiten zwischen den bestehenden Haltestellenbereichen und den neuen U-Bahnhaltestellenbereichen werden ebenfalls in GUARD20 implementiert. Einwirkende Einflüsse auf die Übergangsgehzeit sind die Tiefe der Station, die Länge der Wege und die VLSA-Umlaufzeiten. Die Verspätungen der Straßenbahnlinien werden in Parameterset 0 nicht berücksichtigt. Zusätzlich wird für die Grazer und die Umlandbewohner dieselbe *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor wie im Basisfall verwendet.

Insgesamt treten für diesen Fall 442.600 Linienbeförderungsfälle auf, wovon knapp 100.000 auf die U1 fallen.

Tabelle 41: Linienbeförderungsfälle Parameterset 0

Verkehrssystem	Parameterset 0 (gerundet auf 100)
U1	99.700
Straßenbahn	145.200
Bus	154.000
Zug	43.700
Σ	442.600

Die oben genannten Inputs werden als Referenz für die weitere Untersuchung der Parametersets angenommen. Alle Ergebnisse der weiteren Parametersets werden mit diesem Ergebnis verglichen.

Parameterset 1

Für diesen Fall werden die U-Bahn Zu- und Abgangszeiten je Bezirk und je Haltepunkt um 2 Minuten gegenüber den Tram ZuAb erhöht. Die Überlegung dahinter ist, dass aufgrund der Tiefe eine längere Gehzeit auftritt und deshalb der Widerstand der U-Bahn gegenüber der Straßenbahn höher ist.

Die Ergebnisse in Tabelle 42 zeigen, dass sich die Anzahl der Fahrgäste der U-Bahn um knapp 7.600 (-7,6%) verringert. Alle anderen Fahrgastzahlen werden ebenfalls kleiner. Der Grund dafür ist, dass für die Moduswahl ÖV alle Zu- und Abgangszeiten für jeden Bezirk gemittelt werden und damit mit einer Erhöhung der ZuAb_U-Bahn ebenfalls eine Erhöhung der gemittelten ZuAb_O einhergeht. Die Erhöhung der Zu- und Abgangszeit um 2 Minuten ist eine plausible Maßnahme, da in der Realität die Zugangszeit zur U-Bahn ebenfalls höher ist als zur Straßenbahn. Sie wird deshalb in den Planfällen in Abschnitt 7 mitberücksichtigt. Die Überlegung, in der Moduswahl mit denselben ZuAb_U-Bahn wie in Parameterset 0 zu rechnen und lediglich in der ÖV-Umlegung die um 2 Minuten erhöhten Zu- und

Abgangszeiten zu verwenden, wurde berücksichtigt. Dabei wäre die Summe der ÖV-Fahrten gleich wie in Parameterset 0. Die ÖV-Fahrten würden sich lediglich anders auf die einzelnen Verkehrssysteme aufteilen. Dieser Ansatz entspricht nur bedingt der Realität, denn durch eine 2 Minuten längere Reisezeit der U-Bahn würde eine Person evt. das Rad bzw. den Pkw wählen und somit nicht mehr auf den Modus ÖV zurückgreifen.

Tabelle 42: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 1

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 1 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	92.100	-7,6%
Straßenbahn	145.200	144.700	-0,3%
Bus	154.000	152.300	-1,1%
Zug	43.700	43.600	-0,2%
Σ	442.600	433.100	-2,1%

Parameterset 2

In Abbildung 34 ist die Verteilung der Straßenbahn Anbindungsängen angegeben. So ist ein Drittel der Anbindungen zwischen 100 und 200 m lang und ca. 60% zwischen 100 und 300 m. Der Median ist dabei knapp 250 m und der Mittelwert der Anbindungen ca. 280 m. Im Zuge dieser Untersuchung werden die Anbindungsängen der U-Bahn von 600 auf maximal 300 Meter gekürzt. Durch die Verringerung geht der Mittelwert der U-Bahn Anbindungen von rund 390 m (Anbindungsänge = max.600m) auf 225 m (Anbindungsänge = max. 300 m) zurück.

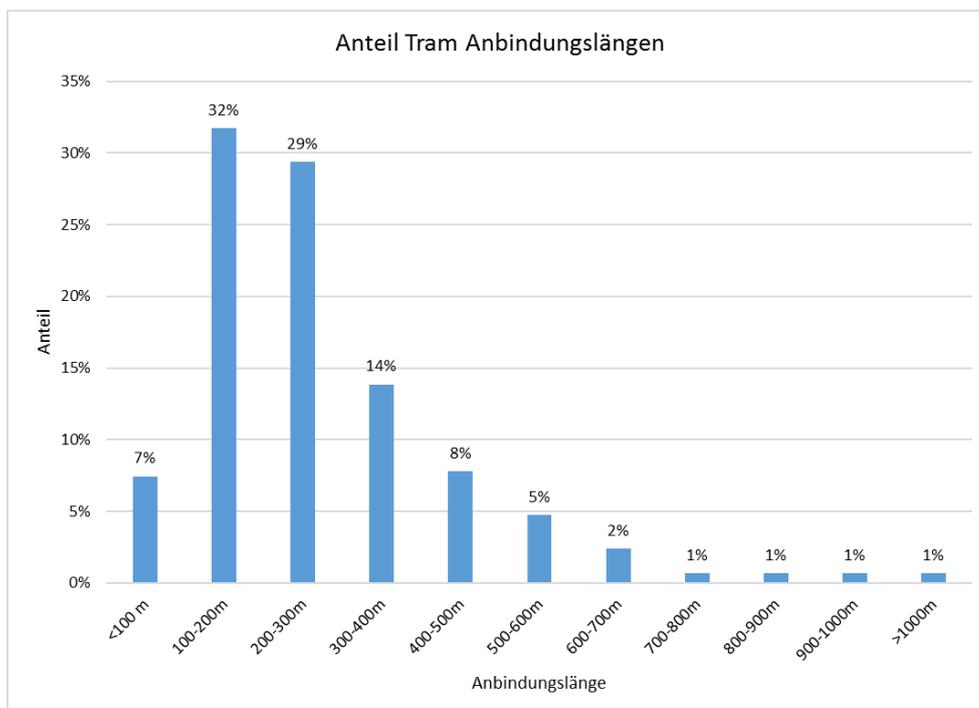


Abbildung 34: Anzahl Anbindungen je Anbindungsänge

In Tabelle 43 ist erkennbar, dass die Kürzung der Anbindungslänge auf die Hälfte der ursprünglichen Länge einen sehr großen Einfluss auf die Beförderungszahlen hat. Somit wird das Verkehrsaufkommen um beinahe 58.000 (-57,8%) reduziert. Es ist erkennbar, dass durch die Umstiege von der Tram oder dem Bus auf die U-Bahn ein erhöhter Widerstand auftritt. Die Menschen bevorzugen somit gleich die U-Bahn zu wählen, um von ihrer Quelle zu ihrem Ziel zu gelangen, da die Reisezeit verhältnismäßig sehr gering im Gegensatz zu den anderen ÖV-Systemen ist. Ist jedoch ein Umstieg, aufgrund der kürzeren Anbindungsängen nötig, so hat die Umsteigezeit einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Gesamtreisezeit und dadurch wird der Vorteil der kurzen U-Bahn Reisezeit verringert. Bei einer Kürzung der Anbindungslänge um die Hälfte sinken die U-Bahn Fahrten um mehr als die Hälfte (57,8%). Die Gesamtanzahl der Linienbeförderungsfälle nimmt nur um 23.500 ab. Der Grund für die Differenz der beiden Werte ist, dass aufgrund der kürzeren Anbindungen weniger Personen Zugang zur U-Bahn haben und deshalb die Verkehrssysteme Straßenbahn und Bus wieder attraktiver werden. Anbindungsängen von maximal 300 Meter sind im Vergleich zu den Tram Anbindungsängen (siehe Abbildung 34) unrealistisch gering, da für die Nutzung der U-Bahn ein längerer Weg in Kauf genommen wird als für die Nutzung der Tram. Aufgrund dessen wird in den Planfällen der Maximalwert 300 m nicht berücksichtigt und stattdessen 600 m angenommen.

Tabelle 43: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 2

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 2 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	42.100	-57,8%
Straßenbahn	145.200	168.700	+16,2%
Bus	154.000	164.100	+6,6%
Zug	43.700	44.200	+1,1%
Σ	442.600	419.100	-5,3%

Parameterset 3

Eine U-Bahn hat hinsichtlich Zuverlässigkeit bzw. Pünktlichkeit Vorteile gegenüber der Straßenbahn bzw. gegenüber dem Bus. Dieser Vorteil sollte im Verkehrsmodell ebenfalls Berücksichtigung finden. Von den Holding Graz Linien wurden Verspätungsdaten der einzelnen Straßenbahnlinien zur Verfügung gestellt. Die dort angeführten Haltestellen werden mit jenen der zukünftigen U1 verglichen und ein Mittelwert der Verspätungen für die Straßenbahn wird ermittelt. Das Ergebnis dieser Auswertung ist, dass die Straßenbahn bei den betrachteten Haltestellen im U-Bahn-Korridor im Schnitt 80 Sekunden Verspätung hat. Da die Kalibrierung allerdings auf den bestehenden Zustand durchgeführt wurde (ohne die ermittelte Verspätung) werden die Verspätungen nicht bei der Tramreisezeit hinzugefügt, sondern bei der Zu- und Abgangszeit der U-Bahn abgezogen. Würde man die zusätzliche Reisezeit (Verspätungszeit) bei der Tram hinzufügen, so würde das Ergebnis verfälscht werden, denn dann würde sich der Modal Split Richtung Pkw verschieben und aufgrund dessen müsste die Kalibrierung neu durchgeführt werden. Die ZuAb der an die U1 angebunden Bezirke werden um 80 Sekunden (=1,33 Minuten) verringert. Damit einher geht ebenfalls die Verringerung der Haltepunkte Zu- und Abgangszeit um 80 s. Voraussetzung dafür ist, dass die beispielweise 1 Minute Verspätung eines Verkehrsmittels gleich bewertet wird wie eine um 1 Minute längere Zu- bzw. Abgangszeit zu einer Haltestelle. Für eine genauere Bewertung der einzelnen Parameter müssten Befragungen durchgeführt werden.

Die Zuverlässigkeitsvorteile der U-Bahn für die Umlandbewohner werden mit dieser Maßnahme nicht abgebildet, da sie keine Anbindung zu der U-Bahn haben. Das kann jedoch vernachlässigt werden, da die 80 Sekunden bezogen auf die Gesamtreisezeit (z.B. Zugangszeit Zug + Fahrzeit Zug + Umsteigezeit + Fahrzeit U-Bahn + Abgangszeit U-Bahn) sehr gering sind.

Tabelle 44: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 3

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 3 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	104.100	+4,4%
Straßenbahn	145.200	144.800	-0,3%
Bus	154.000	154.600	+0,4%
Zug	43.700	43.700	+0,0%
Σ	442.600	447.200	+1,0%

Tabelle 44 zeigt, dass die Zunahme der Beförderungsfälle von der U1 demselben Zuwachs entspricht wie die Zunahme des gesamten Fahrgastaufkommens. Die Linienbeförderungen der Verkehrssysteme Straßenbahn, Bus und Zug bleiben annähernd gleich. Die Ergebnisse spiegeln die Realität nur bedingt wieder, denn eigentlich wurde von einer Verlagerung von der Straßenbahn und dem Bus hin zur U-Bahn ausgegangen. Im Endeffekt werden die Fahrgäste jedoch hauptsächlich von anderen Modi abgezogen. Die Fahrgäste des Busses nehmen sogar zu. Aus diesem Grund wird diese Maßnahme in der Planfalluntersuchung nicht weiter berücksichtigt.

Parameterset 4

Der *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor für das Umland wird für die U-Bahn von 0,05 auf 0,04 (-20%) geändert. Damit soll ein positiver Effekt für die Umlandbewohner auf das öffentliche Verkehrssystem zu wechseln abgebildet werden. Durch den Bau einer U-Bahn ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass die Pendler die S-Bahn und anschließend die U-Bahn wählen, als wenn in der Stadt nur das bestehende Netz existiert.

Tabelle 45: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 4

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 4 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	99.900	+0,2%
Straßenbahn	145.200	145.200	+0,0%
Bus	154.000	154.000	+0,0%
Zug	43.700	43.800	+0,2%
Σ	442.600	442.900	+0,1%

Tabelle 45 zeigt, dass die Verbesserung des *Fahrzeit je Vsys*-Faktor für das Umland beinahe keine Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen hat. Der Grund dafür ist, dass die U-Bahn Strecke für die Umlandbevölkerung die letzte und zumeist kürzeste Etappe der Gesamtstrecke ist. Somit ist der Anteil der U-Bahn Reisezeit bezogen auf die Gesamtreisezeit gering und hat demnach auch nur minimale

Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen. Trotz der kleinen Auswirkungen findet dieser Parameterset in den Planfällen in Abschnitt 7 Berücksichtigung, da die Realität besser abgebildet wird. Rund 15% aller Linienbeförderungsfälle der U-Bahn werden von Umlandbewohnern gemacht.

Parameterset 5

Dieses Parameterset dient lediglich dazu, die Eigenschaften des Grazer *Fahrzeit je Vsys*-Faktors zu untersuchen und das Verhalten hinsichtlich der Fahrgastzahlen mit Parameterset 4 zu vergleichen. Für diese Maßnahme wird der *Fahrzeit je Vsys*-Faktor der Grazer auf den Wert 0,10 verringert. Das ist ungefähr eine Verkleinerung von 20%.

In Tabelle 46 ist eine deutliche Erhöhung der Fahrgastzahlen für die U-Bahn und damit einhergehend ebenso für die Gesamtanzahl an Fahrgästen zu erkennen. Verglichen mit Parameterset 4 ist auffallend, dass hier eine viel größere Veränderung eintritt. Der Grund, wieso hier so ein großer Unterschied zwischen den beiden Sets auftritt ist der, dass die Wege der Grazer allgemein viel kürzer sind und oftmals nur ein Verkehrssystem (in diesem Fall U-Bahn) verwendet wird. Dadurch beeinflusst der *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor die empfundene Reisezeit viel mehr.

Mangels Argumenten für die Annahme dieses Parameters hinsichtlich Realitätsabbildung wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit darauf verzichtet.

Tabelle 46: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 5

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 5 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	109.800	+10,1%
Straßenbahn	145.200	143.700	-1,0%
Bus	154.000	153.500	-0,3%
Zug	43.700	43.700	+0,0%
Σ	442.600	450.700	+1,8%

Parameterset 6

Der vorhandene Fahrplan wird anhand der Grazer Ganglinie angepasst. Der Unterschied zum Standardtakt (siehe Tabelle 37) ist lediglich, dass am Nachmittag zwischen 13:00 und 18:00 nur noch im 4 Minuten Takt gefahren wird und nicht wie bisher im 2,5 Minuten Takt. Der Grund dafür ist, dass sich in Graz am Nachmittag bzw. Abend keine zweite Spitze bei der Ganglinie ausbildet.

Insgesamt werden dadurch 43 Fahrten pro Tag und Richtung eingespart.

Tabelle 47: Taktfahrplan U1 bzw. U2 anhand Grazer Ganglinie

Uhrzeit	Takt [Minuten]
5:00 – 6:00	5
6:00 – 7:00	4
7:00 – 9:00	2,5
9:00 – 19:00	4
19:00 – 21:00	5
21:00 – 24:00	7,5

Durch die Veränderung des Taktes nehmen auch die U-Bahn Fahrten leicht ab. Jedoch werden diese Fahrten beinahe von der Straßenbahn übernommen. Insgesamt nehmen die Linienbeförderungsfälle lediglich um 1.500 Fahrten ab. Der Verlust ist deshalb so gering, weil der Nutzen der Bedienungshäufigkeit durch den hohen Takt der U-Bahn schon maximal ist und sich nur minimal verschlechtert. Hinsichtlich der Einsparung von 86 Fahrten pro Tag und somit erheblichen monetären Kosten bei gleichzeitigem Verlust von nur 1.500 Fahrten wird dieser Taktfahrplan für die weiteren Untersuchungen mitberücksichtigt.

Tabelle 48: Linienbeförderungsfälle je Verkehrssystem Parameterset 6

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Parameterset 0 (gerundet auf 100)	Parameterset 6 (gerundet auf 100)	Änderung
U1	99.700	96.400	-3,4%
Straßenbahn	145.200	146.800	+1,1%
Bus	154.000	154.200	+0,1%
Zug	43.700	43.700	+0,0%
Σ	442.600	441.100	-0,3%

6.6 Festlegung Modellparameter U-Bahn

Durch die Untersuchung der Parametersets werden folgende Werte für die Untersuchung der einzelnen Planfälle verwendet:

Tabelle 49: Parameter für die U-Bahn Planfälle

Zu- und Abgangszeit	Anbindungs-länge	Takt	Verspätung Tram Linien	Faktor Fahrzeit je Vsys	
				Umland	Graz
Tram +2min	600 m	Takt anhand Grazer Ganglinie	n.b.	0,04	0,12

Die Unterschiede zum Planfall 0 sind die Erhöhung der U-Bahn Zu- und Abgangszeit um 2 Minuten im Gegensatz zur ZuAb_Tram. Zusätzlich wird der Takt anhand der Grazer Ganglinie adaptiert. Außerdem wird die *Fahrzeit je Vsys* für das Umland auf 0,04 heruntersetzt.

Die restlichen Werte werden wie beim Planfall 0 angenommen. Die Anbindungs-länge beträgt maximal 600 Meter, die *Fahrzeit je Vsys* für Graz ist ident wie bei den Straßenbahnlinien. Die Verspätung der Tram Linien bzw. die erhöhte Zuverlässigkeit der U-Bahn werden nicht berücksichtigt. Der Grund dafür wird in Parameterset 4 bereits erläutert – es findet keine Verlagerung der ÖV-Fahrten von Tram und Bus auf die U-Bahn statt, sondern die ÖV-Fahrten nehmen generell zu. Durch die höhere Zuverlässigkeit der U-Bahn soll jedoch in erster Linie, wenn die Möglichkeit besteht, zwischen z.B. Tram und U-Bahn zu wählen, bei gleicher Reisezeit die U-Bahn gewählt werden, da sie pünktlicher ist. Wird jedoch die Zu- und Abgangszeit der U-Bahn verbessert, so wird auch insgesamt die ÖV-ZuAb kürzer und dadurch wählen mehr Personen den ÖV. Das Ergebnis wird somit im Vergleich zu den anderen Modi verfälscht.

7 Ergebnisse der Szenarienanalyse

Basierend auf dem bereits kalibrierten Basisfall werden in dieser Untersuchung unterschiedliche Varianten für das zukünftige ÖV-Netz der Stadt Graz betrachtet. Tabelle 50 zeigt eine Übersicht über die zu betrachtenden Planfälle, wobei alle angeführten Varianten mit den Bevölkerungs- und Strukturdaten von 2030 untersucht werden. Die Daten für die Bevölkerungsentwicklung stammen vom Statistikamt der Stadt Graz und für das Land Steiermark von der Bevölkerungsprognose der ÖROK. Die einzelnen in den Spalten angeführten Linien werden in Kapitel 6 näher beschrieben.

In den Anhängen 3 bis 12 sind die ÖV-Belastungen der einzelnen Szenarien grafisch dargestellt.

Tabelle 50: Auflistung der unterschiedlichen Planfälle

Variante	ÖV2023	Linie 2	Linie 8	Linie 9	U1	U2	Seilbahn
Referenzfall	✓						
Planfall 1	✓	✓					
Planfall 2	✓		✓				
Planfall 3	✓			✓			
Planfall 4	✓	✓	✓	✓			
Planfall 5	✓				✓		
Planfall 6	✓					✓	
Planfall 7	✓				✓	✓	
Planfall 8	✓		✓	✓	✓		
Planfall 9	✓	✓				✓	
Planfall 10	✓						✓
Planfall 11	✓				✓		✓
Planfall 12	✓	✓	✓	✓			✓

Der Referenzfall ist die erste Entwicklungsstufe des Basisfalls (Stand 2020). So werden dabei die Bevölkerungszahlen und Strukturgrößen des Prognosejahrs 2030 berücksichtigt. Zusätzlich finden ebenfalls die geplanten oder bereits in Bau befindlichen Tramlinien (ÖV2023) Berücksichtigung und das Busnetz wird leicht adaptiert. Der Referenzfall soll als Vergleichswert für die jeweiligen Planfälle dienen und die genannten Ausbauphasen werden somit für die weiteren Planfälle als gegeben angenommen.

Die Idee der ersten drei Planfälle ist es, die einzelnen Linien der Hüsler Studie individuell zu betrachten und so Rückschlüsse zu bekommen, welche der drei Varianten die höchsten Fahrgastzahlen aufweisen und wie sich die Gesamtanzahl an ÖV-Fahrten dabei entwickelt. Eine Kombination aller drei Hüsler Linien wird in Planfall 4 geprüft. Die Planfälle 5 und 6 untersuchen die Kombinationen von Referenzfall inkl. einer der beiden U-Bahnen. Planfall 7 soll Aufschlüsse über die Wirkung beider U-Bahnen auf das Verkehrsverhalten der Stadt Graz zeigen. Auf die Planfälle 8 und 9 wird in diesem Abschnitt noch genauer eingegangen. Sie stellen die Kombination aus Hüsler Linien und den U-Bahnen dar. So berücksichtigt Planfall 9 die West-Ost-Verbindung der Straßenbahnlinie 2 und die Nord-Süd Verbindung der U2. Planfall 8 wiederum ist die Kombination der Hüsler Straßenbahnlinien 8 und 9 gemeinsam mit der West-Ost-Verbindung U1. Die Planfälle 10 bis 12 stellen unterschiedliche Kombinationen der Verkehrssysteme mit der Seilbahn dar. Die Belastungsnetze der einzelnen Varianten sind im Anhang angefügt.

Im letzten Schritt werden die einzelnen Planfälle anhand der ermittelten Kenngrößen miteinander verglichen.

7.1 Referenzfall

Der Referenzfall stellt das ÖV-Netz für das Prognosejahr 2030 dar, ohne weiteren Ausbau der Straßenbahnlinien bzw. ohne Bau einer U-Bahn oder Seilbahn. Das hier beschriebene Bus- und Straßennetz wird zusätzlich zum bestehenden Netz (Stand 2020) für alle weiteren Planfälle als gegeben angenommen. Die in Abschnitt 6.1 angeführten Ausbaustufen des ÖV2023 werden berücksichtigt. So sind hier vor allem die Verlängerungen der Straßenbahnlinie 6 bis zur Smart City und der Linie 4 bis Reininghaus hervorzuheben. Die Herrengasse zwischen Hauptplatz und Jakominiplatz wird durch eine Neubaustrecke über die Neutorgasse entlastet. Hier verkehren zukünftig die Linien 16 und 17.

Die Takte der Buslinien 31 und 40 werden verdichtet, um die Kapazitäten zu steigern (siehe Tabelle 51). Linie 85 zwischen Hauptbahnhof und Gösting wird eingestellt. Dafür fährt Linie 62 nun von Puntigam bis nach Gösting. Eine Verstärkerlinie vom Hauptbahnhof zur Karl-Franzens-Universität (Linie 58E) wird ebenfalls eingerichtet. Linie 65 wird von der Eggenberger Allee bis zum WIFI verlängert.

Neben den Adaptierungen der ÖV-Verbindungen werden die Bevölkerungszahlen und die Strukturgrößen (Arbeitsplätze, Freizeitangebote, etc.) für das Prognosejahr 2030 ins Verkehrsmodell implementiert. Zusätzlich wird eine Unterführung von der Josef-Huber-Gasse zu den Reininghausgründen vorgesehen sowie das geplante Straßennetz in Reininghaus modelliert.

Linienverläufe:

- Linie 1 bzw. 5:** Zweigleisiger Ausbau nach Mariatrost bzw. Puntigam
- Linie 4:** Reininghaus – Liebenau; Verlängerung bis Reininghaus
- Linie 6:** Smart City – St.Peter; Verlängerung bis Smart City
- Linie 16:** Smart City – St.Peter; Innenstadtentflechtung durch Entlastungsstrecke über Neutorgasse, Andreas-Hofer-Platz und Belgiergasse
- Linie 17:** Innenstadtentflechtung durch Entlastungsstrecke über Neutorgasse, Andreas-Hofer-Platz und Belgiergasse
- Linie 31:** Taktverdichtung
- Linie 40:** Taktverdichtung
- Linie 58E:** Hbf. – Geidorfplatz – Uni/RESOWI (Verstärkerlinie)
- Linie 62:** Puntigam – Straßganger Straße – Peter-Rosegger-Straße – Reininghaus – Georgigasse – Gösting
- Linie 65:** Verlängerung bestehender Linie 65 von Eggenberger Allee – Auster – UKH – Kalvariengürtel - WIFI
- Linie 85:** eingestellt

In Tabelle 51 sind die neuen Linien mit dem jeweiligen Takt angeführt. Der dichtere Takt am Morgen soll das erhöhte Fahrgastaufkommen in der Morgenspitze berücksichtigen. Die Straßenbahnlinien verkehren zwischen 6:30 und 7:30 alle 6 Minuten. Im weiteren Tagesverlauf wird dieser Takt auf 7,5 Minuten erhöht. *Die Fahrzeit je Vsys-Faktor* bleibt gleich wie im Basisfall. Die Linien 40 und 62 werden somit weiterhin mit den Faktoren 0,09 bzw. 0,18 bewertet. Der Grund für die abweichenden Werte war, dass diese Linien durch das ganze Stadtgebiet führen und somit ein großes Einzugsgebiet aufweisen. Somit war eine Kalibrierung hinsichtlich der Linienbeförderungsfälle nur mittels

Veränderung der Zu- und Abgangszeit nicht möglich. Eine Veränderung der Zu- und Abgangszeit würde in diesen Fällen auch eine Veränderung des Fahrgastaufkommens der restlichen Linien mit sich bringen. Aufgrund dessen wurden diese Faktoren leicht adaptiert und diese Adaptierung muss nun ebenfalls in den weiteren Planfällen mitberücksichtigt werden.

Tabelle 51: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Referenzfall

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min] (7:30 – 18:00)	Takt Früh [min] (6:30 – 7:30)	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Linie 3	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 6	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 7	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 16	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 17	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 31	4:30 – 24:00	7,5	5	0,12
Linie 40	4:30 – 24:00	7,5	5	0,09
Linie 58E	4:30 – 24:00	10	10	0,12
Linie 62	4:30 – 24:00	10	7,5	0,18
Linie 65	4:30 – 24:00	10	7,5	0,12

Modal Split

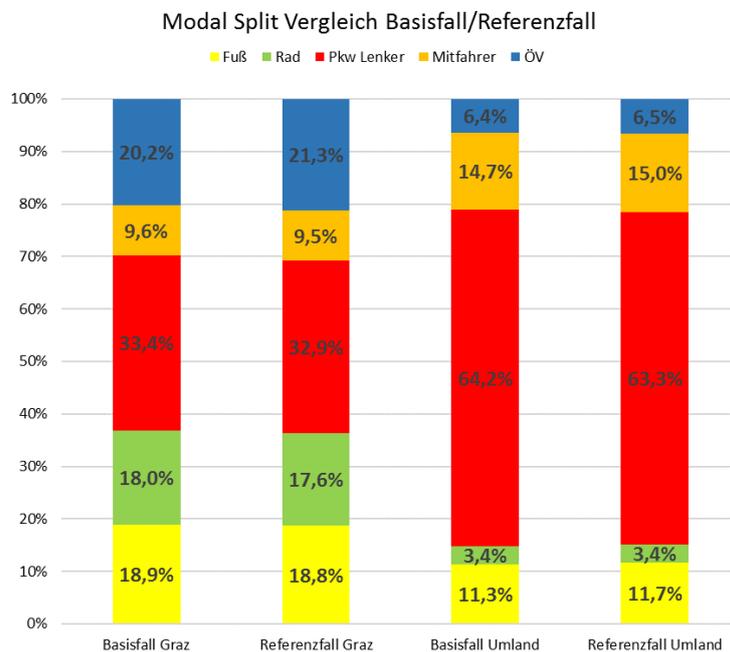


Abbildung 35: Modal Split Vergleich Basisfall/Referenzfall

Aufgrund der ÖV2023 Maßnahmen steigt der ÖV-Anteil der Grazer leicht um knapp 1%. Im Gegensatz sind die Pkw-Fahrten (-0,5%) und die Radfahrten (-0,4%) leicht rückläufig. Der Anteil an Pkw-Mitfahrern und Fußgängern bleibt annähernd gleich. Im Umland ist der ÖV-Anteil nahezu ident mit dem aus dem Basisfall. Die Zahl der Mitfahrer wird leicht höher und die Anzahl der Pkw-Lenker geht zurück (-0,9%). Die Unterschiede beim Modal-Split vom Umland könnten sich aus der Bevölkerungsentwicklung ergeben. Es werden immer mehr Menschen in den suburbanen Raum ziehen

und diese Personen zählen in GUARD20 zu der Umlandbevölkerung. Aufgrund der Nähe zu Graz werden diese Personen weniger oft den Pkw benutzen und öfter auf die öffentlichen Verkehrsmittel zurückgreifen bzw. zu Fuß gehen. Des Weiteren zählen zu den Umlandpersonen auch diejenigen, die in den anderen Städten wie Leibnitz, Gratkorn, Voitsberg etc. wohnen. Dort nehmen die Bevölkerungszahlen ebenfalls zu und deshalb steigen die Fußwege und die Pkw-Fahrten gehen zurück. Die Modal Split je VHG der Grazer sind annähernd gleich wie im Referenzfall. Der ÖV-Anteil ist bei allen Gruppen etwas höher als im Basisfall. Vor allem bei den Schülern ist eine Steigerung von fast 3% zu erkennen. Diese werden hauptsächlich von den Mitfahrern abgezogen. Der Pkw-Anteil ist bei den EmP (-0,5%), den EoP (-0,9%) und den NEmP (-0,6%) leicht rückläufig.

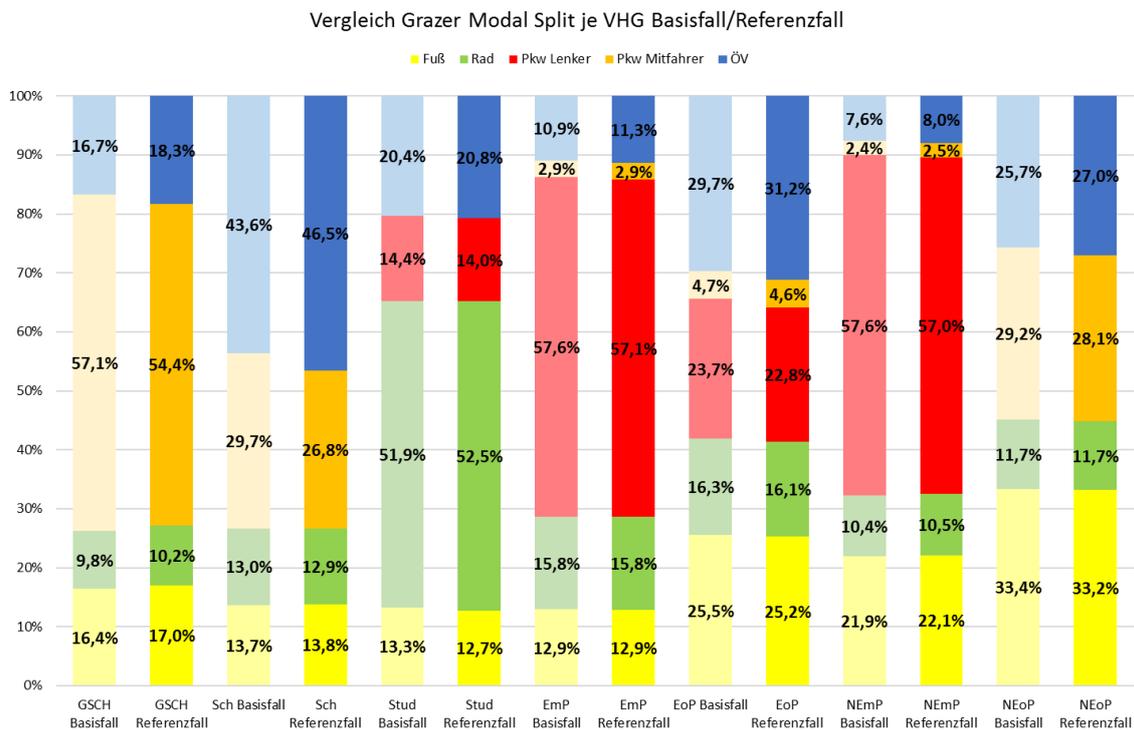


Abbildung 36: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Basisfall und Referenzfall

Die Reiseweitenverteilungen werden nicht extra angeführt, da sie fast ident zum Basisfall sind. Der einzige Unterschied ist, dass die ÖV-Reiseweiten kürzer werden. Diesen Effekt kann man auch anhand der Modal Split Änderung erkennen, da der ÖV zunimmt und die Fußgänger weniger werden. Durch die Verbesserung des öffentlichen Verkehrsnetzes werden nun auch kurze Wege, die vorher zu Fuß zurückgelegt wurden, mit den öffentlichen Verkehrssystemen bewältigt.

Fahrgastzahlen der einzelnen Tramlinien

Die Veränderungen der Fahrgastzahlen sind nur bedingt miteinander vergleichbar, da sich die Linienverläufe, wie in Abschnitt 6.1 beschrieben, deutlich verändert haben. Tabelle 52 soll deshalb nur einen Überblick über die Größenordnung der einzelnen Linien geben. Jene Linien, die die identen Streckenführungen haben, sind Linie 1, 5, 6 und 7. Auffallend ist, dass vor allem Linie 6 bzw. 16 eine deutliche Erhöhung der Fahrgastzahlen aufweisen. Die anderen gleich verlaufenden Linien wie im

Basisfall bleiben von den Linienbeförderungsfällen annähernd gleich. Insgesamt steigt das Fahrgastaufkommen der Trams durch den Ausbau ÖV2023 um 16.900 Fahrgäste (+9,9%).

Tabelle 52: Linienbeförderungsfälle Tram im Referenzfall

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Basisfall (gerundet auf 100)	Referenzfall (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.400	23.300	-0,4%
Linie 3	16.000	25.900	61,9%
Linie 4	28.400	28.500	+0,4%
Linie 5	27.300	27.200	-0,4%
Linie 6 (+ 16)	27.500	35.800	30,2%
Linie 7 (+ 17)	47.400	46.200	-2,5%
Σ	170.000	186.900	+9,9%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Im Gegensatz zum Basisfall sind beim Referenzfall deutliche Steigerungen des Fahrgastaufkommens zu verzeichnen. In erster Linie hat es den Grund, dass die Bevölkerung der Stadt zunimmt und das Potential aufgrund der Strukturgrößenveränderung ebenfalls. Zum anderen sind die deutlich erhöhten Zahlen auf das verbesserte ÖV-Angebot zurückzuführen. Die starken Zuwächse der Straßenbahn sind unter anderem auf die Anbindung nach Reininghaus und zur Smart City zurückzuführen. In Reininghaus entstehen ein Komplex für 10.000 zusätzliche Einwohner und 5.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen. In Summe ist ein Zuwachs von knapp 13% an öffentlichem Verkehr zu erwarten. Das stellt eine große Herausforderung für die Kapazitäten des ÖV dar. Mit der Ausbaustufe ÖV2023 werden die Fahrgastzahlen von 2030 nicht ausreichend zu bewältigen sein. Es würde noch viel Potential an zusätzlichen ÖV-Fahrern geben und deshalb werden weitere Planfälle untersucht. Die Bevölkerung von Graz steigt bis zum Jahr 2030 von 294.000 auf 321.000 (+9%). Die ÖV-Wege steigen durch die Ausbaustufe ÖV2023 (Referenzfall) dabei von 180.000 auf 205.000 (+14%). Die höhere prozentuelle Steigerung ist in erster Linie auf die neuen ÖV-Linien zurückzuführen und zum anderen darauf, dass die Kapazitäten der Straße begrenzt sind und somit mehr Personen auf den ÖV wechseln.

Tabelle 53: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Referenzfall

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Basisfall (gerundet auf 100)	Referenzfall (gerundet auf 100)	Änderung
Straßenbahn	169.800	186.900	+10,1%
Bus	144.800	172.500	+19,1%
Zug	43.400	43.800	+0,9%
Σ	358.000	403.200	+12,6%

7.2 Planfall 1 (Linie 2)

Die West-Ost-Verbindung Linie 2 zwischen Hauptbahnhof über die Universität zum LKH soll die derzeit stark belasteten Linien 58, 58E und 63 ersetzen. Linie 63 wird aufgrund dessen im Bereich zwischen Hbf. und Geidorfplatz nicht mehr benötigt und wird somit auf die Strecke St.Peter Schulzentrum – Geidorfplatz reduziert. Linie 2 ist die einzige Linie, die nicht über den Jakominiplatz verläuft. Die Buslinie 41 wird neu geführt. Diese verläuft bis zur Universität nahezu ident, danach allerdings über Mariagrün, Hilmteich, St.Leonhard nach Ragnitz. Die Linie 2 weist den gleichen Takt wie die anderen Straßenbahnlinien auf. So verkehrt sie in der Morgenspitze alle 6 Minuten und tagsüber alle 7,5 Minuten. Linie 41 und 63 behalten den gleichen Takt wie bisher bei. Für die *Fahrzeit je Vsys*- Faktoren werden ebenfalls die Standardwerte verwendet.

Linienverläufe:

Linie 2: Hbf. – Lendplatz – Keplerbrücke – Geidorfplatz – Karl-Franzens-Universität – Leonhardgürtel – LKH

Linie 41: Dürrgrabenweg – Karl-Franzens-Universität – Mariagrün – St.Leonhard – Ragnitz

Linie 58: eingestellt

Linie 58E: eingestellt

Linie 63: Geidorfplatz – Karl-Franzens-Universität – St.Peter Schulzentrum

Tabelle 54: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 1

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min] (7:30 – 18:00)	Takt Früh [min] (6:30 – 7:30)	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Linie 2	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12
Linie 41	4:30 – 24:00	15	15	0,12
Linie 63	4:30 – 24:00	10	10	0,12

Fahrgastzahlen der beeinflussten Linien

Werden lediglich jene Linien betrachtet, die neu sind oder adaptiert werden, so ist in Tabelle 55 eine deutliche Zunahme der Fahrgastzahlen erkennbar. Die Fahrgäste von den bestehenden Linien 58 und 58E werden von der Linie 2 übernommen (16.800 FG). Zusätzlich wird aufgrund der Kürzung der Linie 63 ebenfalls ein Teil auf die Linie 2 übertragen (2.100 FG). Die restlichen Fahrgäste der Linie 2 werden aufgrund der kürzeren Fahrzeit und des besseren Taktes im Gegensatz zu den Buslinien generiert.

Tabelle 55: Linienbeförderungsfälle Planfall 1

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 1 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 2	-	22.900	-
Linie 41	7.200	11.200	+55,6%
Linie 58 + 58E	16.800	-	-
Linie 63	7.900	5.800	-26,6%
Σ	31.900	39.900	+25,1%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Tabelle 56 zeigt eine deutliche Zunahme der Straßenbahn-Beförderungsfälle, was auf das neue Angebot durch die Linie 2 zurückzuführen ist. Damit einher geht jedoch eine noch höhere Reduktion der Buslinien, aufgrund der Einstellung zweier Buslinien und Kürzung der Linie 63. In Summe steigen die Anzahl an ÖV-Fahrten lediglich um rund 0,3%. Der Bau einer Straßenbahn geht mit hohen Kosten einher und deshalb sollte kritisch hinterfragt werden, ob Planfall 1 bzw. der Bau der Straßenbahnlinie 2 eine rentable Lösung ist. In diesem Fall findet lediglich eine Umlagerung vom Bus auf die Straßenbahn und keine wirkliche Zunahme des Gesamt-ÖV statt. Dabei soll jedoch erwähnt werden, dass durch den Bau einer Straßenbahn Einbußen für den mIV auftreten werden. Der Grund dafür liegt darin, dass durch den Bau einer Straßenbahn in der Keplerstraße lediglich noch ein Fahrstreifen für den mIV zur Verfügung steht. Deshalb sollte bei den in Tabelle 56 angeführten Fahrgastaufkommen berücksichtigt werden, dass die Linienbeförderungsfälle durch eine Einbahnführung oder eine Sperre in der Keplerstraße wahrscheinlich steigen werden.

Tabelle 56: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 1

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 1 (gerundet auf 100)	Änderung
Straßenbahn	186.900	202.200	+8,2%
Bus	172.500	158.300	-8,2%
Zug	43.800	44.000	+0,5%
Σ	403.200	404.500	+0,3%

7.3 Planfall 2 (Linie 8)

Die Südwest-Linie (Linie 8) verläuft von der Weblinger Straße zum Jakominiplatz. Damit werden das Einkaufszentrum Citypark und der Griesplatz, die zuvor nur durch Buslinien erreichbar waren, zusätzlich durch Straßenbahnen erschlossen. Das Busnetz im Westen bleibt ident. Es wird lediglich die Linie 33 vom Jakominiplatz bis zur Haltestelle Uni/RESOWI verlängert. Die Linie 31 wird eingestellt.

Linienverläufe:

Linie 8: Webling – Ankerstraße – Peter-Rosegger-Straße – Reininghaus – Don Bosco – Hohenstaufengasse – Karlauer Kirche/Citypark – Griesplatz – Jakominiplatz

Linie 31: eingestellt

Linie 33: Peter-Rosegger-Straße – Grottenhofstraße – Don Bosco – Griesplatz – Jakominiplatz – Kaiser-Josef-Platz/Oper – Uni/RESOWI

Tabelle 57: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 2

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min] (7:30 – 18:00)	Takt Früh [min] (6:30 – 7:30)	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Linie 8	4:30 – 23:00	7,5	6	0,10
Linie 33	4:30 – 24:00	10	7,5	0,10

Linie 8 hat in der Spitzenbelastungszeit zwischen 6:30 und 7:30 eine Zugfolgezeit von 6 Minuten. Unter Tags wird der Takt auf 7,5 Minuten erhöht. Beim *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor wird nicht der ursprüngliche Wert 0,12, sondern der Wert 0,10 verwendet. Der Grund dafür ist, dass die Linien 8 und 33 zu einem großen Teil parallel verlaufen und in der Kalibrierung die Buslinie 33 ebenfalls den Wert 0,10 hatte.

Fahrgastzahlen der beeinflussten Linien

Durch die Verlängerung der Linie 33 und dem Bau der Linie 8 ist ein deutlicher Anstieg der Fahrgäste auf der Südwest-Verbindung zu erkennen. Die Zunahme beträgt knapp 25%. Auffallend ist, dass die Linie 33 mehr Fahrgastaufkommen aufweist als die Linie 8. Der Grund dafür ist, dass beide Linien annähernd parallel verlaufen und die Linie 33 von Peter-Rosegger-Straße bis Jakominiplatz eine Minute weniger benötigt als die Linie 8 für die gleiche Strecke. Die Fahrplanfahrten für die Linie 8 werden aus der Hüsler Studie implementiert. Dort wird die Fahrzeit für die Strecke Peter-Rosegger-Straße – Jakominiplatz mit 19 Minuten angegeben. Linie 33 benötigt für die gleiche Strecke 18 Minuten. Der Takt der Linie 8 ist zwar dichter als jener der Linie 33, doch da die Reisezeit im Verkehrsmodell einen höheren Einfluss als die Bedienungshäufigkeit hat, generiert die Linie 33 mehr Fahrgäste. Ein weiterer Grund für die höheren Fahrgastzahlen ist auch, dass mit der Buslinie 33 die Karl-Franzens-Universität ohne Umstiege vom Südwesten der Stadt erreichbar ist.

Tabelle 58: Linienbeförderungsfälle Planfall 2

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 2 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 8	-	15.300	-
Linie 31	19.000	-	-
Linie 33	7.700	18.100	+135,1%
Σ	26.700	33.400	+25,1%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Planfall 2 weist eine deutliche Erhöhung der Linienbeförderungsfälle der Straßenbahn auf. Die Fahrgastanzahl der Buslinien nimmt um 7.300 ab. Die leichte Zunahme des Zugverkehrs gegenüber dem Referenzfall ist auf die Implementierung des NVK Wetzelsdorf in der Peter Rossegger Straße zurückzuführen. Das Fahrgastaufkommen steigert sich durch die oben genannten Anpassungen um knapp 10.000 (+2,5%).

Tabelle 59: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 2

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 2 (gerundet auf 100)	Änderung
Straßenbahn	186.900	203.600	+8,9%
Bus	172.500	165.200	-4,2%
Zug	43.800	44.300	+1,1%
Σ	403.200	413.100	+2,5%

7.4 Planfall 3 (Linie 9)

Die Nordwest-Linie (Linie 9 bzw. 19) vom NVK Gösting, über Fröbelpark – Lendplatz zum Roseggerhaus ersetzt die Buslinien 40 und 67 in diesen Abschnitten. Dieses Gebiet wird nun anstatt Bussen mit der Straßenbahn zum Stadtzentrum angeschlossen. Das Stadtzentrum wird mit einer Schleifenführung in beiden Richtungen (Linie 9 im Uhrzeigersinn, Linie 19 gegen den Uhrzeigersinn) durchfahren. Der NVK Gösting, der in den nächsten Jahren entstehen soll, wird ebenfalls von den Straßenbahnlinien 9 und 19 bedient, womit der Umweg für die Pendler entfällt.

Die Buslinie 67 wird nun in eine Nord- und eine Südverbindung geteilt. Zusätzlich werden die Linien 48 und 62 bis zum Nahverkehrsknoten Gösting verlängert und die Linie 52 wird auf einen ganztägigen 10-Minuten-Takt verdichtet.

Linienverläufe:

Linie 9 bzw. 19: NVK Gösting – Exerzierplatzstraße – Hirtenkloster – Lendplatz – Roseggerhaus – Hauptplatz – Jakominiplatz – Andreas-Hofer-Platz – Roseggerhaus

Linie 40: eingestellt

Linie 48: Verlängerung bis NVK Gösting

Linie 52: Verdichtung auf 10' Takt

Linie 62: Verlängerung bis NVK Gösting

Linie 67 Nord: Fröbelpark – Augasse – NVK Gösting

Linie 67 Süd: Zentralfriedhof – Griesplatz – Andreas-Hofer-Platz

Für die Linien 9 und 19 wird bei *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor der Wert 0,09 verwendet, da die eingestellte Linie 40 aus dem Referenzfall ebenfalls den Wert 0,09 hatte und sich die beiden Linien im Verlauf ähnlich sind. Die Linie 62 hat den gleichen *Fahrzeit je Vsys*-Faktor wie im Basis- bzw. Referenzfall. Linie 9 bzw. 19 werden im Spitzenfall alle 5 Minuten betrieben. Im weiteren Tagesverlauf wird der Takt auf 6 Minuten angehoben. Linie 62 zum NVK Gösting hat die gleichen Betriebszeiten wie im Basisfall und die Linien 52, 67 Nord und 67 Süd werden den ganzen Tag im 10 Minuten Takt geführt.

Tabelle 60: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 3

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min] (7:30 – 18:00)	Takt Früh [min] (6:30 – 7:30)	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Linie 9/19	4:30 – 24:00	6	5	0,09
Linie 52	4:30 – 24:00	10	10	0,12
Linie 62	4:30 – 24:00	10	7,5	0,18
Linie 67 Nord	4:30 – 24:00	10	10	0,12
Linie 67 Süd	4:30 – 24:00	10	10	0,12

Fahrgastzahlen der beeinflussten Linien

In Tabelle 61 ist eine Steigerung der Fahrgastzahlen gegenüber den derzeit bestehenden Linien erkennbar. Die Nordwestverbindung generiert pro Tag knapp 25.000 Fahrgäste, ein großer Teil davon von der eingestellten Linie 40. Zudem wird aufgrund der Aufteilung der Linie 67 ein Großteil der

Fahrgäste auf die Nordwest-Linie umgelagert. Durch die Taktverdichtung der Linie 52 in den Norden von Graz tritt eine Fahrgastzunahme von 42,6% auf.

Tabelle 61: Linienbeförderungsfälle Planfall 3

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 3 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 9	-	13.000	-
Linie 19	-	11.900	-
Linie 40	18.500	-	-
Linie 52	4.700	6.700	+42,6%
Linie 67	10.400	-	-57,7%
Linie 67 Nord	-	1.100	
Linie 67 Süd	-	3.300	
Σ	33.600	36.000	+7,1%

Fahrgastzahlen je Verkehrssystem

In Summe werden durch die oben beschriebenen Maßnahmen 5.600 zusätzliche ÖV-Fahrgäste gewonnen. Dabei spielt der NVK Gösting eine große Rolle. Durch die Zunahme an Zugfahrten steigen ebenfalls die Tramfahrten der Linien 9 bzw. 19 von Gösting. Aufgrund der hohen Kosten ist eine Straßenbahn für die Gewinnung von lediglich 5.600 Fahrgästen zu hinterfragen. Dabei werden bei diesem Planfall zum Großteil die Fahrgäste vom Bus auf die Straßenbahn verlagert. Dadurch könnte jedoch eine positive Wirkung auf die Bevölkerung in Gösting eintreten, da der Fahrkomfort viel höher ist und die Zuverlässigkeit einer Straßenbahn ebenso höher ist als die des Busses. Diese beiden Aspekte werden jedoch von jeder Person individuell bewertet und deshalb ist es schwer, dies in einem Verkehrsmodell abzubilden.

Tabelle 62: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 3

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 3 (gerundet auf 100)	Änderung
Straßenbahn	186.900	215.400	+15,3%
Bus	172.500	145.900	-15,4%
Zug	43.800	47.500	+8,5%
Σ	403.200	408.800	+1,4%

7.5 Planfall 4 (alle Hüsler Linien)

Beim Planfall 4 werden die Planfälle 1 bis 3 zusammengefügt. Somit gibt es 3 zusätzliche Straßenbahnlinien. Diese sind die West-Ost-Verbindung (Linie 2), die Südost-Linie (Linie 8) und die Nordwest-Linie (Linie 9 bzw. 19). Zusätzlich werden die in den Hüsler-Planfällen angeführten Buslinien angepasst oder eingestellt.

Fahrgastzahlen der beeinflussten Linien

Bei den betrachteten Linien treten insgesamt 23.100 zusätzliche Linienbeförderungsfälle auf, was ein Plus von 25,1% bedeutet. Auf den Linien 2, 8 und 9 bzw. 19 fallen rund 62.000 Fahrgäste an. Bei den Buslinien ist vor allem die Linie 33 hervorzuheben, da hier eine Fahrgastzunahme von knapp 220% auftritt. In Abschnitt 7.3 wurde der Grund für den hohen Anstieg dieser Linie bereits erklärt. Jedoch steigern sich die Linienbeförderungsfälle von Planfall 2 zu Planfall 4 um weitere 6.500 Fahrten. Die Anzahl der Fahrgäste von Linie 8 bleibt im Gegensatz dazu beinahe gleich. Allgemein verzeichnen die in Tabelle 63 angeführten Buslinien einen starken Zuwachs gegenüber dem Referenzfall. Lediglich die Linien 63 und 67 weisen ein geringeres Fahrgastaufkommen auf. Das ist jedoch auf die Kürzung bzw. Aufteilung der beiden Linien zurückzuführen.

Tabelle 63: Linienbeförderungsfälle Planfall 4

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 4 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 2	-	22.000	-
Linie 8	-	15.600	-
Linie 9	-	13.000	-
Linie 19	-	11.600	-
Linie 31	18.900	-	-
Linie 33	7.700	24.600	+219,5%
Linie 40	18.500	-	-
Linie 41	7.200	10.900	+51,4%
Linie 52	4.700	7.200	+53,2%
Linie 58 + 58E	16.800	0	-
Linie 63	7.900	5.800	-26,6%
Linie 67	10.400	-	-57,7%
Linie 67 Nord	-	1.100	
Linie 67 Süd	-	3.300	
Σ	92.000	115.100	+25,1%

Fahrgastaufkommen je Verkehrsaufkommen

In Tabelle 64 ist zu erkennen, dass durch die in Planfall 4 gesetzten Maßnahmen der Öffentliche Verkehr um 25.000 Fahrten pro Tag zunimmt. Das entspricht einer Steigerung von 6%. Auffallend ist, dass durch die Implementierung der Linien 2, 8 und 9 bzw. 19 ein Anstieg an Straßenbahnfahrten von 57.000 Fahrten (+30,5%) auftritt. Diese Zunahme ist zu einem großen Teil auf die Verlagerung vom Bus auf die Tram zurückzuführen. Dadurch nehmen die Beförderungsfälle der Busse um 36.900 ab (-21,4%). Des Weiteren werden auch neue Fahrgäste gewonnen, welche zuvor ein anderes Verkehrssystem wählten (z.B. vom Pkw zum ÖV). Hier ist vor allem auf die zusätzlichen Zugfahrten aufgrund des Bauvorhabens des NVK Göttings hinzuweisen. Dadurch können Fahrgäste direkt vom Zug auf die Tram umsteigen, um ins Stadtgebiet zu gelangen.

Tabelle 64: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 4

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Linie	Referenzfall (gerundet auf 100)
Straßenbahn	186.900	243.900	+30,5%
Bus	172.500	135.600	-21,4%
Zug	43.800	48.000	+9,6%
Σ	403.200	427.500	+6,0%

7.6 Planfall 5 (U1)

Die in Abschnitt 6.4.1 beschriebene U1 von Eggenberg über Hauptbahnhof, Jakominiplatz bis zum Berliner Ring wird ins Referenzmodell implementiert. Die in Kapitel 6.6 ermittelten Parameter werden für die U-Bahn verwendet. Die Anbindungslängen für die U-Bahn Haltestellen betragen 600 m, wobei diese Anbindungen adaptiert werden, wenn z.B. die Mur zwischen Bezirk und Haltestelle liegt und sich keine Brücke in der Nähe befindet. Der Takt wird an die Grazer Ganglinie angepasst (siehe Tabelle 47). Täglich verkehren somit 276 Fahrzeuge pro Richtung. Die Übergangsgehzeiten zur Verknüpfung der einzelnen Haltestellenbereiche (Bus, Tram, U-Bahn, Zug) wurden vom EBW zur Verfügung gestellt.

Linienverlauf:

U1: Eggenberg/UKH – Schloss Eggenberg – FH – Hauptbhf. – AVL – Lendplatz – Andreas-Hofer-Platz – Jakominiplatz – Neue Technik – Karl-Franzens-Universität – Botanischer Garten – LKH – Berliner Ring

Tabelle 65: Taktfahrplan U1 bzw. U2 anhand Grazer Ganglinie

Uhrzeit	Takt [Minuten]
5:00 – 6:00	5
6:00 – 7:00	4
7:00 – 9:00	2,5
9:00 – 19:00	4
19:00 – 21:00	5
21:00 – 24:00	7,5

Modal Split

In Abbildung 37 ist der Modal Split für den Planfall 5 dargestellt. Der ÖV-Anteil für die Grazer Bevölkerung steigt um 3%. Diese Steigerungen gehen mit einer Reduktion der PKW-Fahrer und des nicht motorisierten Individualverkehrs (Fuß und Rad) einher. Durch die kürzere Reisezeit wechseln viele Personen vom Rad auf die U-Bahn. Das ist auch anhand der Reiseweitenverteilung erkennbar. Die kürzeren Wege beim öffentlichen Verkehr nehmen leicht zu. Der Modal Split im Umland hat sich nur minimal verändert. Es nehmen lediglich die ÖV-Fahrten leicht zu. Der Grund für die nur leichte Veränderung ist, dass die U-Bahn nur jene Bevölkerung beeinflusst, welche den öffentlichen Verkehr in Graz nutzt. Der Großteil der Umlandbevölkerung hat keine Verknüpfung zur Stadt und deshalb

ändert sich insgesamt der Modal Split nur wenig, da die ÖV-Systeme im Umland nicht verbessert wurden.

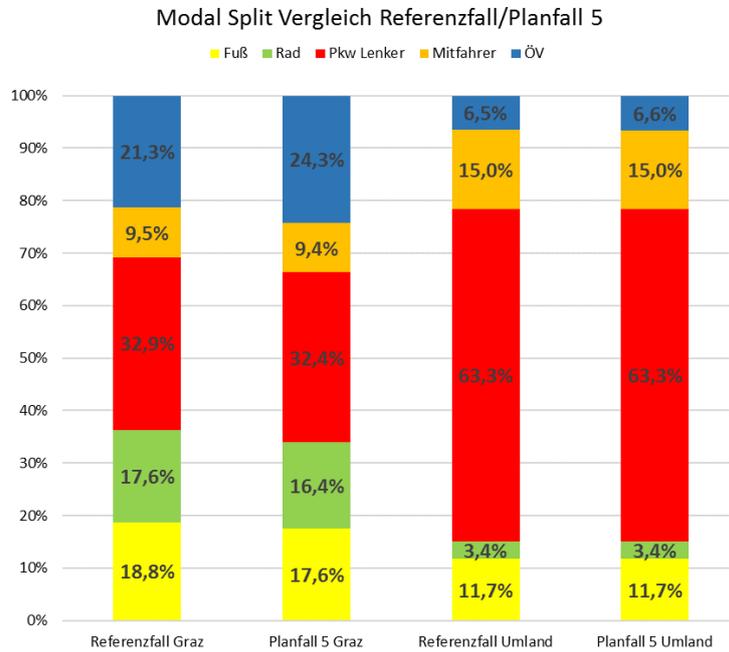


Abbildung 37: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 5

Fahrgastzahlen der U-Bahn- und Tramlinien

Anhand der Fahrgastzahlen kann man erkennen, dass die West-Ost-Straßenbahnlinien aufgrund der U-Bahn stark entlastet werden. Die derzeit am stärksten belastete Linie 7 verliert gemeinsam mit der Linie 17 mehr als ein Drittel der Fahrgäste (-16.600 FG). Generell weisen alle Tram Linien verringerte Fahrgastaufkommen auf. Die am wenigsten betroffene Linie ist die Linie 5 von Andritz nach Puntigam. Der Grund hierfür ist, dass sich die Streckenführungen der Linie 5 und der U1 stark unterscheiden und sich somit gegenseitig wenig beeinflussen. Durch die Implementierung der West-Ost-U-Bahn steigert sich die Anzahl der Fahrgäste der Straßenbahnen und U-Bahnen um knapp 50.000.

Tabelle 66: Linienbeförderungsfälle Planfall 5

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 5 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	15.900	-31,8%
Linie 3	25.900	19.900	-23,2%
Linie 4	28.500	23.700	-16,8%
Linie 5	27.200	26.600	-2,2%
Linie 6 + 16	35.800	28.800	-19,6%
Linie 7 + 17	46.200	29.600	-35,9%
U1	-	91.500	-
Σ	186.900	236.000	+26,3%

Die U1 erreicht rund 91.500 Linienbeförderungsfälle pro Tag und der am stärksten belastete Querschnitt ist zwischen Jakominiplatz und Neue Technik mit knapp 51.000 Fahrgästen pro Tag. Unter der Annahme, dass ca. 12-14% des täglichen Verkehrs die Morgenspitze abbilden, treten auf diesem Abschnitt zwischen 3.000 und 3.500 Fahrgäste pro Stunde und Richtung auf. In diesem Planfall wird jedoch der in ÖV 2023 geplante Takt der Linie 7 und 17 nicht adaptiert. In der Realität würde der Takt dieser beiden Linien ausgedünnt werden und somit die U-Bahn Fahrten steigen.

Fahrgastaufkommen je nach Verkehrssystem

Durch Einführung einer U-Bahn vom Westen in den Osten steigert sich das ÖV-Fahrgastaufkommen um knapp 7%. Rund zwei Drittel der Linienbeförderungsfälle verlagern sich von Straßenbahn und Bus auf die U-Bahn. Die restlichen knapp 29.000 Fahrgäste werden von anderen Modi (Fuß, Rad, Pkw, Mitfahrer) übernommen. Das Straßenbahnfahrgastaufkommen verringert sich durch die teilweise parallele Führung der U1 um beinahe 42.500 (-22,7%). Durch die Linienführung der U1 wäre zu überlegen, die Linie 58 einzustellen und die Linie 63 nicht mehr bis zum Hauptbahnhof zu führen, sondern nur noch bis zur Universität. Dadurch würde weiteres Fahrgastaufkommen für die U-Bahn generiert werden und die Strecken würden entlastet, wodurch geringere Rückstauzeiten für den mIV und die Tram auftreten würden. In diesem Planfall wird jedoch auf diese Überlegung nicht eingegangen, da die U1 als Alternative untersucht wird und deshalb keine anderen Linien verschlechtert werden sollen. Die Linienbeförderungsfälle der Busse werden um 11,5% geringer. Die Zugfahrten bleiben annähernd gleich.

Tabelle 67: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 5

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 5 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	91.500	-
Straßenbahn	186.900	144.400	-22,7%
Bus	172.500	152.600	-11,5%
Zug	43.800	43.500	-0,7%
Σ	403.200	432.000	+7,1%

7.7 Planfall 6 (U2)

Die U2 führt vom neuen Nahverkehrsknoten Gösting über den Jakominiplatz und Reininghaus nach Webling. Die Einfluss- bzw. Einstellungsparameter für die U-Bahn sind in Abschnitt 6.6 angeführt. Die Anbindungslängen für die U-Bahn Haltestellen betragen maximal 600 m. Der verwendete Fahrplan wird in Tabelle 47 angeführt. Ansonsten wird das Referenzmodell gleich belassen.

Linienverlauf:

U2: NVK Gösting – Augasse – Fröbelpark – Hasnerplatz/Pädag. Hochschule – Geidorfplatz – Maiffredygasse – Jakominiplatz – Griesplatz – Don Bosco Bhf. – Reininghaus – NVK Wetzelsdorf – Strassganger Straße – Ankerstraße – P&R Webling

Modal Split

Abbildung 38 zeigt eine deutliche Erhöhung des ÖV-Anteils der Grazer Bevölkerung. Der Anstieg von knapp 4% setzt sich aus den Verlusten von Rad (-1,5%), Fuß (-1,7%) und dem Pkw inkl. Mitfahrern (-1,0%) zusammen. Die Reiseweiten des öffentlichen Verkehrs werden aufgrund der schnelleren Reisezeit und der hohen Bedienungshäufigkeit der U-Bahn kürzer, da sie nun eine gute Alternative zum Fuß- bzw. Radweg darstellen. Der Modal Split für die Umlandbewohner ändert sich nur marginal. Hier nimmt der ÖV-Anteil etwas zu, da aufgrund des Nahverkehrsknotens Gösting und der dort angebotenen U2 die Reisezeit stark verbessert wird und aufgrund der höheren Attraktivität mehr Pendler angezogen werden.

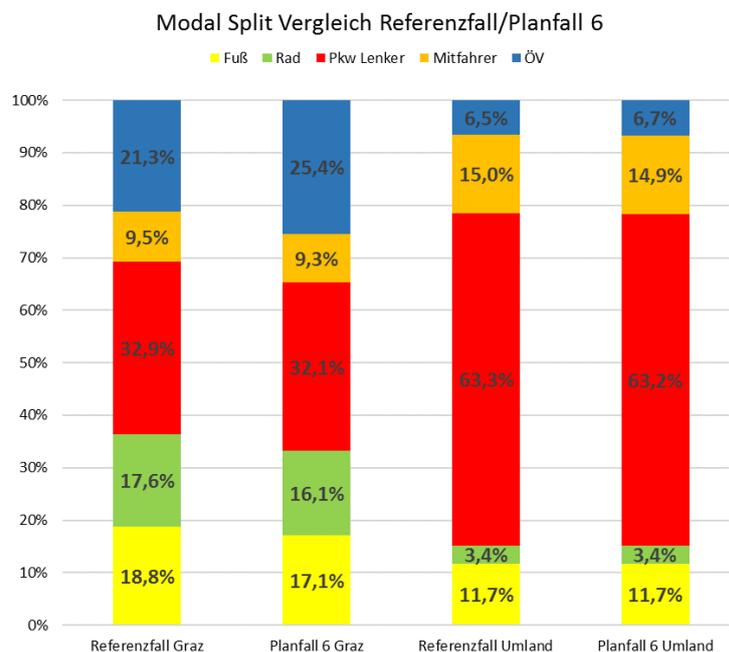


Abbildung 38: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 6

Fahrgastzahlen der U-Bahn- und Tramlinien

Die Summe des Fahrgastaufkommens der Tramlinien und der U-Bahn nimmt um beinahe 45% zu. Auf der Nord-Süd-Verbindung verkehren knapp 105.000 Fahrgäste täglich. Der am stärksten belastete Querschnitt ist zwischen Jakominiplatz und Griesplatz mit knapp 61.000 Fahrgästen pro Tag. Die hohe Akzeptanz dieser Linie ist vor allem auf die nicht vorhandene Alternative im Bereich Gösting und im südlichen Teil der Stadt (Richtung Straßgang) zurückzuführen. Zusätzlich wird von der U2 auch der südliche Teil der Reininghausgründe angebunden. Dort herrscht großes Fahrgastpotential aufgrund der zusätzlichen Wohn- und Arbeitsplätze. Ein weiterer Grund ist das erhöhte Pendleraufkommen aufgrund der NVK Gösting und Wetzelsdorf mit direkter Verknüpfung zur U2. Dadurch ist eine schnelle Verbindung vom Bahnhof in die Innenstadt gegeben. Alle Straßenbahnlinien büßen deutlich an Fahrgästen ein, wobei die Linien, die im Norden bzw. Süden verkehren, am meisten davon betroffen sind. So verlieren die Linien 3 bis 5 alle über 10% an Fahrgästen.

Tabelle 68: Linienbeförderungsfälle Planfall 6

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 6 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	20.700	-11,2%
Linie 3	25.900	21.500	-17,0%
Linie 4	28.500	24.300	-14,7%
Linie 5	27.200	24.200	-11,0%
Linie 6 + 16	35.800	33.600	-6,1%
Linie 7 + 17	46.200	41.700	-9,7%
U2	-	104.600	-
Σ	186.900	270.600	+44,8%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Große Auswirkungen hat die Implementierung der U2 vor allem auf die Anzahl an Fahrgästen für den Busverkehr. Dieser wird aufgrund der Alternative der U-Bahn in den Norden und in den Süden deutlich geringer. Durch den ähnlichen Verlauf der Linien 31, 40 und 67 mit der U2 wäre es überlegenswert, diese Busse einzustellen oder die Fahrzeitfolge zu erhöhen, um zusätzliche Fahrgäste für die U2 zu gewinnen bzw. damit einhergehend die Straßen für den mIV zu entlasten. Die Straßenbahnfahrgäste nehmen im Vergleich zum Bus prozentuell geringer ab. Der Grund dafür ist, dass die Hauptachse der Straße die West-Ost-Verbindung ist und dadurch nicht so stark von der U2 beeinflusst wird. Die Zugfahrten steigen ebenfalls deutlich an, was in erster Linie an den neuen Nahverkehrsknoten Gösting und Wetzelsdorf liegt. Insgesamt steigt durch die Errichtung der U2 das Fahrgastaufkommen um knapp 50.000, was ein Plus von rund 12% bedeutet.

Tabelle 69: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 6

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 6 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	104.600	-
Straßenbahn	186.900	166.100	-11,1%
Bus	172.500	133.800	-22,4%
Zug	43.800	47.700	+8,9%
Σ	403.200	452.200	+12,2%

7.8 Planfall 7 (U1 + U2)

In diesem Szenario werden die Planfälle 4 und 5 zusammengefügt. So gibt es eine West-Ost-Verbindung (U1) und eine Nord-Süd-Verbindung (U2), die am Jakominiplatz miteinander verknüpft werden. Der Ausbau der Nahverkehrsknoten wird ebenfalls mitberücksichtigt. Ansonsten werden die Fahrpläne und die Linien aus dem Referenzfall übernommen. Es werden keine Linien eingestellt und der Takt bleibt ebenfalls ident mit jenen aus dem Referenzfall, obwohl manche parallel zur U-Bahn verlaufen und sich so gegenseitig Fahrgäste wegnehmen. Hier sollte in weiterer Folge darüber nachgedacht werden, manche Buslinien eventuell einzustellen, um Streckenabschnitte zu entlasten.

Das ist vor allem im Hinblick auf die im Mischverkehr geführten Straßenbahnlinien wichtig, da es dort oftmals zu Verzögerungen kommt.

Modal Split

In Abbildung 39 ist eine deutliche Steigerung von 6,6% des ÖV-Modal Splits von Graz erkennbar. Der Anteil an Fußgängerwegen wird deutlich weniger und auch der Radverkehr und der Pkw Verkehr nehmen ab. Im Umland ist lediglich eine leichte Erhöhung des ÖV-Anteils festzustellen. Diese Erhöhung ist vor allem auf die U2 und mit den einhergehenden NVK Gösting und Wetzelsdorf zu erklären.

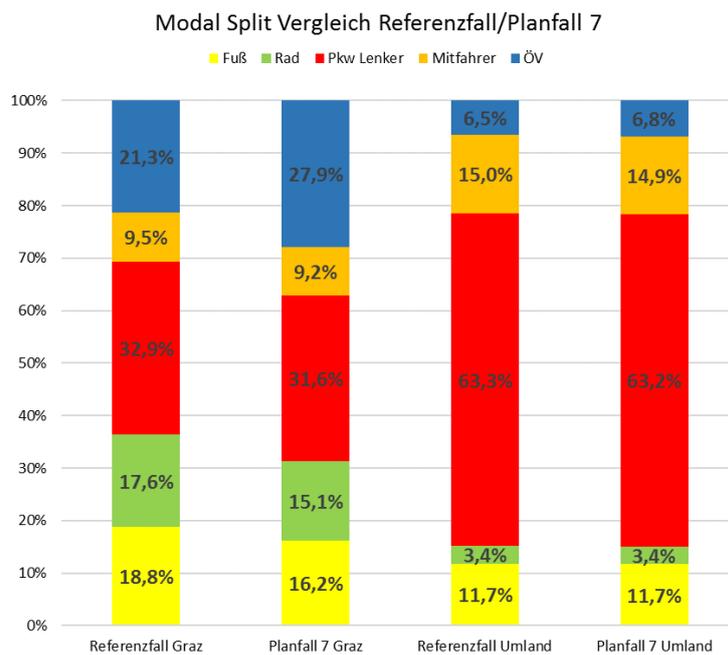


Abbildung 39: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 7

Fahrgastzahlen der U-Bahn- und Tramlinien

Tabelle 70 zeigt, dass die Fahrgastzahlen der Straßenbahnlinien deutlich abnehmen. Vor allem die aus dem Referenzfall meist belasteten Linien 7 bzw. 17 weisen enorme Verluste auf. Dabei ist ein Minus von über 40% zu erwarten. Ein Bau der U1 und der U2 muss daher mit einer Taktreduktion der West-Ost-Verbindungen einhergehen, da ansonsten die Kosten zu den transportierten Fahrgästen viel zu hoch wären. Durch diesen ausgedünnten Takt würden die beiden U-Bahnen zusätzliche Fahrgäste anziehen. Am wenigsten beeinflusst von den beiden unterirdisch geführten Linien ist die Linie 5 von Andritz nach Puntigam. Das ist vor allem auf die langen Distanzen zur U2 zurückzuführen, womit Fahrgäste eher die Straßenbahn wählen. Insgesamt steigen die Fahrgäste der U-Bahn und Tram um rund 68% an.

Tabelle 70: Linienbeförderungsfälle Planfall 7

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 7 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	14.700	-36,9%
Linie 3	25.900	16.600	-35,9%
Linie 4	28.500	22.500	-21,1%
Linie 5	27.200	24.000	-11,8%
Linie 6 + 16	35.800	28.800	-19,6%
Linie 7 + 17	46.200	26.100	-43,5%
U1	-	83.600	-
U2	-	97.300	-
Σ	186.900	313.600	+67,8%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Insgesamt ist mit einer Erhöhung der Fahrgastzahlen von ca. 74.500 Fahrgästen pro Tag zu rechnen (+18,5%). Die beiden U-Bahnen haben dabei ein Fahrgastaufkommen von knapp 181.000. Bus und Straßenbahn werden um ca. 30% weniger genutzt. Diese Zahl würde sich noch erhöhen, wenn man die oben angeführten Maßnahmen hinsichtlich der Einstellung mancher Linien umsetzen würde. Das Plus der Fahrgäste beim Zug ist in erster Linie auf die beiden Nahverkehrsknoten zurückzuführen und zusätzlich auf die höhere Attraktivität in der Stadt aufgrund der U-Bahn. Dadurch werden manche Pendler anstatt des Pkws den ÖV wählen, um in die Stadt zu gelangen.

Tabelle 71: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 7

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 7 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	180.900	-
Straßenbahn	186.900	132.700	-29,0%
Bus	172.500	116.300	-32,6%
Zug	43.800	47.800	+9,1%
Σ	403.200	477.700	+18,5%

7.9 Planfall 8 (Linie 8&9 + U1)

Eine Kombination aus den Hüsler-Linien 8 und 9 und der U1 wird in Planfall 8 untersucht. Die Linie 8 soll den Südwesten der Stadt bis Webling anbinden, Linie 9 den Norden bis Gösting und die U1 dient zur Reduktion der Kapazitätsengpässe der West-Ost-Verbindungen im Innenstadtbereich. Die Buslinien werden wie in Planfall 2 (siehe Abschnitt 7.3) und Planfall 3 (siehe Abschnitt 7.4) verändert. Die wichtigsten Veränderungen dahingehend sind die Einstellung der Linien 31 und 40, die Aufteilung der Linie 67 und die Verlängerung der Linie 33 bis zur Karl-Franzens-Universität.

Linienverläufe:

- U1:** Eggenberg/UKH – Schloss Eggenberg – FH – Hauptbhf. – AVL – Lendplatz – Andreas-Hofer-Platz – Jakominiplatz – Neue Technik – Karl-Franzens-Universität – Botanischer Garten – LKH – Berliner Ring
- Linie 8:** Webling – Ankerstraße – Peter-Rosegger-Straße – Reininghaus – Don Bosco – Hohenstaufengasse – Karlauer Kirche/Citypark – Griesplatz – Jakominiplatz
- Linie 9 bzw. 19:** NVK Gösting – Exerzierplatzstraße – Hirtenkloster – Lendplatz – Roseggerhaus – Hauptplatz – Jakominiplatz – Andreas-Hofer-Platz – Roseggerhaus
- Linie 31:** eingestellt
- Linie 33:** Peter-Rosegger-Straße – Grottenhofstraße – Don Bosco – Griesplatz – Jakominiplatz – Kaiser-Josef-Platz/Oper – Uni/RESOWI
- Linie 40:** eingestellt
- Linie 48:** Verlängerung bis NVK Gösting
- Linie 52:** Verdichtung auf 10' Takt
- Linie 62:** Verlängerung bis NVK Gösting
- Linie 67 Nord:** Fröbelpark – Augasse – NVK Gösting
- Linie 67 Süd:** Zentralfriedhof – Griesplatz – Andreas-Hofer-Platz

Die U1 fährt am Morgen einen Takt von 2,5 Minuten, um die Spitzennachfragen auffangen zu können. Im weiteren Tagesverlauf wird sie mit 4 Minuten Zugfolgezeit betrieben. Linie 8 wird am Morgen im 6 Minuten Takt und danach im 7,5 Minuten Takt betrieben. Die Nordwest-Linie nach Gösting hat in der Früh einen Takt von 5 Minuten, welcher danach auf 6 Minuten erhöht wird. Beim *Fahrzeit je Verkehrssystem*-Faktor wird bei den Linien 8 und 9 bzw. 19 nicht der ursprüngliche Wert 0,12 verwendet. Bei Linie 8 wird der Wert 0,10 angewendet, da die Linie 33 zu einem großen Teil parallel zur Linie 8 verläuft und in der Kalibrierung die Buslinie 33 ebenfalls den Wert 0,10 hatte. Bei Linie 9 bzw. 19 verhält es sich annähernd gleich, nur war der Verlauf der eingestellten Linie 40 der Linie 9 ähnlich und diese hatte den Wert 0,09. Die U1 wird mit den in Tabelle 49 angeführten Parametern modelliert.

Tabelle 72: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 8

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min]	Takt Früh [min]	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
U1	5:00 – 24:00	4	2,5	0,12
Linie 8	4:30 – 23:00	7,5	6	0,10
Linie 9/19	4:30 – 24:00	6	5	0,09

Modal Split

In diesem Abschnitt wird auf den in Abbildung 40 dargestellten Gesamt-Modal-Split für Graz und Umland und die Modal Splits für die wichtigsten VHG in Graz (Abbildung 41) näher eingegangen.

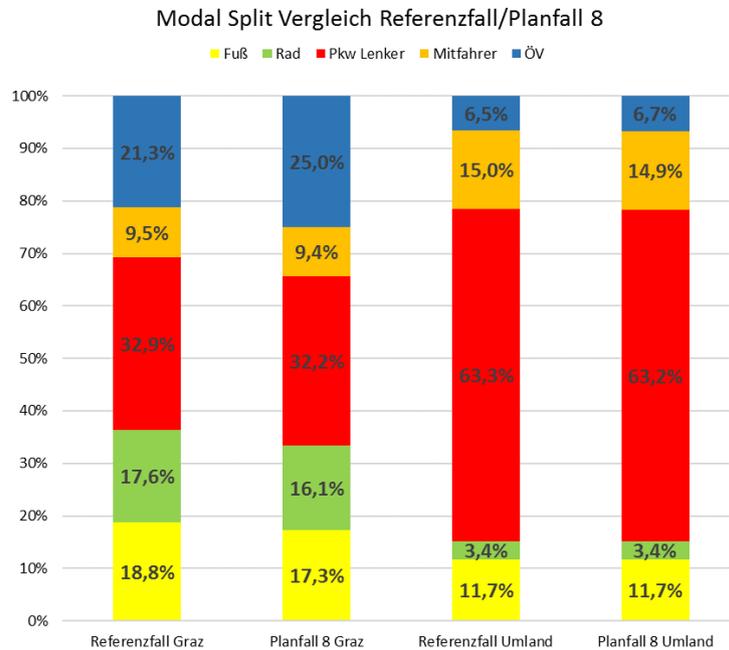


Abbildung 40: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 8

Der ÖV-Anteil der Grazer nimmt dabei um 3,7% zu, wobei die größte Zunahme bei den Studenten auftritt (+6,6%). Das ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass Grazer Studenten einen hohen Radverkehrsanteil aufweisen und die U1 aufgrund der schnellen Reisezeiten zur Karl-Franzens-Universität bzw. zur Neuen Technik eine attraktive Alternative darstellt. Starke Zunahmen beim ÖV weisen ebenfalls die Personen auf, die keinen oder nur bedingten Zugriff auf einen Pkw haben. So erhöht sich der ÖV-Anteil bei den Grundschulern (+3,4%), den Erwerbstätigen ohne Pkw (+4,3%) und den nicht Erwerbstätigen ohne Pkw (+4,5%) nach den Studenten am meisten. Generell ist zu erwähnen, dass die zusätzlichen ÖV-Fahrten hauptsächlich von der Verlagerung der Fußgänger und der Radfahrer auf den ÖV gewonnen werden. Der Pkw Anteil nimmt leicht ab (-0,7%) und diese Pkw Fahrten verlagern sich ebenfalls zum öffentlichen Verkehr. Die VHG, die hauptsächlich für die Abnahme des Pkw-Anteils verantwortlich sind, sind die beiden größten Gruppen, die Erwerbstätigen mit PKW (-1,1%) und die nicht Erwerbstätigen mit PKW (-0,7%).

Bei der Umlandbevölkerung ist die Zunahme beim öffentlichen Verkehr minimal (+0,2%). Die zusätzlichen ÖV-Fahrten werden bei den Pkw-Lenkern (+0,1%) und den Mitfahrern (+0,1%) generiert.

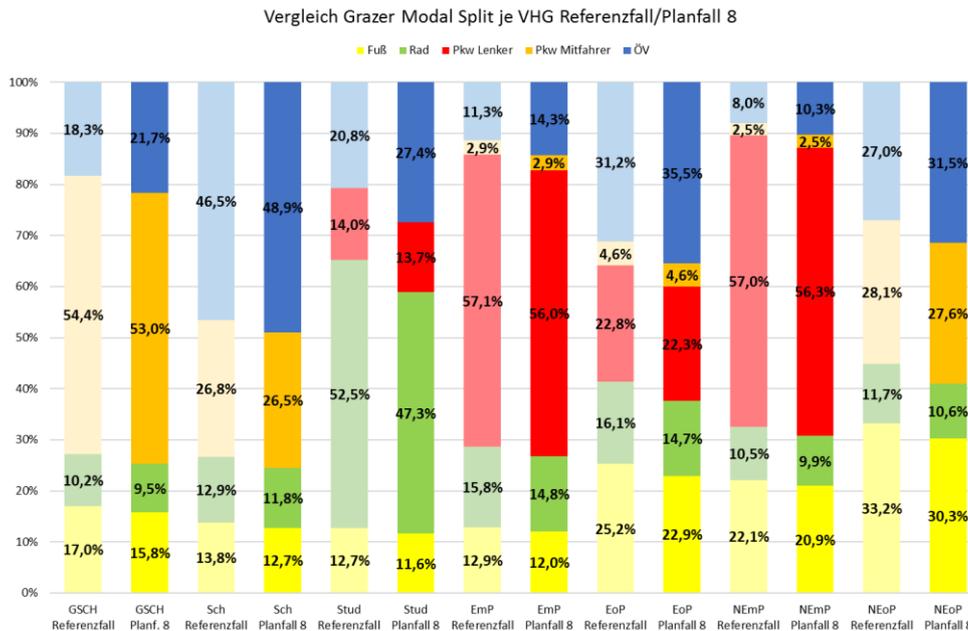


Abbildung 41: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Referenzfall und Planfall 8

Fahrgastzahlen der U-Bahn- und Tramlinien

Insgesamt treten durch die Implementierung der Linien 8, 9 bzw. 19 und der U1 84.800 zusätzliche U-Bahn- oder Tramfahrten (+45,4%) in Graz auf. Die U1 hat dabei den größten Anteil mit knapp 92.000 Fahrten pro Tag. Zwischen Jakominiplatz und der Neuen Technik liegt der meist belastete Querschnitt mit täglich rund 51.200 Linienbeförderungen. Die Fahrgastzahlen der Straßenbahnlinien nehmen deutlich ab. Vor allem die West-Ost-Verbindungen, die zu einem großen Teil dasselbe Einzugsgebiet wie die neue U1 haben, wie die Linien 1, 6 und 7, verzeichnen viel weniger Beförderungen. Die Linie 5 wird am wenigsten von der U1 und den Straßenbahnlinien 8 und 9 beeinflusst und verliert daher nur rund 5% der Fahrgäste. Der Grund für die geringe Fahrgastanzahl der Linie 8 wurde bereits in Abschnitt 7.3 erklärt.

Tabelle 73: Linienbeförderungsfälle Planfall 8

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 8 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	15.900	-31,8%
Linie 3	25.900	20.400	-21,2%
Linie 4	28.500	24.500	-14,0%
Linie 5	27.200	25.900	-4,8%
Linie 6 + 16	35.800	28.400	-20,7%
Linie 7 + 17	46.200	29.000	-37,2%
Linie 8	-	13.900	-
Linie 9 + 19	-	21.400	-
U1	-	92.300	-
Σ	186.900	271.700	+45,4%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Betrachtet man die Gesamtanzahl an Linienbeförderungsfällen, so steigern sich die Fahrgastzahlen durch die in Planfall 8 gesetzten Maßnahmen um 44.400, was ein Plus von 11% bedeutet. Die Straßenbahnfahrten gehen trotz Einführung zweier neuer Linien (8 und 9) um 4% zurück. Die Zahl an Busfahrgästen geht um ein Viertel zurück. Diese werden in erster Linie von den neuen Straßenbahnlinien im Nordwesten (Linie 9) und im Südwesten (Linie 8) der Stadt aufgenommen. Zusätzlich verlagern sich einige Fahrgäste vom Bus auf die U-Bahn. Vor allem die Anbindung zu den Universitäten KFU und Neue Technik ist ein großer Vorteil, da sie vorher nur mit dem Bus direkt zu erreichen waren.

Tabelle 74: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 8

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 8 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	92.300	-
Straßenbahn	186.900	179.400	-4,0%
Bus	172.500	128.400	-25,6%
Zug	43.800	47.500	+8,4%
Σ	403.200	447.600	+11,0%

7.10 Planfall 9 (Linie 2 + U2)

In diesem Planfall wird die Kombination zwischen der Hüsler-Linie 2 und der U2 untersucht. Die Hüsler Linie 2 zwischen Hauptbahnhof über die Universität zum LKH soll die derzeit stark belasteten Buslinien 58, 58E und 63 ersetzen. Die U2 führt vom Norden (NVK Gösting) über die Innenstadt in den Süden (P&R Webling). Diese Linie dient vor allem dazu, den ÖV für die Pendler attraktiver zu gestalten und zusätzlich werden damit Bezirke im Norden und Süden der Stadt angebunden, die derzeit über keinen ausreichenden ÖV-Zugang verfügen. Diese Bezirke sind derzeit nur mit dem Bus erreichbar. Auf die Lage der Haltestellen und damit den Linienverlauf etc. wird in Abschnitt 6.4.2 näher eingegangen. Die Buslinien werden wie in Planfall 1 (siehe Abschnitt 7.2) adaptiert. Die wichtigsten Veränderungen sind die Einstellung des Betriebs der Linien 58 und 58E sowie die Kürzung der Linie 63.

Linienverläufe:

U2: NVK Gösting – Augasse – Fröbelpark – Hasnerplatz/Pädag. Hochschule – Geidorfplatz – Maiffredygasse – Jakominiplatz – Griesplatz – Don Bosco Bhf. – Reininghaus – NVK Wetzelsdorf – Strassganger Straße – Ankerstraße – P&R Webling

Linie 2: Hbf. – Lendplatz – Keplerbrücke – Geidorfplatz – Karl-Franzens-Universität – Leonhardgürtel – LKH

Linie 41: Dürrgrabenweg – Karl-Franzens-Universität – Mariagrün – St.Leonhard – Ragnitz

Linie 58: eingestellt

Linie 58E: eingestellt

Linie 63: Geidorfplatz – Karl-Franzens-Universität – St.Peter Schulzentrum

Die U2 fährt in der Früh einen 2,5-Min.-Takt, um die Spitzennachfragen infolge der Wege zur Arbeit bzw. zur Ausbildungsstätte auffangen zu können. Im weiteren Tagesverlauf wird sie im 4-Min.-Takt betrieben. Linie 2 wird zwischen 6:30 und 7:30 im 6 Minuten Takt und danach im 7,5 Minuten Takt betrieben.

Tabelle 75: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 9

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min]	Takt Früh [min]	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
U2	5:00 – 24:00	4	2,5	0,12
Linie 2	4:30 – 24:00	7,5	6	0,12

Modal Split

Der ÖV-Modal Split von Graz erhöht sich aufgrund dieser Maßnahmen um 4,4% auf 25,7% im Gegensatz zum Referenzfall. Die Verlagerungen treten wie bei den anderen Planfällen vom Rad- und Fußverkehr hin zum ÖV auf. Zusätzlich wird der Pkw-Anteil ebenfalls verringert (-0,8%). Der Mitfahrer Anteil wird lediglich minimal kleiner (-0,2%). Der ÖV-Anteil vom Umland bleibt annähernd gleich, da nur in Graz Verbesserungen des öffentlichen Verkehrs getroffen werden und diese auf die Umlandbevölkerung nur minimale Auswirkungen haben.

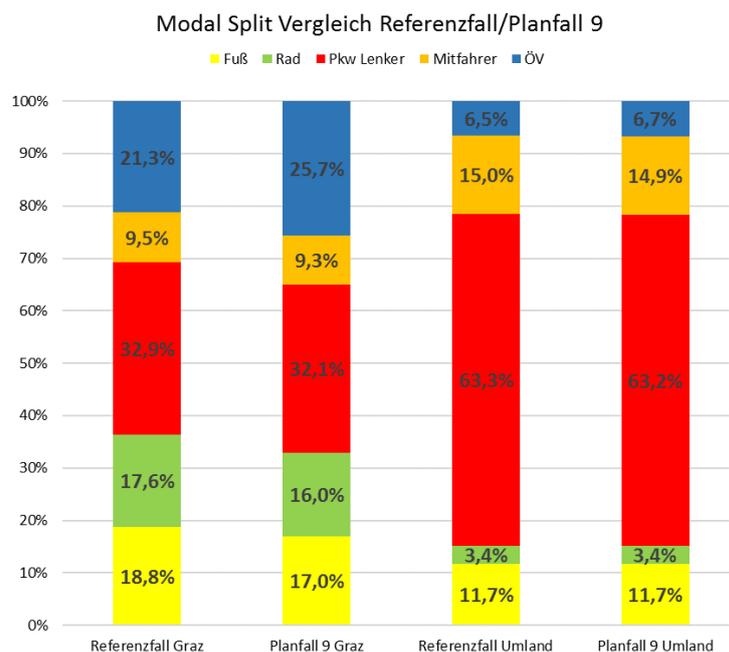


Abbildung 42: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 9

In Abbildung 43 ist angeführt, wie sich die neuen Linien auf den Grazer Modal Split pro verhaltenshomogener Gruppe auswirken. Erkennbar ist, ähnlich wie bei Planfall 8, dass die größten ÖV-Gewinne bei den Gruppen auftreten, die keinen oder nur beschränkten Zugang zu einem Pkw haben. Den höchsten Anstieg des ÖV verzeichnet die Gruppe der Studenten mit 6,0%. Dieser fällt jedoch im Gegensatz zum Planfall 8 etwas geringer aus. Der Grund dafür ist, dass zwar die Linie 2 ebenfalls die Karl-Franzens-Universität anbindet, jedoch sind die Reisezeiten um einiges höher als bei der U1. Außerdem wird bei der U1 neben der Karl-Franzens-Universität mit der Neuen Technik noch

eine weitere Universität direkt angebunden. Der Fußgänger- und Radfahreranteil geht bei allen betrachteten VHG deutlich zurück. Ebenfalls Einbußen verzeichnen die Pkw-Anteile der einzelnen Gruppen. Am deutlichsten gehen diese bei den EmP (-1,4%) und den NEmP (-0,9%) zurück.

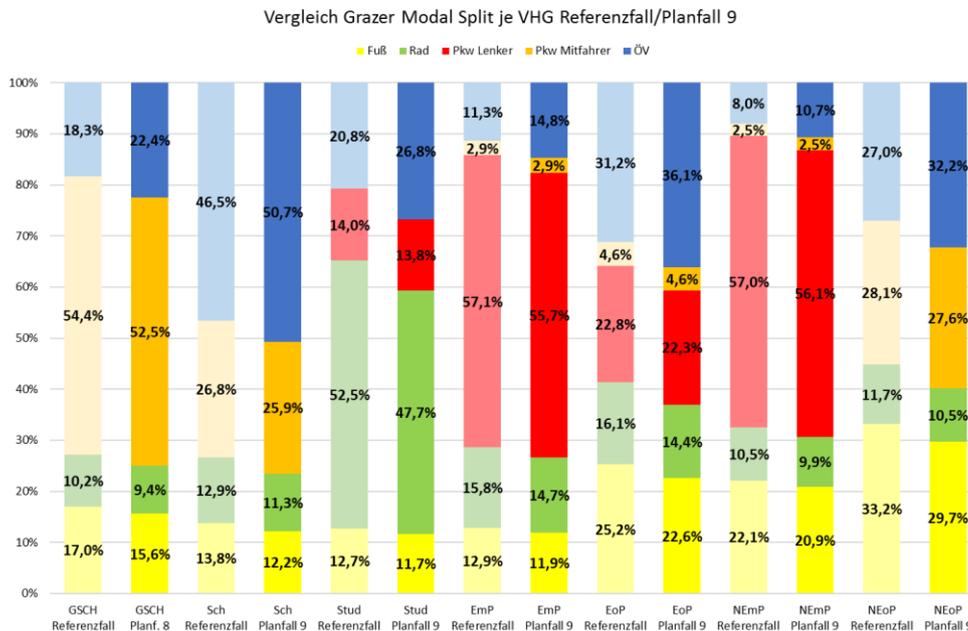


Abbildung 43: Vergleich Modal Split je VHG zwischen Referenzfall und Planfall 9

Fahrgastzahlen der U-Bahn- und Tramlinien

Tabelle 76: Linienbeförderungsfälle Planfall 9

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 9 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	20.500	-12,0%
Linie 2	-	17.400	-
Linie 3	25.900	21.400	-17,4%
Linie 4	28.500	23.900	-16,1%
Linie 5	27.200	23.900	-12,1%
Linie 6 + 16	35.800	32.800	-8,4%
Linie 7 + 17	46.200	37.400	-19,0%
U2	-	107.200	-
Σ	186.900	284.500	+52,2%

Die Anzahl der Linienbeförderungsfälle der Schienengebundenen Verkehrssysteme steigt im Vergleich zum Referenzfall um knapp 50% an. Den größten Anteil dieser 97.600 zusätzlichen Fahrten hat die U2 mit 107.200 Fahrgästen. Diese werden zum einen von anderen Straßenbahn- und Buslinien übernommen, zum anderen jedoch werden diese Fahrgäste von anderen Modi gewonnen. Die Verlagerung dieser Fahrten kann man im oben dargestellten Modal Split gut erkennen. Grundsätzlich nehmen die Fahrgäste aller Straßenbahnlinien ab, wobei die Linien 1, 6 und 7 und die Linie 2 zu einem

Großteil parallel verlaufen und deshalb die bestehenden Linien aus dem ÖV2023 einige Fahrgäste verlieren. Die Linien 3, 4 und 5 weisen Fahrgastrückgänge in erster Linie aufgrund der Implementierung der U2 auf.

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Die deutlichsten Rückgänge treten bei den Buslinien auf. Wie bei Planfall 8 verzeichnen die Buslinien einen Fahrgastverlust von über 25%. Der Grund dafür ist zum einen die Einstellung des Betriebs bestehender Linien. Zum anderen sind in diesem Planfall schon so viele Gebiete/Bezirke an das Tram- oder U-Bahnnetz angebunden, dass die Wahl meist auf ein schienengebundenes Verkehrsmittel fällt, da die Reisezeit des Busses gegenüber der Tram und im speziellen der U-Bahn nicht mehr konkurrenzfähig ist. Trotz des Baus der Linie 2 sind die Fahrgastzahlen der Straßenbahn leicht rückläufig, da die U-Bahn einige Fahrgäste von den anderen Straßenbahnlinien anzieht. Die Zugfahrten nehmen aufgrund des NVK Gösting und des NVK Wetzelsdorf ebenfalls zu. Insgesamt bedeutet dies ein zusätzliches Fahrgastaufkommen von 54.500 Personen (+13,5%).

Tabelle 77: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 9

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 9 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	107.200	-
Straßenbahn	186.900	177.300	-5,1%
Bus	172.500	125.100	-27,5%
Zug	43.800	48.100	+9,8%
Σ	403.200	457.700	+13,5%

7.11 Planfall 10 (Seilbahn)

Die Seilbahn führt vom P&R Weinzödlbrücke entlang der Mur bis zur Puntigamer Brücke (Nähe Murfelder Straße) und anschließend weiter nach Westen bis zum P&R Webling. Sie dient in erster Linie als Entlastung für den Innenstadtverkehr. Durch die Anbindung von drei Park&Ride Anlagen (P&R Webling, P&R Puntigamer Brücke und P&R Weinzödlbrücke) soll der durch Pendler verursachte mIV-Verkehr in Graz minimiert werden.

Linienverläufe:

Seilbahn: P&R Weinzödlbrücke – Arlandgrund – Kalvarienbrücke – Keplerbrücke – Andreas-Hofer-Platz – Gebietskrankenkasse – Bertha-von-Suttner-Brücke – Puntigamer Brücke – Puntigam Bhf – Center West – P&R Webling

Tabelle 78: Einfluss Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys Planfall 10

Linie	Betriebszeiten	Takt [sec]	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Seilbahn	5:00 – 23:00	42	0,12

Der Betrieb läuft von 5:00 bis 23:00 in einem 42 Sekunden Takt. Der Faktor Fahrzeiten je Verkehrssystem für Graz und Umland wird wie für die Tramlinien mit 0,12 angenommen. Die Eingabeparameter für die Seilbahn sind in Tabelle 34 angeführt. Die Pendler werden im Modell vereinfacht mit einer externen Matrix abgebildet. So werden die P&R Anlagen mit einer 80% Auslastung und der Besetzungsgrad der Fahrzeuge mit 1 angenommen. Somit treten beim P&R Webling und beim P&R Weinzödlbrücke 1.200 zusätzliche Fahrgäste und beim P&R Puntigamer Brücke 1.600 zusätzliche Fahrgäste auf, die in die an die Seilbahn angebotenen Bezirke verteilt werden. Die Innenstadtbezirke (Haltestellen Keplerbrücke, Andreas-Hofer-Platz, Gebietskrankenkasse und Bertha-von-Suttner-Brücke) weisen dabei eine erhöhte Attraktivität auf und somit werden dort mehr Fahrgäste angezogen.

Modal Split

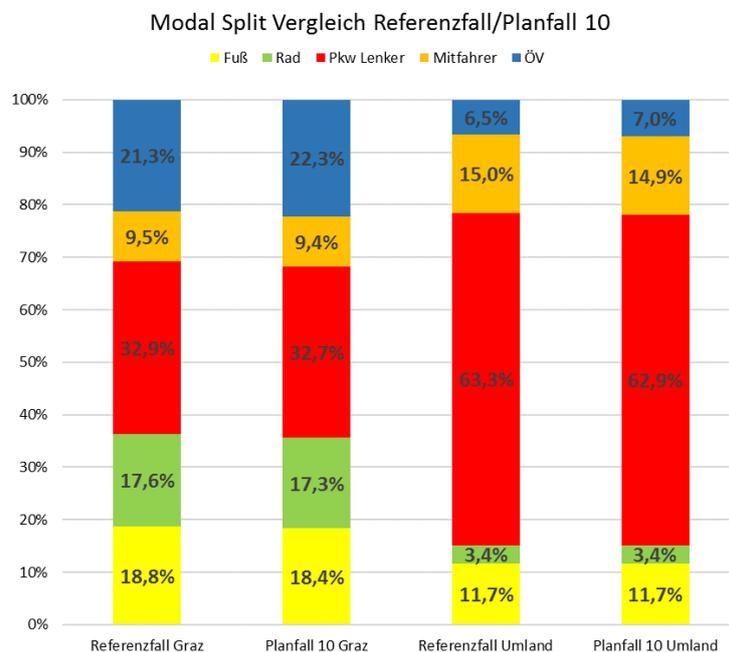


Abbildung 44: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 10

Durch die Seilbahn steigert sich der ÖV-Anteil der Grazer um 1%. Diese zusätzlichen Fahrgäste werden von Pkw (-0,2%), Rad (-0,3%), Fußgänger (-0,4%) und Mitfahrer (-0,1%) übernommen. Auffallend ist, dass sich der ÖV-Anteil von der Umlandbevölkerung ebenfalls erhöht (+0,5%). Das ist auf die große Attraktivität für Pendler zurückzuführen. Dadurch verringern sich der Mitfahreranteil (-0,1%) und speziell der Pkw-Anteil (-0,4%).

Fahrgastzahlen der Seilbahn- und Tramlinien

In Tabelle 79 sind die Veränderungen der Fahrgastzahlen der Straßenbahnlinien aufgrund der Implementierung einer Seilbahn angeführt. Die Seilbahn erreicht knapp 31.500 Fahrgäste und der am stärksten belastete Querschnitt tritt zwischen Keplerbrücke und Andreas-Hofer-Platz mit 15.700 Fahrgästen pro Tag auf. Rund ein Drittel der Fahrgäste stammt dabei aus dem Umland von Graz (Pendler), womit 21.000 Grazer die Seilbahn nutzen. Mit Ausnahme der Linien 16 und 17 weisen alle Tramlinien eine Verringerung der Fahrgäste auf. Auffallend ist, dass die Linie 5 starke Einbußen verzeichnet. Der Grund dafür ist, dass beide Linien eine Nord-Süd-Verbindung sind und somit parallel

verlaufen. Dadurch haben sie auch zu einem großen Teil gleiche Einzugsgebiete. Zusätzlich haben die Seilbahn und die Linie 5 drei idente Haltestellen (Bahnhof Puntigam, Bertha-von-Suttner-Brücke, Keplerbrücke). Aufgrund der im Vergleich zur Linie 5 schnelleren Reisezeit in die Innenstadt wechseln viele Fahrgäste von der Tram auf die Seilbahn. Die West-Ost-Linien 1, 4, 6 und 7, die nicht über den Andreas-Hofer-Platz führen weisen alle eine leichte Reduktion der Fahrgäste auf. Bei den beiden Straßenbahnlinien 16 und 17, welche ebenfalls vom Westen in den Osten verlaufen, ist eine Zunahme der Linienbeförderungsfälle erkennbar. Der Grund für die zusätzlichen Fahrgäste liegt hier an der Verknüpfung der beiden Straßenbahnlinien mit der Seilbahn am Andreas-Hofer-Platz.

Tabelle 79: Linienbeförderungsfälle Planfall 10

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 10 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	22.600	-3,0%
Linie 3	25.900	25.100	-3,1%
Linie 4	28.500	27.600	-3,2%
Linie 5	27.200	23.700	-12,9%
Linie 6	16.900	16.600	-1,8%
Linie 7	22.100	21.400	-3,2%
Linie 16	18.900	19.800	+4,8%
Linie 17	24.100	25.400	+5,4%
Seilbahn	-	31.400	-
Σ	186.900	213.600	+14,3%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Insgesamt erhöhen sich die Linienbeförderungsfälle durch den Bau einer Seilbahn um knapp 23.000 Fahrgäste (+5,7%) im Vergleich zum Referenzfall. Die Fahrgastzahlen von den Straßenbahnen und Bussen verringern sich dabei um jeweils knapp 2,5%. Der Anteil der Zugfahrten erhöht sich durch die gesetzten Maßnahmen um 0,7%. Das ist vor allem auf die vergleichsweise kurze Reisezeit vom Bhf. Puntigam in die Innenstadt zurückzuführen. Somit müssen die Fahrgäste der S5 nicht mehr bis zum Hauptbahnhof fahren, um eine entsprechend gute ÖV-Verbindung zu haben.

Tabelle 80: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 10

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 10 (gerundet auf 100)	Änderung
Seilbahn	-	31.400	-
Straßenbahn	186.900	182.200	-2,5%
Bus	172.500	168.300	-2,4%
Zug	43.800	44.100	+0,7%
Σ	403.200	426.000	+5,7%

7.12 Planfall 11 (U1 + Seilbahn)

In diesem Planfall werden die Planfälle 5 (siehe Abschnitt 7.6) und 10 (siehe Abschnitt 7.11) zusammengefügt. Somit wird die Kombination der beiden modernen urbanen Mobilitätssysteme Seilbahn und U-Bahn untersucht. Auf der West-Ost-Achse zwischen Eggenberg über den Jakominiplatz zum Berliner Ring verläuft die U1. Diese soll die bestehenden Kapazitätsengpässe im Innenstadtbereich reduzieren. Entlang der Mur in Nord-Süd-Richtung ist eine Seilbahn zwischen dem P&R Weinzödl und dem P&R Webling geplant. Verknüpft werden die beiden Linien am Andreas-Hofer-Platz in der Nähe des Hauptplatzes. Der NVK Gösting wird in diesem Szenario berücksichtigt. Die Bus- und Tramlinien sind ident mit jenen im Referenzfall. Es werden keine Verbindungen eingestellt und keine Fahrpläne der bestehenden Linien adaptiert, obwohl manche Linien des ÖV2023 parallel zu den zu untersuchenden Linien verlaufen und damit zusätzliche Fahrgäste generiert werden würden.

Linienverläufe:

U1: Eggenberg/UKH – Schloss Eggenberg – FH – Hauptbhf. – AVL – Lendplatz – Andreas-Hofer-Platz – Jakominiplatz – Neue Technik – Karl-Franzens-Universität – Botanischer Garten – LKH – Berliner Ring

Seilbahn: P&R Weinzödlbrücke – Arlandgrund – Kalvarienbrücke – Keplerbrücke – Andreas-Hofer-Platz – Gebietskrankenkasse – Bertha-von-Suttner-Brücke – Puntigamer Brücke – Puntigam Bhf – Center West – P&R Webling

Die Seilbahn verkehrt zwischen 5:00 und 23:00 mit einem Takt von 42 Sekunden. Der Fahrplan der U1 ist an die Grazer Ganglinie angepasst und in Tabelle 65 angeführt. Tabelle 81 zeigt die Eingabeparameter für die beiden Verkehrssysteme. Die wesentlichen Abweichungen dabei sind die Zu- und Abgangszeit, die Anbindungslängen und die unterschiedlichen Fahrzeiten je Verkehrssystem für die Umlandbevölkerung. Die Zu- und Abgangszeit der Seilbahn ist um 3 Minuten kürzer als jene der U-Bahn. Zum einen, da der Takt der Seilbahn höher ist und somit geringere Wartezeiten vor Antritt der Fahrt auftreten. Zum anderen sind die Zu- und Abgangszeiten innerhalb der Haltestelle bei der Seilbahn kürzer als bei der U-Bahn. Die Anbindungslängen der U-Bahn sind beträchtlich länger als die der Seilbahn. Der Grund dafür ist, dass die U-Bahn aufgrund ihrer geringeren Reisezeit deutlich attraktiver ist und somit auch längere Wege in Kauf genommen werden. Der geringere *Fahrzeit je Vsys* Faktor für das Umland hängt ebenfalls mit der kurzen Reisezeit der U-Bahn zusammen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit höher ist, dass Pendler den Zug und anschließend die U-Bahn wählen. Bei der Seilbahn ist das nicht der Fall da die Geschwindigkeit mit der einer Tram vergleichbar ist.

Tabelle 81: Eingabeparameter für die Verkehrssysteme in Planfall 11

Linie	Zu- und Abgangszeit	Anbindungslänge	Takt	Verspätung Tram Linien	Faktor Fahrzeit je Vsys	
					Umland	Graz
U1	Tram +2min	600m	Grazer Ganglinie	n.b.	0,04	0,12
Seilbahn	Tram -1min	400m	42 sec.	n.b.	0,05	0,12

Modal Split

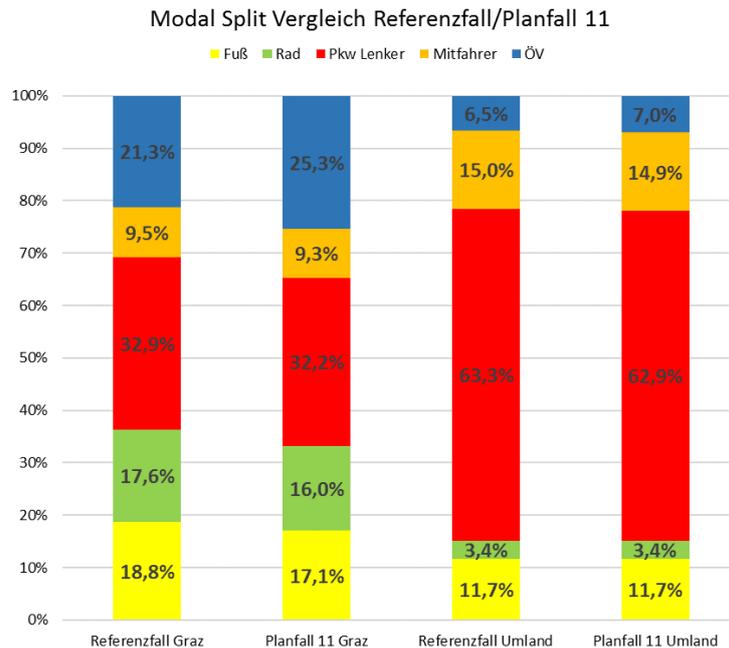


Abbildung 45: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 11

Durch die Maßnahmen in Planfall 11 erhöht sich der ÖV-Anteil der Grazer um 4%. Die größte Verlagerung findet vom Radanteil (-1,6%) und dem Fußgängeranteil (-1,7%) hin zum ÖV statt. Der Pkw-Anteil nimmt um 0,7% ab. Im Umland nimmt der ÖV um 0,5% zu. Das ist auf den zusätzlichen Pendlerverkehr der Seilbahn aufgrund der Anbindung der P&R Anlagen zurückzuführen. Hier wird der zusätzliche ÖV-Verkehr beinahe gänzlich vom Pkw (-0,4%) übernommen.

Fahrgastzahlen der U-Bahn-, Seilbahn- und Tramlinien

Insgesamt weist die U-Bahn ein Fahrgastaufkommen von knapp 94.000 Fahrgästen auf. Die Seilbahn kommt auf knapp 33.000, wobei 10.400 Fahrgäste aus dem Umland sind. Von den 94.000 Linienbeförderungen der U1 sind lediglich 13.000 auf die Umland Bevölkerung zurückzuführen. Im Vergleich zu Planfall 5 (U1) und Planfall 10 (Seilbahn) ist eine leichte Steigerung der Linienbeförderungsfälle der beiden Linien erkennbar. Die Fahrgastzahlen der U1 steigen dabei um 2.400 und die der Seilbahn um 1.400 Fahrten. Der Grund ist in erster Linie die Verknüpfung der beiden Linien am Andreas-Hofer-Platz. Die meist belasteten Querschnitte treten bei der U-Bahn zwischen Jakominiplatz und Neue Technik mit knapp 53.000 Fahrgästen und bei der Seilbahn zwischen Gebietskrankenkasse und der Bertha-von-Suttner-Brücke mit knapp 15.900 Beförderungen pro Tag auf. In Planfall 10 (Seilbahn) war der Querschnitt mit den größten Belastungen zwischen Keplerbrücke und Andreas-Hofer-Platz. Der Grund für die Verlagerung sind die langen Anbindungslängen der U-Bahn, wodurch sich manche Einzugsgebiete der beiden Systeme im Innenstadtbereich überlagern und dadurch mehr Personen zwischen Keplerbrücke und Gebietskrankenkasse die U-Bahn wählen, da die Fahrzeit der U-Bahn deutlich kürzer ist. Die Linienbeförderungsfälle der Straßenbahnen gehen aufgrund der parallelen Führung zu den neuen Verkehrssystemen deutlich zurück. So verlaufen die Linien 3 und 5 ähnlich zur Seilbahn und die anderen Straßenbahnen haben annähernd denselben Verlauf wie die U1.

Tabelle 82: Linienbeförderungsfälle Planfall 11

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 11 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	15.600	-33,0%
Linie 3	25.900	18.800	-27,4%
Linie 4	28.500	22.800	-20,0%
Linie 5	27.200	22.900	-15,8%
Linie 6 + 16	35.800	29.100	-18,7%
Linie 7 + 17	46.200	29.500	-36,1%
U1	-	93.900	-
Seilbahn	-	32.800	-
Σ	186.900	265.400	+42,0%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Durch den Bau der U1 und einer Seilbahn entlang der Mur nimmt der Öffentliche Verkehr um über 50.000 Fahrgäste pro Tag zu (+13,3%). Über ein Viertel (27,7%) aller Fahrgäste entfallen dabei auf die neuen Linien. Dieser Wert könnte sich jedoch noch erhöhen, wenn die bestehenden parallel geführten Linien eingestellt werden oder der Takt verändert werden würde. Die Straßenbahnfahrten reduzieren sich um 48.200 Fahrten (-25,8%). Das ist hauptsächlich auf die schnellere Fahrzeit der U1 im Vergleich zu den parallel verlaufenden Straßenbahnlinien zurückzuführen. Das Fahrgastaufkommen der Buslinien vermindert sich um 25.000 (-14,6%). Die Zugfahrten bleiben im Vergleich zum Referenzfall beinahe ident.

Tabelle 83: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 11

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 11 (gerundet auf 100)	Änderung
U-Bahn	-	93.900	-
Seilbahn	-	32.800	-
Straßenbahn	186.900	138.700	-25,8%
Bus	172.500	147.400	-14,6%
Zug	43.800	43.900	+0,2%
Σ	403.200	456.700	+13,3%

7.13 Planfall 12 (alle Hüsler Linien + Seilbahn)

Dieser Planfall berücksichtigt die Hüsler-Linien aus den Planfällen 1 bis 3 in Kombination mit der Seilbahn, die vom P&R Weinzödlbrücke bis zum P&R Webling verläuft. Die Linie 2 zwischen Hauptbahnhof und LKH ist die einzige Straßenbahnlinie, die nicht über den Jakominiplatz verläuft. Sie soll die derzeit stark belasteten Linien 58, 58E und 63 ersetzen. Linie 8 vom Jakominiplatz bis Weblinger Straße bindet den Südwesten der Stadt an. Der NVK Gösting, welcher in Zukunft entstehen soll, wird in diesem Szenario bereits mitberücksichtigt. Die Nordwest-Linie (Linie 9 bzw. 19) verläuft vom

zukünftigen Nahverkehrsknoten in Gösting bis zum Roseggerhaus. Dadurch soll für die Pendler der Umweg über den Hauptbahnhof wegfallen. Aufgrund der parallelen Linienführung der neuen Straßenbahnlinien zu den bestehenden Buslinien werden einige dieser Buslinien angepasst. So werden die Linien 58, 58E, 31 und 41 eingestellt. Weitere wichtige Adaptierungen der Buslinien hinsichtlich Linienverläufe und Fahrpläne werden in Planfall 1 (Linie 2), Planfall 2 (Linie 8) und Planfall 3 (Linie 9) näher erläutert.

Linienverläufe:

- Seilbahn:** P&R Weinzödlbrücke – Arlandgrund – Kalvarienbrücke – Keplerbrücke – Andreas-Hofer-Platz – Gebietskrankenkasse – Bertha-von-Suttner-Brücke – Puntigamer Brücke – Puntigam Bhf – Center West – P&R Webling
- Linie 2:** Hbf. – Lendplatz – Keplerbrücke – Geidorfplatz – Karl-Franzens-Universität – Leonhardgürtel – LKH
- Linie 8:** Webling – Ankerstraße – Peter-Rosegger-Straße – Reininghaus – Don Bosco – Hohenstaufengasse – Karlauer Kirche/Citypark – Griesplatz – Jakominiplatz
- Linie 9 bzw. 19:** NVK Gösting – Exerzierplatzstraße – Hirtenkloster – Lendplatz – Roseggerhaus – Hauptplatz – Jakominiplatz – Andreas-Hofer-Platz – Roseggerhaus

Die Seilbahn fährt den ganzen Tag einen Takt von 42 Sekunden. Die Eingabeparameter für die Modellierung sind in Tabelle 34 angeführt. So wird die Zu- und Abgangszeit im Vergleich zur Tram um eine Minute verkürzt. Die maximale Anbindungslänge beträgt 400 Meter. Linie 2 und Linie 8 weisen die gleiche Zugfolgezeit wie die bestehenden Tramlinien aus dem ÖV2023 auf. So verkehren sie in der Morgenspitze alle 6 Minuten und tagsüber alle 7,5 Minuten. Die Nordwest-Linie nach Gösting (Linie 9 bzw. 19) hat in der Früh einen Takt von 5 Minuten, der danach auf 6 Minuten erhöht wird. Beim *Fahrzeit je Vsys*-Faktor wird für die Seilbahn und die Linie 2 der Standardwert 0,12 angewendet. Bei Linie 8 wird der Wert 0,10 verwendet, da die Linie 33 zu einem großen Teil parallel zur Linie 8 verläuft und in der Kalibrierung die Buslinie 33 ebenfalls den Wert 0,10 hatte. Linie 9 bzw. 19 haben einen ähnlichen Verlauf wie die eingestellte Linie 40 und diese wies im Basisfall den Wert 0,09 auf.

Tabelle 84: Betriebszeiten, Takt und Faktor Fahrzeit je Vsys im Planfall 12

Linie	Betriebszeiten	Takt Tag [min] (7:30 – 18:00)	Takt Früh [min] (6:30 – 7:30)	Faktor Fahrzeit je Vsys (Graz)
Linie 2	4:30 – 24:00	7,5 min	6 min	0,12
Linie 8	4:30 – 23:00	7,5 min	6 min	0,10
Linie 9/19	4:30 – 24:00	6 min	5 min	0,09
Seilbahn	5:00 – 23:00	42 sec	42 sec	0,12

Modal Split

In Abbildung 46 sind die Vergleiche des Modal Splits zwischen Referenzfall und Planfall 12 angeführt. Dabei ist erkennbar, dass durch die in diesem Planfall gesetzten Maßnahmen eine Steigerung des Grazer ÖV-Anteils von knapp 2% auftritt. Dieser Anstieg ist auf die Verlagerung des Radverkehrs (-0,7%), des Fußgängerverkehrs (-0,8%) und des Pkw-Verkehrs (-0,6%) auf den öffentlichen Verkehr zurückzuführen. Durch die Verdichtung des ÖV-Netzes und die schnellere Reisezeit der Seilbahn und der Tram im Vergleich zu den Buslinien wechseln viele Personen vom nicht motorisierten

Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr. Außerdem gibt es für die Einwohner im Norden und Süden der Stadt durch die Seilbahn und die Linien 8 und 9 bzw. 19 nun eine Alternative zum Pkw. Zuvor wurde in diesen Bezirken aufgrund der langen Busreisezeiten hauptsächlich der Pkw gewählt. Die Zunahme des ÖV-Anteils für die Umlandbevölkerung ist in erster Linie auf die vergleichsweise geringe Reisezeit der Seilbahn in Kombination mit den drei P&R Anlagen Webling, Weinzödlbrücke und Puntigamer Brücke zurückzuführen. Zusätzlich werden durch den neuen NVK Gösting und die dort angeschlossenen Linien 9 bzw. 19 weitere ÖV-Fahrgäste gewonnen.

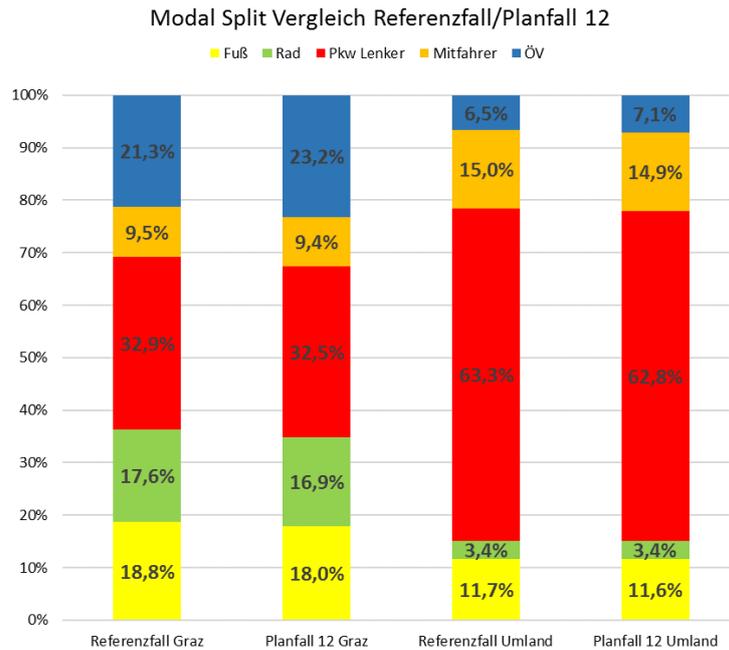


Abbildung 46: Modal Split Vergleich Referenzfall/Planfall 12

Fahrgastzahlen der Seilbahn- und Tramlinien

Insgesamt nehmen die Tram- und Seilbahnlinienbeförderungsfälle, wie in Tabelle 85 ersichtlich, durch die Implementierung drei neuer Straßenbahnachsen und der Seilbahn um knapp 79.000 Fahrgäste zu (+42,2%). Die Seilbahn weist dabei von den neuen Linien mit 30.600 Fahrgästen die meisten Fahrten auf. Die stärksten Querschnittsbelastungen treten dabei zwischen Keplerbrücke und Andreas-Hofer-Platz mit knapp 15.500 Fahrgästen auf. Im Vergleich zu Planfall 10 (Seilbahn), in dem die Hüsler Linien nicht berücksichtigt wurden, sind die Fahrgastzahlen der Seilbahn leicht rückläufig (-800 FG/Tag). Der Grund dafür ist die parallele Linienführung der Linien 9 bzw. 19 im Norden der Stadt. Die hohen Verluste der Linien 1 (-8,2%) und 7 bzw. 17 (-11,7%) treten aufgrund der parallelen Führung zur Linie 2 auf. Die Linie 5 verzeichnet ebenfalls starke Einbußen (-14,3%), was auf den parallelen Linienverlauf zur Seilbahn zurückzuführen ist. Die Fahrgastzahlen der weiteren Straßenbahnlinien bleiben annähernd gleich. Linie 3 weist aufgrund des dichteren ÖV-Netzes und der damit einhergehenden Zunahme an ÖV-Fahrgästen sogar eine Zunahme an Linienbeförderungsfällen auf, obwohl die Seilbahn im Norden eine ähnliche Linienführung aufweist.

Tabelle 85: Linienbeförderungsfälle Planfall 12

Linie	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 12 (gerundet auf 100)	Änderung
Linie 1	23.300	21.400	-8,2%
Linie 2	-	23.300	-
Linie 3	25.900	26.700	+3,1%
Linie 4	28.500	28.800	+1,1%
Linie 5	27.200	23.300	-14,3%
Linie 6 + 16	35.800	35.300	-1,4%
Linie 7 + 17	46.200	40.800	-11,7%
Linie 8	-	14.300	-
Linie 9 + 19	-	21.200	-
Seilbahn	-	30.600	-
Σ	186.900	265.700	+42,2%

Fahrgastaufkommen je Verkehrssystem

Im Gesamten betrachtet ist durch die Maßnahmen eine Zunahme des öffentlichen Verkehrs von ca. 45.000 Fahrgästen (+11,3%) zu erwarten. Die Zunahme setzt sich aus den knapp 31.000 zusätzlichen Beförderungen der Seilbahn, den zusätzlichen 48.000 (+25,8%) Tramfahrten und den hinzukommenden ca. 4.500 (+10,5%) Zugfahrten bei gleichzeitiger Verringerung um knapp 38.000 (-21,9%) Busfahrten zusammen. Der Grund für die deutlichen Verluste des Busverkehrs sind neben der Einstellung von Buslinien vor allem die geringe Reisezeit der schienengebunden bzw. durch die Luft fahrenden Verkehrssysteme. Die Zunahme an Fahrten mit dem Zug ist hauptsächlich auf die Implementierung des NVK Gösting und die daran angebundene Linie 9 zurückzuführen. Dadurch fällt der Umweg über den Hauptbahnhof für die Pendler weg.

Tabelle 86: Linienbeförderungsfälle je nach Verkehrssystem Planfall 12

Verkehrssystem	Linienbeförderungsfälle		
	Referenzfall (gerundet auf 100)	Planfall 12 (gerundet auf 100)	Änderung
Seilbahn	-	30.600	-
Straßenbahn	186.900	235.100	+25,8%
Bus	172.500	134.700	-21,9%
Zug	43.800	48.400	+10,5%
Σ	403.200	448.800	+11,3%

7.14 Vergleich aller Planfälle

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels erfolgt ein Vergleich der unterschiedlichen Planfälle (siehe Tabelle 87). Dabei werden die Fahrgastzahlen der einzelnen Verkehrssysteme (U-Bahn, Seilbahn, Tram und Bus) näher betrachtet. Auf den Zugverkehr wird hier nicht mehr explizit eingegangen, da die Fahrpläne aus dem Jahr 2020 stammen und somit keine großen Änderungen der Fahrgäste auftreten. Somit werden auch die in Zukunft vermehrten Fahrgäste aufgrund der Fertigstellung des Semmering

Basistunnels und des Koralmtunnels nicht mitberücksichtigt. Der angeführte Systemgewinn basiert nur auf den Verkehrssystemen, die innerhalb von Graz verkehren. Die in der Tabelle angeführten Linienbeförderungsfälle berücksichtigen alle Fahrten des Binnen-, Quell- und Zielverkehrs in, von und nach Graz. Bei den Linienbeförderungsfällen der Busse ist zu beachten, dass manche Busse eine sehr hohe Fahrgastanzahl in den einzelnen Planfällen aufweisen. Hier sticht vor allem die adaptierte Linie 33 bei den Planfällen mit der Hüsler Linie 8 hervor. Dabei müssen die Gefäßgrößen der Linie 33 erhöht werden, um das Fahrgastaufkommen abzuwickeln. Zusätzlich ist der ÖV-Anteil der Grazer Bevölkerung angeführt, um die Auswirkungen der einzelnen Planfälle auf den öffentlichen Verkehr zu erkennen. Der ÖV-Anteil basiert dabei auf der Anzahl an Wegen, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Der ÖV-Anteil der Umlandbevölkerung ist nicht dargestellt, da lediglich in den Seilbahnplanfällen (PF 10 – 12) eine Zunahme des ÖV-Anteils auftritt. Da diese Untersuchung Auswirkungen der einzelnen Verkehrssysteme auf das bestehende Netz untersucht, wurden bei den Planfällen mit U-Bahn und Seilbahn weder Takte der bestehenden parallel verlaufenden Linien aus dem ÖV2023 verändert, noch Linien eingestellt. Im Zuge einer möglichen Realisierung einer der unten angeführten Varianten wären somit zusätzliche Fahrgastaufkommen der U-Bahnen und Seilbahn zu erwarten.

Tabelle 87: Vergleich der Kenngrößen aller Planfälle

Variante	Linienbeförderungsfälle						ÖV-Anteil (Graz)
	U-Bahn	Seilbahn	Tram	Bus	Summe	Systemgewinn (bez. auf Ref.)	
Referenzfall	-	-	186.900	172.500	359.400	-	21,3%
PF 1 (Lin.2)	-	-	202.200	158.300	360.500	+0,3%	21,3%
PF 2 (Lin.8)	-	-	203.600	165.200	368.800	+2,6%	21,7%
PF 3 (Lin.9)	-	-	215.400	145.900	361.300	+0,5%	21,4%
PF 4 (alle Hüsler)	-	-	243.900	135.600	379.500	+5,6%	22,2%
PF 5 (U1)	91.500	-	144.400	152.600	388.500	+8,1%	24,3%
PF 6 (U2)	104.600	-	166.100	133.800	404.500	+12,5%	25,4%
PF 7 (U1+U2)	180.900	-	132.700	116.300	429.900	+19,6%	27,9%
PF 8 (Lin.8&9+U1)	92.300	-	179.400	128.400	400.100	+11,3%	25,0%
PF 9 (Lin.2+U2)	107.200	-	177.300	125.100	409.600	+14,0%	25,7%
PF 10 (Seilbahn)	-	31.400	182.200	168.300	381.900	+6,3%	22,3%
PF 11 (U1+Seilb.)	93.900	32.800	138.700	147.400	412.800	+14,9%	25,3%
PF 12 (Hüsler+Seilb.)	-	30.600	235.100	134.700	400.400	+11,4%	23,2%

In Tabelle 87 ist zu erkennen, dass die Planfälle mit der U2 (PF 6, 7 und 9) die höchsten Fahrgastgewinne aufweisen. Der Grund für die größere Anzahl an Fahrgästen der U2 im Gegensatz zur U1 liegt daran, dass das ÖV-Netz im Norden und Süden der Stadt nicht so gut ausgebaut ist. So werden in diesen Bereichen sehr viele Fahrgäste gewonnen, da es wenige Alternativen gibt. Zusätzlich werden

in den U2 Planfällen die NVK Gösting, Wetzelsdorf und Don Bosco berücksichtigt, wodurch die U2 weitere Fahrgäste aus dem Umland generiert. Im Gegensatz dazu verkehren auf der West-Ost-Verbindung viel mehr Straßenbahnlinien (Linie 1, 4, 6 bzw. 16 und 7 bzw. 17). Durch die hohe Anzahl an Linien ist auch der Takt viel dichter und es wählen einige Personen nach wie vor die Tram anstatt der U-Bahn.

Die höchsten Fahrgastgewinne weist Planfall 7 mit ca. 70.000 zusätzlichen Fahrgästen im Vergleich zum Referenzfall auf. Das bedeutet, dass die ÖV Fahrten um knapp 20% steigen. Der Hauptgrund für die starke Zunahme der Fahrgastzahlen liegt an den schnellen Fahrzeiten und am dichten Takt der beiden U-Bahnen. Die U1 und die U2 generieren gemeinsam ca. 180.000 Fahrgäste, wobei davon 83.000 auf die U1 und 97.000 auf die U2 fallen. PF 7 ist der einzige Planfall, in dem die U-Bahn-Linienbeförderungszahlen höher sind als die der Tram. Der ÖV-Anteil erhöht sich durch die gesetzten Maßnahmen auf 27,9%. Betrachtet man die Planfälle 5 und 6 getrennt, so ist erkennbar, dass das Fahrgastaufkommen der U1 91.500 ist und jenes der U2 104.600. In Summe wären das rund 196.000 Linienbeförderungsfälle pro Tag für beide Linien. Werden jedoch die U1 und U2 in Kombination modelliert, so ist die Anzahl an Fahrten lediglich 180.000 pro Tag. Der Grund dafür ist, dass sich die U1 und U2 aufgrund der maximalen Anbindungslänge von 600 Metern vor allem im Bereich der parallel verlaufenden Linienführung in der Innenstadt gegenseitig Fahrgäste wegnehmen. So besteht eine Konkurrenz zwischen den Haltestellen Geidorfplatz (U2) und Karl-Franzens-Universität (U1), sowie den Haltestellen Maiffredygasse (U2) und Neue Technik (U1). Zusätzlich halten beide beim Jakominiplatz, wodurch sich das Fahrgastaufkommen dort ebenfalls verteilt. Generell weisen die U-Bahnen die mit Abstand höchsten Fahrgastaufkommen und dadurch stärksten Querschnittsbelastungen speziell im Innenstadtbereich auf. Auffallend ist, dass die Kombination der Linien 8 und 9 mit der U1 (PF 8) geringere Fahrgastzahlen hat, als der Planfall 6, wo lediglich die U2 zum bestehenden ÖV2023 hinzugefügt wird.

Die Planfälle mit einem oder mehreren modernen urbanen Mobilitätssystemen (Planfälle 5 – 12) haben ein viel höheres Fahrgastpotential als jene ohne (Planfälle 1 – 4). Durch den Ausbau des ÖV-Netzes mit allen drei Hüsler Linien generiert man ein zusätzliches Fahrgastaufkommen von 5,6%. Der ÖV-Anteil erhöht sich dabei um knapp 1% im Vergleich zum Referenzfall (ÖV2023). Verglichen dazu erhöht sich das Fahrgastaufkommen durch den Bau der Seilbahn über der Mur um 6,3%, durch die U1 um 8,1% und infolge des Baus der U2 um 12,5%. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Hüsler Linien ist erkennbar, dass die Linie 8 mit +2,6% die größte Zunahme der Linienbeförderungsfälle aufweist.

Durch die hohen monetären Aufwendungen für den Bau einer U-Bahnlinie, geschweige denn zwei U-Bahnlinien, sind Kombinationen der einzelnen Verkehrssysteme durchaus sinnvoll. Durch die Kombination der Seilbahn mit der U1 werden auf der einen Seite die Kapazitätsengpässe der West-Ost-Verbindung minimiert und zusätzlich werden im Vergleich zum Referenzfall über 50.000 Fahrgäste pro Tag (+14,9%) gewonnen. Dabei nehmen die U1- und Seilbahn-Fahrgastzahlen verglichen mit den Planfällen 5 und 10, wo die jeweiligen Linien einzeln untersucht werden, zu. Der Grund dafür ist die Verknüpfung der beiden Linien am Andreas-Hofer-Platz. Dadurch werden kürzere Reisezeiten in alle Richtungen erzielt und somit mehr Fahrgäste für den öffentlichen Verkehr gewonnen. Der ÖV-Anteil des PF 11 beläuft sich dabei auf 25,3%. Auffallend ist, dass der Grazer ÖV-Anteil von Planfall 9 (Linie 2 + U2) höher ist als jener von PF 11. Die Linienbeförderungsfälle von PF 9 fallen jedoch um 0,9% geringer aus als in PF 11. Der Grund für die höheren Fahrgastzahlen bei gleichzeitig geringerem ÖV-Anteil ist, dass beim Fahrgastaufkommen der Seilbahn die Umlandbevölkerung aufgrund der P&R Anlagen im Norden und Süden einen großen Einfluss hat.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kapazitäten des Öffentlichen Verkehrs in Graz sind beinahe ausgeschöpft. Durch die Bevölkerungsprognosen, wonach sich bis zum Jahr 2030 auf jeden Fall 43.000 zusätzliche Einwohner im Großraum Graz ansiedeln, gelangt das Grazer Verkehrssystem speziell im Innenstadtbereich an seine Grenzen. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden somit Szenarien für das zukünftige ÖV-Netz entwickelt und die Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten untersucht. Dabei wurde speziell auf die modernen urbanen Mobilitätssysteme, die eine neue Ebene für die Verkehrsabwicklung nutzen, Seilbahn (Luft) und U-Bahn (unterirdisch), eingegangen. Zusätzlich wurden die von IBV Hüsler, et. al. entwickelten Linien einer genaueren Betrachtung unterzogen.

Um das Verkehrsverhalten abbilden zu können, wurde auf Basis des vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen entwickelten multimodalen makroskopischen Verkehrsnachfragemodells (GUARD) ein Tagesmodell (GUARD20) erstellt. Das bestehende GUARD Modell ist ein Stundenmodell und erfüllt nicht die besonderen Anforderungen zur Abbildung der Nachfrage im Öffentlichen Verkehr, da das Nutzerverhalten zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln des Öffentlichen Verkehrs (Bus, Tram, Zug) nicht ausreichend abgebildet wird. Des Weiteren sind die Rechenzeiten des Stundenmodells sehr hoch, da die Nachfrage in Stundenmatrizen und nicht in Tagesmatrizen abgebildet wird. Durch das GUARD20 Modell können Langfristprognosen auf Basis der Tagesmatrizen ausreichend genau erstellt werden und die Bearbeitungszeit wird wesentlich beschleunigt.

Im ersten Schritt wurde eine Literaturrecherche hinsichtlich der unterschiedlichen ÖV-Verkehrssysteme im urbanen Raum durchgeführt. Dabei wurden neben den in Graz bereits im ÖV-Netz verkehrenden Verkehrsmitteln Bus und Tram vor allem auf die neuen modernen urbanen Mobilitätssysteme Seilbahn und U-Bahn eingegangen. Diese beiden Verkehrsmittel heben sich dabei im Vergleich zu den herkömmlichen Verkehrssystemen Tram und Bus durch die höhere Zuverlässigkeit (Pünktlichkeit), die höhere Fahrgeschwindigkeit, die stetige Verfügbarkeit und die größeren Förderleistungen ab. Nachteile haben diese Systeme vor allem aufgrund der verminderten Erschließungsqualität. Die U-Bahn ist jenes Verkehrsmittel mit der höchsten Förderleistung und der höchsten Reisegeschwindigkeit. Jedoch ist es auch das bei weitem teuerste. In diesem Kapitel wurden ebenfalls Referenzbeispiele von U-Bahnen und Seilbahnen angeführt und die Bauintentionen der jeweiligen Städte mit den Verkehrszielen und Gegebenheiten der Stadt Graz verglichen.

Nach Aufbau des Aktivitätenketten-basierenden makroskopischen Verkehrsnachfragemodells wurden in einem iterativen Prozess die einzelnen Einflussparameter des Modells so angepasst, dass die modellierten Nachfragedaten mit den empirischen Kalibrierungsdaten weitestgehend übereinstimmen. Die Kalibrierung erfolgte dabei anhand des Modal Splits (abhängig von der Wegezahl pro Modus), der Reiseweitenverteilungen (Pkw und ÖV), der Pendlerzahlen, der mIV Belastungen des hochrangigen und des Grazer Straßennetzes, des Fahrgastaufkommens je ÖV-Linie und der Ein- und Aussteiger je ÖV Haltestelle.

Anschließend erfolgte die Entwicklung einzelner Szenarien(Planfälle). Auf die Ergebnisse der Nachfrage- und Verkehrsbelastungsberechnungen der aufgebauten Szenarien für mIV und ÖV für das Jahr 2030 wird im Folgenden kurz eingegangen.

Das Mobilitätsziel der Stadt Graz, das 2008 definiert wurde, ist, den Öffentlichen Verkehrsanteil der Stadt bis zum Jahr 2021 auf 24% zu erhöhen. Derzeit liegt er bei knapp über 21%. Die Hüsler Linien generieren ihre Fahrgäste hauptsächlich durch eine Fahrgastverlagerung. Es können somit nicht viele Neukunden für den Öffentlichen Verkehr gewonnen werden. Die höchste Zunahme weist dabei Planfall 2 mit der Implementierung der Linie 8 in den Südwesten der Stadt auf. Durch den Bau aller

Hüsler Linien (Linie 2, 8 und 9) würde sich der ÖV-Anteil der Grazer um 0,9% auf 22,2% erhöhen. Verglichen mit den Hüsler-Linien würde allein der Bau einer Seilbahn mehr Fahrgastgewinne verzeichnen. Der Anteil an Wegen, der mit den öffentlichen Verkehrssystemen absolviert werden würde, erhöht sich dabei um 1% auf 22,3%. Das Ziel von einem ÖV-Anteil in Graz von 24% ist weder mit einer der beiden Maßnahmen, noch aus einer Kombination der beiden erreichbar. Ein weiteres Problem hinsichtlich der Realisierung der Seilbahn könnte der UNESCO-Weltkulturerbe-Status der Grazer Innenstadt sein. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass durch den Verlauf der Seilbahn entlang der Mur womöglich Gegner des Projekts aufgrund der negativen Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt auf den Plan gerufen werden.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass das Mobilitätsziel der Stadt Graz, den ÖV-Anteil auf 24% zu erhöhen, lediglich mit den Varianten erreicht werden kann, in denen mindestens eine U-Bahn-Linie betrieben wird. Diese Szenarien verzeichnen deutliche Fahrgastgewinne und somit einen deutlichen Anstieg des ÖV-Anteils. Die meisten Fahrgäste werden durch die Kombination der West-Ost Linie (U1) mit der Nord-Süd Linie (U2) gewonnen. Die U2 hat dabei das größere Fahrgastpotential. Das ist auf das vergleichsweise wenig ausgebaute Straßenbahnnetz im Norden und Süden zurückzuführen. Ein großer Vorteil der U-Bahn im Vergleich zur Seilbahn ist, dass die Haltestellen dort angeordnet werden können, wo ein erhöhtes Fahrgastaufkommen zu erwarten ist. Die Seilbahn dagegen ist baulich stark eingeschränkt und somit unflexibel hinsichtlich der Stationswahl. Ein Nachteil der U-Bahn liegt in den hohen Investitionskosten.

Unter der Annahme, dass der Bau eines Kilometer Tram ca. 25-30 Mio. €, der Seilbahn 20-25 Mio. € und der U-Bahn rund 200 Mio. € kostet, wären für alle Hüsler-Linien Aufwendungen von 380 bis 450 Mio.€ notwendig. Zusätzlich müssen Begleitmaßnahmen, die den mIV betreffen, getroffen werden. Überschlagsmäßig würden sich die monetären Aufwendungen für den Bau der U1 auf 2,4 Mrd. € und der U2 auf 2,7 Mrd. € belaufen. Die Seilbahn würde in einem Kostenbereich zwischen 240 Mio. und 300 Mio. € liegen. Eine U-Bahn wird aufgrund der hohen Kosten betriebswirtschaftlich nie sinnvoll sein. Jedoch sind im Öffentlichen Verkehr immer gesamtwirtschaftliche und volkswirtschaftliche Betrachtungen nötig, um die beste Lösung zu erhalten. Im Zuge dieser Masterarbeit wird der Kostenaspekt nur bedingt in die Empfehlungen hinsichtlich eines Verkehrssystems miteinbezogen. Die Empfehlungen werden hauptsächlich aus Modellierungssicht getroffen.

Rein aus Modellierungssicht wäre die Kombination der West-Ost-Verbindung (U1) und der Nord-Süd-Verbindung (U2) am sinnvollsten, da der Anteil an ÖV-Fahrten am meisten zunimmt und die Kapazitätsengpässe ebenfalls stark minimiert werden. Wird jedoch auch der Kostenfaktor in die Entscheidung miteinbezogen, so ist der Bau von zwei U-Bahn-Linien utopisch. Deshalb wäre wiederum die Kombination der Seilbahn und der U1 am sinnvollsten. Einerseits wird der ÖV-Anteil in Graz um 4% auf nun 25,3% erhöht, andererseits durch die U1 die Kapazitätsengpässe im Innenstadtbereich stark minimiert und zusätzlich die Belastungen des mIV aufgrund der attraktiven Anbindung der P&R Anlagen an die Seilbahn ebenfalls verringert.

Generell ist zu erwähnen, dass diese Masterarbeit nur auf dem Planungsjahr 2030 basiert. Für die Entscheidung hinsichtlich des zukünftigen Verkehrsnetzes sollte der Betrachtungshorizont jedoch erweitert werden. Die Bevölkerung in Graz wird auch nach 2030 noch weiter ansteigen und dadurch ist der alleinige Ausbau der Straßenbahnlinien nicht sinnvoll. Die Implementierung einer U-Bahn würde eine langfristige Kapazitätserweiterung im Öffentlichen Verkehr in Graz darstellen, jedoch muss hier festgehalten werden, dass die U-Bahn hauptsächlich von Grazern benutzt wird. Um Pendler zum Umsteigen zu bewegen, müssen andere Angebote wie S-Bahn-Taktverdichtungen durchgeführt werden. Die notwendigen Querschnittsbelastungen von 4.000 Fahrgästen pro Stunde für einen

betriebswirtschaftlich sinnvollen Betrieb der Mini-U-Bahnen werden in diesen Planfällen nicht erreicht. Jedoch soll erwähnt werden, dass durch den Bau der U-Bahnen manche parallel verlaufenden Linien adaptiert oder eingestellt werden. Somit würden die Fahrgastzahlen zusätzliche Gewinne aufweisen. Des Weiteren werden die zukünftig vermehrt auftretenden Fahrgäste vom Hauptbahnhof und den Nahverkehrsknoten Gösting, Wetzelsdorf und Don Bosco aufgrund der Fertigstellung des Koralmtunnels und des Semmering Basistunnels im Jahr 2026 nicht berücksichtigt. Auch dadurch sind Steigerungen des Fahrgastaufkommens der U1 zu erwarten.

Literaturverzeichnis

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Abteilung 16 - Verkehr und Landeshochbau (2019): *Zählzeiten ÖV-Linienbeförderungsfälle - Stand 2018*. Graz, 2019.
- Cascetta, E. (2001): *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*. Springer, ISBN: 978-1-4757-6875-6, Dordrecht, 2001.
- Cerwenka, P.; Hauger, G.; Hörl, B; Klamer, M. (2004): *Einführung in die Verkehrssystemplanung*. Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien, 2004.
- Doppelmayr (2015): *Doppelmayr baut Weltrekord-3S-Bahn in Vietnam* [online] <https://newsroom.doppelmayr.com/de/doppelmayr/all/doppelmayr-baut-weltrekord-3s-bahn-in-vietnam/> [19.08.2020].
- Doppelmayr (2020): *30-TGD Hon Thom* [online] <https://www.doppelmayr.com/de/systeme/referenzen/30-tgd-hon-thom/> [27.08.2020].
- Fallast, K.; Fellendorf, M.; Haberl, M.; Hofer, K.; Huber, G.; Lebitsch, J.; Solymos, A. (2016): *Ropeway_POT - Potential der Stadtseilbahn im multimodalen Stadtverkehr – Verkehrsbefragung, Nachfragemodellierung und Potentialanalyse*. Graz, 2016.
- Fellendorf, M. (2010): *Verkehrsplanung – Skript*. Graz, 2010.
- Fellendorf, M.; Van Dulmen, A. (2018): *Vorlesungsfolien Verkehrsplanung WS 2018/19*. Graz, 2018.
- Friedrich, M. (2009): *Verkehrsplanung I (Skript)*. Stuttgart, 2009.
- Ferreira, C. G. (2020): *Generierung von Verhaltensdaten aus Österreich Unterwegs für das Verkehrsmodell für den Großraum Graz*. Graz, 2020.
- Friedrich, M.; Gerlach, J. (2002): *Verfahren zur integrierten Netzbewertung und Netzgestaltung. Heureka 02, Optimierung in Verkehr und Transport*, FGSV Verlag, Karlsruhe, 2002.
- Friedrich, M; Pestel, E.; Heidl, U.; Pillat, J.; Schiller, C.; Simon, R. (2019): *Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle*. FE-Nr. 70.919/2015, 2019.
- Gritsch, S. W. (2016): *Potentialanalyse alternativer Mobilitätsformen mit Fokus auf eine Stadtseilbahn für die Stadt Graz*. Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2016.

- Genitle, G.; Noeckel K. (2016): *Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems*. Volume 10, Springer, ISBN: 978-3-319-25080-9, Heidelberg, 2016.
- Höfler, S. (2013): *Fahrbahnverknüpfung zwischen Fern- und Nahverkehr an zentralen Knoten - Fallstudie am Beispiel Graz Hauptbahnhof* Graz. Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2016.
- Hohmann, M. (2020): *Metro Kopenhagen – Das Streckennetz* [online]
<https://city-rails.com/metro-kopenhagen-map/> [11.08.2020].
- Hohmann, M.: *U-Bahn-Plan Wien – Das Streckennetz* [online]
<https://city-rails.com/u-bahn-plan-wien/> [11.08.2020].
- Holding Graz Linien (2019): *Zählzeiten - ÖV Einsteiger - Stand 2019*. Graz, 2019
- IBV Hüsler; BIM; Gesellschaft für Verkehrsberatung und Systemplanung mbH (2019): *Netzausbau Tram 2030+*. Graz, 2019
- Kremer, F. (2015): *Innovation Seilbahn - Potentiale für den urbanen Personennahverkehr und die Positionen der beteiligten Akteure*. Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin, 2015.
- Landesstatistik Steiermark (2020): *Einwohnerzahlen, Anzahl Arbeitsplätze, Anzahl Schulplätze, Anzahl Volksschulplätze und Anzahl Berufsschulplätze – Stand 2019*. 2020.
- Lohse, D. (1997): *Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung*. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr - TU Dresden, Dresden, 1997.
- Maier, G.; Weiss, P. (1990): *Modelle diskreter Entscheidungen*. Springer-Verlag, Wien, 1990.
- Mapa-Metro: *U-Bahn von Lille* [online]
<https://mapa-metro.com/de/Frankreich/Lille/Lille-Metro-Karte.htm> [14.08.2020].
- Mapa-Metro: *U-Bahn von Brescia* [online]
<https://mapa-metro.com/de/italien/brescia/brescia-metropolitana-karte.htm>
[11.08.2020].
- Monheim, H.; Muschwitz, C.; Auer, W.; Philippi, M. (2010): *Urbane Seilbahnen - Moderne Seilbahnsysteme eröffnen neue Wege für die Mobilität in unseren Städten*. ksv-verlag, Trier, 2010.

- Ortúzar, J.; Willumsen L. G. (2011): *Modelling Transport*. Fourth edition, John Wiley & Sons, Ltd., ISBN: 978-0-470-76039-0, Chichester, 2011.
- PTV Group (2019): *PTV VISUM 18 – Handbuch*. Karlsruhe, 2019.
- Ruzicka, J. (2017): *Szenarien der Mobilitäts- und Siedlungsentwicklung am Beispiel von Graz*. Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2017.
- Schiller, C. (2004): *Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung*. Dresden, 2004.
- Schiller, C. (2007): *Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung*. Dresden, 2007.
- Schnabel, W.; Lohse, D. (2011): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*. Band 2 Verkehrsplanung, Beuth Verlag GmbH, Kirschbaum Verlag GmbH, Berlin, 3. Auflage 2011.
- Schütte, F. (2000): *Dynamische Simulation des werktäglichen motorisierten Individualverkehrs - am Beispiel der EXPO 2000*. Hannover, 2000.
- Stadt Wien: *Mit der U5 von Karlsplatz bis Hernals* [online]; <https://u2u5.wien.gv.at/site/die-neue-u5/> [19.08.2020].
- Statistikamt der Stadt Graz (2020): *Einwohnerzahlen Graz – Stand Mai 2020*. Graz, 2020.
- Statistik Austria (2019): *Dauersiedlungsraum der Gemeinden, Politische Bezirke und Bundesländer - Gebietsstand 1.1.2019*, 2019.
- Statistik Austria (2020): *Statistik des Bevölkerungsstandes*, 2020.
- Stopfer; Eveline (2019): *Stadtseilbahn: Innovative Verkehrslösung für Städte* [online] <https://www.stadtmarketing.eu/stadtseilbahn/> [27.08.2020].
- TU Graz – ISV; TU Graz – EBW; 3G Gruppe Geotechnik; Gartler & Partner GmbH; Upstream Mobility; PLANUM Fallast Tischler & Partner GmbH; WU Wien - Institut für Transportwirtschaft und Logistik; AVIMO Consulting (2019): *Moderne Urbane Mobilität 2030+*. Vorstudie, Graz, 2019.

Wellige, W.: Metro Rennes [online]

<http://www.railfocus.eu/index.php?/category/metro-rennes> [11.08.2020].

Wiener Linien (2019): *2018 - Zahlen, Daten, Fakten*. Wiener Linien GmbH & Co KG, Wien, 2019

Anhang

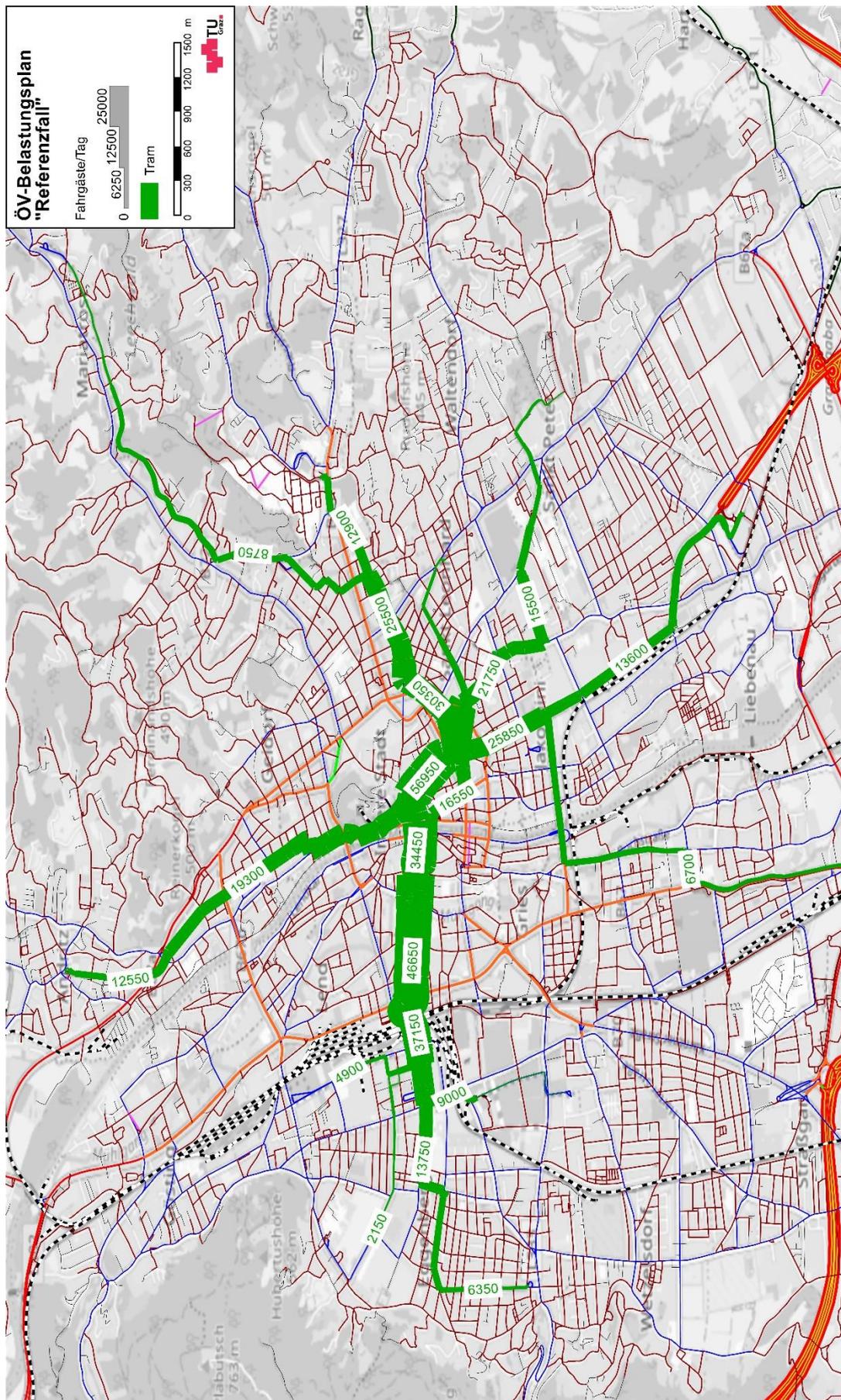
Anhang 1 – Ausschnitt Einwohnerzahlen je VHG für ausgewählte Bezirke

	Azubi	Azubi_G	Emp	Emp_G	EoP	EoP_G	GSch	GSch_G	K	K_G	NEmp	NEmp_G	NEoP	NEoP_G	RAmp	RAmp_G	RAoP	RAoP_G	Sch	Sch_G	Stud	Stud_G
Strallegg	36	0	919	0	75	0	85	0	109	0	79	0	45	0	60	0	94	0	144	0	11	0
Wenigzell	20	0	644	0	62	0	60	0	72	0	77	0	18	0	48	0	82	0	102	0	7	0
Vornholz	14	0	403	0	39	0	31	0	53	0	58	0	13	0	30	0	51	0	62	0	6	0
Vorau	26	0	756	0	72	0	59	0	98	0	109	0	25	0	55	0	95	0	116	0	11	0
Schachen bei Vorau	22	0	656	0	63	0	51	0	85	0	94	0	22	0	48	0	83	0	101	0	9	0
Puchegg	10	0	309	0	29	0	24	0	40	0	44	0	10	0	23	0	39	0	47	0	4	0
Miesenbach bei Birkfeld	13	0	345	0	28	0	30	0	30	0	26	0	15	0	21	0	34	0	54	0	5	0
Stambach	13	0	289	0	28	0	26	0	37	0	33	0	8	0	18	0	31	0	44	0	6	0
Lafnitz	26	0	629	0	60	0	61	0	78	0	108	0	25	0	53	0	91	0	107	0	16	0
Gschaid bei Birkfeld	28	0	602	0	49	0	47	0	64	0	56	0	32	0	49	0	77	0	80	0	13	0
Frohnleiten	6	0	235	0	48	0	20	0	28	0	26	0	18	0	33	0	34	0	33	0	20	0
_belbach	11	0	398	0	82	0	34	0	51	0	47	0	34	0	53	0	55	0	53	0	20	0
Hohenau	6	0	146	0	12	0	12	0	18	0	12	0	7	0	12	0	19	0	19	0	3	0
Rohr bei Hartberg	16	0	481	0	46	0	32	0	60	0	64	0	15	0	38	0	65	0	67	0	9	0
Feistritz	24	0	491	0	40	0	44	0	61	0	44	0	25	0	37	0	58	0	68	0	7	0
Graz_Innere Stadt	0	3	208	0	107	0	11	0	25	0	31	0	41	0	17	0	34	0	26	0	0	87
Graz_Lendplatz	0	18	558	0	287	0	101	0	148	0	148	0	133	0	103	0	209	0	200	0	178	0
Graz_Griesplatz	0	7	214	0	110	0	20	0	35	0	35	0	40	0	19	0	38	0	42	0	47	0
Graz_Karl-Franzens-Uni	0	6	220	0	113	0	17	0	17	0	17	0	19	0	21	0	43	0	41	0	218	0
Graz_Univiertel	0	2	334	0	172	0	12	0	24	0	24	0	32	0	23	0	46	0	23	0	333	0
Graz_Rosenhain	0	5	235	0	121	0	32	0	44	0	44	0	23	0	40	0	81	0	42	0	231	0
Graz_Hauptbahnhof	0	5	170	0	88	0	26	0	46	0	46	0	27	0	7	0	15	0	40	0	55	0
Graz_Alte Technik	0	5	311	0	160	0	23	0	39	0	39	0	42	0	34	0	69	0	46	0	179	0
Graz_Stadtpark+Schlossberg	0	1	90	0	47	0	4	0	13	0	13	0	14	0	6	0	11	0	13	0	38	0

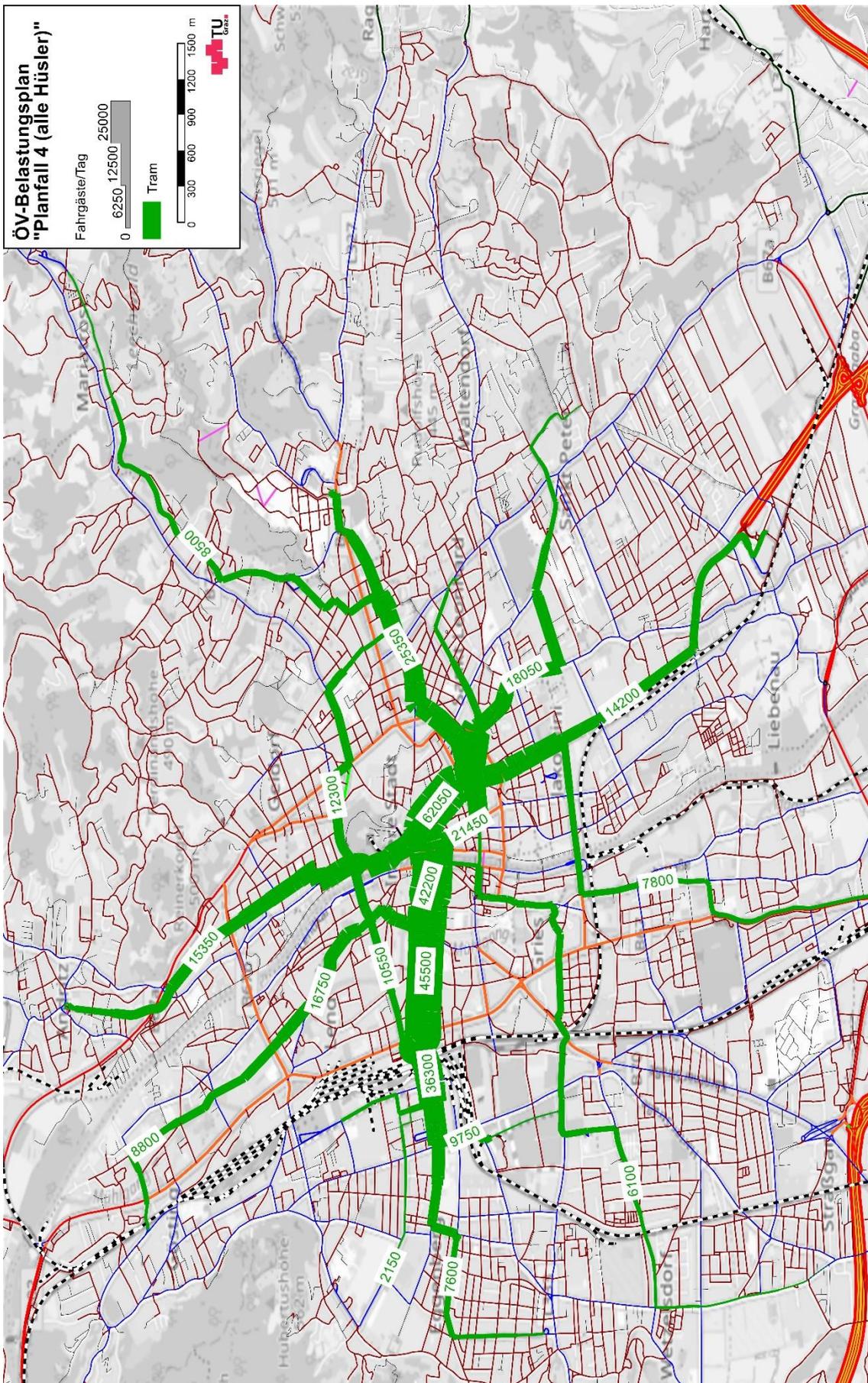
Anhang 2 – Strukturgrößen für ausgewählte Bezirke

	Arbeit	Berufsschule	Einkaufen	Freizeit	Grundschule	Hochschule	Schule
Strallegg	457	0	4145	2607	73	0	78
Wenigzell	525	0	2167	2105	54	0	0
Vornholz	178	0	55	1085	0	0	0
Vorau	1234	0	6579	1941	177	0	253
Schachen bei Vorau	222	0	10	1228	0	0	0
Puchegg	117	0	123	597	0	0	0
Miesenbach bei Birkfeld	165	0	1163	926	36	0	0
Stambach	149	0	0	641	0	0	0
Lafnitz	770	0	2981	1545	61	0	0
Gschaid bei Birkfeld	254	0	117	923	0	0	0
Frohnleiten	377	0	536	860	0	0	0
_belbach	528	0	540	997	59	0	86
Hohenau	40	0	0	358	0	0	0
Rohr bei Hartberg	261	0	488	1256	35	0	0
Feistritz	299	0	333	1186	0	0	0
Graz_Innere Stadt	1974	0	34546	3700	165	0	0
Graz_Lendplatz	232	0	738	2032	0	0	979
Graz_Griesplatz	1525	0	26303	900	0	0	0
Graz_Karl-Franzens-Uni	3841	0	79	639	0	26300	0
Graz_Univiertel	607	0	3905	3607	0	700	0
Graz_Rosenhain	1069	0	1317	1211	0	800	36
Graz_Hauptbahnhof	993	0	12828	1822	0	0	0
Graz_Alte Technik	2534	0	1925	1451	188	7452	1967
Graz_Stadtpark+Schlossberg	3137	0	6044	5601	0	0	50

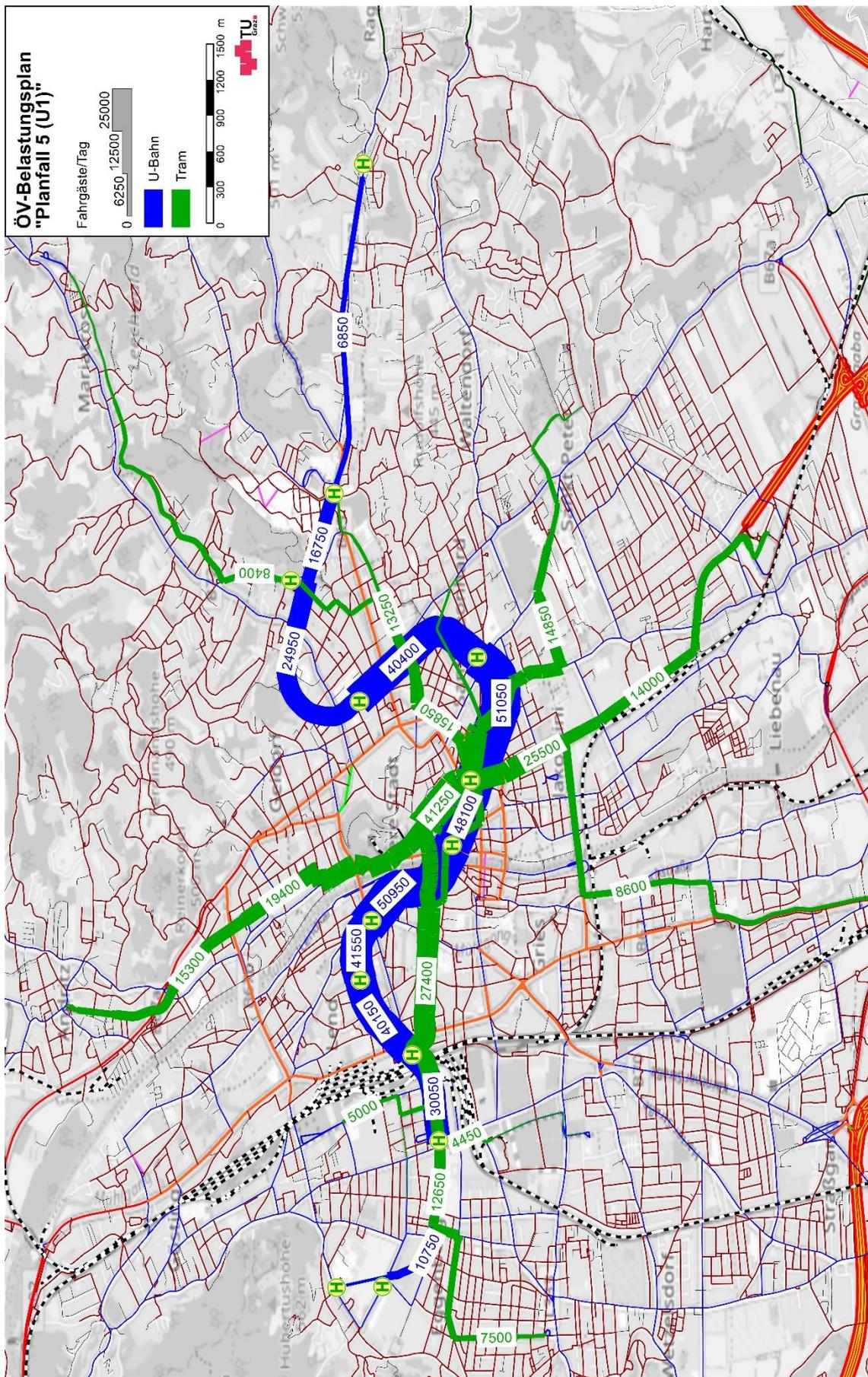
Anhang 3 – ÖV Belastungen Referenzfall



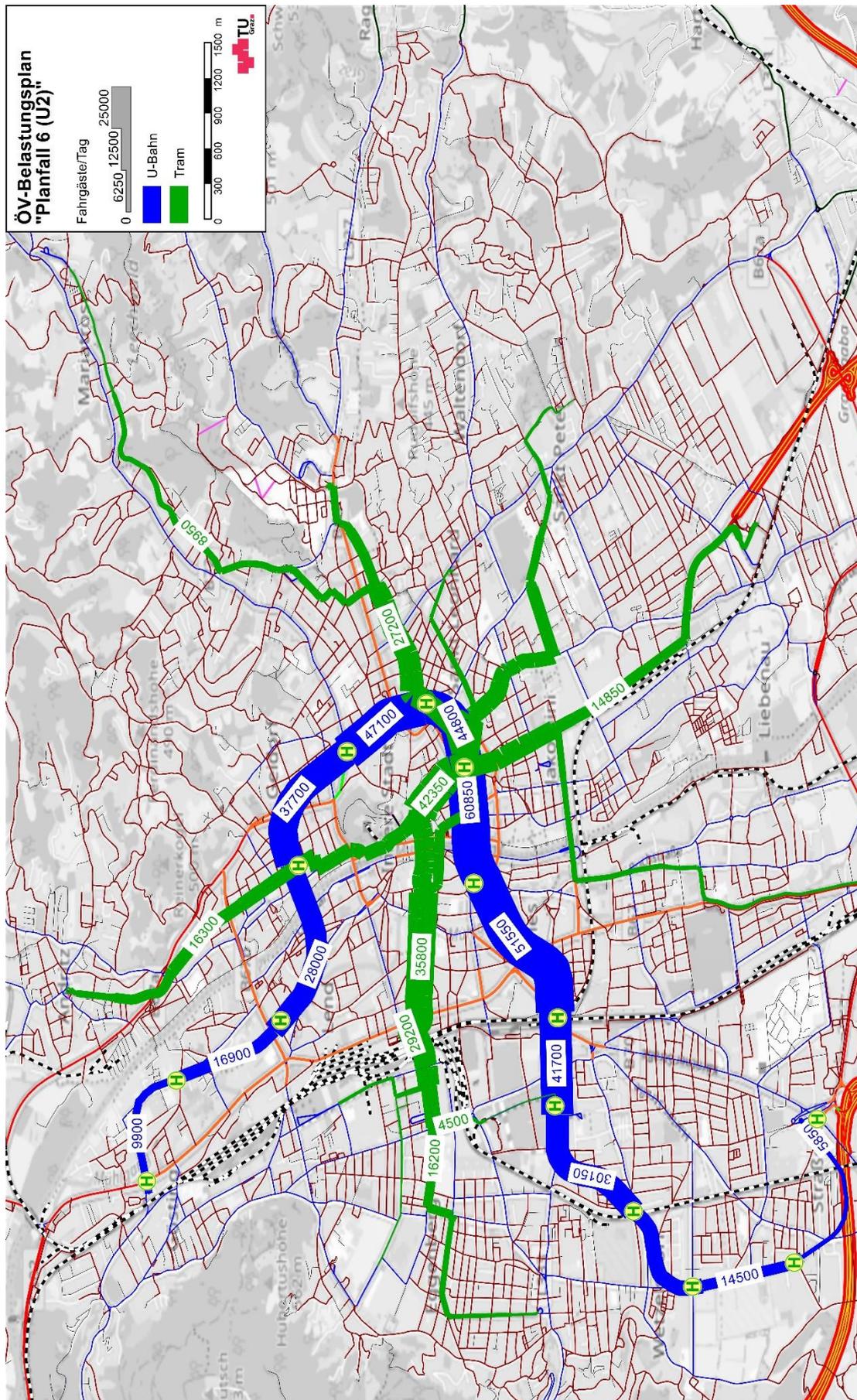
Anhang 4 – ÖV Belastungen Planfall 4 (alle Hüsler Linien)



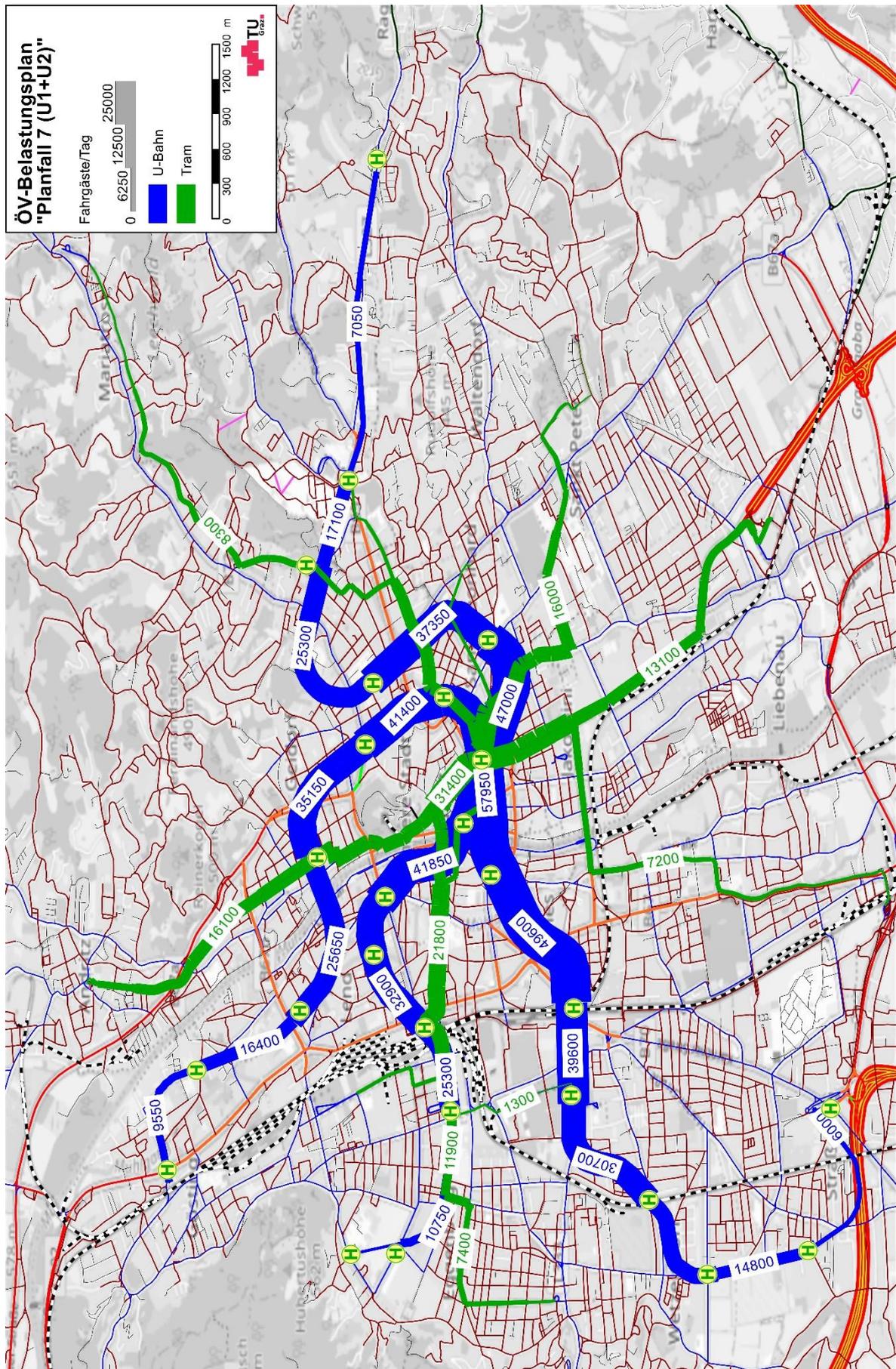
Anhang 5 – ÖV Belastungen Planfall 5 (U1)



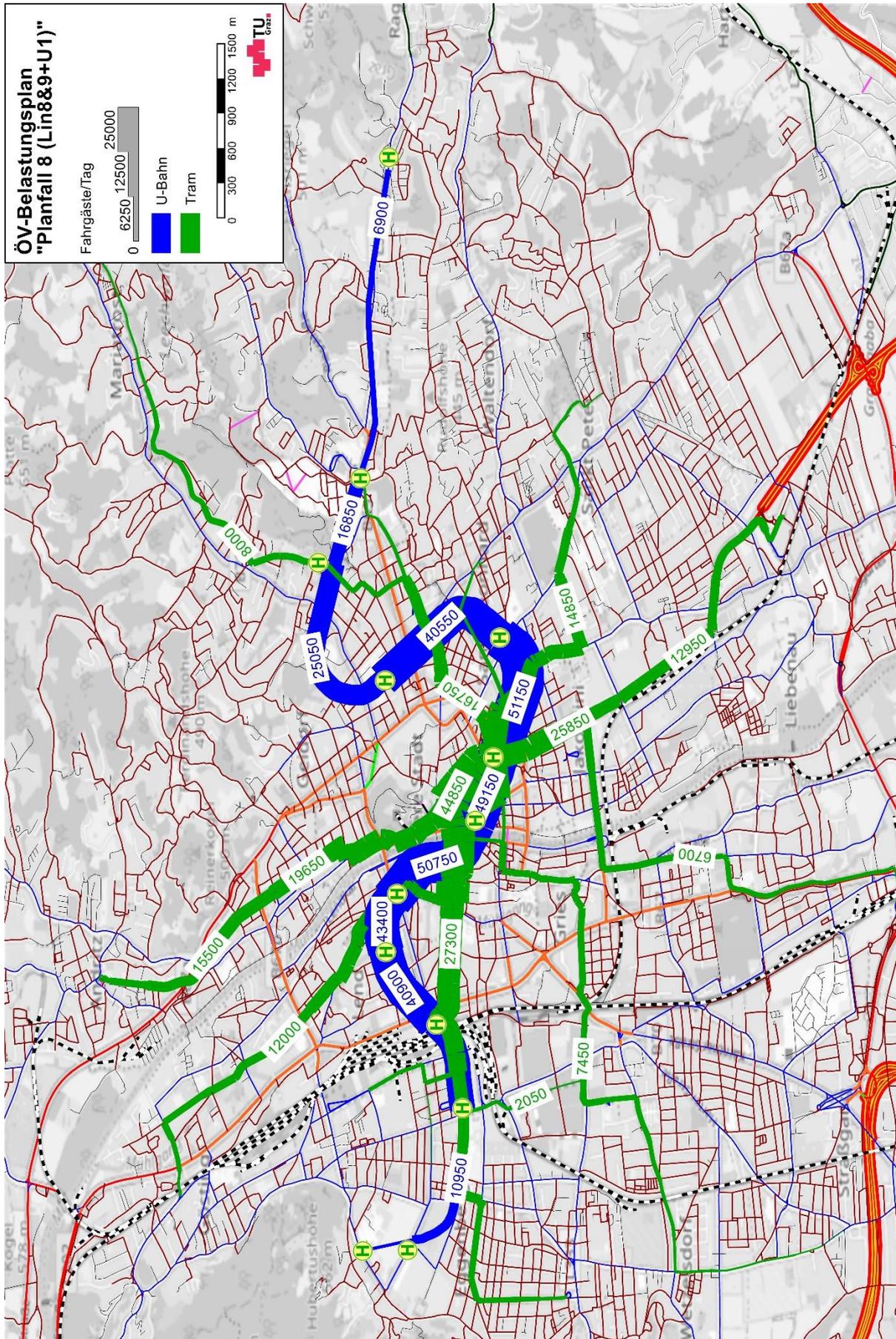
Anhang 6 – ÖV Belastungen Planfall 6 (U2)



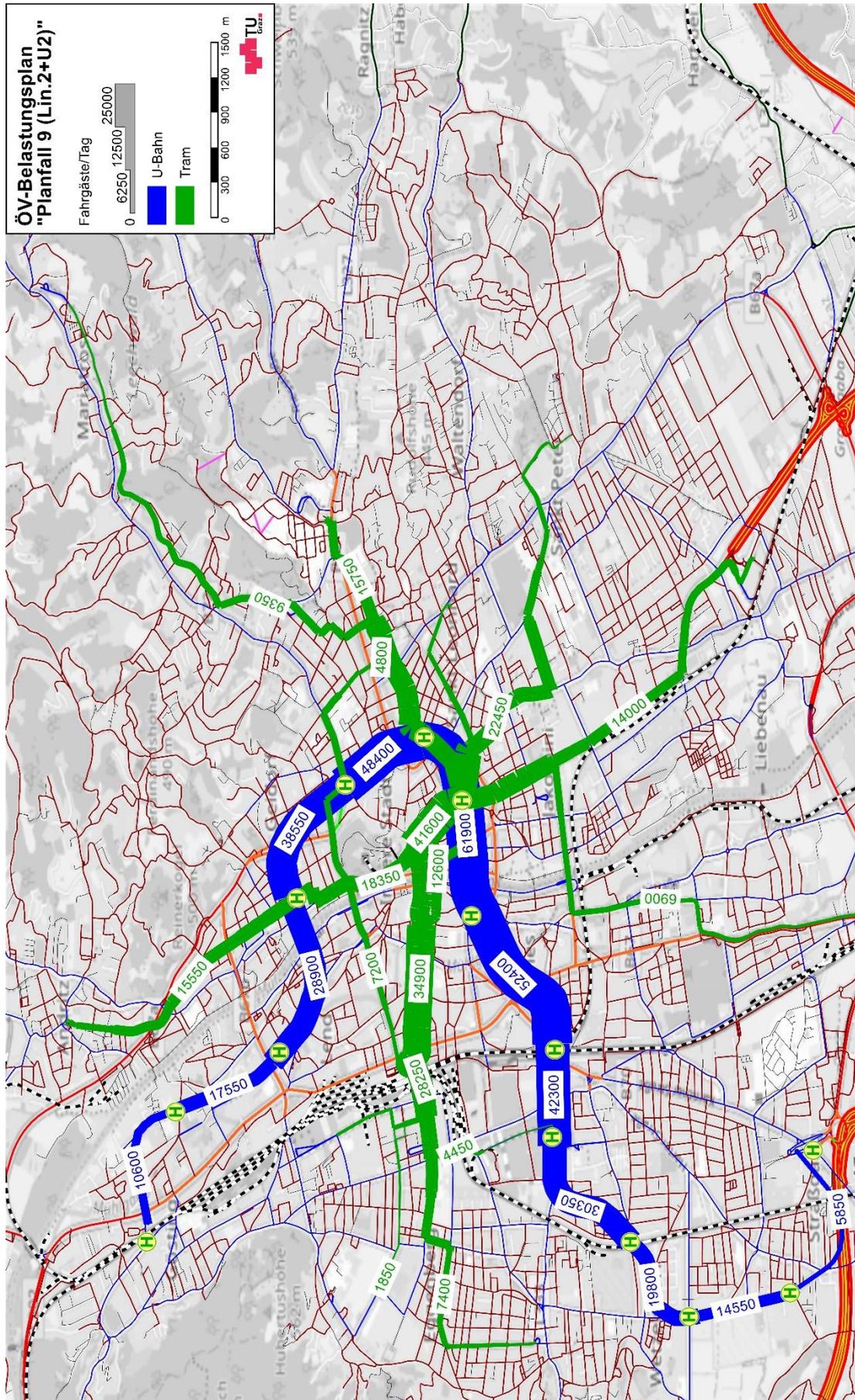
Anhang 7 – ÖV Belastungen Planfall 7 (U1 + U2)



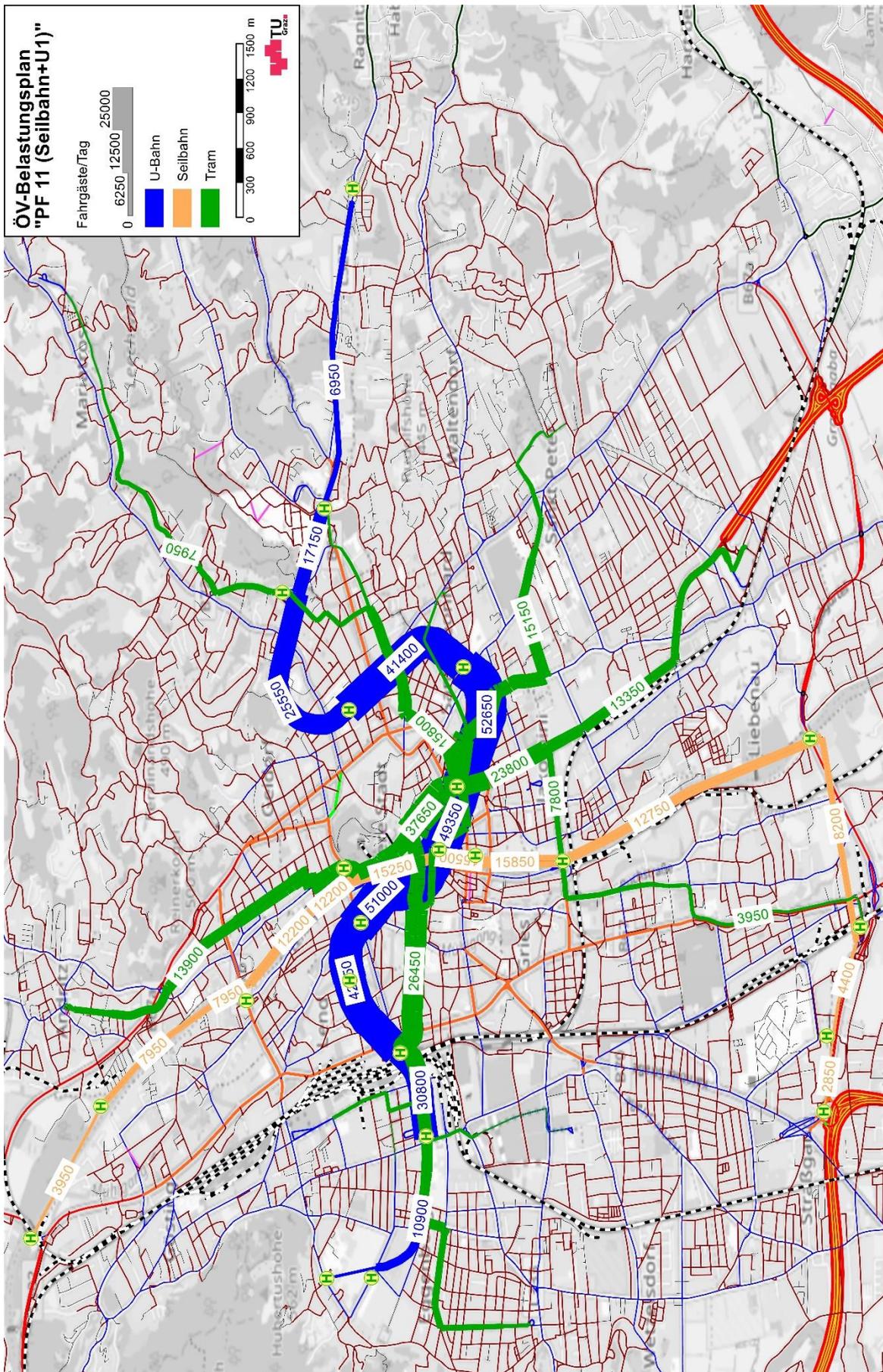
Anhang 8 – ÖV Belastungen Planfall 8 (Linie 8&9 + U1)



Anhang 9 – ÖV Belastungen Planfall 9 (Linie 2 + U1)



Anhang 11 – ÖV Belastungen Planfall 11 (Seilbahn + U1)



CD / DVD:

Die Studierenden sind angehalten **eine** CD/DVD bis zum Prüfungstermin, bei dem auch die gebundene Arbeit abzugeben ist, zu erstellen und zu etikettieren. Das Etikettieren übernimmt Herr Peter Kollegger (ISV) kostenlos.

Titel der CD/DVD: MA_Nachname_Thema (eventuell verkürzt)_Jahr

Inhalt der CD/DVD:

- Aufgabenstellung
- Volltext in *.pdf und Originalversion (Word, LaTeX,...)
- Präsentation der Diplomprüfung im Original (*.ppt,...)
- Literatur (geordnet, klingend benannt, in *.pdf, ev. mit Verzeichnis)
- relevante Simulationsdateien und Ergebnistabelle etc. (nur Letztstand)
- verständliche Ordnerstruktur auf der CD/DVD, ev. mit Inhaltsverzeichnis

Beispielbild:

