

Infrastrukturausbau Graz – Bruck an der Mur

Untersuchung der technischen und betrieblichen Machbarkeit

Masterarbeit

Abgabedatum 10.09.2021

Elias Anglberger
BSc
01530860
e.anglberger@student.tugraz.at

Betreuer:
Peter Veit
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
peter.veit@tugraz.at



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 wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 10.09.2021



Unterschrift

Danksagung

Ein großer Dank gebührt dem Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, auf welchem ich mich dank der großartigen Atmosphäre und trotz der aktuellen Weltgeschehnisse hervorragend eingelebt habe. Allen voran danke ich Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit für das Vertrauen und die Unterstützung in jeglicher Hinsicht sowie Dr.techn. Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner, welcher mich an das spannende Thema des Eisenbahnbetriebs herangeführt hat und mich an seiner Expertise teilhaben ließ und lässt.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Personen, welche mich vor und während meiner Studienzeit begleitet haben. Gerade mit meinem Gymnasiums-Hintergrund haben meine Freunde und Kollegen aus den Zeichensälen den Studieneinstieg maßgeblich erleichtert. Vielen Dank für die Unterstützung und die vielen tollen Erlebnisse!

Ganz besonders bedanke ich mich zum Abschluss bei meiner Familie, allen voran meinen Eltern. Erst durch eure Unterstützung war es mir möglich, mein Glück im fernen Graz zu suchen und zu finden.

Kurzfassung

Die Südbahn ist sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr die Eisenbahnstrecke mit dem zweitgrößten Potential in Österreich. In ihrem derzeitigen Ausbauzustand ist sie jedoch aufgrund unattraktiver Fahrzeiten und ihrer Blinddarmlage in der Südsteiermark ein Relikt vergangener Zeiten. Die derzeit stattfindenden Ausbaumaßnahmen entlang der Südbahn in Milliardenhöhe versprechen eine Behebung dieses Sachverhaltes, die dazwischenliegenden, nicht ausgebauten Streckenabschnitte drohen jedoch ein Flaschenhalsszenario zu kreieren.

Auf Basis vorangegangener Studien wird daher ein Ausbau der Kante Graz – Bruck an der Mur untersucht. Dabei wird eine zweigleisige Neubaustrecke zwischen dem Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz und der Ortschaft Raach sowie ein drittes Gleis zwischen der Neubaustrecke und dem Hauptbahnhof Graz vorgeschlagen.

Neben der Trassenstudie werden auch die auf der Kante möglichen Betriebskonzepte untersucht und das Potential für den Güterverkehr abgeschätzt. Zuletzt wird auf die Auswirkungen auf die angrenzende Nebenstrecke der Übelbacherbahn sowie auf ein mit dem Ausbau mögliches Nahverkehrskonzept eingegangen.

Abstract

The Southern Line is the railway track with the second largest potential in Austria, be it in passenger or freight traffic. However, because of unattractive riding times and its cul-de-sac location in southern Styria, it is a relic of the past in its current state. Current development measures along the southern line promise improvement of these facts, however intermediary, non-developed sections of track threaten to create a bottleneck scenario.

Therefore, based on preceding studies, a development of the track section Graz – Bruck an der Mur will be reviewed. Thereby a newly built double track between the hub Peggau-Deutschfeistritz and Raach as well as a third track between the newly built double track and Graz main station will be suggested.

Besides the route study, possible concepts of railway operation along the track section as well as the potential for freight traffic will be examined. Lastly, the effects on the adjoining track of the Übelbacherbahn as well as a possible local traffic concept will be analyzed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Problemstellung.....	13
1.2	Methodik	13
2	Grundlagen und Randbedingungen	14
2.1	Projektgebiet.....	14
2.2	Designprozess	15
2.3	Der integrale Taktfahrplan	16
2.4	Zielnetz 2040	19
2.5	Verwendete Unterlagen	22
3	Trassenstudie	23
3.1	Trassierungsparameter	23
3.1.1	Kreuzungsbauwerke	24
3.1.2	Tunnel	24
3.1.3	Übergangsbögen	25
3.1.4	Regelquerschnitt	25
3.2	Hauptbahnhof Graz bis Absprung Neubaustrecke	26
3.2.1	Graz Hauptbahnhof bis Kreuzungsbauwerk Peter-Tunner-Gasse	26
3.2.2	Kreuzungsbauwerk Peter-Tunner-Gasse bis Nahverkehrsknoten Gösting	28
3.2.3	Nahverkehrsknoten Gösting	29
3.2.4	Nahverkehrsknoten Gösting bis Ortschaft Raach.....	32
3.2.5	Ortschaft Raach bis Absprung Neubaustrecke	36
3.3	Variante Tunnel Hausberg	38
3.3.1	Ende der Neubaustrecke bis Murquerung Süd	38
3.3.2	Detail Tunnelportal Süd.....	39
3.3.3	Tunnel Hausberg	41
3.3.4	Detail Anschlussstelle Gratkorn Nord	42
3.3.5	Anschlussstelle Gratkorn Nord bis Friesach	44
3.3.6	Abschnitt auf Höhe der Ortschaft Friesach	46
3.3.7	Autobahnknoten Peggau-Deutschfeistritz.....	48
3.3.8	Siedlungsgebiet Deutschfeistritz	50
3.3.9	Murquerung bis Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz	51
3.4	Variante Tunnel Eggenberg	52
3.4.1	Tunnel Eggenberg	53
3.4.2	Tunnelportal Nord bis Höhe der Ortschaft Friesach.....	54
3.5	Tunnel Gschwendtberg	55
3.5.1	Bahnhof Frohnleiten bis Tunnelportal Süd.....	56
3.5.2	Tunnel Gschwendtberg.....	59
3.5.3	Tunnelportal Nord bis Überführung in Bestand	59
3.6	Variantenentscheid	60
4	Betrieb	61
4.1	Modellierungsgrundlage	61
4.1.1	Verwendetes Programm	61
4.1.2	Grundlagen der Fahrzeitberechnung	61
4.1.3	Zugsicherungssystem	62
4.1.4	Zuggattungen im Projektgebiet	64
4.2	Betriebsparameter	66
4.2.1	Betriebsstabilität	66
4.2.2	Kapazität.....	67
4.2.3	Zeitzuschläge.....	68
4.2.4	Betriebszeiten.....	70

Inhaltsverzeichnis

4.2.5	Belegungsgrad und Komfortkriterien	71
4.2.6	Betriebsprozesse	73
4.3	Szenario 0: Zielnetz 2040 auf der Bestandsinfrastruktur	76
4.3.1	Fahrzeitberechnung und Energieverbrauch	78
4.3.2	Umläufe des Regionalverkehrs	78
4.3.3	Güterverkehr	79
4.4	Szenario 1: Zielnetz 2040 inklusive Neubaustrecke	81
4.4.1	Fahrzeitenberechnung und Energieverbrauch	85
4.4.2	Umläufe des Regionalverkehrs	85
4.4.3	Güterverkehr	86
4.5	Szenario 2: Zielnetz 2040 inklusive Neubaustrecke und Tunnel Gschwendtberg	87
4.5.1	Fahrzeitenberechnung und Energieverbrauch	90
4.5.2	Umläufe des Regionalverkehrs	90
4.5.3	Güterverkehr	91
4.6	Integration der Übelbacherbahn	92
4.7	Analyse des Infrastrukturbedarfes	95
4.7.1	Umtrassierung Nordausfahrt Graz	95
4.7.2	Tunnel Eggenberg	97
4.7.3	Tunnel Gschwendtberg	98
5	Potential	99
5.1	Mögliche Zugtrassen im Regional- und Fernverkehr	99
5.2	Ertüchtigung des Ausbaus für Nahverkehrskonzepte	102
5.3	Synergie für Instandhaltungsmaßnahmen	104
6	Zusammenfassung	105
6.1	Erkenntnisse	105
6.2	Ausblick	106
7	Literaturverzeichnis	107

Abbildungs-, und Tabellenverzeichnis

Abbildung 2-1: Überblick über das Projektgebiet, Betriebsstellen in blauer Farbe (Quelle: openrailwaymap.org)	14
Abbildung 2-2: Funktionsweise eines Taktknotens zur Symmetrieminute .00 [8]	17
Abbildung 2-3: mögliches ITF-Knoten-Kanten-Modell für das Jahr 2040, abweichende Zeiten des Zielnetzes 2025+ in roter Farbe	18
Abbildung 2-4: Darstellung eines schematischen Fahrplanes 2040	21
Abbildung 3-1: Darstellung der Funktion eines Übergangselementes in Lage (links) und Höhe (rechts) [16].....	25
Abbildung 3-2: Darstellung eines Regelquerschnittes	26
Abbildung 3-3: Neulage im Bereich des Bahnhofkopfes Graz (Quelle: openrailwaymap.org)	27
Abbildung 3-4: Neulage des dritten Gleises auf Höhe der Smart City (Quelle: openrailwaymap.org)	27
Abbildung 3-5: Gleislage im Bereich des Verschiebebahnhofes	29
Abbildung 3-6: Gleislage zwischen Nahversorger und NVK Gösting	29
Abbildung 3-7: mögliche Ausgestaltung des NVK Gösting	31
Abbildung 3-8: Alternativlösung des NVK Gösting	31
Abbildung 3-9: geradliniger Abschnitt zwischen dem NVK Gösting und der Nordausfahrt Graz	32
Abbildung 3-10: neuralgische Stelle der Nordausfahrt Graz; Gleisachse in rot, Achsabstand und Begrenzungslinie des Querschnittes in gelb.....	33
Abbildung 3-11: Neulage der Nordausfahrt Graz, km 1,0 – 1,8.....	34
Abbildung 3-12: Neulage der Nordausfahrt Graz, km 0,0 – 1,0.....	35
Abbildung 3-13: Übergang des dritten Gleises auf die Neubaustrecke.....	37
Abbildung 3-14: Ende der Neubaustrecke	38
Abbildung 3-15: Detail Tunnelportal Süd	40
Abbildung 3-16: großräumige Umleitungsmöglichkeiten der Baustelle Tunnelportal Süd (Quelle: openrailwaymap.org).....	41
Abbildung 3-17: Verlauf des Tunnels Hausberg	42
Abbildung 3-18: Detail der Anschlussstelle Gratkorn Nord	43
Abbildung 3-19: Längsprofil der Auffahrtsrampe neu.....	44
Abbildung 3-20: Dammlage der Neubaustrecke in der Geraden	44
Abbildung 3-21: Bogen mit herabgesetzter Geschwindigkeit zwischen A9 und B67.....	45
Abbildung 3-22: Unterführung der L318 Semriacherstraße.....	46
Abbildung 3-23: neues Längsprofil der L318	46
Abbildung 3-24: Firmengelände km 4,4 - 4,6	47

Abbildung 3-25: betroffene Firmengelände im Bereich des Autobahnknotens Peggau-Deutschfeistritz48

Abbildung 3-26: Vorschlag einer kleinräumigen Baustellenumleitung (Quelle: openrailwaymap.org)49

Abbildung 3-27: Murquerung Nord und Tunnel A950

Abbildung 3-28: Siedlungsgebiet der Gemeinde Deutschfeistritz50

Abbildung 3-29: Brücken der Südbahn und der Übelbacherbahn51

Abbildung 3-30: Ausbau des Bahnhofes Peggau-Deutschfeistritz52

Abbildung 3-31: Verlauf des Tunnels Eggenberg53

Abbildung 3-32: Bereich mit offener Bauweise54

Abbildung 3-33: Anpassung der A9 inklusive Brückenbauwerk55

Abbildung 3-34: Umbau des Bahnhofkopfes Frohnleiten57

Abbildung 3-35: Stützmauer im Bereich des Bahnhofkopfes Frohnleiten58

Abbildung 3-36: Verzug der Gleise zur Erreichung der Tunnellage59

Abbildung 3-37: Nordportal des Tunnels Gschwendtberg60

Abbildung 4-1: Beispiel eines hinterlegten Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagrammes [27]61

Abbildung 4-2: grafische Darstellung des VzG der Strecke62

Abbildung 4-3: Beispiel einer Beharrungsfahrt.....62

Abbildung 4-4: Sperrzeitentrepfen des Szenario 0 in der Hauptverkehrszeit67

Abbildung 4-5: Zusammenwirken von Pufferzeiten und Zeitzuschlägen [36]70

Abbildung 4-6: richtungsfeine Tagesganglinie im Agglomerationsverkehr.....71

Abbildung 4-7: Bahnhofsuhen Szenario 076

Abbildung 4-8: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 077

Abbildung 4-9: Umlaufplan des Regionalverkehrs Szenario 079

Abbildung 4-10: Beispiel für die Betrachtung der Güterzugtrassen80

Abbildung 4-11: Bahnhofsuhen Szenario 181

Abbildung 4-12: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 1; entlang der Neubaustrecke83

Abbildung 4-13: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 1; entlang des Bestandes.....84

Abbildung 4-14: Umlaufplan des Regionalverkehrs Szenario 186

Abbildung 4-15: Bahnhofsuhen Szenario 287

Abbildung 4-16: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 2; entlang der Neubaustrecke88

Abbildung 4-17: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 2; entlang des Bestandes.....89

Abbildung 4-18: Umlaufplan des Regionalverkehrs Szenario 291

Abbildung 4-19: Verlauf der Übelbacherbahn (Quelle: openrailwaymap.org)92

Abbildung 4-20: Umläufe der untersuchten Varianten der Übelbacherbahn93

Abbildung 4-21: Bildfahrpläne der untersuchten Varianten; links: S-Bahn-Haltemuster, rechts: Expresszug-Haltemuster; Szenario 1 und 294

Abbildung 4-22: grafische Darstellung der Blockbelegungszeiten, Szenario 1 und 296

Abbildung 4-23: Kreuzungen im Tunnel Eggenberg; links: Szenario 1, rechts: Szenario 2	97
Abbildung 4-24: Kreuzungen im Tunnel Gschwendtberg; Szenario 2	98
Abbildung 5-1: Bahnhofsfuhren Potential	99
Abbildung 5-2: Haupt- und Nebenverkehrszeit möglicher Zugtrassen; entlang der Neubaustrecke	100
Abbildung 5-3: Haupt- und Nebenverkehrszeit möglicher Zugtrassen; entlang des Bestandes	101
Abbildung 5-4: Verlauf der Schleppbahn Andritz (Quelle: openrailwaymap.org).....	102
Abbildung 5-5: Zugläufe der City-S-Bahn entlang des dritten Gleises	103
Tabelle 2-1: Tabellarische Übersicht der Betriebsstellen, inkl. durchschnittlicher Geschwindigkeit	15
Tabelle 3-1: Übersicht über die wichtigsten Trassierungsparameter	24
Tabelle 4-1: Übersicht der Blockabschnitte laut VzG inklusive zusätzlicher Blocksignale	64
Tabelle 4-2: Zeitzuschläge der unterschiedlichen Zuggattungen	69
Tabelle 4-3: Untersuchung der Belegungsgrade.....	72
Tabelle 4-4: Belegungsgrade unter Berücksichtigung von Doppeltraktion.....	72
Tabelle 4-5: maximaler Belegungsgrad ohne Verdichtung des S-Bahn Angebotes	73
Tabelle 4-6: Fahrzeiten und Energieverbrauch der maßgeblichen Zugklassen, Szenario 0	78
Tabelle 4-7: Güterzugtrassen zufolge Szenario 0	80
Tabelle 4-8: Überprüfung der Lage des RJX	81
Tabelle 4-9: absolute Fahrzeiten und Energieverbrauch, Szenario 1	85
Tabelle 4-10: Differenz der Fahrzeiten und des Energieverbrauches Szenario 1 gegenüber Szenario 0	85
Tabelle 4-11: Güterzugtrassen zufolge Szenario 1	86
Tabelle 4-12: absolute Fahrzeiten und Energieverbrauch, Szenario 2	90
Tabelle 4-13: Differenz der Fahrzeiten und des Energieverbrauches Szenario 2 gegenüber Szenario 0	90
Tabelle 4-14: Güterzugtrassen zufolge Szenario 2	91
Tabelle 6-1: Güterzugstrassen zufolge der verschiedenen Szenarien	105
Tabelle 6-2: Fahrzeitgewinne und Energiebedarf zufolge der verschiedenen Szenarien	106

Abkürzungsverzeichnis

Kürzel	Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
BUK	Bauwerksunterkante	
FOK	Fahrbahnoberkante	
Fzt	Fahrzeit	
GIS	Geographisches Informationssystem	
GZ	Güterzug	
Hbf	Hauptbahnhof	
Hltzt	Haltezeit	
HVZ	Hauptverkehrszeit	
IC	Intercity	
IR	Interregio	
ITF	Integraler Taktfahrplan	
km/h	Kilometer pro Stunde	
LFF	Linienführungsfaktor	
m	Meter	
min	Minute	
NVK	Nahverkehrsknoten	
NVZ	Nebenverkehrszeit	
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen	
ÖPNRV	Öffentlicher Personennah- und regionalverkehr	
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr	
ÖPRV	Öffentlicher Personenregionalverkehr	
ÖV	Öffentlicher Verkehr	
REX	Regionalexpress	
RJ	Railjet	
RJX	Railjet Express	
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen	
SNNB	Schienennetznutzungsbedingungen	
SOK	Schienenoberkante	
TEN-T	Trans European Network – Traffic	Transeuropäisches Netz - Verkehr
VzG	Verzeichnis zulässiger Geschwindig-	

1 Einleitung

Mit einem Einzugsgebiet von 3,5 Millionen Menschen ist die Südbahn zwischen Wien und Spielfeld-Straß die Eisenbahnstrecke mit dem zweitgrößten Potential im österreichischen Personenverkehr [1]. Auch im Güterverkehr stellt die Südbahn eine wichtige Verkehrsachse da. Als Teil des baltisch-adriatischen Korridors des transeuropäischen Verkehrsnetzes TEN-T leistet sie einen wichtigen Beitrag zu einem effizienten, europäischen Eisenbahnnetz, welches für die Konkurrenzfähigkeit des Schienengüterverkehrs zur Straße – und damit auch dem Erreichen der stetig relevanteren Klimaziele – essenziell ist. In Zukunft sind durch die derzeitigen Ausbauprojekte sowohl im Personenfern- als auch Güterverkehr starke Zuwächse zu erwarten, welche indirekt auch durch Synergieeffekte mit europäischen Großprojekten wie Rail Baltica verstärkt werden könnten [2].

Die Infrastruktur der Südbahn wird dabei ihrem großen Potential nicht gerecht. Im Personenfernverkehr können zwischen den Ballungsräumen Wien und Graz keine mit dem Straßenverkehr konkurrenzfähigen Fahrzeiten erreicht werden, gleichzeitig stellt ihre Lage im Grazer Zentralraum als „Blinddarm“ und der damit fehlenden – bzw. über das restliche Schienennetz nur sehr schlechten – Verbindung nach Klagenfurt und Villach einen eklatanten Makel im österreichischen Schienennetz dar.

Die dargelegten Mängel werden durch zwei der drei großen österreichischen Tunnelbauprojekte, namentlich dem Semmering-Basistunnel zwischen Gloggnitz und Mürzzuschlag sowie dem Koralmtunnel zwischen Deutschlandsberg und Lavanttal, behoben. Die Inbetriebnahme der beiden Tunnel verspricht sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr ein massives Wertschöpfungspotential. Diese hoch performanten Strecken werden jedoch von dem Streckenabschnitt Graz – Bruck an der Mur verbunden, welcher in seinem derzeitigen Ausbauzustand nur schwer in der Lage ist, die Umlagerung und Zunahme des Güterverkehrs gemeinsam mit den geplanten Personenverkehrskonzepten aufzunehmen. Die Kante stellt hierbei durch eine Überlagerung des baltisch-adriatischen Korridors, der für den Güterverkehr essenziellen Pyhrnachse und dem geplanten dichten Personenverkehrsangebot eine besondere Kapazitätsengstelle im Eisenbahnnetz dar. Den Investitionssummen der Tunnelprojekte in Milliardenhöhe steht ohne den Ausbau dieses Abschnittes somit bereits ab Inbetriebnahme ein erheblich verringerter Nutzen gegenüber.

1.1 Problemstellung

Aufgrund des beschriebenen Sachverhaltes ist es Ziel dieser Arbeit, ein Lösungskonzept für den Streckenabschnitt Graz – Bruck an der Mur auszuarbeiten, der den Anforderungen der Südbahn gerecht wird.

Die Arbeit behandelt dabei zwei konkrete Ziele. Oberste Priorität hat die Herstellung einer ausreichenden Streckenkapazität, um sowohl das Personenverkehrskonzept entlang der Kante bei gleichzeitiger Vermeidung eines Flaschenhalsszenarios für den Güterverkehr realisieren zu können.

Untergeordnetes – wenn auch sehr wichtiges – Ziel ist eine Fahrzeitreduktion der Fernverkehrszüge, um sowohl Bruck an der Mur als auch Graz in den integralen Taktfahrplan (ITF) zu integrieren. Die Verkürzung von Fahrzeiten als auch die flächendeckende Realisierung des ITF sind dezidierte Ziele im Rahmenplan der ÖBB Infrastruktur AG [3].

1.2 Methodik

Diese Studie fußt auf zwei vorangegangenen Untersuchungen an der Technischen Universität Graz, welche als Lösungsvorschlag eine Neubaustrecke zwischen Graz Hauptbahnhof und Peggau-Deutschfeistritz zur Entflechtung von Regional- und Fernverkehr sowie zur Verkürzung der Fahrzeit empfehlen [4][5]. Die Neubaustrecke besitzt dabei ab dem Autobahnknoten Peggau-Deutschfeistritz eine eigene, zweigleisige Linienführung und wird nördlich der Ortschaft Raach auf einen eingleisigen Querschnitt zusammengeführt. Die dadurch entstehende eingleisige Strecke wird parallel zum Bestand weitergeführt und mündet im Hauptbahnhof Graz.

In Kapitel 2 und werden die Randbedingungen der Arbeit erläutert und das Projektgebiet beschrieben.

Kapitel 3 geht auf die Trassierung der untersuchten Varianten ein, sie wird auf die technische Machbarkeit und den Einfluss auf das bestehende Verkehrsnetz überprüft. Außerdem werden konkrete Lösungsvorschläge für die Realisierung von Kreuzungsbauwerken und kritischen Stellen dargelegt.

Kapitel 4 befasst sich mit der betrieblichen Leistungsfähigkeit der Strecke, wobei ein Vergleich zwischen dem mit der heutigen Infrastruktur möglichen Betriebskonzept zu dem einer zufolge Kapitel 3 ausgebauten Kante Graz - Bruck an der Mur erfolgt. Neben der Erstellung von Bildfahrplänen werden auch die im Projektgebiet modellierbaren Umlaufpläne abgebildet und der Güterverkehr betrachtet. Die Fahrzeitberechnungen sowie die Modellierung des Projektgebietes erfolgen mit der Fahrplanbearbeitungssoftware FBS des Instituts für Regional- und Fernverkehrsplanung [6].

Schlussendlich werden in Kapitel 5 und 6 das Potential der Strecke abgeschätzt sowie ein zusammenfassender Überblick bereitgestellt.

2 Grundlagen und Randbedingungen

2.1 Projektgebiet

Das Projektgebiet umfasst die ca. 53 km lange Eisenbahnstrecke zwischen den Bahnhöfen Bruck an der Mur und Graz. Die Strecke verläuft dabei fast zur Gänze im Mittleren Murtal und hat somit einen inneralpinen Charakter, welcher sich durch flache, teils sehr schmale Talböden mit steilen Bergflanken auszeichnet. Das Gelände fällt Richtung Süden stetig ab und öffnet sich erst an der Stadtgrenze in das Grazer Becken.

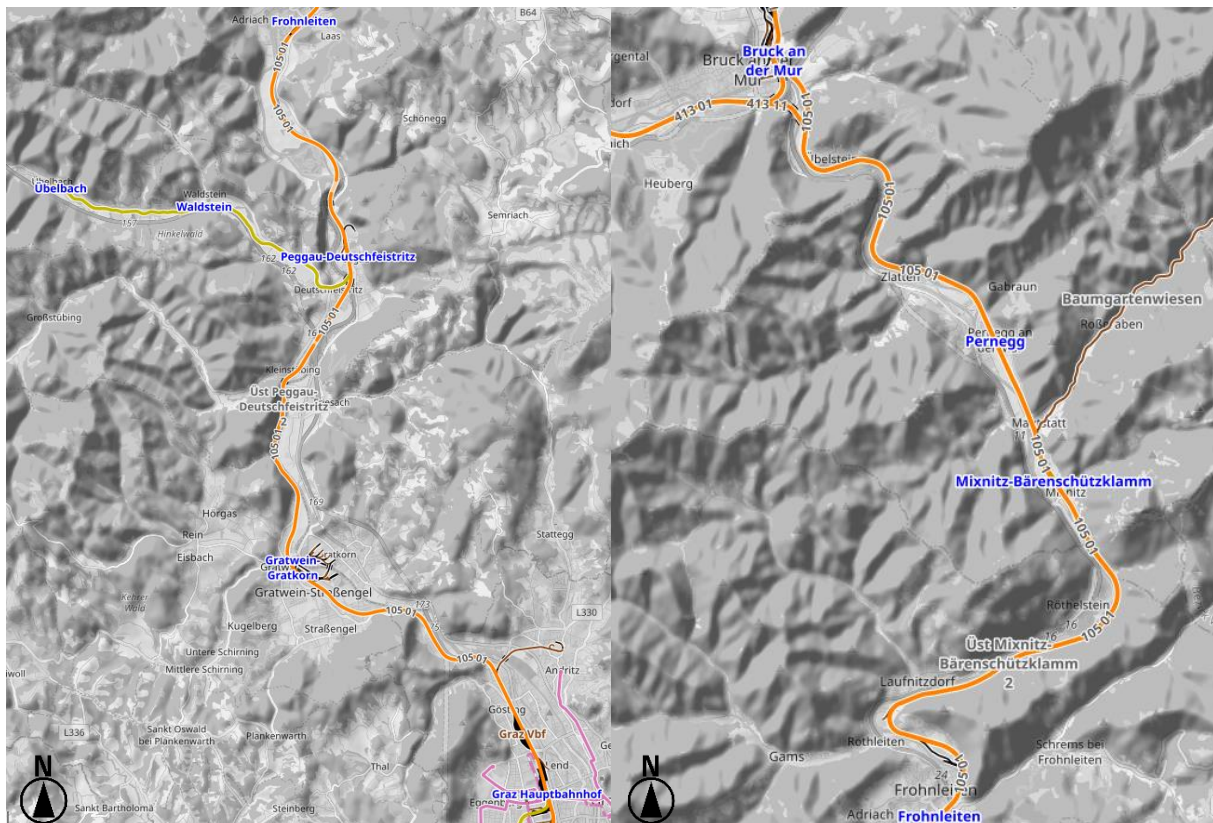


Abbildung 2-1: Überblick über das Projektgebiet, Betriebsstellen in blauer Farbe (Quelle: openrailwaymap.org)

Die natürliche Topographie entlang der Kante, verbunden mit der Trennwirkung der Mur, resultiert in einer Konzentration von Siedlungs- und Infrastrukturen entlang des Talbodens. Die maßgebenden Verkehrsachsen der Strecke sind neben der Eisenbahn die südlich von Deutschfeistritz ins Tal einmündende A9 Pyhrn Autobahn, die von Bruck an der Mur bis zum Knoten Peggau-Deutschfeistritz verlaufende S35 Brucker Schnellstraße sowie die in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Landstraßen B und L.

Die Bestandsstrecke der Eisenbahn zeichnet sich zwar durch eine gute Integration ins Gelände aus, dies führt allerdings zu einer ausgedehnten, verschlungenen Linienführung mit häufigen Geschwindigkeitsbrüchen. In Tabelle 2-1 werden die Durchschnittsgeschwindigkeiten pro Abschnitt und ein Linienführungsfaktor (LFF) aufgezeigt, welcher sich aus dem Verhältnis Streckenlänge zu Luftlinienlänge ergibt. Mit einem LFF von 1,56 deutlich zu erkennen ist der „Peugener Knie“ genannte Ausläufer des Gschwendtberges zwischen den Betriebsstellen Frohnleiten und Mixnitz-Bärenschützklamm. Die angegebene Fahrzeit bezieht sich auf die technische Nettofahrzeit einer Railjet-Garnitur zufolge FBS.

Tabelle 2-1: Tabellarische Übersicht der Betriebsstellen, inkl. durchschnittlicher Geschwindigkeit

Abschnitt	Distanz [km]	Netto-Fzt. [min]	Ø Geschw. [km/h]	LFF
Bruck-Übelstein	1,882	2,1	59,1	1,11
Übelstein-Pernegg	7841	5,1	101,5	1,29
Pernegg-Mixnitz	3,43	1,8	125,8	1,02
Mixnitz-Frohnleiten	12,011	7,7	103,0	1,56
Frohnleiten-Peggau	7,792	4,2	122,4	1,16
Peggau-Stübing	3,801	2,1	119,5	1,04
Stübing-Gratwein	6,095	4,1	98,1	1,13
Gratwein-Judendorf	2,045	1,1	122,7	1,04
Judendorf-Graz	8,600	5,6	101,4	1,09

Als einzige Eisenbahnstrecke zwischen der Obersteiermark und dem Grazer Zentralraum ist diese Kante kritisch für die innere Kohäsion der Steiermark. Eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit stärkt nicht nur den wirtschaftlichen Zusammenhalt dieser Landesteile, eine Attraktivierung des Personenverkehrsangebotes kann auch den stetigen Abwanderungsstrom der Obersteiermark Richtung Grazer Zentralraum verlangsamen. Laut einer 2018 veröffentlichten Schienenkorridor-Studie kommt der Kante Graz – Bruck an der Mur höchste strategische Bedeutung zu, wo sie als „Aorta der Steiermark“ bezeichnet wird [7].

2.2 Designprozess

Um einen geeigneten Ausbau der untersuchten Kante planen zu können, muss zuerst ein Designprozess gewählt werden. Prinzipiell stehen (ÖV-)Verkehrsplanern folgende zwei Möglichkeiten zur Verfügung.

Im infrastrukturorientierten Designprozess wird die bestehende Infrastruktur untersucht und auf Basis der möglichen Fahrzeiten zwischen relevanten Punkten ein Fahrplan erstellt. Ob das System für einen integralen Taktfahrplan geeignet ist, bzw. ob der Fahrplan an sich fahrzeittechnisch attraktiv genug ist um über die „Captive Riders“¹ hinaus Fahrgäste zu

¹ Captive Riders bezeichnet Menschen, welche aufgrund verschiedener Umstände (Alter, Gesundheit, etc.) gezwungen sind, öffentliche Verkehrsmittel zu benutzen

generieren, obliegt in diesem Fall den örtlichen Gegebenheiten. Da ÖV selten als „Insel-system“ geplant wird, bestehen auch hier meist Zwangspunkte, um Verknüpfungen zu anderen ÖV-Systemen herzustellen. Obwohl der Ausgang zu Beginn nicht zur Gänze absehbar ist, findet dieser Designprozess aufgrund seiner kostengünstigen Integration und Möglichkeit der schnellen, relativ unkomplizierten Realisierbarkeit oft Anwendung. Einsatzgebiete sind zum Beispiel der ÖPNV², wo aufgrund der hohen Fahrgastaufkommen und zum Zweck der leichten Benutzbarkeit dichte Intervalle einer möglichst kurzen Fahrzeit vorzuziehen sind. Auch im straßengebundenen ÖPRV ist dieser Designprozess üblich, da das Fahrgastaufkommen sowie die begrenzten budgetären Mittel keinen umfassenden Ausbau der Infrastruktur rechtfertigen.

Im fahrplanorientierten Designprozess wird zuerst ein gewünschter Fahrplan erstellt, dieser wird mit einem auf der Bestandsinfrastruktur möglichen Fahrplan (also einem Fahrplan zufolge des infrastrukturorientierten Designprozesses) verglichen. Aus einem Vergleich des IST-Zustandes mit dem SOLL-Zustand ergibt sich gegebenenfalls ein Handlungsbedarf zum Ausbau der Infrastruktur, somit ist diese dem Fahrplan untergeordnet. Der fahrplanorientierte Designprozess garantiert das gewünschte Resultat, ist aufgrund seines Charakters aber wesentlich teurer als der infrastrukturorientierte Designprozess. Dieser Art der Verkehrsplanung sind im Grunde alle größeren Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur zuzuschreiben, sei es die Errichtung von Autobahnen und Schnellstraßen oder performanter Eisenbahnstrecken im Sinne von Fahrzeitverkürzungen und/oder Kapazitätserhöhungen.

Aufgrund der in Kapitel 1 und Kapitel 2.1 beschriebenen Bedeutung der Kante Graz – Bruck an der Mur wird der infrastrukturorientierte Designprozess als unzulässig befunden. Sowohl ein Ausbau der Kapazität als auch Fahrzeitverkürzungen im Fernverkehr haben zu erfolgen, um das Potential der Südbahn zukunftsfähig zu realisieren. Da der Horizont des Zielnetzes 2025+ bereits Mitte dieses Jahrzehntes erreicht wird und der Ausbau der untersuchten Strecke (als auch die Fertigstellung aller dafür erforderlichen Tunnelprojekte) vor diesem ohnehin nicht realisiert werden kann, muss ein anderer Bezugspunkt den Überlegungen dieser Studie dienen. Gewählt wird dabei der Zielhorizont 2040, nähere Erläuterungen dazu in den Kapiteln 2.3 und 2.4.

2.3 Der integrale Taktfahrplan

Um die Bedeutung der Fahrzeitreduktion im Fernverkehr zu verstehen, muss zuerst dargestellt werden, wie der Eisenbahnbetrieb in Österreich abgewickelt wird. Während Staaten wie Frankreich und Deutschland aufgrund ihrer Größe und Ausrichtung zu den Metropol-

² Z.B.: Stadtbusse, Straßenbahnen und U-Bahnen

und Großstadregionen vor allem auf Hochgeschwindigkeits-Punkt-zu-Punkt-Verkehr setzen, wird in Österreich ein anderer Ansatz benutzt.

Als kleines Land mit flächiger Zersiedelung und für Hochgeschwindigkeitsstrecken weitestgehend ungeeignetem Gelände wird eine Reduktion der Fahrzeiten und Herstellung eines attraktiven Angebotes vor allem durch den integralen Taktfahrplan erreicht.

Bei der Realisierung eines integralen Taktfahrplans werden sogenannte Taktknoten definiert. In diesen Taktknoten treffen um eine bestimmte Symmetrieminute – bei einem Stundentakt meistens die Minute .00 oder .30 – verschiedene Zuggattungen am Bahnhof ein, tauschen Fahrgäste aus und setzen ihre Fahrt fort. Der Unterschied zum herkömmlichen Taktfahrplan³ besteht also in der Optimierung der Anzahl der Umsteigebeziehungen sowie der Umsteigezeit. Gleichzeitig kann die Funktionsweise des ITF auch auf andere Verkehrsmittel des ÖPNRV übertragen werden, womit ein vernetztes ÖV-Angebot geschaffen werden kann.

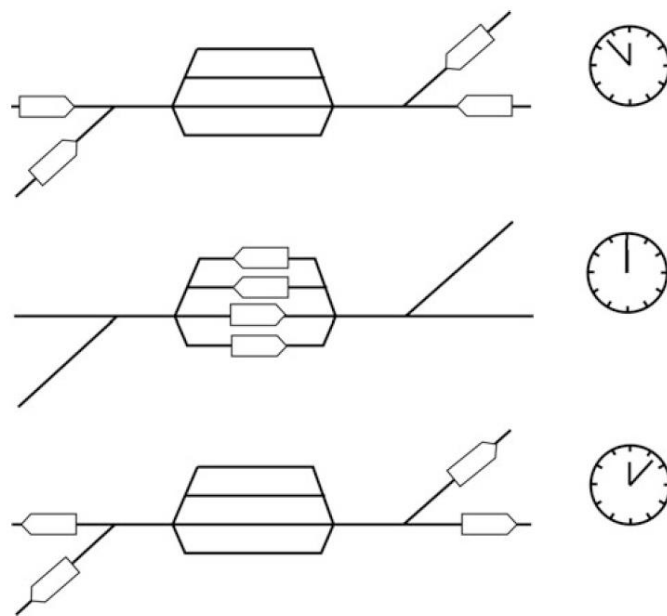


Abbildung 2-2: Funktionsweise eines Taktknotens zur Symmetrieminute .00 [8]

Zur Realisierung eines flächigen, attraktiven Gesamtangebotes müssen diese Taktknoten aufeinander abgestimmt sein. Logische Konsequenz daraus sind Fahrzeiten zwischen diesen Bahnhöfen, welche es ermöglichen, jeden einzelnen Knoten zu seiner Symmetrieminute anzusteuern. Dieser Zusammenhang kann mit den zwei folgenden mathematischen Bedingungen ausgedrückt werden [9].

³ Taktfahrplan bedeutet lediglich die periodische Abfahrt in festgelegten Intervallen, dies ist auch für den ITF gültig

Die Kantenregel besagt, dass die Fahrzeit zwischen zwei Knoten t_k ein ganzzahliges Vielfaches n des halben Intervalls t_T (Takt) sein muss. Sie stellt sicher, dass ein Zug jeden Knoten zu seiner Symmetrieminute ansteuern kann. Eine Nichterfüllung dieser Regel führt je nach Differenz des IST- und SOLL-Zustandes zu einer asymmetrischen Bedienung des Knotens bis hin zu einem Herausfallen des Knotens aus dem ITF-Netz.

$$t_k = n * \frac{1}{2} * t_T$$

Die Maschenregel besagt, dass die Summe aller Kantenzeiten eines geschlossenen Kreises (Masche) ein ganzzahliges Vielfaches des Intervalls sein muss. Damit ist sichergestellt, dass die Züge wieder an ihren Ausgangspunkt zurückkehren und ihre Fahrt ohne Wartezeiten fortsetzen können. In der Realität ist diese Regel nicht immer erfüllt, im Gegensatz zur Kantenregel kann dieser Umstand aber kompensiert werden, in dem Züge an den Bahnhöfen die zusätzlichen Wartezeiten umlegen.

$$\sum t_k = n * t_T$$

In dieser Arbeit wird sich aufgrund des beschriebenen Designprozesses nicht auf das bestehende Zielnetz 2025+ bezogen, welches von einer Kantenzeit (in Wahrheit eine Bruttofahrzeit) zwischen Graz und Bruck von 35 Minuten ausgeht. Stattdessen beruft sich diese Arbeit auf Überlegungen für das Jahr 2040, welche sowohl Graz als auch Bruck an der Mur als Vollknoten des ITF definieren (siehe Abbildung 2-3)[10].

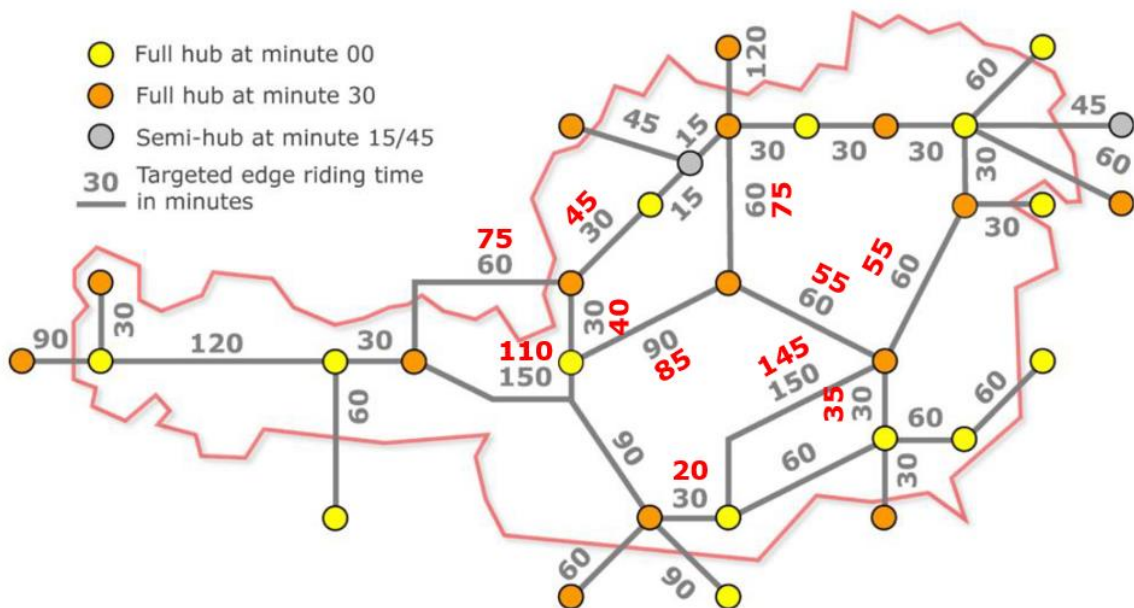


Abbildung 2-3: mögliches ITF-Knoten-Kanten-Modell für das Jahr 2040, abweichende Zeiten des Zielnetzes 2025+ in roter Farbe

Im Rahmen dieser Arbeit ist somit eine Kantenzzeit von 30 Minuten zu erreichen. Da diese Kantenzzeit sich jedoch aus Fahrzeit und Knotenaufenthaltszeit t_{Kn} zusammensetzt, müssen letztere für die zu erreichende Fahrzeit noch anteilig von der Kantenzzeit abgezogen werden.

$$t_F = t_k - \frac{1}{2}(t_{Kn,Bruck\ a.d.Mur} + t_{Kn,Graz})$$

Die Knotenaufenthaltszeiten betragen im Fernverkehr 2 Minuten und werden jeweils zur Hälfte auf die umliegenden Kanten aufgeteilt, womit sich eine zu erreichende Bruttofahrzeit⁴ von 28 Minuten ergibt.

2.4 Zielnetz 2040

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, wird der Infrastrukturausbau für ein mögliches Zielnetz 2040 ausgelegt. Da sich dieses zum Zeitpunkt der Arbeit noch im Bearbeitungsstadium befindet und noch keine offiziellen Unterlagen veröffentlicht sind, wurde für die Bearbeitung dieser Studie von einem Mitarbeiter des Verkehrsreferats Land Steiermark eine Arbeitsversion für das Zielnetz 2040 bereitgestellt [11]. Es ist ausdrücklich zu erwähnen, dass es sich hierbei nicht um die dem Land vorliegenden Konzepte handelt, sondern um eine schematische Darstellung zum alleinigen Zweck dieser Arbeit.

In Abbildung 2-4 werden Züge im Stundentakt als durchgehende Linie, Zwei-Stunden-Takte strichliert dargestellt. Strichpunktierte Linien sind als Verstärkerzüge sowie Züge in Einzellage zu verstehen. Genauere Informationen zu den Zuggattungen sind dem Kapitel 4.1.4 zu entnehmen.

Das Fahrplankonzept sieht eine Fernverkehrsverbindung (Railjet bzw. IC) vor, welche sowohl in Bruck an der Mur als auch in Graz einen ITF-Knoten ansteuert. Diese Züge verkehren stündlich von Wien kommend entlang der Koralmstrecke weiter Richtung Klagenfurt und Villach.

Zweistündlich wird eine Railjet Express-Trasse (RJX) zur möglichst schnellen Verbindung der Relation Wien Hauptbahnhof – Wiener Neustadt – Graz Hauptbahnhof – Villach Hauptbahnhof eingepflegt, welche im Projektgebiet keinen ITF-Knoten ansteuert.

Ebenso zweistündlich, aber sich abwechselnd zu einem Stunden-Takt überlagernd sollen von Graz Hauptbahnhof zwei Verbindungen mit der in Österreich neu einzuführenden Interregio-Zugklasse Richtung Selzthal/Oberösterreich bzw. Unzmarkt/Kärnten verkehren.

⁴ Technische Fahrzeit inklusive Haltezeiten und Zeitzuschlägen

Ein fester Stundentakt der S-Bahn und zwei sich ebenfalls abwechselnde Zwei-Stunden-Takte überlagern sich zu einem Halb-Stunden-Takt. Die beiden Zwei-Stunden-Takte müssen sich dabei abwechseln, um keinen Konflikt mit der Railjet Express-Trasse zu generieren. Unterstützt werden diese Verbindungen durch S-Bahn Verstärkerzüge in den Hauptverkehrszeiten, gemeinsam mit diesen ergibt sich der geplante Viertel-Stunden-Takt zwischen Frohnleiten und Graz Hauptbahnhof [12].

Zuletzt befinden sich in diesem Konzept auch noch Regionalexpress Verstärkerzüge, welche in den Morgen- bzw. Abendstunden beschleunigte Regionalverbindungen nach Graz ermöglichen.

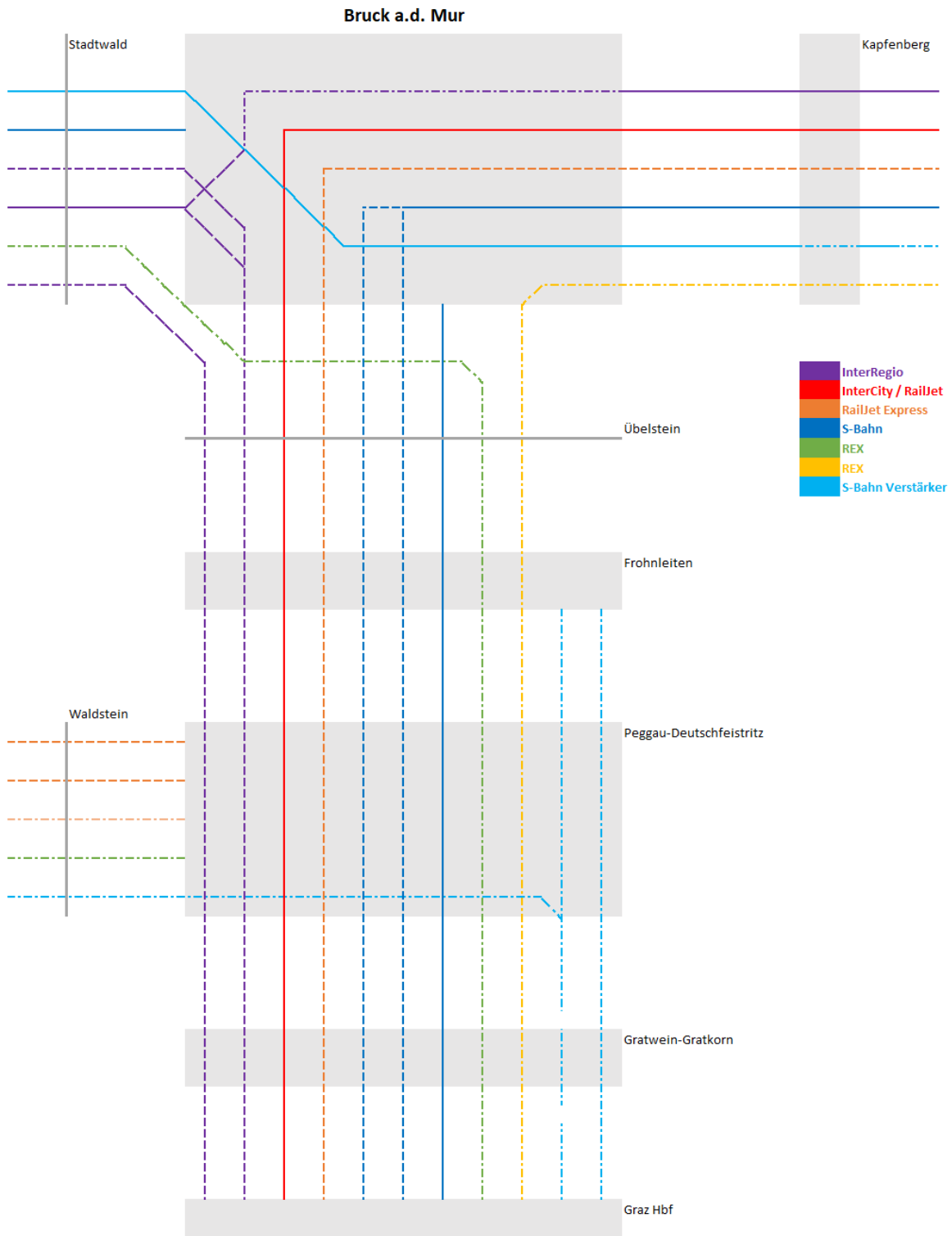


Abbildung 2-4: Darstellung eines schematischen Fahrplanes 2040

2.5 Verwendete Unterlagen

Zur Bearbeitung der Arbeit kamen folgende grundlegende Unterlagen zum Einsatz:

- I Digitales Geländemodell mit 5-Meter-Höhenschichtlinien
- I Digitales Geländemodell mit 10-Meter-Höhenschichtlinien
- I Detaillängsprofile entlang der Achsen, entnommen aus dem GIS Steiermark [13]
- I Orthofotos des Landes Steiermark [14]
- I Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten der ÖBB Infrastruktur AG, Stand 2019 [15]
- I ÖBB Richtlinie 01.03 – Linienführung von Gleisen [16]
- I RVS 03.03.23 Linienführung und Trassierung [17]
- I RVS 03.03.31 – Querschnittselemente sowie Verkehrs- und Lichtraum von Freilandstraßen [18]
- I RVS 03.05.13 – gemischte und planfreie Knoten [19]
- I Trassierungsprogramm ProVI Version 6.2
- I Fahrplanbearbeitungssoftware FBS – Forschung und Lehre des iRFP

3 Trassenstudie

In der Trassenstudie werden aufbauend auf den Ergebnissen aus 2015 zwei verschiedene Varianten auf deren technische Machbarkeit untersucht. Dabei wird zum einen die Variante „Tunnel Hausberg“, welche in der räumlichen Linienführung analog zur Variante „Gösting“ der vorangegangenen Studie ist, untersucht. Zum anderen wird eine Variante „Tunnel Eggenberg“ vorgeschlagen, welche ein längeres Tunnelbauwerk, aber eine insgesamt kürzere Strecke aufweist. Zusätzlich wird der Abschnitt zwischen Graz Hauptbahnhof und den Varianten der Neubaustrecke sowie ein Tunnel unter dem Gschwendtberg analysiert, welcher in vorangegangenen Studien als „Peugener Tunnel“ bezeichnet wird [5][7].

Die Trassierung der Neubaustrecke wird zur Gänze in Lage und Höhe eingerechnet, um Bogenabrückungen zu berücksichtigen und die Machbarkeit sicherzustellen. Dabei werden für die Achsen der Eisenbahntrassen und Straßenachsen alle 10-13 m Höhen aus dem GIS Steiermark abgefragt, um belastbare Aussagen an kritischen Kreuzungspunkten treffen zu können [13]. Für die Erweiterung des Bestandes wird lediglich der Verlauf und Flächenbedarf beschrieben, da die Tatsache des dort stattfindenden Betriebes die Machbarkeit ohnehin beweist. Sowohl Höhe als auch Lage des dritten Gleises zwischen Graz Hbf und der Neubaustrecke werden analog zum Bestand vorausgesetzt. Ausnahme ist die Streckenverbesserung der Bogenfolge auf Höhe der Ortschaft Weinzödl.

3.1 Trassierungsparameter

Wie in Kapitel 1.2 erwähnt, wird der Lösungsansatz einer Neubaustrecke zufolge der vorangegangenen Studien weiterverfolgt [4][5]. Die für die Trassierung verwendeten Parameter entspringen dem Regelwerk RW 01.03 der ÖBB Infrastruktur AG [16].

Aufgrund ihres Charakters als Neubauabschnitt einer TEN-Strecke wurde eine Entwurfsgeschwindigkeit von 160 km/h mit einer maximalen Längsneigung von 8‰ gewählt. Überlegungen für eine höhere Ausbaugeschwindigkeit wurden aufgrund folgender Punkte verworfen:

- I Die Linienführung verliert durch eine Erhöhung der Mindeststrahlen und -elementlängen an benötigter Flexibilität
- I De facto können derzeit nur Railjet-Garnituren Geschwindigkeiten über 160 km/h erreichen, die daraus resultierende Geschwindigkeitsdifferenz (Geschwindigkeitschere) blockiert brauchbare Kapazität

Eine Übersicht der wichtigsten Trassierungsparameter kann der Tabelle 3-1 entnommen werden. Die angegebenen Werte für Radien und Mindestelementlängen ergeben sich durch Einsetzen der Entwurfsgeschwindigkeit in die Formeln des Regelwerks.

Tabelle 3-1: Übersicht über die wichtigsten Trassierungsparameter

Parameter	empfohlen	Ausnahme
Entwurfsgeschwindigkeit	160 km/h	130 - 160 km/h
Längsneigung	≤ 8‰	≤ 12,5‰
Radius (Grundriss)	≥ 1170 m	≥ 1050 m
Radius (Höhenbild)	≥ 12827 m	≥ 6372 m
Mindestelementlänge	64 m	32 m
Überhöhung	20-160 mm	/
Überhöhungsfehlbetrag	≤ 100 mm	≤ 130 mm

3.1.1 Kreuzungsbauwerke

Der teils flächig verbaute Talboden macht Kreuzungsbauwerke unabdingbar. Grundsätzlich ist in den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen eine Regellichttraumhöhe von 4,50 m von Objekten freizuhalten. Bei Unterführung eines Straßenquerschnittes und unter Annahme einer Höhe Bauwerksunterkante BUK bis Schienenoberkante SOK von 1,50 m ergibt sich also eine Mindesthöhe von 6 m zwischen Fahrbahnoberkante FOK und SOK. Mit selbigen Überlegungen benötigt eine Unterführung des Bahnquerschnittes aufgrund der Oberleitungsanlagen etwa 10 m zwischen SOK und FOK.

3.1.2 Tunnel

Tunnelbauwerke werden ab einer Überdeckungshöhe von 18 m zur SOK angeordnet. Sollten entlang der Tunnelachse geringere Überdeckungen auftreten, werden diese in offener Bauweise errichtet. Ist dies ebenso nicht möglich, werden alternative Lösungsvorschläge des Spezialtiefbaus erläutert. Tiefpunkte sind aus Gründen der Entwässerung zu vermeiden.

Aus sicherheitstechnischen Gründen werden die Gleise der Strecke in allen anfallenden Tunneln separat geführt. Der Achsabstand der Tunnelröhren wird dabei in Anlehnung an andere österreichische Tunnelbauprojekte mit 40 m gewählt. Damit soll vermieden werden, dass sich die Tunnelröhren im Einflussbereich der Gebirgsverschiebungen zufolge des Ausbruches der jeweils anderen Röhre befinden. Alle 500 m müssen Querschläge zwischen den Tunnelröhren hergestellt werden, welche als Rettungstollen dienen.

Der nach Verbau verbleibende Tunnelquerschnitt wird für die Berechnung des Tunnelwiderstandes mit 40 m² angegeben.

3.1.3 Übergangsbögen

Aufeinanderfolgende Trassierungselemente mit unterschiedlichen Krümmungen bedürfen eines Übergangselementes. Diese Elemente sind sowohl im Grundriss erforderlich als auch im Höhenbild, sofern sich auch die Überhöhungsbeträge unterscheiden.

Als Übergangselement dient der Übergangsbogen mit gerader Rampe, der Elemente einerseits durch eine linear ansteigende Krümmung in der Lage als auch mit einer ebenso linear ansteigenden Rampe in der Höhe verbindet.

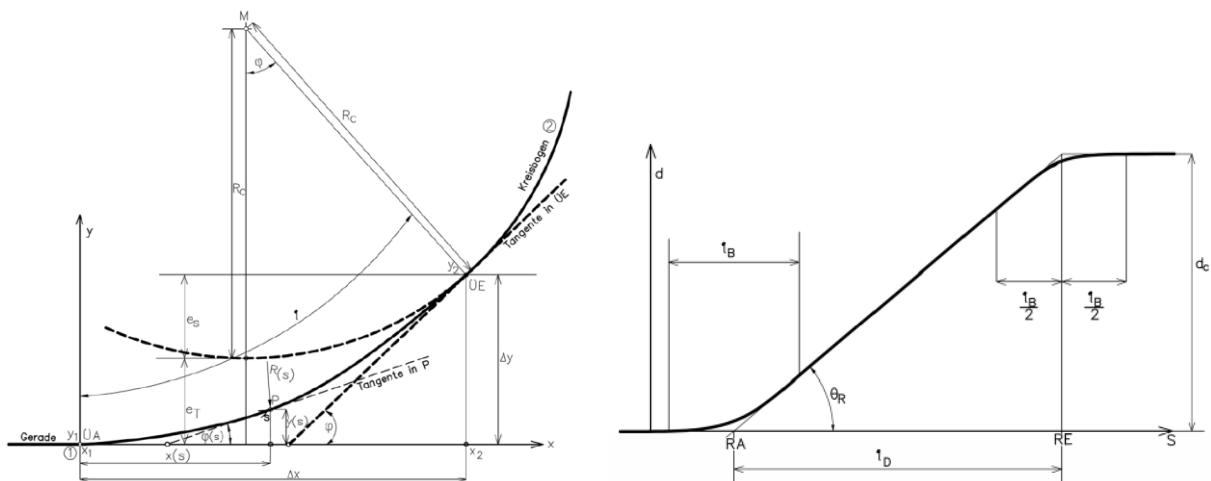


Abbildung 3-1: Darstellung der Funktion eines Übergangselementes in Lage (links) und Höhe (rechts) [16]

Da die benötigte Übergangsbogenlänge L_k das Maximum aus den Ungleichungen für die Begrenzung von Verwindung, echten Seitenruck und Wankwinkelgeschwindigkeit ist, kann keine einheitliche Länge angegeben werden.

$$L_K = \max\{L_{K,Verwindung}; L_{K,echter\ Seitenruck}; L_{K,Wankwinkelgeschw.}\}$$

Die Übergangsbogenlängen werden von ProVI 6.2 mit den empfohlenen Grenzwerten berechnet. Da die Elemente der Lage aus geometrischen Gründen nicht mit den Ausrundungsradien der Höhe zusammenfallen sollen, werden in manchen Abschnitten die Ausnahme-Grenzwerte zu Hilfe gezogen.

3.1.4 Regelquerschnitt

Der Gleisabstand für Neubauten wird in der Eisenbahnbau- und betriebsordnung mit mindestens 4,00 m angegeben [20]. Da dieser jedoch noch nicht den Platzbedarf für Oberleitungsanlagen beinhaltet, muss bei Anbauten an einen zweigleisigen Querschnitt ein Mindestachsabstand der Gleiskörper von 5,80 m zur Anordnung einer Mastgasse berücksichtigt werden [21].

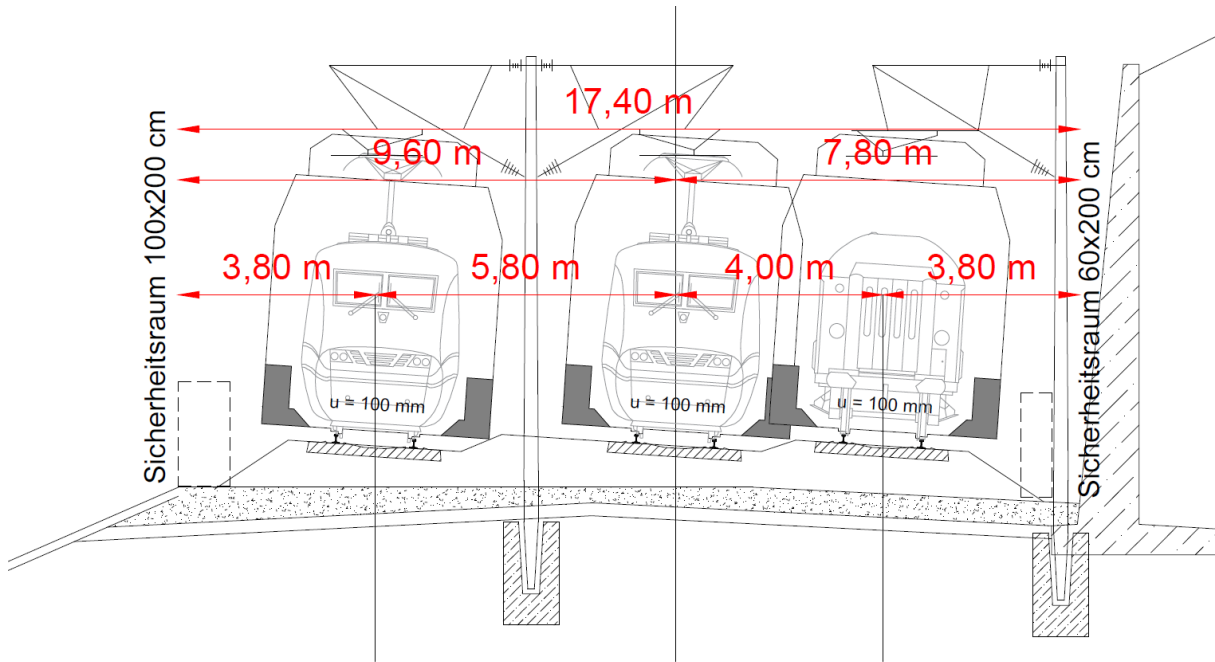


Abbildung 3-2: Darstellung eines Regelquerschnittes

3.2 Hauptbahnhof Graz bis Absprung Neubaustrecke

Zur Realisierung eines schlanken Taktknotens Graz Hauptbahnhof muss die Gleisinfrastruktur in zeitlich dichter Abfolge Ein- und Ausfahrten ermöglichen. Als Lösungsansatz wird eine Entflechtung des Regional- und Fernverkehrs vorgeschlagen, indem zwischen Graz Hauptbahnhof und der Neubaustrecke ein drittes Gleis angeordnet wird.

3.2.1 Graz Hauptbahnhof bis Kreuzungsbauwerk Peter-Tunner-Gasse

Das dritte Gleis entspringt dem Gleis des Bahnsteigs 2 des Grazer Hauptbahnhofs. Anschließend fügt sich das Gleis nicht in die Hauptgleise der Südbahn⁵ ein, sondern wird in durchgehender Lage auf das unmittelbar östlich gelegene Gleis des Betriebsbahnhofes übergeführt. Der derzeitige Übergang auf die Hauptgleise soll als Weichenverbindung bestehen bleiben, selbiges gilt für die derzeit bereits existierenden Weichen.

⁵ in Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4 als orange Linien zu sehen

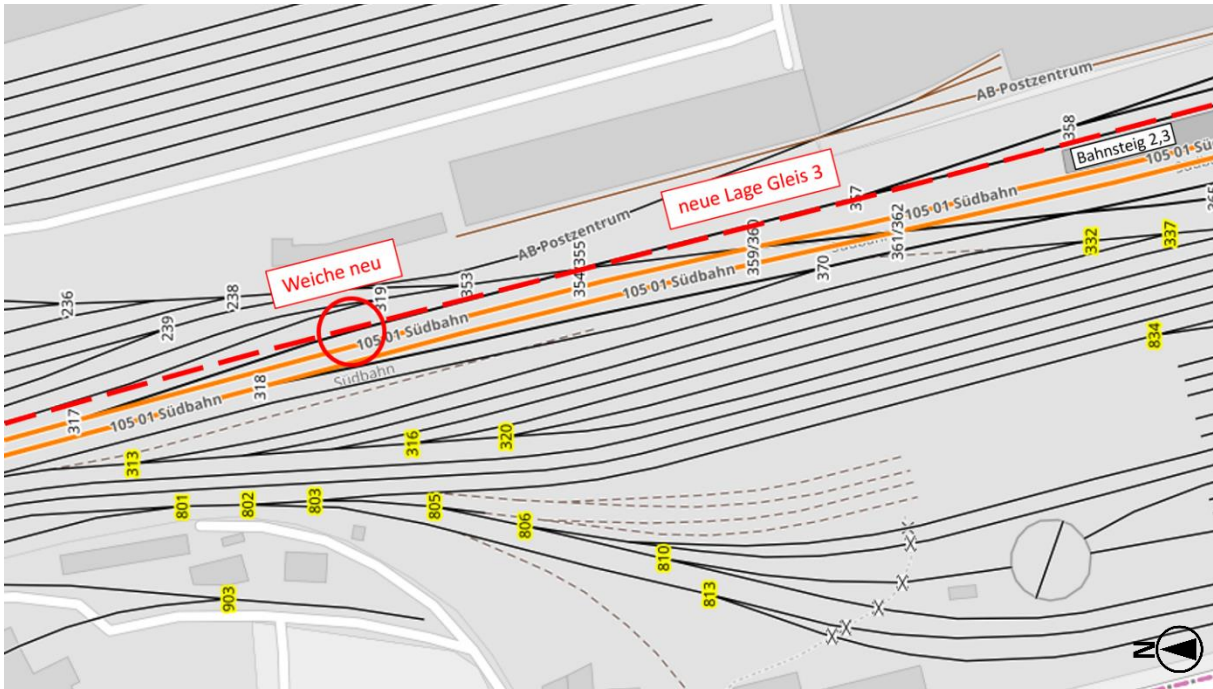


Abbildung 3-3: Neulage im Bereich des Bahnhofkopfes Graz (Quelle: openrailwaymap.org)

Das Gleis wird im Bereich des Betriebsbahnhofes analog dem Bestand weitergeführt, wobei in diesem Bereich keine Mehrkosten zu erwarten sind. Am Nordende auf Höhe der Smart City wird der Bestand wiederum angepasst, so dass das dritte Gleis ununterbrochen auf den Stammgleisen allfälliger Weichenverbindungen verläuft (siehe Abbildung 3-4).

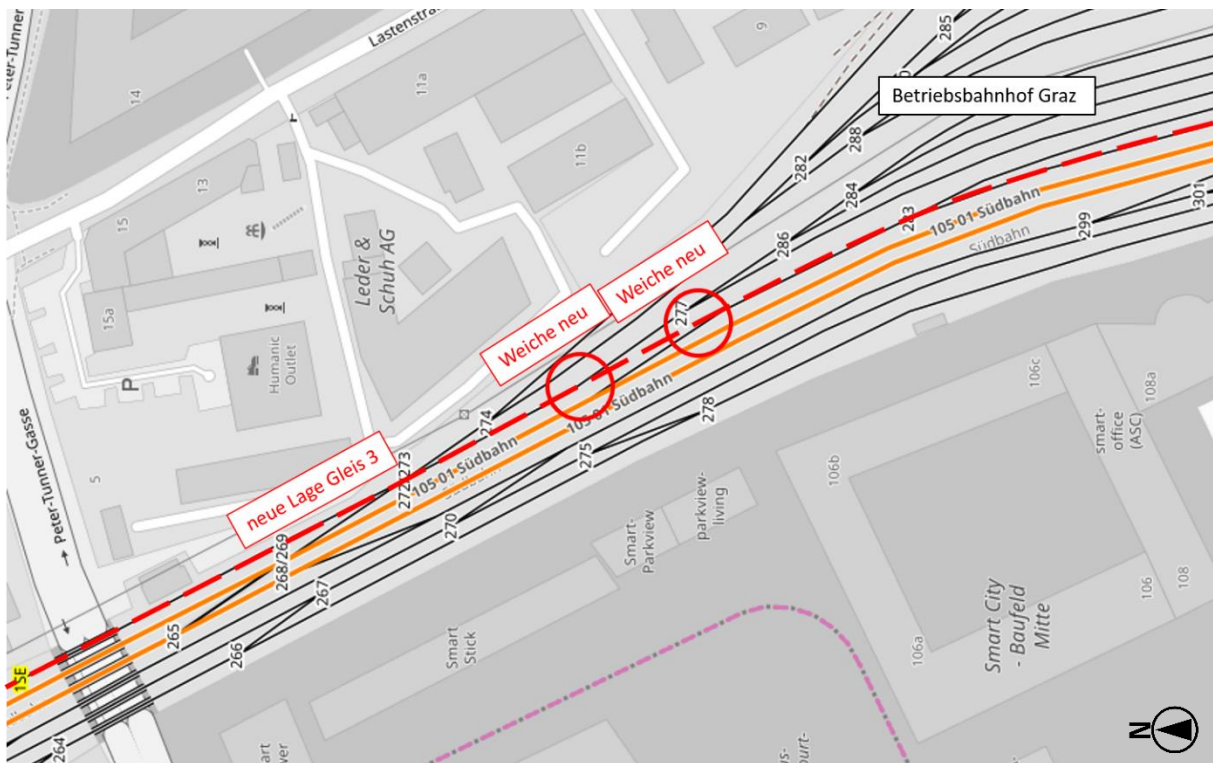


Abbildung 3-4: Neulage des dritten Gleises auf Höhe der Smart City (Quelle: openrailwaymap.org)

Die vorgeschlagenen Anpassungen am Bestandsnetz belaufen sich dabei auf die Anpassung der Gleisachsen, beziehungsweise auf die Verlegung von ca. 250 m zusätzlichen Gleismetern und drei Weichenverbindungen. Zusätzlich müssen zwei Oberleitungsmasten im Bereich der Nordausfahrt Graz Hauptbahnhof verlegt werden.

Bauarbeiten in unmittelbarer Nähe des Hauptbahnhofes sind in Bezug auf die Verkehrseinflussung als schwierig anzusehen. Um die ersten beiden Bahnsteige dennoch ansteuern zu können, könnten während der Bauzeit die Züge über die Gleise des Betriebsbahnhofes geleitet werden. Dies setzt voraus, dass die Weichen 354 und 355⁶ sowie der davon südlich gelegene Gleisabschnitt während des Zugbetriebes nicht durch die Bauarbeiten beeinflusst wird.

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wird ein Umbau mittels Schienendrehkran empfohlen. Da dieser jedoch auf einem der für den Betrieb benötigten Nachbargleise platziert werden muss, scheint sich die Baustelle bei gleichzeitigem Funktionserhalt der Bahnsteige 1 und 2 nur in den Nachtzeiten realisieren zu lassen. Analoge Überlegungen rücken auch den Umbau auf Höhe der Smart City in die Nachtstunden.

3.2.2 Kreuzungsbauwerk Peter-Tunner-Gasse bis Nahverkehrsknoten Gösting

Das dritte Gleis nützt den Bestand für etwa 300 m weiter, bis es sich unmittelbar nördlich des Business Park Graz Nord vollends aus dem Bestand entflechtet und fortan parallel zu den Hauptgleisen der Südbahn geführt wird. Die Oberleitungsmasten zwischen den Personenverkehrsgleisen der Südbahn und den östlich davon gelegenen Abstellgleisen müssen dabei abgetragen werden, können bei einem schonenden Abbau aber für die Mastgasse zwischen zweitem und drittem Gleis Wiederverwendung finden.

Aufgrund der Verbauung bedeutet dies auch einen Verlust der Elektrifizierung des Abstellgleises. Ein verbleibender Achsabstand von ca. 4,40 m zwischen drittem Gleis und Abstellgleis erlaubt aber den Erhalt des letzteren, welches von diesel-, batterie- oder brennstoffzellenbetriebenen Triebfahrzeugen weiterhin angesteuert werden kann. Auch ein Oberleitungsmast des Stromversorgungsnetzes muss verlegt werden.

⁶ siehe nummerierte Elemente in Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4

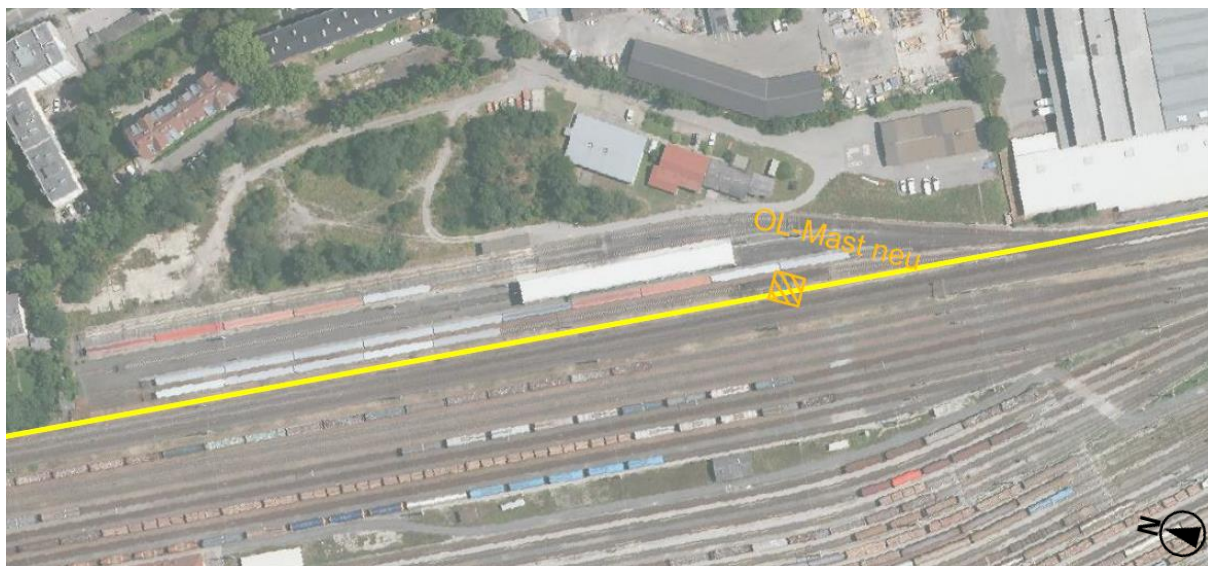


Abbildung 3-5: Gleislage im Bereich des Verschiebebahnhofes

Nördlich der Abstellgleise befindet sich ein dicht am Bestand errichteter Nahversorger. Um diesen nicht ablösen zu müssen, muss auf den Sicherheitsraum östlich des dritten Gleises verzichtet werden. Dennoch muss das Lüftungssystem des Betriebes der Eisenbahn weichen und an anderer Stelle neu errichtet werden.

Zwischen Nahversorger und dem Standort des neu zu errichtenden Nahverkehrsknoten Gösting müssen zwei weitere Strommasten verlegt sowie zwei Objekte abgelöst werden.

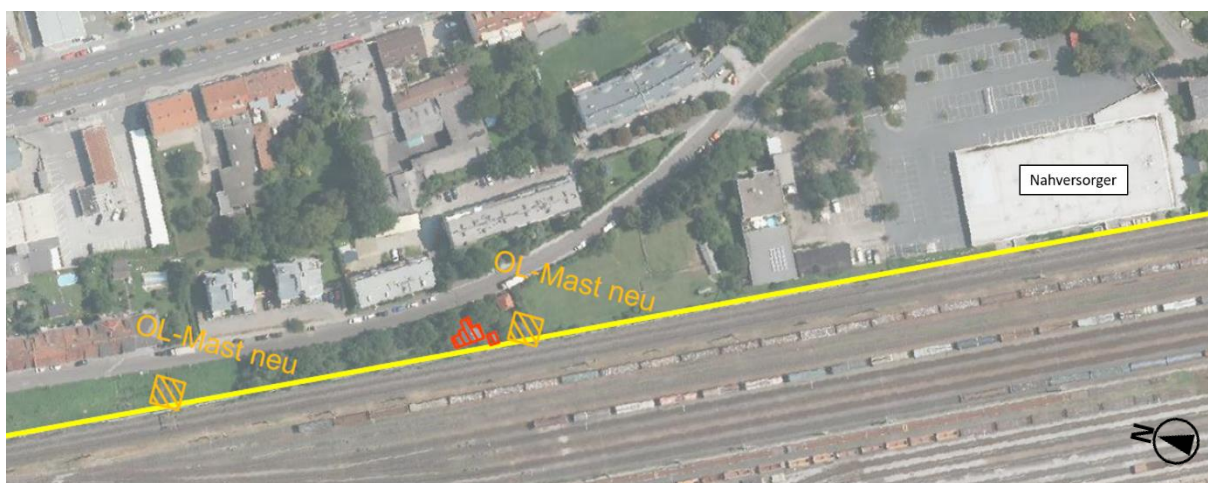


Abbildung 3-6: Gleislage zwischen Nahversorger und NVK Gösting

3.2.3 Nahverkehrsknoten Gösting

Ein auf Höhe der Bahnunterführung der Exerzierplatzstraße situierter, neu zu errichtender Nahverkehrsknoten für den Bezirk Gösting wird im Rahmen dieser Studie als fester Bestandteil eines zukunftsfähigen, attraktiven Infrastrukturausbaus angesehen.

Der Bezirk Gösting ist mit lediglich drei Buslinien (40, 48 und 85) nur schlecht erschlossen. Dem gegenüber steht ein hoher Mobilitätsbedarf, nicht zuletzt verursacht durch die etwa 2300 Schüler der Höheren technischen Bundeslehr- und Versuchsanstalt Graz-Gösting [22].

Ein Bericht an den Gemeinderat zitiert zur Abschätzung des Fahrgastpotentials eine Machbarkeitsstudie der ÖBB Infrastruktur AG aus dem Jahr 2017. Demnach hat der Nahverkehrsknoten Gösting bei Einrichtung eines multimodalen Knotens mit gleichzeitiger Verknüpfung zum Straßenbahnnetz ein Umsteigepotential von 3.700 - 5.000 Fahrgästen pro Tag, bei Errichtungskosten von 102,4 Millionen Euro [23].

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Ausbildung des NVK gemäß Abbildung 3-7 gewählt. Für die Gleise des Personennahverkehrs wird ein Inselbahnsteig mit 6 m Breite angeordnet. Während Gleis 2 seine Bestandslage beibehalten kann, muss mittels einer Überleitstelle eines der beiden angrenzenden Güterzuggleise für den Personenverkehr ertüchtigt und zum neuen Gleis 1 umgewidmet werden. Die derzeitigen zwei Güterzuggleise werden im Bahnsteigbereich mittels Weichenverbindungen auf einen kurzen, eingleisigen Abschnitt zusammengefasst, welcher sich nördlich und südlich des NVK in den Bestand entflechtet. Da mit dem dritten Gleis eine infrastrukturelle Trennung von Regional- und Fernverkehr vorgesehen ist und die Regionalverkehre ohnehin ausnahmslos den NVK Gösting in ihrem Haltemuster integrieren sollen, wurden Weichen mit einer Abzweigegeschwindigkeit von 60 km/h gewählt (EW 60E1-500-1:12)⁷. Der Randbahnsteig für das dritte Gleis wurde mit einer Breite von 4,50 m angeordnet, so dass Treppenaufgänge und Aufzüge berücksichtigt werden und gleichzeitig nicht die gesamte Bahnsteigbreite eingenommen wird⁸.

⁷ Weichenbezeichnung nach dem Schema: Weichenart Schienenprofil-Abzweigradius-Weichenneigung

⁸ Die Treppenbreite wird mit zwei Gehspuren à 1,50 Metern angenommen



Abbildung 3-7: mögliche Ausgestaltung des NVK Götting

Alternativ können seitlich der bestehenden Personenverkehrsgleise Bahnsteige mit 6 m Breite angeordnet werden. Das dritte Gleis umfährt den östlichen Bahnsteig und wird nördlich des NVK wieder in eine dem Bestand parallel folgende Trassierung übergeführt. Die Lösung der Güterzuggleise erfolgt analog der Auswahlvariante.



Abbildung 3-8: Alternativlösung des NVK Götting

In beiden Fällen muss ein Privatgebäude südlich des NVK abgelöst werden sowie vier Strommasten verlegt werden. Die Alternativvariante erfordert dabei die Ablöse zweier zusätzlicher Objekte (siehe Abbildung 3-8).

Obwohl die Auswahlvariante eine wesentlich stärkere Verkehrsbeeinträchtigung während der Bauphase darstellt, wurde sich aus folgenden Gründen für diese entschieden:

- I geringere Ablösekosten
- I geringerer Flächenverbrauch

- I leichter Anschluss der Schlepplbahn Andritz für zukünftige Verkehrskonzepte
- I besseres Layout für allfällige, zukünftige Erweiterungsoptionen (z.B.: viertes Personenverkehrsgleis zur Ermöglichung von Kreuzungen)

3.2.4 Nahverkehrsknoten Gösting bis Ortschaft Raach

Im Anschluss an den NVK verläuft die Trasse in gerader Linie bis Höhe des Einkaufszentrums Shopping Nord. In diesem Abschnitt ist lediglich ein Strommast zu verlegen.

Der geringste Gleisachsabstand zwischen drittem Hauptgleis und der Schlepplbahn Andritz beträgt in diesem Abschnitt ca. 4,60 m. Da die Gradienten der Schlepplbahn jedoch gegenüber der Südbahn abfällt, muss ein Stützbauwerk bzw. eine befestigte Böschung zwischen den Gleisen angeordnet werden. Alternativ kann auch die Lage der Schlepplbahn um bis zu 4,00 m angepasst werden, um das dritte Gleis mittels eines Dammbauwerkes zu führen.



Abbildung 3-9: geradliniger Abschnitt zwischen dem NVK Gösting und der Nordausfahrt Graz

Der intensivste Eingriff in das Bestandsnetz erfolgt in der Bogenfolge zwischen dem Einkaufszentrum Shopping Nord und der Ortschaft Raach. Aufgrund einer beengten Lage der Infrastruktur zwischen Bergflanke und Mur werden die Verkehrswege auf engstem Raum zusammengeführt. Am kritischsten Punkt liegen bogenäußere Gleisachse und Fahrbahnrand der L302 ca. 5,40 m auseinander, für ein drittes Gleis müsste der Querschnitt der Eisenbahn bis in die Fahrbahnmitte der Richtungsfahrbahn Graz ragen. Eine logische Schlussforderung könnte eine Einhausung der Landesstraße sein, zumal der nötige Höhenunterschied zwischen FOK und SOK von 6,00 m gegeben wäre⁹. Da die L302 in diesem

⁹ Laut den Höhenabfragen des Steiermark GIS befindet sich die FOK auf 367,1 müA, die SOK auf 373,5 müA

Bereich aber auf einem Brückenquerschnitt geführt wird, ist aus Gründen der Statik dringend von einer solchen Lösung abzuraten.



Abbildung 3-10: neuralgische Stelle der Nordausfahrt Graz; Gleisachse in rot, Achsabstand und Begrenzungslinie des Querschnittes in gelb

Stattdessen wird eine Linienänderung des Bestandquerschnittes auf dem ca. 1,8 km langen Abschnitt der Bogenfolge vorgeschlagen. Die Linienführung rückt dabei in Richtung Bergflanke und schafft somit großzügigen Platzbedarf für die Aufnahme eines dritten Gleises. Bergseitig hat dies jedoch die Errichtung einer massiven Stützmauer zur Folge, welche kurzzeitig bis zu 16 m Höhe erreicht. Ebenso müssen der sich dort befindliche Waldweg und die im Gebiet der Neutrassierung gelegenen drei Strommasten verlegt werden.

Talseitig muss bereits ab Beginn der Bogenfolge eine Stützmauer errichtet werden, um die nahen Bestandsobjekte zu schützen. Nichtsdestotrotz ist durch den vermehrten Platzbedarf des dritten Gleises auch hier die Ablöse von vier Privatgebäuden nicht zu vermeiden.

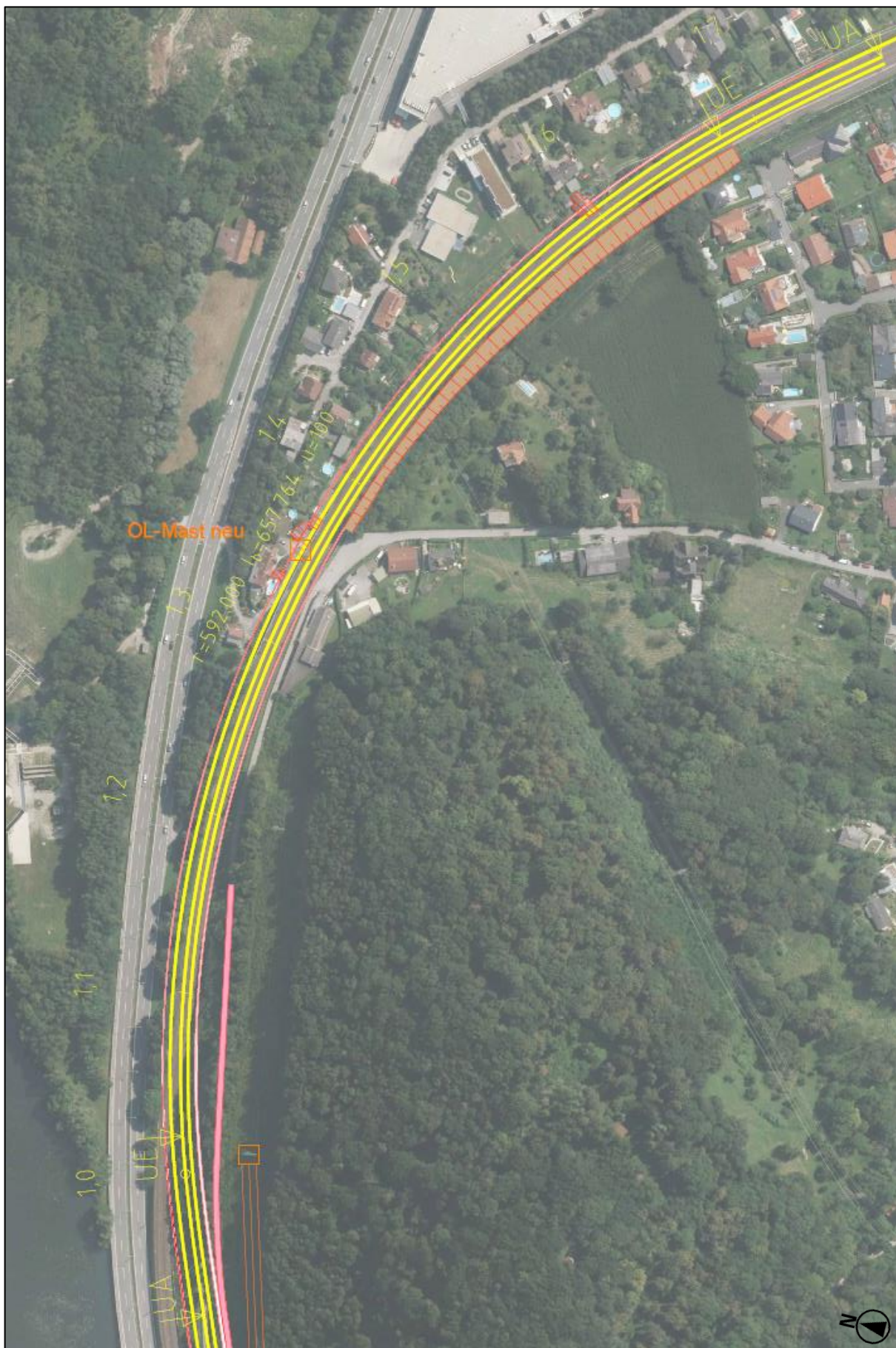


Abbildung 3-11: Neulage der Nordausfahrt Graz, km 1,0 – 1,8

Aufgrund der in Kapitel 2.1 beschriebenen Relevanz der Kante Graz – Bruck an der Mur ist eine monatelange Sperre der Nordausfahrt unzulässig. Um die Verkehrsbehinderungen zu minimieren wird folgender Lösungsvorschlag für die Baustellenabwicklung vorgeschlagen:

- I Linienförmige, bergseitige Baustelleneinrichtung auf Höhe des Waldweges
- I Errichtung geneigter, überschnittener Bohrpfahlwände ins Erdreich der Bergflanke (Neigung 1:10)
- I Versetzung des Strommastes auf Höhe des Waldweges
- I Stufenweises Freilegen und Rückverankern der Bohrpfahlwände
- I Wiederherstellung des Waldweges
- I Errichtung des Unterbauplanums zwischen km 0,7 – 1,0 bei laufendem Betrieb
- I Wechselseitiges Sperren der Gleise und Errichtung der Neulage

Demnach müsste für die Abwicklung der Baustelle jeweils ein Gleis gesperrt werden, der Betrieb wäre damit zwar eingeschränkt, aber dennoch möglich. Die Verkehrsbeeinträchtigung wird sowohl in der zeitlichen Dimension als auch in der Intensität abgeschwächt.

3.2.5 Ortschaft Raach bis Absprung Neubaustrecke

Im letzten Abschnitt entlang des Bestandes erfolgt der Lückenschluss zur Neubaustrecke. Hier muss ebenfalls ein Strommast verlegt werden, außerdem werden aus Gründen der betrieblichen Flexibilität zwei Überleitstellen mittels vier Weichenverbindungen vorgesehen. Da hier von den 160 km/h der Neubaustrecke auf die 120 km/h der Bestandslinienführung abgebremst werden muss, sind die Weichen mit einer Zweiggleisgeschwindigkeit von 130 km/h befahrbar (EW 60E1-2500-1:26,5). Damit entsteht kein zusätzlicher, energieeffizienter Geschwindigkeitsbruch.



Abbildung 3-13: Übergang des dritten Gleises auf die Neubaustrecke

3.3 Variante Tunnel Hausberg

Die Variante „Tunnel Hausberg“ setzt auf eine Bündelung der Verkehrswege und dem damit verbundenen geringen Flächenverbrauch und guter Integration ins Landschaftsbild. Die daraus resultierende, teils sehr straff an den Grenzwerten orientierte Trassierung verfügt über eine Länge von ca. 12,5 km. Die Kilometrierung der Neubaustrecke wurde analog der Bestandskilometrierung nach Süden ansteigend orientiert. Um eine konstante Nord-Süd-Beschreibung der untersuchten Trassen beizubehalten wird also vom „Ende“ der Neubaustrecke begonnen.

3.3.1 Ende der Neubaustrecke bis Murquerung Süd

Die Neubaustrecke endet bei km 205,2 der Südbahn. Von dort aus springt der eingleisige Querschnitt in gerader Linie vom Bestand ab und geht mittels einer Weiche rasch in einen zweigleisigen Querschnitt über. Die Weiche ist dabei aufgrund analoger Überlegungen zufolge Kapitel 3.2.5 auf eine Zweigleisigeschwindigkeit von 130 km/h ausgelegt.

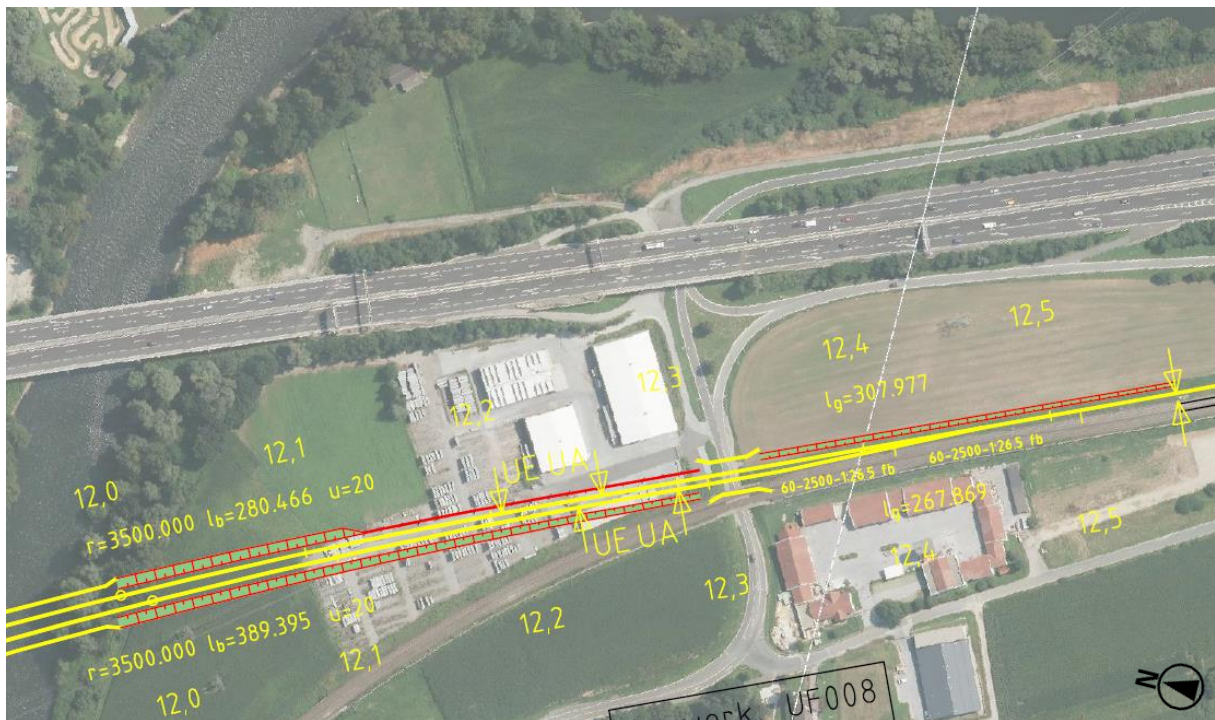


Abbildung 3-14: Ende der Neubaustrecke

Im direkten Anschluss an die Weiche folgt eine neu zu errichtende Unterführung der L302 Judendorfer Straße. Das Bauwerk soll neben der bereits bestehenden Unterführung errichtet werden, um nicht in den Bestand eingreifen zu müssen. Aufgrund der kurzen Bauwerkslänge wird die Verkehrsbeeinflussung als vernachlässigbar eingeschätzt. Die Widerlager können ohnehin unter laufendem Verkehr errichtet werden, das ca. 20 m lange Überspannungsbauwerk (zum Beispiel als Stahlkonstruktion ausgeführt) kann direkt aus dem Werk angeliefert und in einer Nachtsperre eingehoben werden.

Im unmittelbaren Anschluss an die Unterführung kreuzt die Trasse ein Firmengelände. Hier wird eine Stützmauer vorgesehen, um die Verkehrsflächen zu erhalten. Die durch die Trasse verlorenen Lagerflächen können auf der freien Fläche nördlich der Firma kompensiert werden.

Wie in der Variantenstudie aus dem Jahr 2015 erwähnt, stellen die Flächen nördlich der Unterführung ein HQ₃₀₀-Überschwemmungsgebiet der Mur mit Wassertiefen von bis zu 3 m dar. Die Trennwirkung der Linienführung kann durch Aufstauen der Wassermassen zu einer Verschlechterung der Hochwassersituation führen. Um dem Umstand entgegenzuwirken, sollten in diesem Bereich der Trasse entweder Durchlassbauwerke angeordnet werden oder aber das entsprechende Gebiet mittels Hochwasserschutzdämmen eingedeicht werden.

Nördlich des Firmengeländes wird die Trasse in Dammlage weitergeführt und überspannt anschließend die Mur mit einer etwa 95 m langen Brücke.

3.3.2 Detail Tunnelportal Süd

Nach dem Brückenbauwerk muss die Parallellage der Gleise aufgegeben werden, um einen ausreichenden Achsabstand für die Tunnellage zu erreichen. Entlang des vierten Gleises muss eine ca. 45 Meter lange Stützmauer zur Erhaltung der Autobahnrampe Gratkorn Süd errichtet werden, wobei alternativ auch eine befestigte Böschung genügt.

Aufgrund des zu erreichenden Achsabstandes müssen mehrere Wirtschaftsobjekte sowie ein Privatgebäude der Neubaustrecke weichen. Die kreuzende B67 wird an der tiefsten Stelle um etwa 1,4 Meter nach unten verlegt, die zu beiden Seiten der Straße gelegenen Radwege sollen mittels eines Stützbauwerkes ihre derzeitige Höhenlage beibehalten. Die Höhenanpassung der B67 endet dabei vor der Autobahnauffahrt, welche als Konsequenz nur geringfügig angepasst werden muss. Um die Wirtschaftsgebäude östlich der Neubaustrecke nicht ablösen zu müssen, wird eine neue Zufahrtsstraße gegenüber der Auffahrtsrampe vorgesehen, der Zufahrt muss dennoch ein Gebäude weichen.

Im Anschluss an die Straßenquerung, welche wiederum mit einer eingehobenen Stahl- oder Stahlbetonkonstruktion gelöst werden kann, befinden sich die Portale des Tunnels Hausberg. Die sich direkt oberhalb der Portale befindliche Straße muss aufgrund eines Höhenunterschiedes von 18 m nicht verlegt oder angepasst werden.

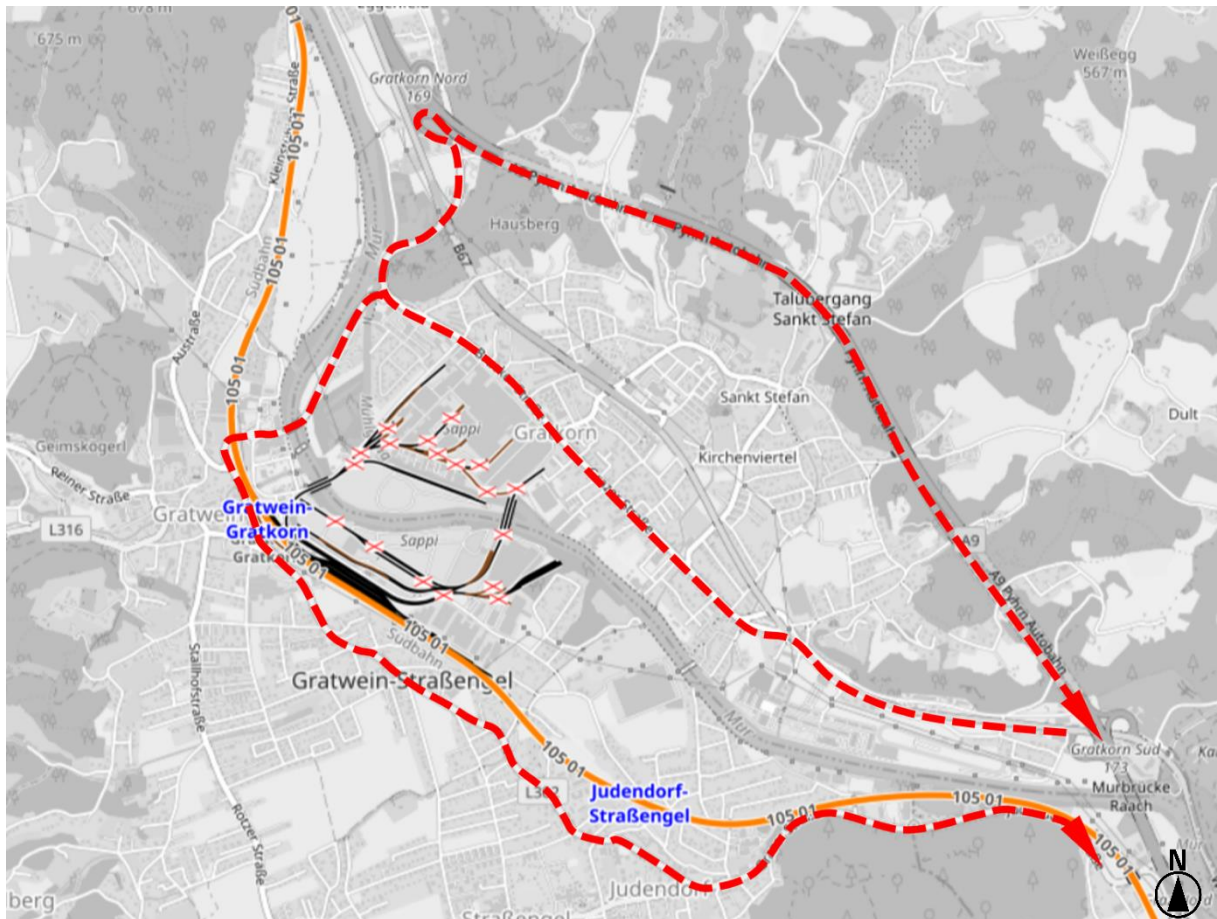


Abbildung 3-16: großräumige Umleitungsmöglichkeiten der Baustelle Tunnelportal Süd (Quelle: openrailwaymap.org)

Alternativstandorte für die Tunnelportale sind de facto nicht vorhanden. Ein Absprung des dritten Gleises auf Höhe des Einkaufszentrums Shopping Nord würde ein den ganzen Talboden überspannendes, etwa 800 m langes Brückenbauwerk mit sich ziehen, während auf Höhe des gewählten Standortes der Autobahnknoten sowie der angrenzende Steinbruch nicht überwindbare Hindernisse darstellen.

3.3.3 Tunnel Hausberg

Der 3,5 km lange Tunnel Hausberg orientiert sich in seiner Linienführung an der A9, das Nordportal befindet sich bei der Anschlussstelle Gratkorn Nord an der Flanke des namensgebenden Hausberges. Beide Tunnelröhren weisen eine durchgängige Längsneigung von 3,9‰ auf, mit einem kleinsten Radius von 1050 m ist die Linienführung des Tunnels bereits an den Grenzwerten der Trassierungsparameter angelangt.



Abbildung 3-17: Verlauf des Tunnels Hausberg

Der Tunnel durchstößt dabei Zonen geringer Überdeckung. Um Ablösen und Verkehrsbehinderungen zu vermeiden, können die Tunnel statt der ansonsten in solchen Zonen verwendeten offenen Bauweise mittels Rohrschirmen errichtet werden.

Rohrschirme werden zur Vorstabilisierung des Erdreiches verwendet. Dabei werden entlang der Tunnelfirste Stahlrohre in die Ortsbrust gebohrt. Diese verfügen in regelmäßigen Abständen über Injektionsöffnungen, durch die eine Zementsuspension zur Bodenstabilisierung ins Erdreich eingetragen wird. Sowohl Stahlrohr als auch Zement-Boden-Gemisch erhöhen die Standfestigkeit des Erdreiches und verbleiben nach Aushub in der Tunnelfirste. Diese Rohrschirme können je nach Bedarf auch mehrlagig durchgeführt werden und kommen in schwachen Bodenverhältnissen oder Gebieten geringer Überdeckung zum Einsatz [24][25][26].

3.3.4 Detail Anschlussstelle Gratkorn Nord

Nördlich des Tunnelportals Nord müssen die Gleise wieder auf einen Achsabstand von 4 m zusammengeführt werden, um sich zwischen A9 und B67 einzupassen. Dafür müssen mehrere Wirtschaftsgebäude abgelöst werden, zusätzlich muss die L302 um mindestens 2,8 m nach unten verlegt und mit einem Kreuzungsbauwerk überspannt werden.

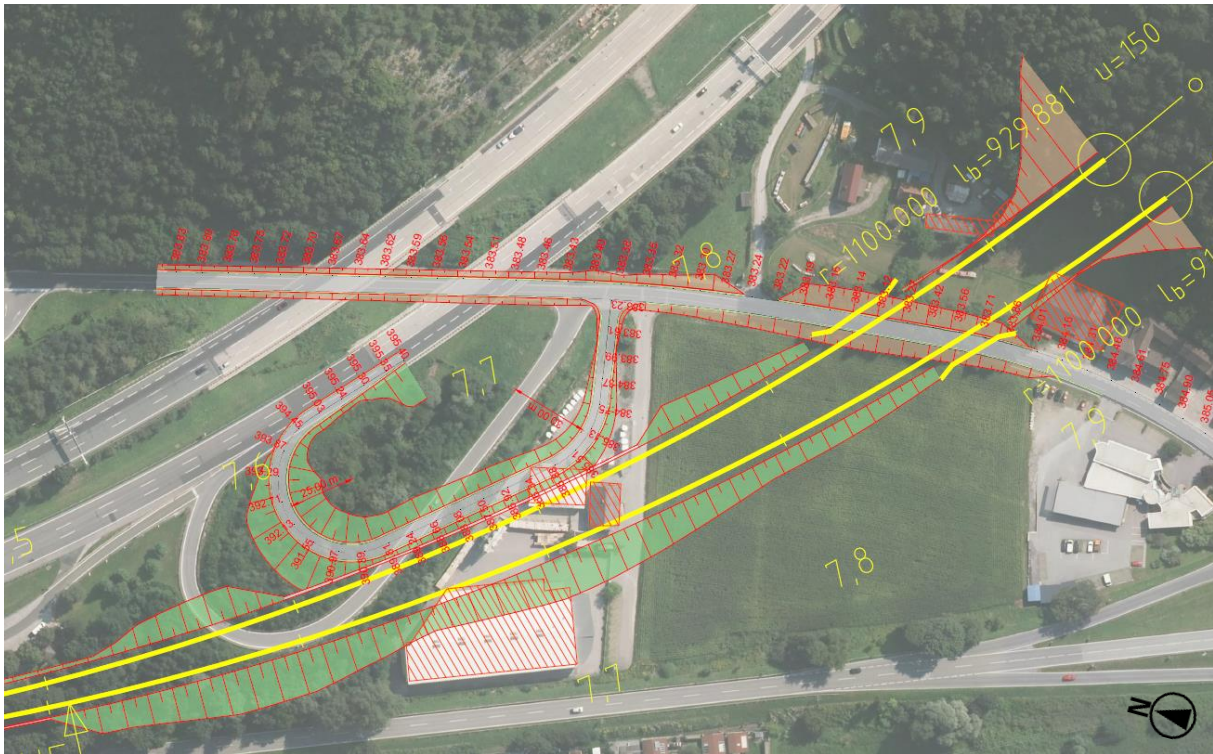


Abbildung 3-18: Detail der Anschlussstelle Gratkorn Nord

Die Lage der Auffahrtsrampe muss ebenso in Lage und Höhe angepasst werden. Der – auch trotz Stützmauer – zwischen Anschlussstelle und Neubaustrecke nur mehr spärlich verfügbare Platz genügt im zweiten Bogen nicht für einen RVS-konformen Mindestradius der Auffahrtsrampe von 30 m. Eine frühere Kehrtwende zur Ausnützung des Platzes führt unweigerlich zu einer Verkürzung der Rampe um etwa 100 m und damit zu einer Überschreitung der laut RVS gültigen Maximallängsneigung von 6% [19]. Die nötige Tieferlegung der L302 verstärkt diesen Sachverhalt weiter. Um diese dennoch herstellen zu können, muss dem Bau der Rampe – und damit auch der gesamten Variante Hausberg – eine Sondergenehmigung der ASFINAG vorangehen.

Anschließend erfolgt die Linienführung weiterhin parallel zur A9 in einem Rechtsbogen (entgegen Kilometrierungsrichtung). Die Maximalgeschwindigkeit wird in diesem Bereich auf 150 km/h herabgesetzt, um sich dem Bestand der A9 bestmöglich anschmiegen und den bestehenden Damm weiter ausnützen zu können. Die Unterführung des Rötschbachweges bei km 5,7 soll wiederum um den Querschnitt der Eisenbahn erweitert werden.



Abbildung 3-21: Bogen mit herabgesetzter Geschwindigkeit zwischen A9 und B67

An der Stelle des geringsten Abstandes zwischen den beiden Straßenquerschnitten bei km 5,9 ragt die Stützmauer etwa einen halben Meter in den Fahrstreifen der B67. Verlegungen der B67 sind aufgrund der Lage in der Wasserschutzzone 2 des Wasserwerkes Friesach als rechtlich schwierig anzusehen, der Fahrstreifen kann jedoch unter Zuhilfenahme der einer Beschilderung (Straßenschild „einseitig rechts beengte Fahrbahn“) im entsprechenden Bereich auf 3 m Breite reduziert werden. Der Radweg in seiner derzeitigen Lage kann nicht, bzw. nur unter unverhältnismäßig hohem Aufwand mittels Einhausung, erhalten werden. Auch die westseitige Auffahrt der Straßenmeisterei bei km 5,6 muss restlos der Neubaubstrecke weichen.

Auch wenn die Stützmauer nur in einem kurzen Abschnitt in den Straßenquerschnitt ragt, so wird der angrenzende Fahrstreifen (analog dazu der Pannestreifen der A9) an den neuralgischen Stellen doch für die Herstellung der Stützmauern gesperrt werden müssen.

Trassenstudie

3.3.6 Abschnitt auf Höhe der Ortschaft Friesach

Die Trasse folgt weiterhin der Linienführung der A9, bis sie bei km 4,7 die L318 Semriacherstraße kreuzt. Um die Gradiente der Neubaustrecke zu halten wird ein Wannengebäude vorgeschlagen, welches A9 und Eisenbahntrasse unterfährt.



Abbildung 3-22: Unterführung der L318 Semriacherstraße

Der zu überwindende Höhenunterschied bedingt größere Längsneigungen und eine hohe Längsneigungsdifferenz im Bereich des Tiefpunktes der Unterführung. Um die technische Machbarkeit mit dem nötigen Straßenlichtraum von 4,50 m Höhe zu gewährleisten wurden die Ausrundungsradien mitberücksichtigt.

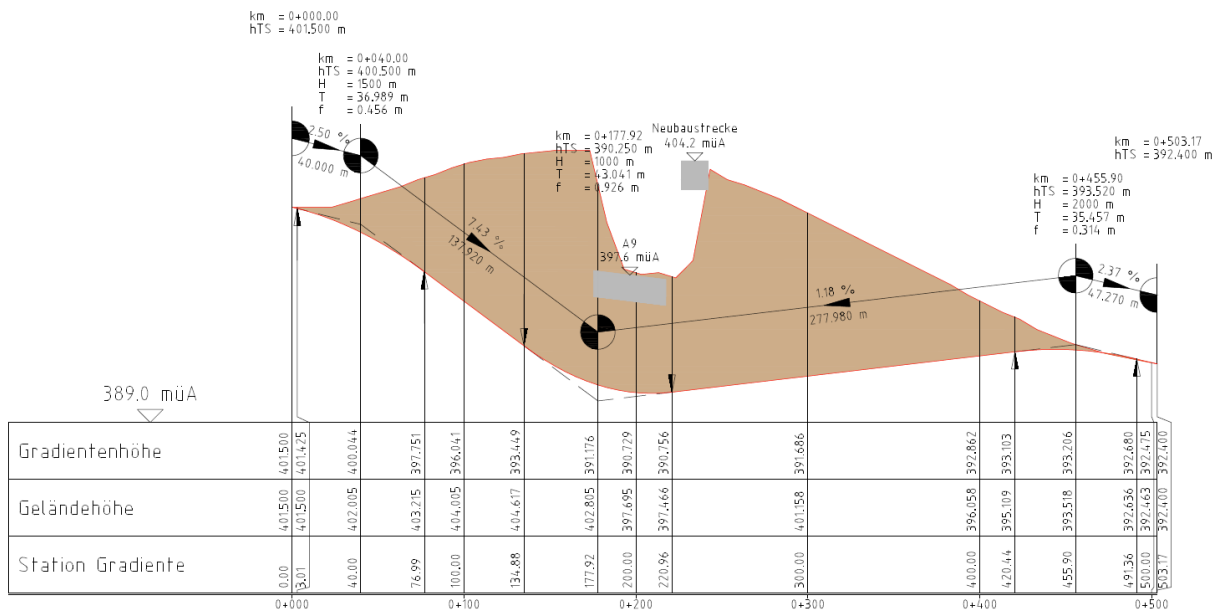


Abbildung 3-23: neues Längsprofil der L318

Entwässerungstechnisch stellt das Wannenbauwerk eine Verschlechterung gegenüber der derzeitigen Überführung dar. Um das Entwässerungssystem nicht zu belasten, kann im Anschluss an die Böschungflächen des Einschnittes ein Erddamm errichtet werden. Somit müssten keine Oberflächenwässer des umgebenden Geländes, sondern nur die Fahrbahnwässer entlastet werden.

Nördlich der Unterführung kreuzt die Trasse zwei Firmengelände sowie eine Überführung der Dorfstraße. Zwar muss ein kleineres Objekt der Trasse weichen, die dort vorhandenen größeren Produktions- und Lagerstätten können aber erhalten bleiben.



Abbildung 3-24: Firmengelände km 4,4 - 4,6

Aufgrund der räumlichen Nähe teilen sich die beiden Überführungen die gleichen Verkehrsaufgaben. Das Brückenbauwerk der Dorfstraße kann somit ohne signifikante Verschlechterung des Verkehrsnetzes ersatzlos abgetragen werden und entfällt somit als Zwangspunkt. Es ist dennoch darauf zu achten, den Rückbau der Überführung erst nach Fertigstellung der Unterführung der L318 zu beginnen, um die Anrainer keiner zu vermeidenden Mehrbelastung auszusetzen.

3.3.7 Autobahnknoten Peggau-Deutschfeistritz

Bei km 4,3 springt die Neubaustrecke von ihrer Parallellage zur A9 ab, um die für die Umfahrung des Autobahnknotens Peggau-Deutschfeistritz benötigte Lage zu generieren. Die Trasse muss dabei mehrere Firmengelände überqueren, was die Ablöse zweier Produktionsstätten sowie zweier Privatgebäude zur Folge hat. Zusätzlich muss die B67 ein weiteres Mal unterführt werden und wird zu diesem Zweck um bis zu 0,53 m tiefer gelegt.

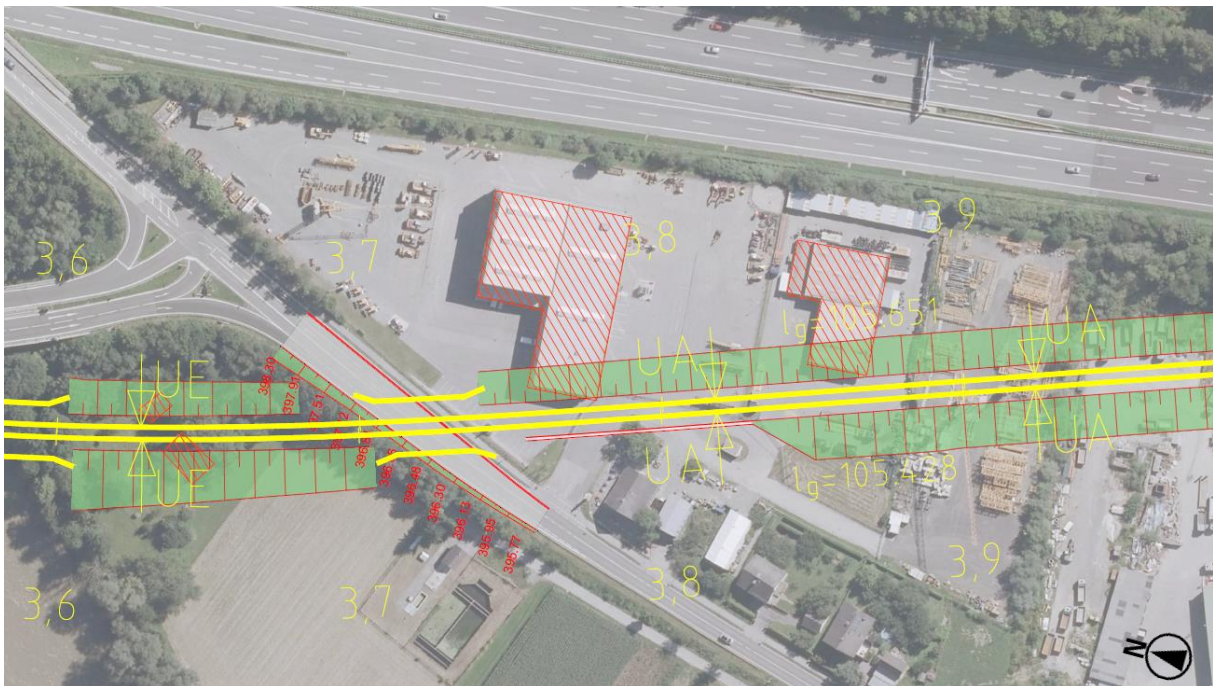


Abbildung 3-25: betroffene Firmengelände im Bereich des Autobahnknotens Peggau-Deutschfeistritz

Wie bereits im Bereich des Tunnelportals Süd ist die Sperre der B67 als verkehrstechnisch kritisch anzusehen. Ein Sachverhalt, der durch die Lage der Baustelle im Bereich des Autobahnknotens weiter verstärkt wird. Um großräumige Umfahrungen zu vermeiden, soll die Anpassung der B67 bereits vor Bau der Neubaustrecke erfolgen, um den vorhandenen Platz des nördlichen Firmengeländes für eine Baustellenumfahrung zu nutzen. Bis auf die anzupassende Rampe könnte der Autobahnknoten seine Funktionstüchtigkeit beibehalten.

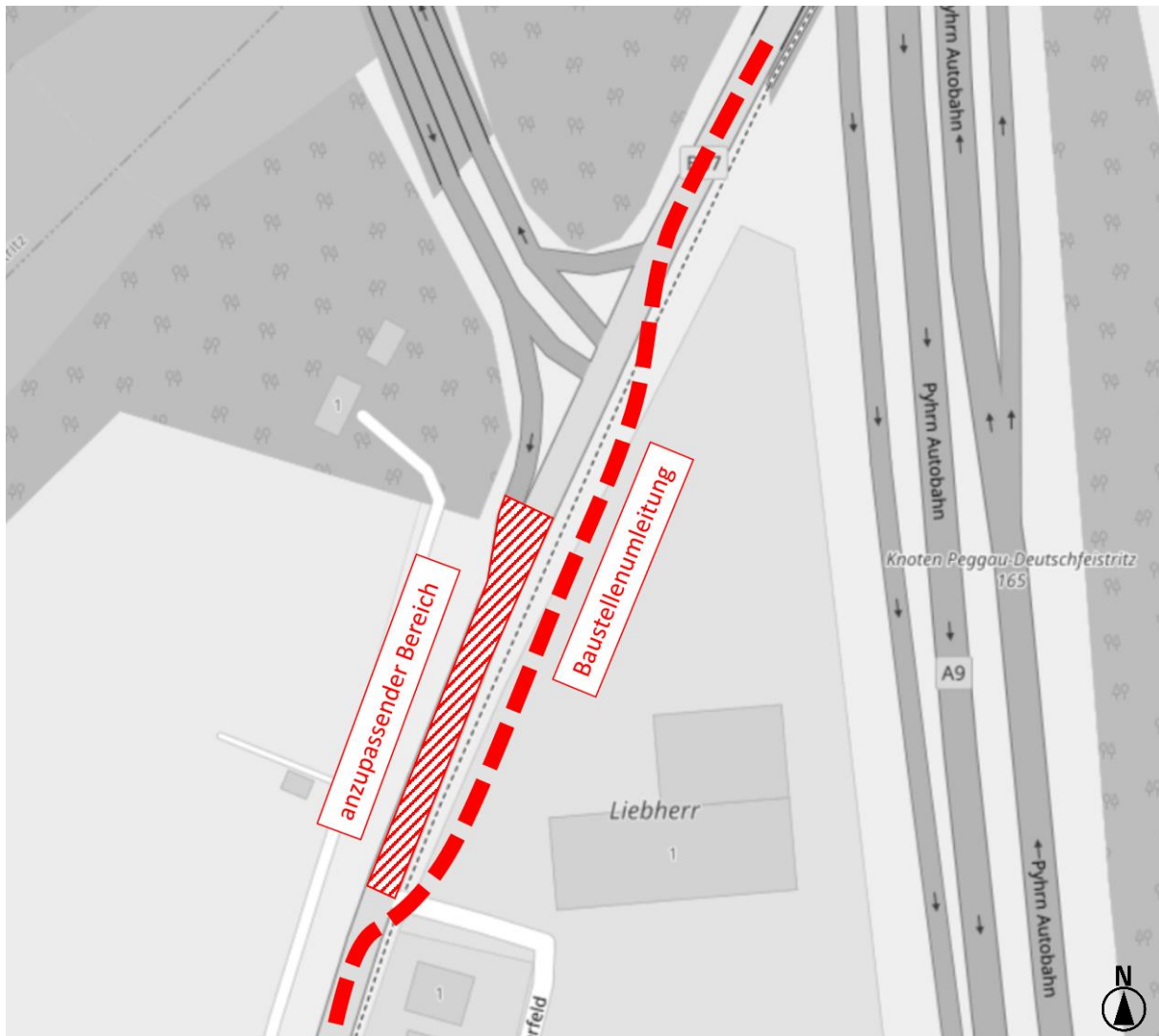


Abbildung 3-26: Vorschlag einer kleinräumigen Baustellenumleitung (Quelle: openrailwaymap.org)

Nach der neu zu errichtenden Unterführung der B67 überquert die Neubaustrecke die Mur mit einem ca. 120 m langen Brückenbauwerk und schmiegt sich dem Autobahnknoten an. Da die Trasse in diesem Bereich noch die für die Unterführung benötigte Höhe abbaut, benötigt Gleis 4 eine etwa 150 m lange, straßenseitige Stützmauer bzw. befestigte Böschung. Anschließend läuft die Neubaustrecke unmittelbar vor dem kurzen, die A9 unterführenden Tunnel mit der Bestandsstrecke zusammen und passt sich dessen Linienführung und Höhenlage an. Die Trasse wird analog zu der Führung des dritten Gleises in Graz mit einem Achsabstand von 5,80 m zum Bestandsquerschnitt geführt. Dieser bietet im Bereich des Tunnelbauwerkes genügend Platz, um eine Bestand und Neubau trennende Tunnelwand vorzusehen. Der Fahrdraht der Oberleitung wird dabei an der Tunnelfirste verlegt.

Mit 7,8‰ stellt dieser Abschnitt den steilsten der Trassierung da. Die hohe Längsneigung ergibt sich aus dem Zwangspunkt der Unterführung der B67 sowie der Höhenanpassung an den Bestand vor dem Tunnelabschnitt.

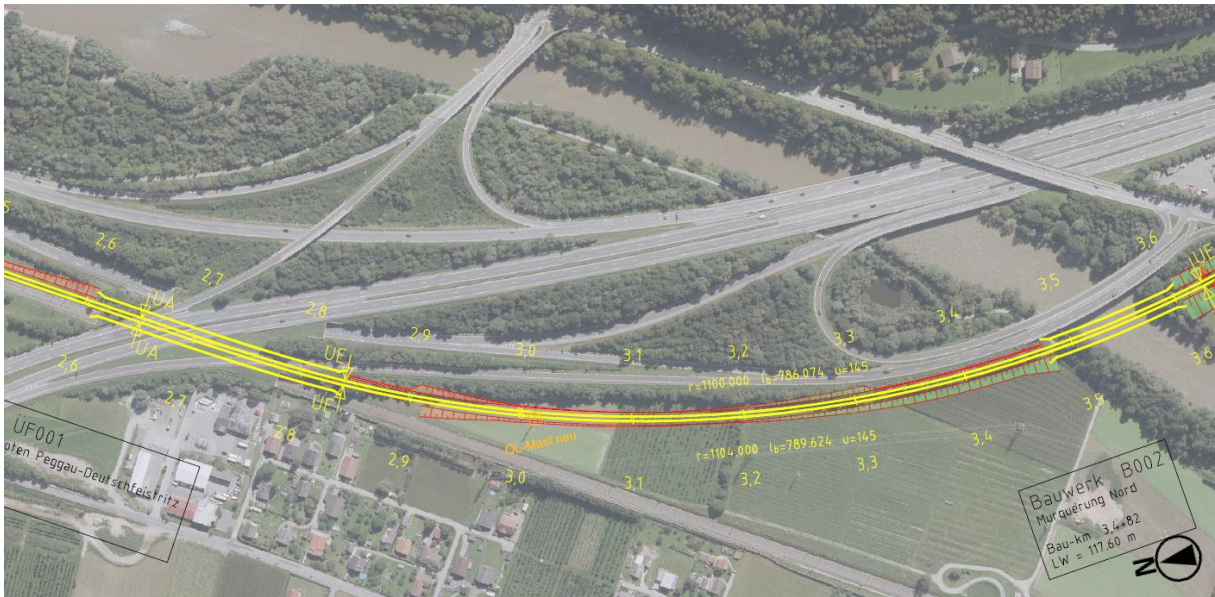


Abbildung 3-27: Murquering Nord und Tunnel A9

3.3.8 Siedlungsgebiet Deutschfeistritz

Die Neubautrasse verläuft nach dem Tunnelbauwerk für 1,5 km in gerader Linie Richtung Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz, zwischen km 1,1 – 1,5 befindet sich ein Siedlungsgebiet der Gemeinde Deutschfeistritz. Da mehrere Gebäude sehr nah am Bestand errichtet wurden, kann auch durch die Anordnung einer Stützmauer die Ablöse von zwei Wohnhäusern inklusive zwei Anbauten nicht verhindern. Die Unterführung der Lindengasse ist wiederum um den Querschnitt des Neubaus zu erweitern, das Wegenetz der Siedlung muss zum Erhalt der Verkehrswirksamkeit stellenweise angepasst werden (Errichtung neuer Siedlungsstraßen bei km 1,0 – 1,1 und km 1,4 – 1,5 entlang der Stützmauer).



Abbildung 3-28: Siedlungsgebiet der Gemeinde Deutschfeistritz

3.3.9 Murquerung bis Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz

Im letzten Abschnitt der Neubaustrecke ist die bestehende Eisenbahnbrücke zwischen Peggau und Deutschfeistritz mit einer viergleisigen Eisenbahnbrücke zu ersetzen. Die Gleise der Neubaustrecke gehen dabei in die Gleise der Bestandsstrecke über, um für den Fernverkehr eine durchgängige Gleislage zu schaffen. Der Bestand wird parallel zu der Neubaustrecke geführt.

Die Brücke wird auf eine Geschwindigkeit von 130 km/h ausgelegt und wird neben dem Bestand errichtet. Nach Fertigstellung wird in einer einwöchigen Streckensperre mit Schienenersatzverkehr das alte Tragwerk abgetragen und der neue, viergleisige Brückenquerschnitt über eine Zeitdauer von 60 – 100 Stunden eingeschwommen [49]. Güterverkehre der Südbahn müssen in dieser Zeitspanne über den Neumarkter Sattel entlang der Rudolfsbahn geführt werden.

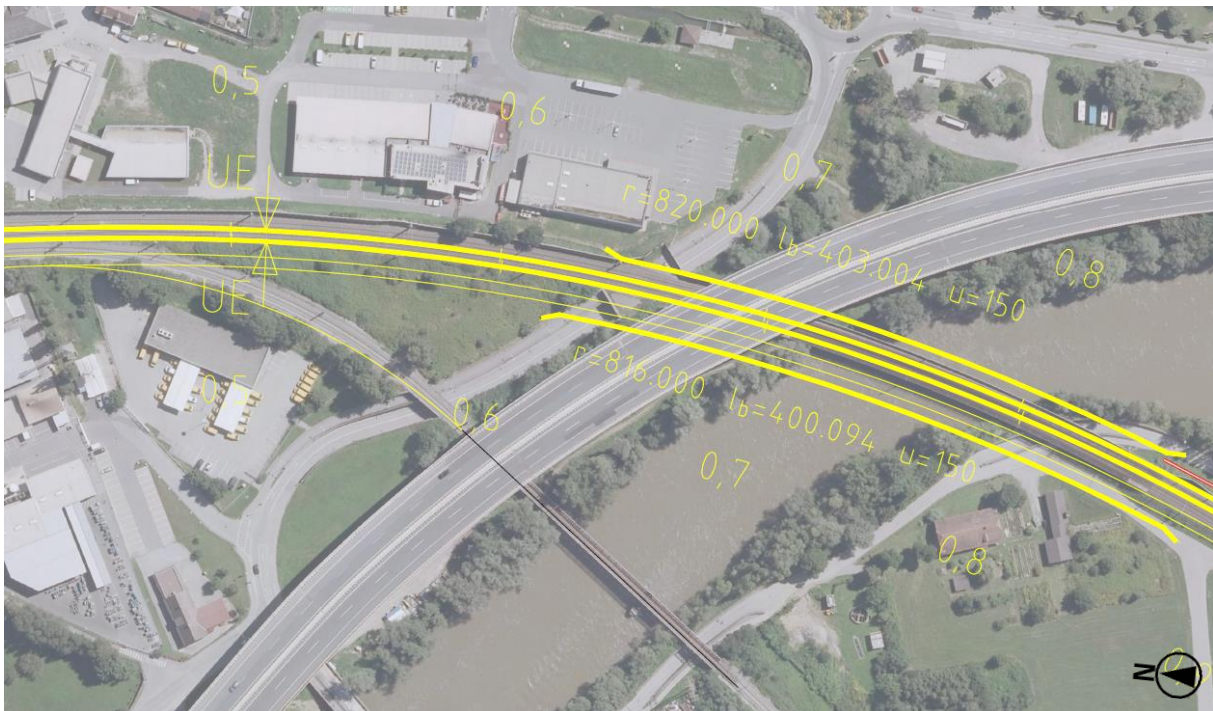


Abbildung 3-29: Brücken der Südbahn und der Übelbacherbahn

Durch die Ausbaumaßnahmen der Südbahn muss auch die hier anschließende Übelbacherbahn adaptiert werden. Dies geschieht durch ein Anpassen des Bestandsbogens, welcher sich mit einem Radius von 225 m in das neue Gleis 1 der Südbahn eingliedert. Die eingleisige Bestandsbrücke der Lokalbahn muss nicht erneuert werden, die Geschwindigkeit von derzeit 55 km/h könnte zufolge des angepassten Bogens um 10 km/h erhöht werden.

Zuletzt endet bzw. beginnt die Neutrassierung im Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz. Aufgrund der zusätzlichen Gleise muss der Südteil des Bahnhofes umgebaut und mit neuen Weichenverbindungen versehen werden (siehe Abbildung 3-30). Der Weichenbedarf ergibt sich hauptsächlich aus den Ein- bzw. Ausfädelungsprozessen der Nahverkehrszüge aus den nun für den Fernverkehr vorgesehenen Gleisen 3 und 4, aber auch aus dem Erhalt des Bahnsteiges der Übelbacherbahn und dem durchgehenden Gleis westlich davon.

Die Weichen besitzen eine einheitliche Zweiggleisgeschwindigkeit von 60 km/h. Dies ist zum einen dem Platzbedarf geschuldet, zum anderen sind höhere Geschwindigkeiten ohnehin nicht vonnöten. Der dort haltende Regionalverkehr benötigt aufgrund der Anfahr- und Abbremsprozesse keine größeren Geschwindigkeiten, der Fernverkehr muss durch die gewählte Infrastrukturauslegung keine Zweiggleise befahren. Lediglich der Güterverkehr muss im Bahnhofsbereich auf 60 km/h abbremsen, um auf die neuen Regionalverkehrsgleise der Bestandsstrecke zu wechseln (in Abbildung 3-30 als dünne Linien dargestellt).



Abbildung 3-30: Ausbau des Bahnhofes Peggau-Deutschfeistritz

Als letzte Zusatzmaßnahme muss die Unterführung der Straße Am Bodenfeld um etwa 4 m erweitert werden.

3.4 Variante Tunnel Eggenberg

Die Variante „Tunnel Eggenberg“ setzt als Alternative zur Variante „Tunnel Hausberg“ auf eine geradlinigere und damit um etwa 800 m kürzere Linienführung. Die kompromisslosere Trassierung hat insgesamt aufwändigere Bauwerke zur Folge, welche jedoch geringere Ablösen von Gebäuden und weniger Verkehrsbeeinträchtigungen in der Bauphase nach sich ziehen und damit sowohl in der technischen als auch der rechtlichen Machbarkeit als einfacher einzustufen sind.

Die Varianten teilen sich von Graz kommend bis zum Tunnelportal Süd sowie ab dem Bereich des Autobahnknotens Peggau-Deutschfeistritz bis zum Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz dieselbe Linienführung. Es wird daher nur auf die von der Variante „Tunnel Hausberg“ abweichenden Abschnitte eingegangen.

3.4.1 Tunnel Eggenberg

Der Tunnel Eggenberg verläuft in seiner Lage zunächst analog dem Tunnel Hausberg, setzt aber seine Linienführung anschließend geradlinig unter dem Eggenberg fort. Als Resultat ist der Tunnel mit 5,3 km um 1,8 km länger als der Tunnel Hausberg, umgeht aber den schwierigen Bereich der Anschlussstelle Gratkorn Nord. Die Längsneigung der Tunnelröhren beträgt 5,3‰, mit einem kleinsten Radius von 1500 m kann der Tunnel theoretisch auch mit Geschwindigkeiten größer 160 km/h befahren werden.

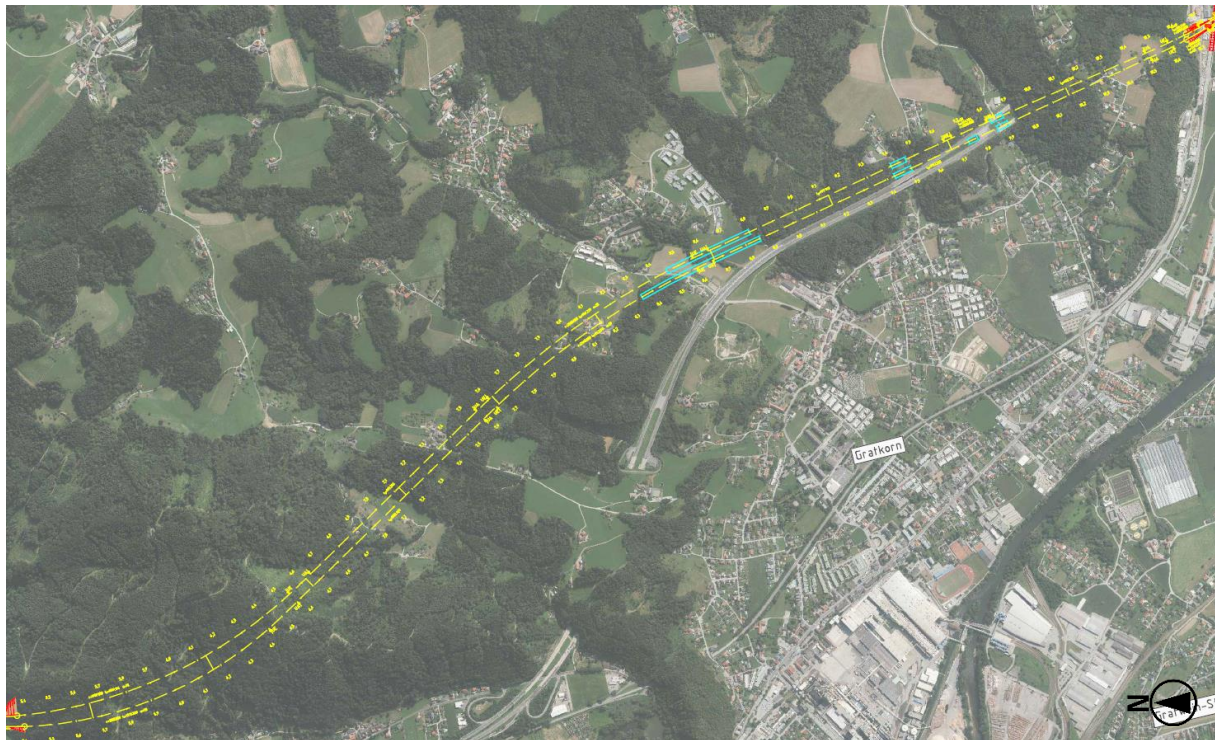


Abbildung 3-31: Verlauf des Tunnels Eggenberg

Auch dieser Tunnel durchstößt Bereiche geringerer Überdeckung, in schwierigen Bereichen kann hier ebenfalls die Bodenstabilisierung mittels Rohrschirmen zum Einsatz kommen. Ausnahme ist der Abschnitt zwischen km 8,3 – 8,9. In diesem Bereich kann aufgrund des offenen Geländes auch die offene Bauweise eingesetzt werden, wobei die Verkehrswege dennoch zu untertunneln sind, um eine Abschottung der Anrainer zu verhindern.

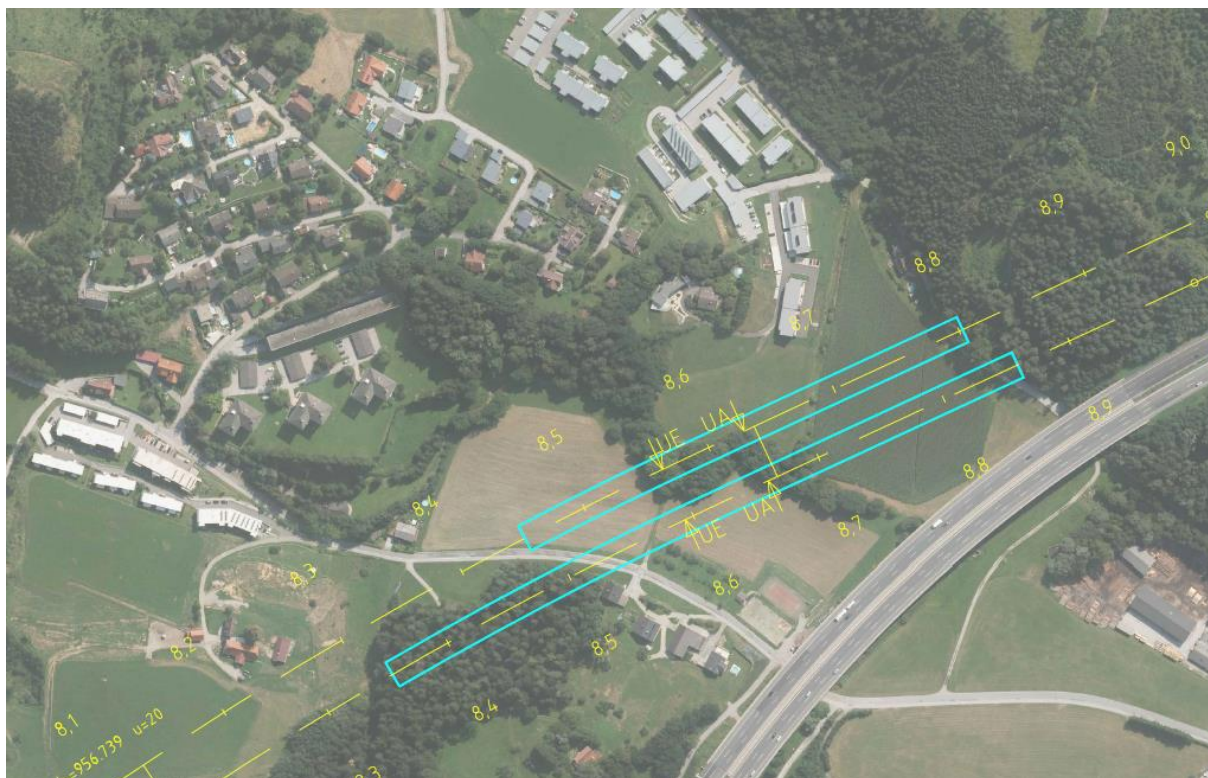


Abbildung 3-32: Bereich mit offener Bauweise

3.4.2 Tunnelportal Nord bis Höhe der Ortschaft Friesach

Im Bereich des Nordportales muss der Neubaustrecke ein Privatgebäude weichen. Die Trasse verläuft anschließend für 200 m über offenes Gelände und kreuzt die A9 mit einem etwa 200 m langen Brückenbauwerk. In diesem Abschnitt soll schlussendlich auch die A9 auf einem 400 m langen Abschnitt um bis zu 2 m nach unten verlegt werden.



Abbildung 3-33: Anpassung der A9 inklusive Brückenbauwerk

Auch nach der Anpassung der A9 befindet sich diese durchgehend in Dammlage. Um die Verkehrsbehinderung während der Bauphase zu minimieren soll die Adaptierung pro Richtungsfahrbahn erfolgen, mit Baustellumleitung über die jeweils gegenüberliegenden Fahrstreifen. Durch Rammen einer Spundwand zwischen den Richtungsfahrbahnen werden Erdbewegungen des Oberbaus ausgeschlossen, sollte zwischen den Fahrbahnen zusätzlicher Platz für ein Brückenlager benötigt werden, kann die Richtungsfahrbahn Graz mit einem größeren Radius ausgeführt werden. Ostseitig resultiert die veränderte Höhe der A9 lediglich in einem Versatz der dort befindlichen Stütz- und Lärmschutzwand.

Schlussendlich bindet die Variante „Tunnel Eggenberg“ bei km 4,0 in den ersten Trassenvorschlag ein und passt sich dessen Linienführung in Lage und Höhe an.

3.5 Tunnel Gschwendtberg

Der etwa 3 km lange Tunnel Gschwendtberg verspricht durch eine Verdopplung der dort vorherrschenden Geschwindigkeit sowie dem Durchstechen der der Topographie folgenden, mäandrierenden Linienführung ein auf der Kante sonst unvergleichliches Potential an

Fahrzeiteinsparung. Vorangegangene Studien [5][7] versprechen bis zu 5 Minuten Fahrzeiterparnisse, wodurch der Tunnel auch in die Überlegungen dieser Arbeit rückt.

Ein iterativer Prozess zwischen Trassierung und Fahrzeitmodellierungen ergab, dass die alleinige Wirkung des Tunnels Gschwendtberg nur nicht ausreichende Fahrzeitverkürzungen erlaubt. Dies ist vor allem auf die Geschwindigkeit von 80 km/h südlich des Tunnels bis zum Bahnhof Frohnleiten zurückzuführen, durch den sehr früh anzusetzenden Bremsprozess wird die Geschwindigkeit im Tunnel erheblich herabgesetzt. Auch am nördlichen Tunnelportal muss bereits auf die am Bestand herrschende Geschwindigkeit von 120 km/h herabgebremst worden sein.

Um die volle Wirkung des Tunnels Gschwendtberg zu entfalten, muss also der Bestand sowohl nördlich als auch südlich der Portale beschleunigt werden.

3.5.1 Bahnhof Frohnleiten bis Tunnelportal Süd

Die Trassierung beginnt bzw. endet im Bahnhof Frohnleiten, von wo aus die Gleise für etwa 200 m im Bestand geführt werden. Anschließend erfolgt ein Umbau des nördlichen Bahnhofkopfes mit einem Radius von 700 m. Dies entspricht einer Ausbaugeschwindigkeit von 120 km/h, welche aufgrund der zulässigen Geschwindigkeiten im Bahnhof Frohnleiten gewählt wurde. Wie in Abbildung 3-34 zu erkennen ist, muss der Umtrassierung dabei ein Wirtschaftsgebäude weichen. Der dadurch entstehende zusätzliche Platz soll für die benötigte Anpassung der Schlepfbahn Mayr-Melnhof genützt werden.

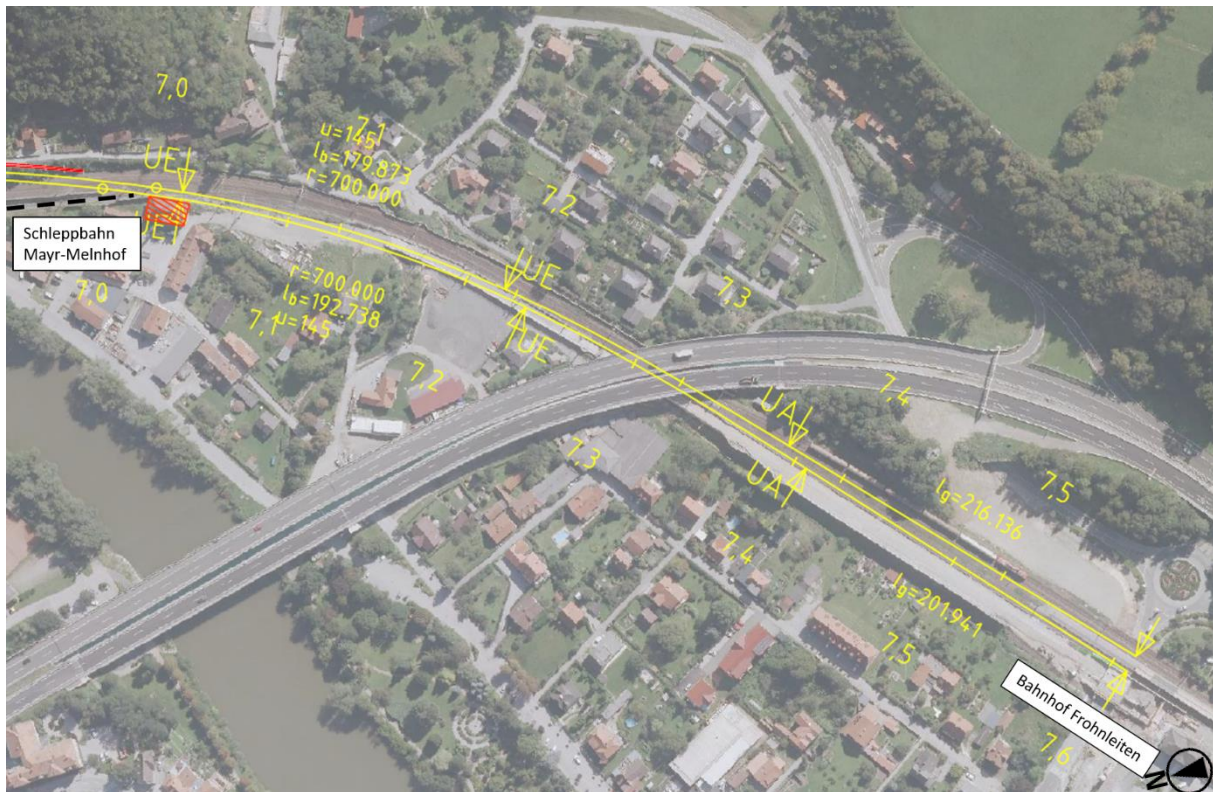


Abbildung 3-34: Umbau des Bahnhofkopfes Frohnleiten

Nach Ende des Radius wird bergseitig eine Stützmauer angeordnet, um die bestehenden Wohnobjekte zu erhalten. Dies ist jedoch nur bedingt möglich, aufgrund des Verbaus der Zufahrtswege müssen zwei Wohnobjekte und zwei Anbauten der Trasse weichen. Eine Neuerrichtung der Zufahrtstraße sowie eine Absturzsicherung auf dem Stützmauerkopf sind allenfalls zu bedenken.

Da zwischen Erschließungsstraße und Schienenoberkante in diesem Bereich etwa 10 m Höhenunterschied besteht, könnten die Gleise alternativ auch auf einer Länge von 100 m eingehaust werden. Eine zusätzliche Absenkung der Trasse ist aufgrund der damit einhergehenden Erzeugung eines Tiefpunktes nicht zu empfehlen.



Abbildung 3-35: Stützmauer im Bereich des Bahnhofkopfes Frohnleiten

Anschließend folgt die Trasse grob der Bestandslage. Die parallele Linienführung löst sich nahe des Bestandsbogens auf, um den nötigen Achsabstand für die Tunnellage zu generieren. Die Tunnelportale befinden sich bei km 6,4 der Neutrassierung und damit ca. 1,2 km nördlich des Bahnhofes Frohnleiten.

Um den Bestand weiterhin für den Güterverkehr nutzen zu können, wird zusätzlich eine Weiche mit 60 km/h Zweiggleisgeschwindigkeit vorgesehen, wobei es aufgrund des durch den Neubau verkehrsberuhigten Abschnittes zwischen den Tunnelportalen genügt, lediglich eine Weichenverbindung vorzusehen.

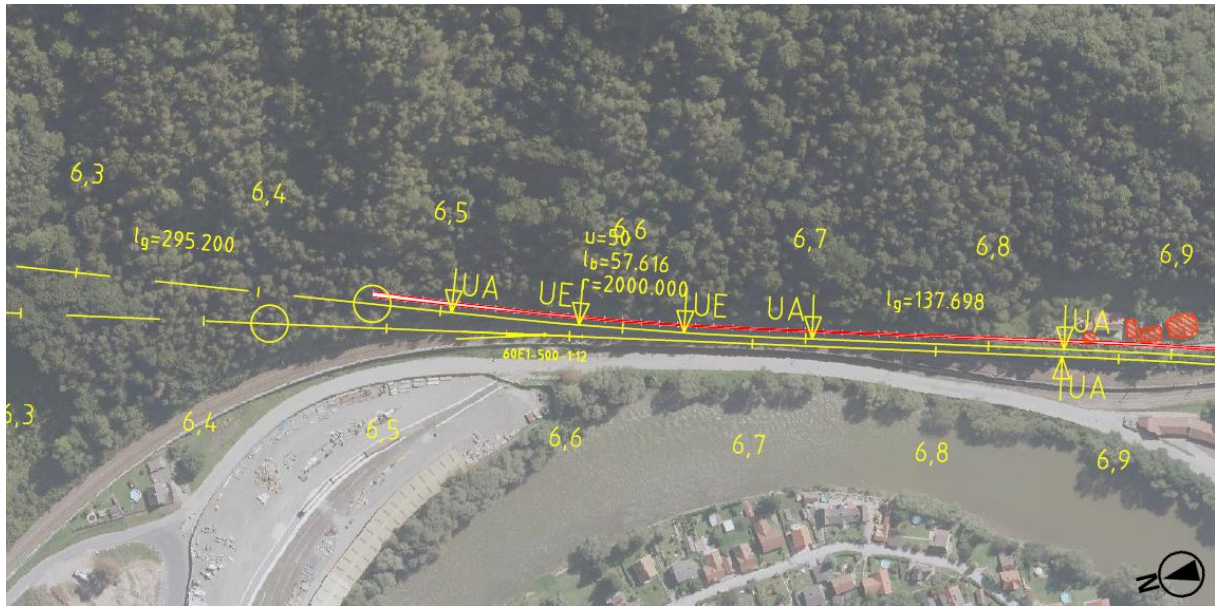


Abbildung 3-36: Verzug der Gleise zur Erreichung der Tunnellage

3.5.2 Tunnel Gschwendtberg

Der Tunnel Gschwendtberg verläuft zunächst für ca. 1,2 km in gerader Linie, anschließend schwenkt dieser mit einem großzügigen Radius Richtung Osten ab und mündet westlich der Ortschaft Röthelstein im Bestand. Die Tunnelröhren werden mit einer kontinuierlichen Längsneigung von 4,5 bzw. 4,7 ‰ ausgeführt und besitzen zu jedem Zeitpunkt Überdeckungen >10 m. Die Tunnellänge beträgt 3 km, es sind mit Ausnahmen allfälliger geologischer Schwierigkeiten keine zusätzlichen Kosten bzw. Erschwernisse für die technische Machbarkeit zu erwarten. Mit einem Mindestradius von 1800 m ist der Tunnel außerdem für eine weitere Erhöhung der Geschwindigkeit geeignet.

3.5.3 Tunnelportal Nord bis Überführung in Bestand

Nach dem Tunnel wird die Trasse rasch auf den bestehenden Gleiskörper rückgeführt, welcher in diesem Abschnitt in gerader Linie verläuft. Im Bereich des Nordportals wird zur Vermeidung großer Böschungsflächen eine etwa 70 m lange Stützmauer entlang des Gleises 2 vorgesehen.

Um auch hier den Bestand weiterhin für die dort ansässigen Betriebe nutzen zu können, wird dieser mittels zwei Überleitstellen mit vier Weichen à 60 km/h Zweiggleisgeschwindigkeit verbunden (siehe Abbildung 3-37).

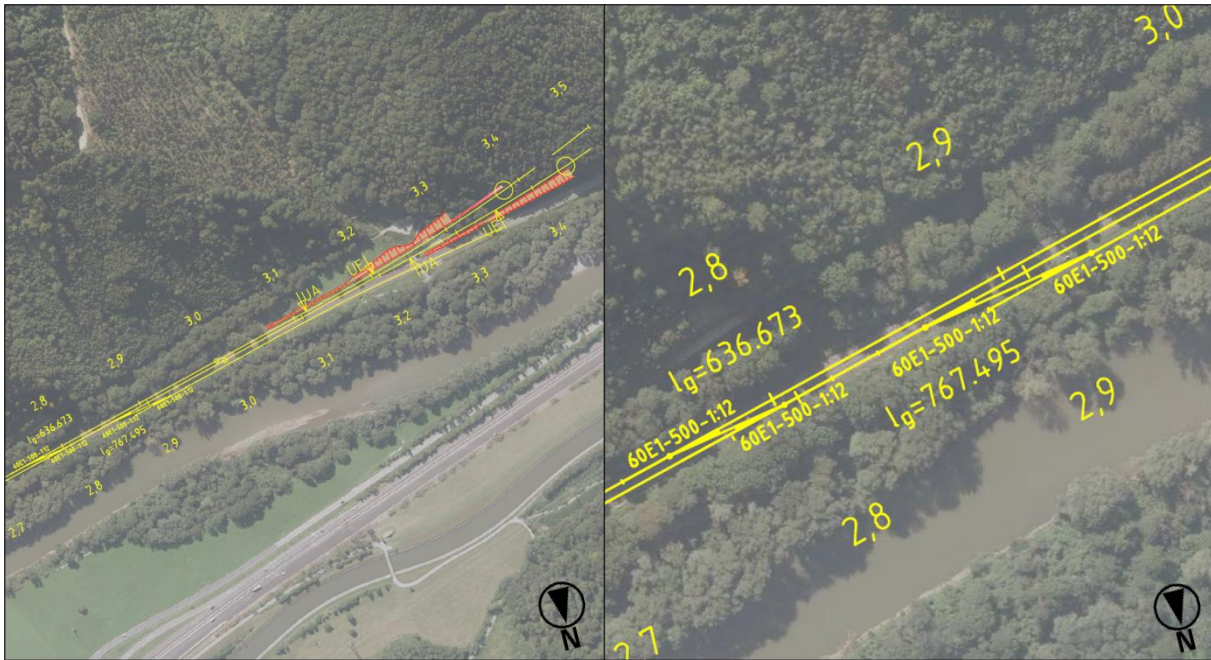


Abbildung 3-37: Nordportal des Tunnels Gschwendtberg

Die nachfolgenden 2,7 km der Neutrassierung stellen lediglich eine Linienverbesserung der bestehenden Strecke dar. Nach Herstellung der Neulage können ab der Gerade nördlich des Bahnhofes Frohnleiten bis zu dem die Trasse nach Norden Richtung Mixnitz ausrichtenden Bogen der Bestandstrasse 160 km/h gefahren werden. Somit kann auch der Tunnel Gschwendtberg sein volles Potential ausschöpfen.

3.6 Variantenentscheid

Eine überschlagsmäßige Untersuchung des möglichen Betriebskonzeptes ergab de facto eine analoge Anordnung der Zugtrassen für die Varianten „Tunnel Hausberg“ und „Tunnel Eggenberg“. Für die genauen betrieblichen Untersuchungen wird aus folgenden Gründen nur die letztere Variante herangezogen:

- I Einfachere technische Machbarkeit
- I Die nicht RVS-konforme Gestaltung der Anschlussstelle Gratkorn Nord
- I Geringere dauerhafte Eingriffe in das bestehende Wegenetz
- I Geringfügig weniger Gebäudeablösen
- I etwas kürzere Fahrzeit und damit mehr Möglichkeiten für Betriebsstabilität schaffende Prozesse

Für eine quantitative Bewertung der Fahrzeit, siehe Kapitel 4.4.1.

4 Betrieb

Nachdem die Machbarkeit eines Infrastrukturausbaues untersucht und die „Variante Tunnel Eggenberg“ in Vorschlag gebracht wurde, werden in diesem Kapitel die bei dieser Trassierungsvariante möglichen Betriebskonzepte analysiert sowie in einem Überblick die wichtigsten Einflussgrößen auf den Betrieb erläutert. Die vorgestellten Ergebnisse – sowohl die des Infrastrukturausbaues als auch des Betriebes – sind Endergebnis eines iterativen Prozesses, da Betriebskonzept und Infrastruktur in enger Wechselwirkung zueinander stehen.

4.1 Modellierungsgrundlage

4.1.1 Verwendetes Programm

Zur Darstellung der unterschiedlichen Betriebskonzepte wird die Fahrplanbearbeitungssoftware FBS verwendet. Die Software ermöglicht die Modellierung komplexer Infrastrukturnetze. Dabei können sowohl infrastrukturseitige Eingaben wie Streckenlängen, Gleisanzahl, Betriebsstellen, Signalstandorte und Tunnel berücksichtigt werden. Fahrzeugseitig können unter anderem Fahrzeitreserve, Bremschwindigkeit, Haltemuster und Zugzusammensetzung eingegeben werden.

Großer Vorteil dieses Programmes ist dabei die detaillierte Berücksichtigung von Streckenwiderständen und Fahrzeugkennwerten. Den Fahrzeugdaten sind nicht nur Länge, Leistung und Achszahl hinterlegt, sondern auch konkrete Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramme und Formeln für den fahrzeugseitigen Fahrwiderstand (siehe Abbildung 4-1).

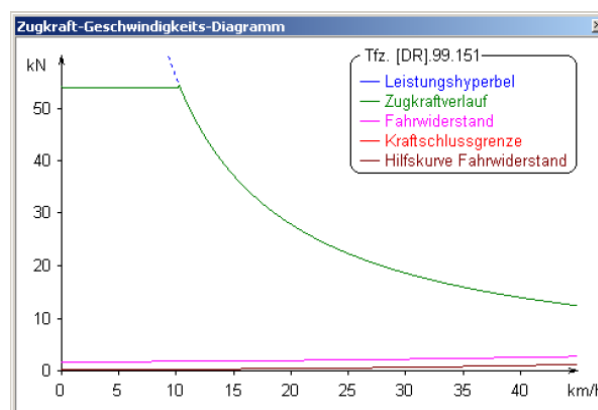


Abbildung 4-1: Beispiel eines hinterlegten Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagrammes [27]

4.1.2 Grundlagen der Fahrzeitberechnung

Für die Berechnung der Fahrzeiten müssen Geschwindigkeitsbänder hinterlegt werden. Im Falle des *Szenario 0 – Zielnetz 2040 auf der Bestandsinfrastruktur* wird dieses dem VzG

der Strecke entnommen und ist in Abbildung 4-2 grafisch dargestellt.

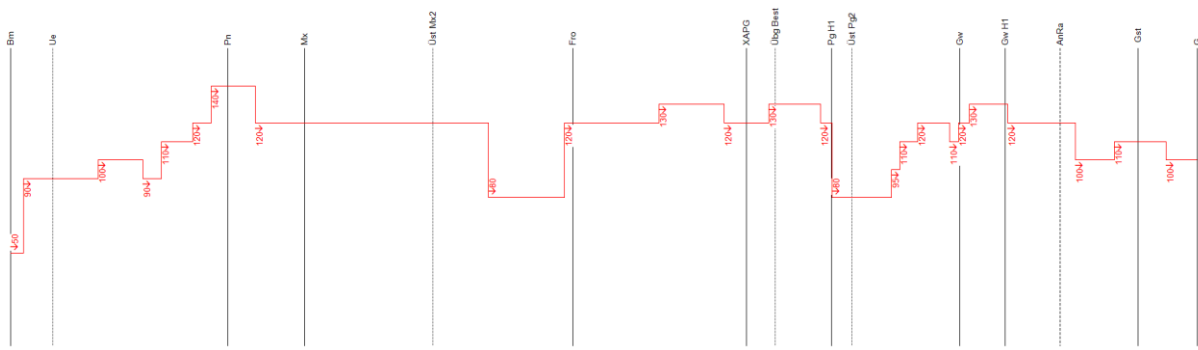


Abbildung 4-2: grafische Darstellung des VzG der Strecke

Das Programm beschleunigt die Züge dabei so stark und früh wie möglich und bremst so spät wie möglich ab. Zu eng aufeinanderfolgende Brems- und Beschleunigungsvorgänge werden aus Gründen des Energieverbrauches von der Mindestbeharrungszeit unterbunden. Demnach müssen Züge in der Lage sein, bei einem Beschleunigungsprozess zumindest 30 Sekunden ihre Endgeschwindigkeit halten zu können, andernfalls wird vom Programm eine geringere Maximalgeschwindigkeit gewählt. In Abbildung 4-3 ist das Fahrtaubild (Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm) eines S-Bahn Verstärkerzugs zu sehen. Deutlich zu erkennen ist die aufgrund der Mindestbeharrungszeit nicht ausgenützte Höchstgeschwindigkeit zwischen Minute 12,4 und 14,4.

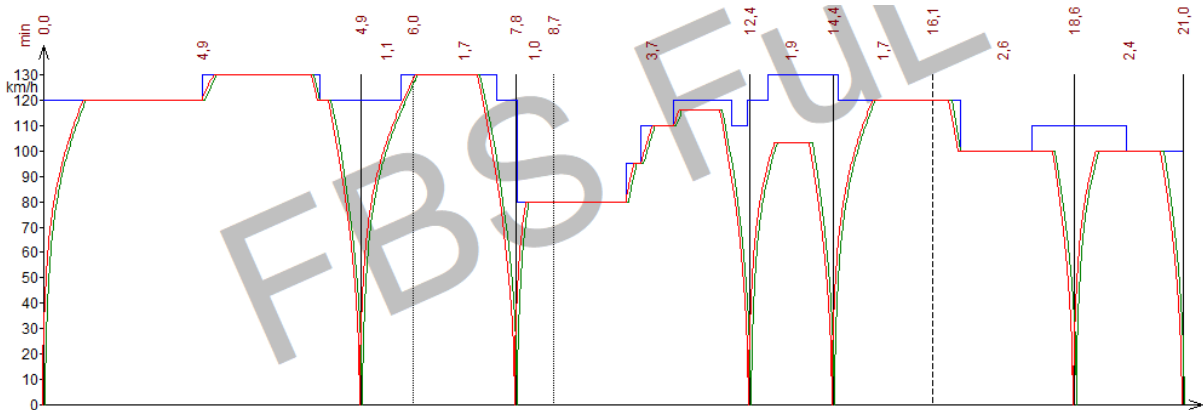


Abbildung 4-3: Beispiel einer Beharrungsfahrt

4.1.3 Zugsicherungssystem

Die Wahl des Zugsicherungssystems fällt auf das konventionelle Zugsicherungssystem mit festen Raumabständen (Blockabschnitten) und punktueller Zugbeeinflussung PZB, welches bereits auf der Strecke verbaut ist. Der Infrastrukturbetreiber plant zwar einen Ausbau aller hochrangigen Strecken mit ETCS Level 2 bis zum Jahr 2038 [28], dies ist jedoch zum

einen sowieso mit ortsfesten Gleisfreimeldeanlagen verbunden, zum anderen ist nicht gesichert, ob alle die Strecke nützenden Fahrzeuge mit ETCS-tauglicher Ausrüstung ausgestattet sind.

Dabei wird die Strecke gleisweise durch ortsfeste Signale in Blockabschnitte unterteilt. Diese Abschnitte können jeweils nur von einem Zug gleichzeitig befahren werden, nachkommende Züge werden durch die punktuelle Zugbeeinflussung bis zum Freiwerden des Blockabschnittes an einer Einfahrt (bzw. an einer Überfahung des Durchrutschweges) gehindert. Die Blockbelegungszeit setzt sich dabei aus folgenden Teilzeiten zusammen:

- I Fahrstraßenbilde und -auflösezeit: beinhaltet das Stellen und Ver- bzw. Entsperren von Weichen und die technische Reaktionszeit des Signals
- I Vorsignalsichtzeit: für den Triebfahrzeugführer benötigte Zeit zur Erkennung des Vorsignalbegriffes
- I Annäherungsfahrzeit: Fahrzeit zwischen Vor- und Hauptsignal
- I Fahrzeit im Blockabschnitt
- I Räumfahrzeit: Zeit, bis der Zug die nach dem Blockabschnitt befindliche Gleisfreimeldeanlage mit der letzten Achse überfahren hat

Dabei befindet sich die Gleisfreimeldeanlage am Ende des Durchrutschweges und überprüft die Vollständigkeit des Zuges [8].

Eine Analyse der Bestandsblöcke zeigt dabei vor allem im Raum Bruck an der Mur – Peggau-Deutschfeistritz lange Blockabschnitte. Da die Länge der Blockabschnitte sich durch eine Erhöhung der Durchfahrtszeit auf die Kapazität der Strecke auswirkt, werden in diesem Bereich und zwischen Judendorf-Straßengel und dem NVK Gösting neue Blocksignale eingeführt.

Tabelle 4-1: Übersicht der Blockabschnitte laut VzG inklusive zusätzlicher Blocksignale

Basisfall 2040			Basisfall 2040		
km	Betriebsstelle	L _{Block}	Km	Betriebsstelle	L _{Block}
157,858	Bruck a.d.Mur	-	186,550	Blocksignal	1,172
159,455	Ausfahrtsignal	1,597	187,930	Blocksignal neu	1,380
160,770	Blocksignal neu	1,315	189,310	Einfahrtsignal / Vorsignal	1,380
162,085	Blocksignal	1,315	190,663	Schutzsignal	1,353
163,328	Blocksignal neu	1,243	190,814	Peggau-Deutschfeistritz	-
164,570	Blocksignal	1,242	193,300	Blocksignal	2,637
165,684	Blocksignal neu	1,114	194,615	Stübing	-
166,798	Einfahrtsignal / Vorsignal	1,114	195,360	Deckungssignal	2,060
167,581	Pernegg	-	197,643	Blocksignal	2,283
167,978	Ausfahrtsignal	1,180	199,873	Einfahrtsignal / Vorsignal	2,230
169,917	Einfahrtsignal / Vorsignal	1,939	200,710	Gratwein-Gratkorn	-
171,011	Mixnitz-Bärenschützklamm	-	201,273	Ausfahrtsignal	1,400
171,058	Ausfahrtsignal	1,141	202,755	Judendorf-Straßengel	-
173,828	Blocksignal	2,770	205,246	Blocksignal	3,973
176,254	Deckungssignal	2,426	206,570	Blocksignal neu	1,324
179,308	Blocksignal	3,054	208,228	Einfahrtsignal / Vorsignal	1,658
182,192	Einfahrtsignal / Vorsignal	2,884	208,690	Nahverkehrskn. Gösting	-
183,022	Frohnleiten	-	209,800	Zwischensignal / Vorsignal	1,572
183,120	Zwischensignal / Vorsignal	0,928	210,510	Zwischensignal / Vorsignal	0,710
184,206	Ausfahrtsignal	1,086	211,334	Schutzsignal	0,824
185,378	Blocksignal neu	1,172	211,355	Graz Hbf	-

4.1.4 Zuggattungen im Projektgebiet

In diesem Kapitel wird auf die Fahrzeugeigenschaften der verwendeten Zuggattungen eingegangen. Zugarten bzw. Zusammensetzungen wurden anhand des Status Quo modelliert [29]. Sofern nicht weiter spezifiziert wurden die Brems- und Beschleunigungswerte mit 150% angegeben.

Die Züge werden in Einzeltraktion eingespeist. Dies ist den Limitierungen des Programms geschuldet, bei Doppeltraktion ist jedoch aufgrund simultaner Brems- und Beschleunigungsvorgänge der einzelnen Garnituren ein vernachlässigbar geringer Effekt auf die Fahrzeit zu erwarten.

Railjet (RJ) und Railjet Express (RJX):

Als Zuggattungen des hochrangigen Fernverkehrs bedienen diese Züge die mit Fertigstellung der Koralmbahn mögliche Relation Wien – Graz – Klagenfurt – Villach. Der Railjet wird mit dem Triebfahrzeug ÖBB 1016 bzw. 1116 modelliert und setzt sich neben diesem aus fünf Wagen der zweiten Klasse, einem Speisewagen sowie einem Steuerwagen zusammen.

Die Bremsleistung der Züge wurden bei Betriebsbremsungen mit 159% angegeben und entspringen veröffentlichten Datenblättern [30].

Da dies lediglich die Bremseigenschaften der E-Lok und nicht des gesamten Zuges darstellen, wurde die Bremskraft des Zuges mit Daten eines Unfallberichtes validiert. Demnach wies die betroffene Railjet Garnitur 210 Bremsleistung im Schnellbremsfall auf. Dies ist verglichen mit dem ÖBB Datenblatt sogar ein um 6% höherer Wert als für das Triebfahrzeug allein [31]. Die angehängten Wagen scheinen also eine begünstigende Wirkung auf das Bremsverhalten zu haben.

Interregio (IR):

Als in Österreich neu einzuführende Zuggattung bedient der Interregio primär Fernverkehrsbeziehungen im alpinen Raum, übernimmt aber allfällig Aufgaben des Regionalverkehrs und bindet auch kleinere Zentren in den Fernverkehr ein. Somit könnte auf lange Sicht der Interregio gepaart mit einem verdichteten Regionalverkehrsangebot die Zuggattung Regionalexpress (REX) ersetzen.

Da die Zuggattung bislang noch nicht in Österreich verkehrt, gibt es keine vorhandenen Fahrzeugdaten oder Zugläufe. Gleichzeitig bietet dies die Chance der Bestellung neuer, leistungsfähiger Fahrzeuge, welche mit hohen Beschleunigungswerten Fahrzeitgewinne generieren. Als Bemessungsfahrzeug wurde daher ein Bombardier Talent 2 in fünfteiliger Ausführung gewählt. Dieser Zug kommt in Deutschland zum Einsatz, ist 88 m lang und besitzt eine Dauerleistung von 3020 kW [32]. Der Wahl dieses Bemessungsfahrzeuges entstammt die gewählte Bahnsteiglänge des Nahverkehrsknoten Gösting mit 180 m (Doppeltraktion).

S-Bahn (S):

Die S-Bahn ist Hauptträger der Nah- und Regionalverkehrsaufgaben im Grazer Ballungsraum. Die Züge halten an jedem Personenbahnhof und fokussieren sich somit primär auf Erschließungsaufgaben anstelle schneller Zugverbindungen.

Die Zugverbindungen der sich im Projektgebiet befindlichen S-Bahn-Linie S1 wurde mit dem ÖBB 4744 bzw. 4746 modelliert. Für Überlegungen zur S11, welche zwischen Graz und Übelbach verkehrt, werden die dort eingesetzten Elektrotriebwägen 4062 der Steiermärkischen Landesbahnen verwendet. Hier ist insbesondere auf den Fahrzeugbedarf zufolge des Umlaufplanes zu achten, da nur drei dieser Fahrzeuge zur Verfügung stehen [33].

Regionalexpress (REX):

Der REX stellt eine beschleunigte Verbindung im Regionalverkehr dar. Dies wird vor allem durch den Verzicht von Halten erreicht, aber auch durch das Einsetzen stärkerer Triebfahrzeuge.

Die wenigen Regionalexpresszüge im Projektgebiet werden ebenfalls mit einem ÖBB 4744 bzw. 4746 angenommen. Sie werden für das Szenario 0 mitberücksichtigt, werden jedoch in den weiteren Schritten aufgegeben. Wie erwähnt ergibt sich dieser Gedankengang aus der Verdichtung des S-Bahn-Taktes zwischen Frohnleiten und Graz gemeinsam mit der Einführung der Interregio-Zugklasse. Wenn erwünscht können diese REX-Trassen gegebenenfalls erhalten werden, allerdings zulasten von Güterzugtrassen.

Güterzüge (GZ):

Schlussendlich stellen Güterzüge mit einem Anteil an der Verkehrsleistung (in Nettotonnenkilometern) von über 30% eine nicht zu vernachlässigende Zugklasse dar [34]. Die Anzahl der Güterzugtrassen ist eine essenzielle Kenngröße für das entlang des baltisch-adriatischen TEN-T-Korridor und der Pyhrnachse liegende Projektgebiet.

Die Güterzüge werden von einer ÖBB 1014 bzw. 1114 angetrieben und umfassen 20 Güterwägen. Insgesamt sind diese Züge 460 m lang und besitzen ein Gewicht von rund 1600 t, dies ist innerhalb der Grenzen des „Ganzzug Consumer Goods“ der ÖBB Güterzüge [35].

4.2 Betriebsparameter

Bevor die verschiedenen Szenarien besprochen werden, wird in diesem Kapitel ein Überblick über die wichtigsten Einflüsse für den Betrieb gegeben.

4.2.1 Betriebsstabilität

Betriebsstabilität beschreibt die Störfestigkeit des Fahrplanes, dies bedeutet insbesondere:

- I Den Fahrplan im überwiegenden Fall pünktlich abwickeln zu können
- I Kleine bis mittelgroße Fahrplanabweichungen kompensieren zu können
- I Verspätungen nicht an nachkommende Züge weiterzugeben bzw.
- I Verspätungen zeitlich und räumlich begrenzen zu können [8]

Aufgrund seines starken Fokus auf die Optimierung von Umsteigebeziehungen hat dabei der integrale Taktfahrplan besonders hohe Anforderungen an die Stabilität.

Es müssen also entweder infrastrukturelle oder planerische Maßnahmen gesetzt werden, um einen möglichst störungsfreien Betriebsablauf sicherzustellen. Da zur Bewertung der

Stabilität entweder empirische Werte herangezogen oder Simulationen durchgeführt werden müssen, können im Rahmen dieser Arbeit nur bedingt Aussagen zur tatsächlichen Betriebsstabilität getroffen werden.

4.2.2 Kapazität

Die Kapazität einer Strecke bestimmt die Anzahl der möglichen Zugfahrten pro Gleis. Sie wird maßgeblich durch die Summe der Blockbelegungszeiten einer Zugfahrt – der sogenannten Sperrzeitentreppe – bestimmt und durch das Aneinanderreihen dieser Sperrzeitentrepfen ermittelt. Dabei müssen im Sinne der Betriebsstabilität auch Zeitzuschläge berücksichtigt werden, siehe Kapitel 4.2.3.

Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung können prinzipiell in infrastrukturelle und betriebliche Maßnahmen eingeteilt werden, diese können zum Beispiel sein:

- I Erhöhung oder Homogenisierung der Geschwindigkeiten
- I Verkürzung der Signalabstände (Blockverdichtung)
- I Bündelung gleichartiger Zugfahrten
- I Bau zusätzlicher Gleise

Besonders kapazitätsintensiv sind dabei aufeinanderfolgende Zugfahrten mit großer Geschwindigkeitsdifferenz (Geschwindigkeitsschere). Wie in Abbildung 4-4 ersichtlich bilden sich große Zeiträume, welche nicht bzw. nur mit Überholvorgängen für weitere Zugfahrten nutzbar sind.

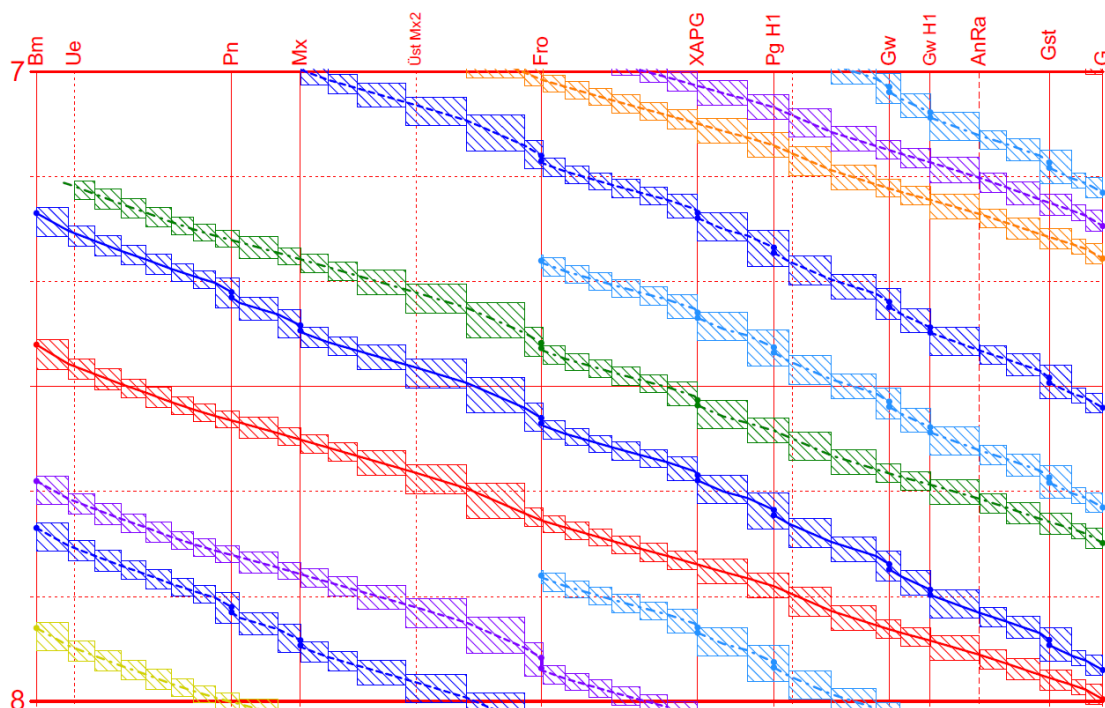


Abbildung 4-4: Sperrzeitentrepfen des Szenario 0 in der Hauptverkehrszeit

4.2.3 Zeitzuschläge

Zeitzuschläge erlauben die Berücksichtigung nicht absehbarer, stochastischer Störeinflüsse. Sie stellen das wichtigste Mittel zur Herstellung von Betriebsstabilität dar, reduzieren jedoch gleichzeitig die Kapazität der Strecke.

Fahrzeitreserve:

Die Fahrzeitreserve ist ein prozentueller Zuschlag auf die technische Nettofahrzeit des Zuges. Sie äußert sich bei der Trassenkonstruktion in langsameren Fahrplangeschwindigkeiten und damit einem vermehrten Kapazitätsbedarf, schafft aber gleichzeitig Raum für Einflüsse menschlicher Natur¹⁰, Witterungsverhältnisse sowie Schwankungen der Fahrzeugleistung.

Da rein physikalisch nur die Differenz zwischen der technischen Nettofahrzeit und der Bruttofahrzeit abgebaut werden kann, stellt die Fahrzeitreserve einen der wichtigsten Zuschläge für die zeitliche und räumliche Begrenzung von Verspätungen dar. Sie wird daher für alle Personenverkehrszüge mit einem Minimum von 10% angegeben und bei entsprechenden Vorteilen erhöht.

Haltezeitreserve:

Die Haltezeitreserve erfolgt als prozentueller bzw. absoluter Zuschlag auf die Aufenthaltsdauern in Bahnhöfen und Haltestellen. Diese Reserven sollen pünktliche Abfahrten sicherstellen bzw. zum Abbau kleinerer Fahrplanabweichungen verwendet werden.

In der Modellierung wurden keine Haltezeitzuschläge berücksichtigt. Stattdessen soll die großzügig gewählte Fahrzeitreserve die zeitlichen Schwankungen in den Betriebsstellen mit aufnehmen.

Zugfolgepufferzeiten:

Im Gegensatz zur Fahrzeitreserve, welche auf die Fahrzeiten beaufschlagt wird, sind Pufferzeiten zwischen den Zugfahrten angeordnete Zeitreserven. Sie stellen den nicht belegten Zeitabschnitt zwischen zwei Sperrzeiten dar.

Da sich diese Sperrzeiten aufgrund des Zugsicherungssystems nicht überlappen können, würde ein vom Fahrplan abweichender Zug seine Verspätung direkt an den nachfolgenden

¹⁰ Einfluss des Triebfahrzeugführers auf Beschleunigungs- und Bremsprozesse, Zu- und Abgangszeiten der Fahrgäste

Zug weitergeben, sofern die Zugfahrten in zeitlich dichter Abfolge geschehen. Die Integration von Pufferzeiten in den Fahrplan verhindert bzw. vermindert diesen Effekt und ist damit von hoher Bedeutung für die Betriebsstabilität.

Auch das Anordnen von Pufferzeiten vermindert die Kapazität der Strecke, aufgrund ihrer Natur können sie jedoch nicht für den Abbau, sondern nur für die Vermeidung von Verspätungen genutzt werden. Im Projektgebiet wird versucht, auf der freien Strecke Pufferzeiten >1 min einzuhalten. In den Bereichen der Endbahnhöfe müssen die Pufferzeiten stellenweise reduziert werden, um schlanke Taktknoten sowie geringe Zugfolgezeiten realisieren zu können.

Gesamtzeitzuschlag:

Da keine Haltezeitreserven in Höhe der Fahrzeitreserven berücksichtigt wurden, entspricht der Gesamtzeitzuschlag nicht der Fahrzeitreserve. In der nachstehenden

Tabelle 4-2 werden die Zeitzuschläge der einzelnen Zuggattungen mit der folgenden Formel ermittelt:

$$r_{ges} = \frac{\sum(Fzt_{net} * (1 + r_{Fzt})) + \sum Hltzt}{\sum Fzt_{net} + \sum Hltzt} - 1$$

Tabelle 4-2: Zeitzuschläge der unterschiedlichen Zuggattungen

Zuggattung	Fahrzeit _{net} [min]	r _{Fzt}	Haltezeit [min]	r _{ges}
Railjet	30,9	10%	0	10,0%
Railjet Express	30,9	10%	0	10,0%
Interregio	31,1	10%	1	9,7%
S-Bahn	36,0	10%	4	9,0%
S-Bahn Verstärker	19,2	10%	2,5	8,8%

In einer Ausgabe des neuen verkehrswissenschaftlichen Journals [36] wurde der Einfluss von Zeitzuschlägen und Pufferzeiten auf die Betriebsstabilität untersucht. Demnach kann auf der dort simulierten Strecke bei einem Zeitzuschlag von 10% bereits die Hälfte der Urverspätung abgebaut werden. Ebenso erkennbar ist, dass die Pufferzeiten keinen Einfluss auf den Verspätungskoeffizienten – also das Verhältnis Ausgangs- zu Eingangsverspätung – haben. Dabei zu ignorieren sind die Pufferzeiten im negativen Bereich, welche de facto nicht existieren.

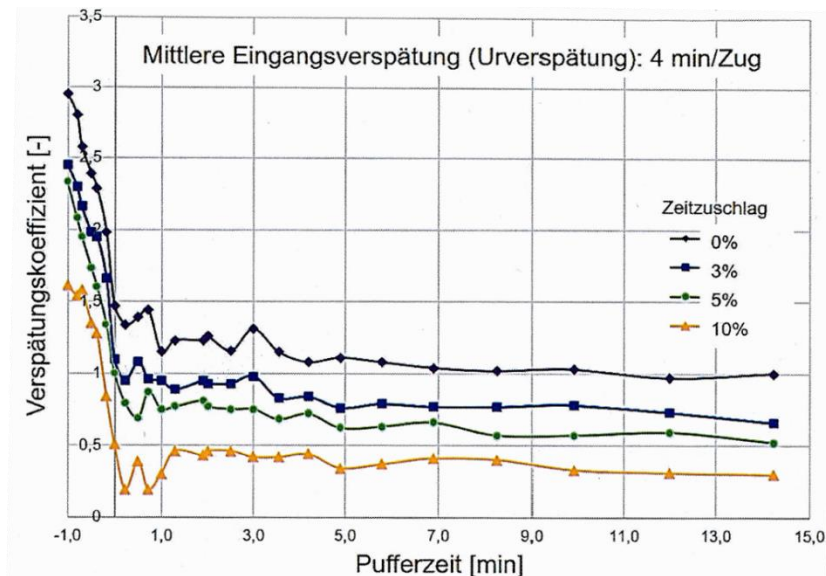


Abbildung 4-5: Zusammenwirken von Pufferzeiten und Zeitzuschlägen [36]

4.2.4 Betriebszeiten

Grundsätzlich wird der Personenverkehr im Zeitfenster zwischen 5 – 24 Uhr abgewickelt. Da die Verkehrsnachfrage jedoch von soziodemographischen Faktoren abhängt (Beschäftigung, Alter, Einkommen, etc.), teilt sich diese nicht gleichmäßig auf den Tag auf. Stattdessen bilden ähnliche, sich kumulierende Verhaltensmuster Zeiten stärkerer sowie schwächerer Nachfrage. Um die Anlagen der Eisenbahn – allen voran die Fahrzeuge – effektiv einsetzen zu können, müssen die Tage also auf Haupt- bzw. Spitzenverkehrszeiten, Nebenverkehrszeiten und Randverkehrszeiten aufgeteilt werden. Die Einteilung dieser Zeiten orientiert sich an der regionalen Ganglinie der SBB im Agglomerationsverkehr, siehe Abbildung 4-6 [37].

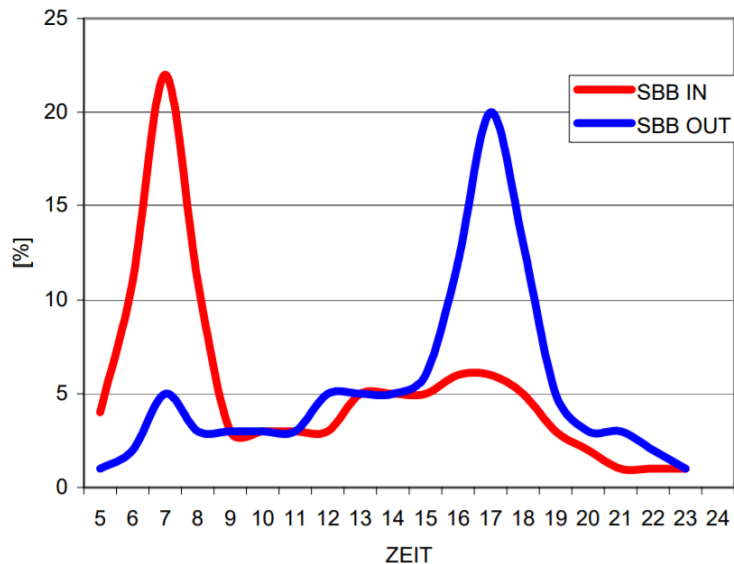


Abbildung 4-6: richtungsfeine Tagesganglinie im Agglomerationsverkehr

Basierend auf der Ganglinie werden folgende Verkehrszeiten für das Projektgebiet definiert:

- I Hauptverkehrszeit: 06:00 – 09:00, 12:00 – 19:00
- I Nebenverkehrszeit: 09:00 – 12:00, 19:00 – 22:00
- I Randverkehrszeit: 05:00 – 06:00, 22:00 – 24:00

Die Verstärkerzüge der S-Bahn kommen dabei in der Hauptverkehrszeit zum Einsatz und entfallen der Wirtschaftlichkeit halber in der Neben- und Randverkehrszeit. Güterverkehre können auch in den Nachtzeiten zwischen 24 – 5 Uhr verkehren. Nachtzüge bleiben in den Betriebskonzepten aufgrund insignifikanter Effekte unberücksichtigt, die Fertigstellung der Koralmbahn wird aber höchstwahrscheinlich eine Verlagerung der Nachtzuglinien Wien – Milano/Livorno/Roma mit sich ziehen [38].

4.2.5 Belegungsgrad und Komfortkriterien

Wie in Kapitel 4.2.4 erläutert, teilen sich Fahrgastströme nicht gleichmäßig über den Tag auf, sondern häufen sich in den Morgen- und Abendspitzen. Um eine effiziente Nutzung des Fuhrparkes zu gewährleisten, muss die Anzahl der Züge pro Stunde also auf das jeweilige zu erwartende Fahrgastaufkommen abgestimmt werden. Dabei sind nicht nur die Kapazitäten der Fahrzeuge, sondern auch Komfortkriterien zu beachten, da der Fahrkomfort neben der Fahrzeit ebenfalls ein wichtiges Kriterium für ein attraktives Verkehrsangebot darstellt.

Für die Beweisführung des Komfortkriteriums wird der S-Bahn-Verkehr zwischen Graz und Bruck an der Mur untersucht. Als Eingangsgröße für die Verkehrsnachfrage dient eine Mo-

dellrechnung des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, welche im Rahmen der Metrostudie für Graz erfolgte. Zuzufolge dieser ist im untersuchten Korridor für den Zielhorizont 2030 ein Verkehrsaufkommen von 75.400 Personenfahrten pro Tag zu erwarten, wobei 16,7% dieser Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln erfolgen. Der Viertel-Stunden-Takt der S-Bahn ist dabei schon im Verkehrsmodell berücksichtigt [39][40].

Um die Nachfrage für 2040 grob abzuschätzen, wird das Verkehrsaufkommen zufolge der Studie mit dem Bevölkerungswachstum des untersuchten Korridors der Jahre 2002 – 2021 extrapoliert. Hergenommen wurden hierzu die steirischen Bezirke Bruck-Mürzzuschlag und Graz-Umgebung, das Verkehrsaufkommen beläuft sich somit auf 78.100 Personenfahrten pro Tag [41]. Der ÖV-Anteil wird weiterhin konstant mit 16,7% angenommen.

In weiterer Folge wurde die Hauptverkehrszeit weiter in eine Spitzenstunde sowie die restliche Hauptverkehrszeit unterteilt. Anschließend wurden die Verkehrszeiten mit einem Stundenfaktor zufolge Abbildung 4-6 versehen, welcher den Anteil des Gesamtverkehrsaufkommens pro Tag widerspiegelt. Eine Multiplikation des Stundenfaktors mit dem halben Verkehrsaufkommen resultiert in der Fahrgastanzahl pro Stunde und Richtung. Diese wird für den Belegungsgrad anschließend durch die aufsummierte Sitzplatzanzahl der Fahrzeuge einer Stunde dividiert und mit den Komfortkriterien¹¹ verglichen [37].

Tabelle 4-3: Untersuchung der Belegungsgrade

Verkehrszeit	Stundenfaktor	Anzahl S-Bahn	Doppeltraktion	Kapazität	Nachfrage	Belegungsgrad	Komfortkriterium
Spitzenstunde	22%	4	nein	976	1435	147%	115%
Hauptverkehrszeit	17%	4	nein	976	1109	114%	90%
Nebenverkehrszeit	5%	2	nein	488	327	67%	66%
Randverkehrszeit	1%	2	nein	488	66	14%	33%

Wie in Tabelle 4-3 ersichtlich, ist das Komfortkriterium nur in der Randverkehrszeit erfüllt. Die S-Bahn Trassen sind in diesem Szenario jedoch nur in Einzeltraktion ausgeführt. Bei einer Einführung der Doppeltraktion des S-Bahn Grundtaktes zwischen Graz und Bruck an der Mur ergeben sich die Belegungsgrade zufolge Tabelle 4-4.

Tabelle 4-4: Belegungsgrade unter Berücksichtigung von Doppeltraktion

Verkehrszeit	Stundenfaktor	Anzahl S-Bahn	Doppeltraktion	Kapazität	Nachfrage	Belegungsgrad	Komfortkriterium
Spitzenstunde	22%	4	Grundtakt	1464	1435	98%	115%
Hauptverkehrszeit	17%	4	Grundtakt	1464	1109	76%	90%
Nebenverkehrszeit	5%	2	nein	488	327	67%	66%
Randverkehrszeit	1%	2	nein	488	66	14%	33%

Mittels Doppeltraktion können die Komfortkriterien in der Hauptverkehrszeit eingehalten werden. Das Kriterium in der Nebenverkehrszeit kann ebenso als erfüllt angesehen werden, da dieses ohnehin strenger gewählt wurde als in der Literatur angegeben und sich eher an

¹¹ Ausgedrückt als Prozentsatz der belegten Sitzplätze; Werte >95% beschreiben die Nutzung von Stehplätzen in Höhe des Überschusses

Betrieb

Werten für innerstädtische Verkehrsmittel orientiert [37]. In den Randzeiten wäre eine stündliche Zugverbindung allenfalls ausreichend, um das Fahrgastaufkommen zu bewältigen, allerdings kann eine Verringerung der Taktdichte negative Effekte auf die Nachfrage zur Folge haben.

Abschließend stellt sich die Frage, wie viele Fahrgäste auf den ÖV umsteigen können, ohne weitere Verdichtungen des S-Bahn-Angebotes zu benötigen. Durch Rückrechnung ergibt sich ein möglicher ÖV-Anteil von 26,1% entlang des untersuchten Korridors, die Fahrzeuge könnten also einen weiteren Fahrgastzuwachs von rund 56% aufnehmen.

Tabelle 4-5: maximaler Belegungsgrad ohne Verdichtung des S-Bahn Angebotes

Verkehrszeit	Stundenfaktor	Anzahl S-Bahn	Doppeltraktion	Kapazität	Nachfrage	Belegungsgrad	Komfortkriterium
Spitzenstunde	22%	4	ja	1952	2243	115%	115%
Hauptverkehrszeit	17%	4	ja	1952	1733	89%	90%
Nebenverkehrszeit	5%	2	ja	976	510	52%	66%
Randverkehrszeit	1%	2	nein	488	102	21%	33%

4.2.6 Betriebsprozesse

In diesem Kapitel wird auf weitere, für die Abwicklung des Betriebes essenzielle Prozesse eingegangen.

Aufenthaltszeiten:

Aufenthaltszeiten ergeben sich aus der Aufnahme von Fahrgästen sowie der Sicherstellung pünktlicher Abfahrten. Je nach Rangklasse der entsprechenden Betriebsstelle sind dabei laut den Schienennetz-Nutzungsbedingungen der ÖBB verschiedene Mindestaufenthaltszeiten anzusetzen. Diese reichen im Projektgebiet von 0,5 min in Unterwegsbahnhöfen und Haltestellen bis zu 2 min in Groß- und Knotenbahnhöfen [42].

Wendezeiten:

Mindestwendezeiten bestimmen die Umlaufdauer eines Zuglaufes maßgeblich mit. Triebfahrzeugführer müssen bei Erreichen der Endstation ihren Arbeitsplatz räumen, an das gegenüberliegende Zugende gehen und dort wiederum ihren Arbeitsplatz einrichten.

Aufgrund dieses Sachverhaltes ist die Zuglänge ein entscheidender Faktor in der Bestimmung der Mindestwendezeiten. Die auf der Kante Graz-Bruck wendenden Züge besitzen Längen zwischen 39 – 88 m, dies entspricht Manipulationszeiten von 5 - 6 min. Die kurzen Fahrzeuge der Übelbacherbahn würden laut SNNB zwar ebenso in diese Kategorie fallen, wickeln diesen Betriebsprozess aber derzeit bereits innerhalb von 4 min ab [43].

Fliegende Kreuzungen:

Fliegende Kreuzungen beschreiben das aneinander Vorbeifahren zweier Züge auf einem zweigleisigen Abschnitt einer sonst eingleisigen Strecke¹². Der Infrastrukturbedarf dafür setzt sich vereinfacht aus dem Abstand Vorsignal zu Hauptsignal (ca. 1000 m) sowie einer Kreuzungspufferzeit zusammen. Diese Pufferzeit wird in der Regel zwischen 1 – 3 min gewählt.

Die Trassenstudie erfolgte für einen zweigleisigen Ausbau, womit keine fliegenden Kreuzungen, sondern nur Zugbegegnungen existieren. Ein stellenweiser, eingleisiger Ausbau würde zu einem Zeitverluste aufgrund der herabgesetzten Geschwindigkeit in den Weichenbereichen bedeuten, zum anderen wird der Infrastrukturbedarf für solche Kreuzungen häufig unterschätzt. Mit der oben genannten, vereinfachten Berechnungsformel ergibt sich für eine Geschwindigkeit von 160 km/h eine für die Kreuzung benötigte Gleislänge von 3,67 – 9,00 km [8].

Zugmanipulation:

Unter diesem Begriff wird eine Vielzahl an Prozessen zur Behandlung von Zuggarnituren zusammengefasst. Neben den standardmäßig anfallenden Zeiten wie der Ablöse des Triebfahrzeugführers sind im Projektgebiet vor allem die Zeiten zur Triebwagenbeigabe bzw. -trennung von Interesse (respektive 4 min bzw. 3 min) [42].

Diese Überlegungen entstammen der S-Bahn-Linie 11, welche zwischen Graz und Übelbach verkehrt. Züge des Regionalverkehrs können vom Bahnhof Graz in Doppeltraktion nach Peggau-Deutschfeistritz verkehren, wo diese anschließend geflügelt (getrennt) werden und die einzelnen Garnituren fortan unterschiedliche Zugläufe besitzen.

Da nicht jede S-Bahn-Garnitur in Peggau-Deutschfeistritz geteilt wird, ergeben sich inhomogene Reisezeiten innerhalb der Zugklasse. Dieser Sachverhalt kann entweder durch eine Verschiebung der Abfahrtszeit um den Betrag der zusätzlichen Zugmanipulationszeit kompensiert werden oder aber durch ein Verlängern der Reisezeit aller S-Bahn-Garnituren zur Erhaltung eines leicht verständlichen Fahrplanes. Letztendlich wurde sich aufgrund dieser Nachteile und aufgrund des allfälligen Bedarfes an Doppeltraktion für den Grundtakt (siehe Kapitel 4.2.5) dafür entschieden, die S-Bahn-Linie 11 als separate Zugtrasse zu planen, welche zwischen den Trassen der Verstärkerzüge Platz finden kann. Dabei kann die S11 entweder als Expresszug mit wenigen Halten oder als herkömmliche S-Bahn-Verbindung geplant werden (siehe dazu Kapitel 4.6).

¹² Auf zweigleisigen Strecken spricht man von Begegnungen

Ausrollprozesse:

Wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt, berechnet FBS die Fahrzeit mit der straffesten möglichen Fahrweise. Dies resultiert unweigerlich in einem Maximum für den Energiebedarf, welchen es aus kosten- sowie umwelttechnischen Gründen zu reduzieren gilt.

Einen Faktor zur Reduzierung des Energiebedarfes stellt dabei die Fahrzeitreserve dar, welche sich effektiv in einer reduzierten Geschwindigkeit äußert. Zum anderen können bei genügend Reserve zwischen zu erreichender Kantenzzeit und Bruttofahrzeit auch Ausrollprozesse in den Betrieb eingeplant werden. Bei diesen reduzieren Zuggarnituren ihre Geschwindigkeit nicht durch aktives Bremsen, sondern durch Ausnützen der Widerstände von Fahrweg und Fahrzeug.

Das Ausrollen der Fahrzeuge hat dabei massives Potential zur Energieeinsparung, jedoch auch zur Erhöhung der Bruttofahrzeit. Bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h führt ein so früh wie möglich beginnender Ausrollprozess zu einer Fahrzeiterhöhung von ca. 1 min, dem steht eine Reduktion des Energieverbrauches von etwa 100 kWh gegenüber¹³ [44].

¹³ Gemessen an einer Railjet-Garnitur zwischen Wien Meidling und Wiener Neustadt

4.3 Szenario 0: Zielnetz 2040 auf der Bestandsinfrastruktur

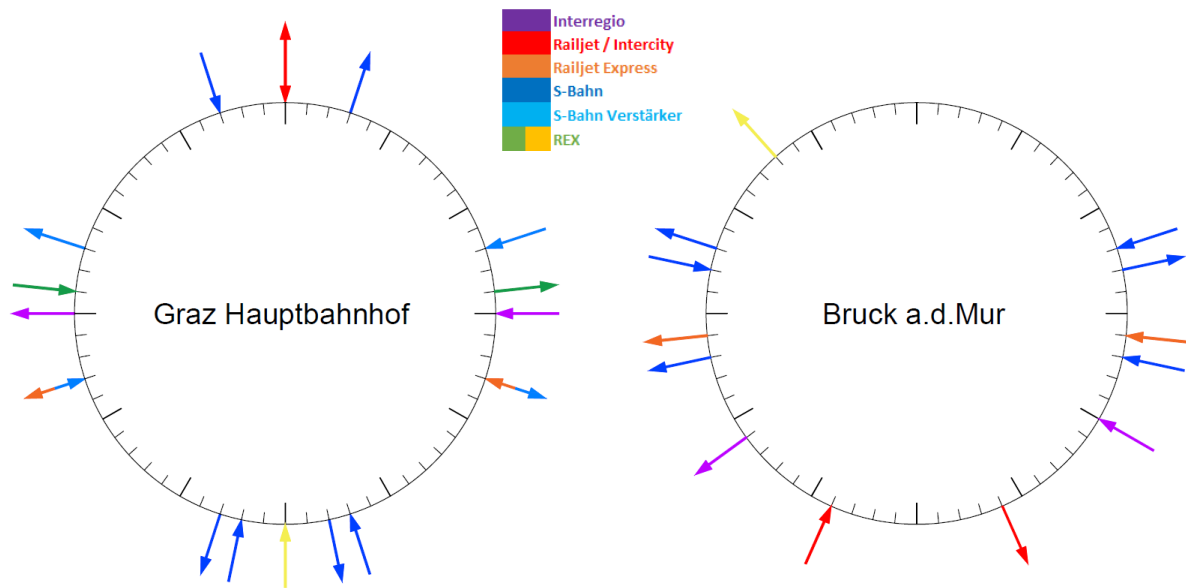


Abbildung 4-7: Bahnhofsuhren Szenario 0

Das Szenario 0 stellt den Basisfall für das Jahr 2040 dar, in welchem abgesehen von einer Blockverdichtung zufolge Kapitel 4.1.3 keine Ausbauten auf der Bestandsinfrastruktur erfolgen.

Aufgrund der nicht realisierten Kantenzzeit müssen die Railjets bzw. Intercitys in Graz zur Minute .00 gleichzeitig Ankommen bzw. Abfahren, in Bruck an der Mur können die Züge nicht gemeinsam im Bahnhof verweilen und begegnen sich erst auf der untersuchten Kante. Die Lage des Railjet Expresses bedingt einen unregelmäßigen Takt der S-Bahn, welcher sich zweistündlich an die Lage der Fernverkehrsstrasse anpasst, um mit dieser keine Konflikte zu generieren (Graz gerade Stunde: .27/.28; ungerade Stunde: .32/.33). Die Verstärkerzüge ordnen sich mittig zwischen den Grundtakt der S-Bahn ein und überlagern sich mit diesen zu einem wahren Viertel-Stunden-Takt in der ungeraden Stunde, bzw. zu einem „unsauberen“ in der geraden Stunde.

Die Interregio-Verbindungen beginnen ihren Zuglauf in Graz zur Minute .15 und verkehren sich in einem Zwei-Stunden-Takt abwechselnd Richtung Selzthal bzw. Unzmarkt. Im Untersuchungsgebiet besitzen diese Fernverkehrszüge außerdem einen Halt in Frohnleiten. Die Verbindungen der Regionalexpress-Züge verkehren als Verstärkerzüge zum einen in der Morgenspitze, zum anderen in der Nachmittagspitze zwischen 15 – 19 Uhr.

In diesem Szenario werden keine zusätzlichen Direktzüge der Übelbacherbahn mitberücksichtigt. Das mit den Regionalexpress-Zügen sehr dichte Verkehrsangebot in der Morgen- und Abendspitze bietet ausreichend Umsteigemöglichkeiten, zusätzliche Direktverbindungen und versperren gleichzeitig ohnehin spärlich vorhandene Kapazität.

Betrieb

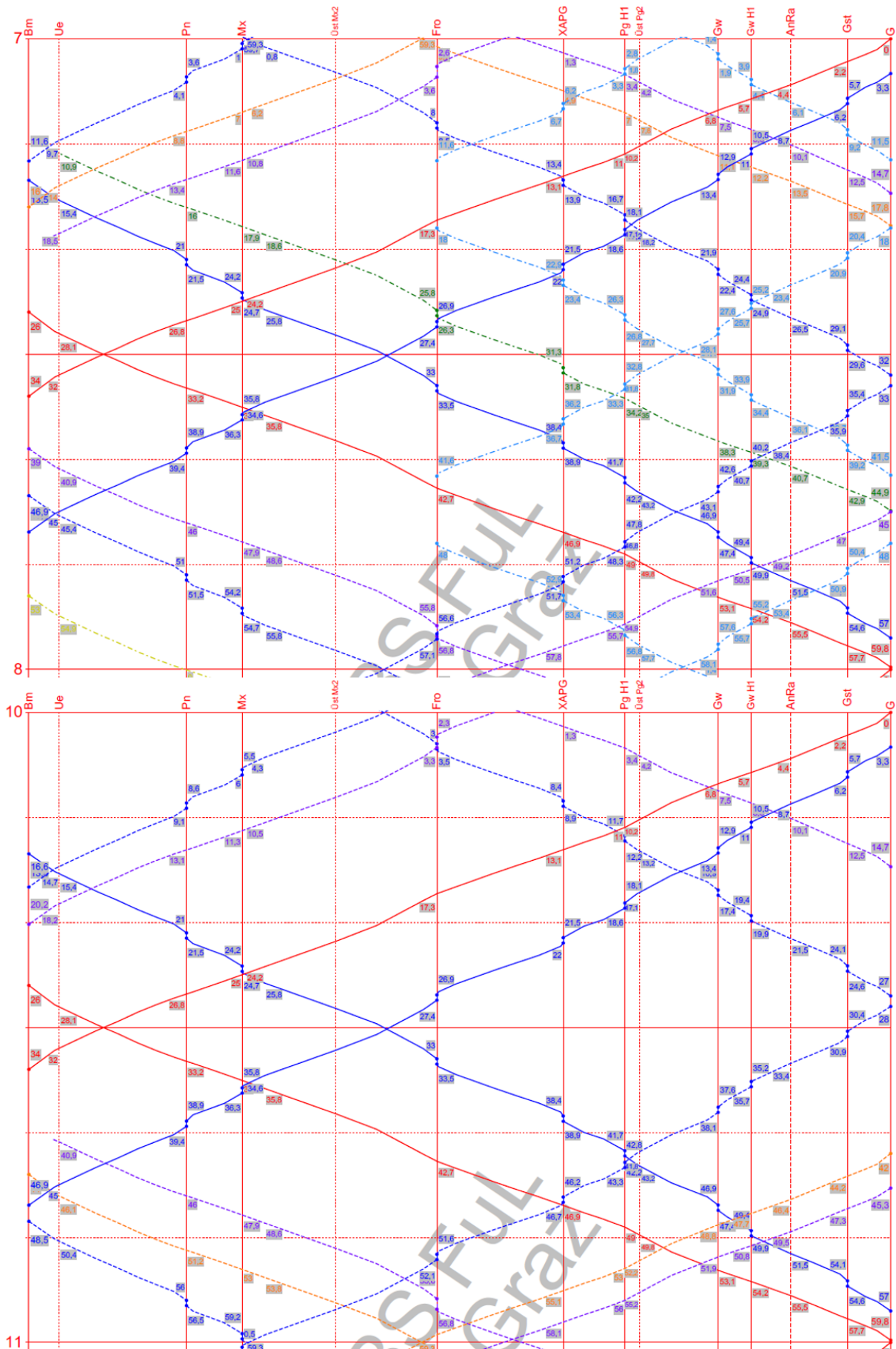


Abbildung 4-8: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 0

Wie in Abbildung 4-8 zu erkennen ist, verbrauchen die Geschwindigkeitsscheren zwischen Regional- und Fernverkehrszügen wertvolle Kapazität für Güterzugtrassen. Gleichzeitig wirken sich die eng beieinander liegenden Ankunftszeiten in Graz negativ auf die Betriebsstabilität aus, da die dort nur sehr geringen Pufferzeiten so gut wie keinen abschwächenden Effekt auf Verspätungen haben. Gerade in das System von außen eingebrachte Eingangverspätungen haben das Potential, mehrere Züge des Regional- und Fernverkehrs zu beeinflussen.

Trotz aller beschriebenen negativen Effekte für Kapazität und Betriebsstabilität aufgrund der dichten Belegung der Trasse ist dieses Verkehrskonzept betrieblich machbar, jedoch dezidiert nicht anzustreben.

4.3.1 Fahrzeitberechnung und Energieverbrauch

In Tabelle 4-6 sind die Nettofahrzeiten und der Energieverbrauch der maßgeblichen Zugklassen angeführt. Da das Gelände entlang der Strecke Richtung Bruck an der Mur stetig ansteigt, ist diese Richtung sowohl für Fahrzeit als auch für den Energieverbrauch maßgebend.

Tabelle 4-6: Fahrzeiten und Energieverbrauch der maßgeblichen Zugklassen, Szenario 0

Bestand		S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	35,9	19,1	31,0	30,7
	Energiebedarf [kWh]	281	178	197	457
Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	36,0	19,2	31,1	30,9
	Energiebedarf [kWh]	367	218	311	744

Mit einer Nettofahrzeit von 30,9 min ist der Railjet Richtung Bruck an der Mur um ca. 5,4 min zu langsam, um eine Kantenzzeit von 28 min (Nettofahrzeit 25,5 min bei 10% Fahrzeitereserve) zu realisieren. Dies ist somit die zu erreichende Fahrzeiteresparung zur Realisierung beider Taktknoten entlang des Projektgebietes. Zusätzlich ist in den sich trotz der unausgeglichenen Längsneigungswiderstände wenig unterscheidenden Fahrzeiten zu erkennen, dass die gewählten Fahrzeuge über genügend Leistungsfähigkeitsreserven zur Überwindung der Widerstände verfügen.

4.3.2 Umläufe des Regionalverkehrs

Da die S-Bahn-Trassen einen im Projektgebiet abgeschlossenen Zuglauf besitzen, können für diese belastbare Umlaufpläne – also die aufsummierten Zugläufe der eingesetzten Fahrzeuge – mit FBS dargestellt werden. Die Umläufe wurden sowohl für den S-Bahn-Grundtakt, die S-Bahn Verstärkerzüge als auch eine Kombination der beiden Verkehre bestimmt. Aus der Vereinigung der Umläufe ergeben sich nur geringfügige Synergieeffekte, da die Aufenthaltszeiten in den Endbahnhöfen größtenteils mit der benötigten Wendezeit von

4.4 Szenario 1: Zielnetz 2040 inklusive Neubaustrecke

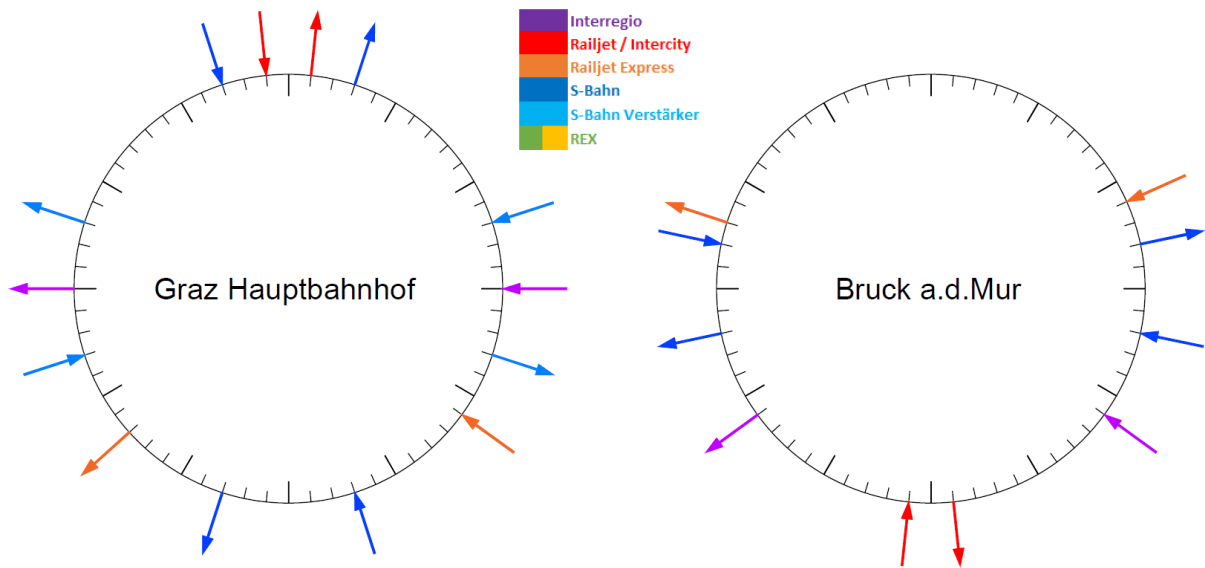


Abbildung 4-11: Bahnhofsuhren Szenario 1

Mithilfe der Neubaustrecke kann Graz Hauptbahnhof als sauberer Taktknoten zur vollen Stunde realisiert werden. Die Kantenzzeit von 28 min kann durch diese Neubaustrecke noch nicht realisiert werden, womit sich die Züge des Railjet bzw. IC unmittelbar südlich von Bruck an der Mur begegnen und nicht gemeinsam im Knoten verweilen.

Die Trasse des Railjet Express wurde in diesem Szenario verschoben, um Platz für einen sauberen Halb-Stunden-Takt bzw. Viertel-Stunden-Takt der S-Bahn zu generieren. Der RJX fährt gegenüber dem Szenario 0 6 min später in Bruck an der Mur ab und kommt 3 min später in Graz an. In Gegenrichtung fährt der Zug 3 min früher von Graz ab und kommt 5 min früher in Bruck an der Mur an. Ob die Verschiebung des RJX zulässig ist, muss auf dem makroskopischen Level untersucht werden. Die Fahrzeiten des Railjet zwischen Graz Hbf und Klagenfurt Hbf werden vom Infrastrukturbetreiber mit 45 min angegeben, die derzeitige Fahrzeit zwischen Klagenfurt Hbf und Villach Hbf beträgt 24 min [45][46]. Mit jeweils zwei Minuten Knotenaufenthaltszeit ergeben sich die Zeiten zufolge Tabelle 4-8.

Tabelle 4-8: Überprüfung der Lage des RJX

Planfall	Graz Hbf an	Graz Hbf ab	Klagenfurt Hbf an	Klagenfurt Hbf ab	Villach Hbf an
Szenario 0	.18	.20	.05	.07	.31
Szenario 1	.21	.23	.08	.10	.34
benötigt					.29

Demnach müssen sowohl im Szenario 0 als auch im Szenario 1 zusätzliche Fahrzeitgewinne im Streckennetz generiert werden, um den RJX in Villach wieder in den Integralen Taktfahrplan zu integrieren. Es ist zu erwähnen, dass im Zielnetz 2025+ eine Kantenzzeit von

20 min zwischen Klagenfurt und Villach angegeben wird. Mit der daraus resultierenden Bruttofahrzeit von 18 min wäre die Lage des RJX für beide Szenarien gesichert¹⁵.

Die Interregio Verbindungen besitzen dieselbe Lage wie im Szenario 0. Um diese zu halten und um keine Konflikte mit den S-Bahn-Zügen herzustellen, werden für den Interregio zwei zusätzliche Halte in Peggau-Deutschfeistritz sowie am Nahverkehrsknoten Gösting mit eingeplant. Gerade der Halt am NVK kann für den überregionalen Schülerverkehr eine massive Verbesserung des Verkehrsangebotes darstellen, aber auch der gesamte Grazer Stadtteil Gösting kann von der besser erreichbaren Fernverkehrsverbindung profitieren. Ein weiterer Effekt ist der gemeinsame Aufenthalt der Interregios mit der S-Bahn im Bahnhof Frohnleiten. Fahrgäste haben hier zwischen der Minute .56 und .04 sowohl Fern- als auch Nahverkehrsangebote in beide Richtungen.

Die Verstärkerzüge des Regionalexpress werden im Szenario 1 restlos ersetzt. Dies ergibt sich aus den Überlegungen der neuen Interregio-Zuggattung sowie der benötigten Fahrzeugkapazität zufolge Kapitel 4.1.4 und 4.2.5.

Wie sich in Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13 erkennen lässt, werden durch die Neubaubstrecke inklusive des dritten Gleises nach Graz Regional- und Fernverkehr entflechtet. Somit werden die Zugfolgezeiten voneinander entkoppelt, ohne eine Spreizung des Taktknotens zu verursachen oder eine gegenseitige Beeinflussung der Verkehre herbeizuführen. Gleichzeitig erhöht die Entkoppelung die Pufferzeiten zwischen den verbleibenden Zügen, womit ins Untersuchungsgebiet eingetragene Eingangsverspätungen schwerer an nachfolgende Züge weitergegeben werden kann. Geschwindigkeitsscheren auf der Bestandsinfrastruktur zwischen Peggau-Deutschfeistritz und Graz Hbf werden eliminiert, die dadurch freiwerdende Kapazität kann für zusätzlichen Regionalverkehr, Güterzugtrassen oder für kleinere Instandhaltungsmaßnahmen verwendet werden.

Mit der Errichtung einer Neubaustrecke kann somit dringend benötigte Kapazität zur Verfügung gestellt werden und ist damit zur Herstellung einer zukunftsfähigen Kante Graz – Bruck an der Mur ausdrücklich zu empfehlen.

¹⁵ Weiters wird angemerkt, dass die Fahrzeit des Railjets von 24 min einen Halt in Velden/Wörther See beinhaltet. Somit können bereits durch das Auslassen dieses Haltes etwa 3-4 min Fahrzeit eingespart werden.

Betrieb

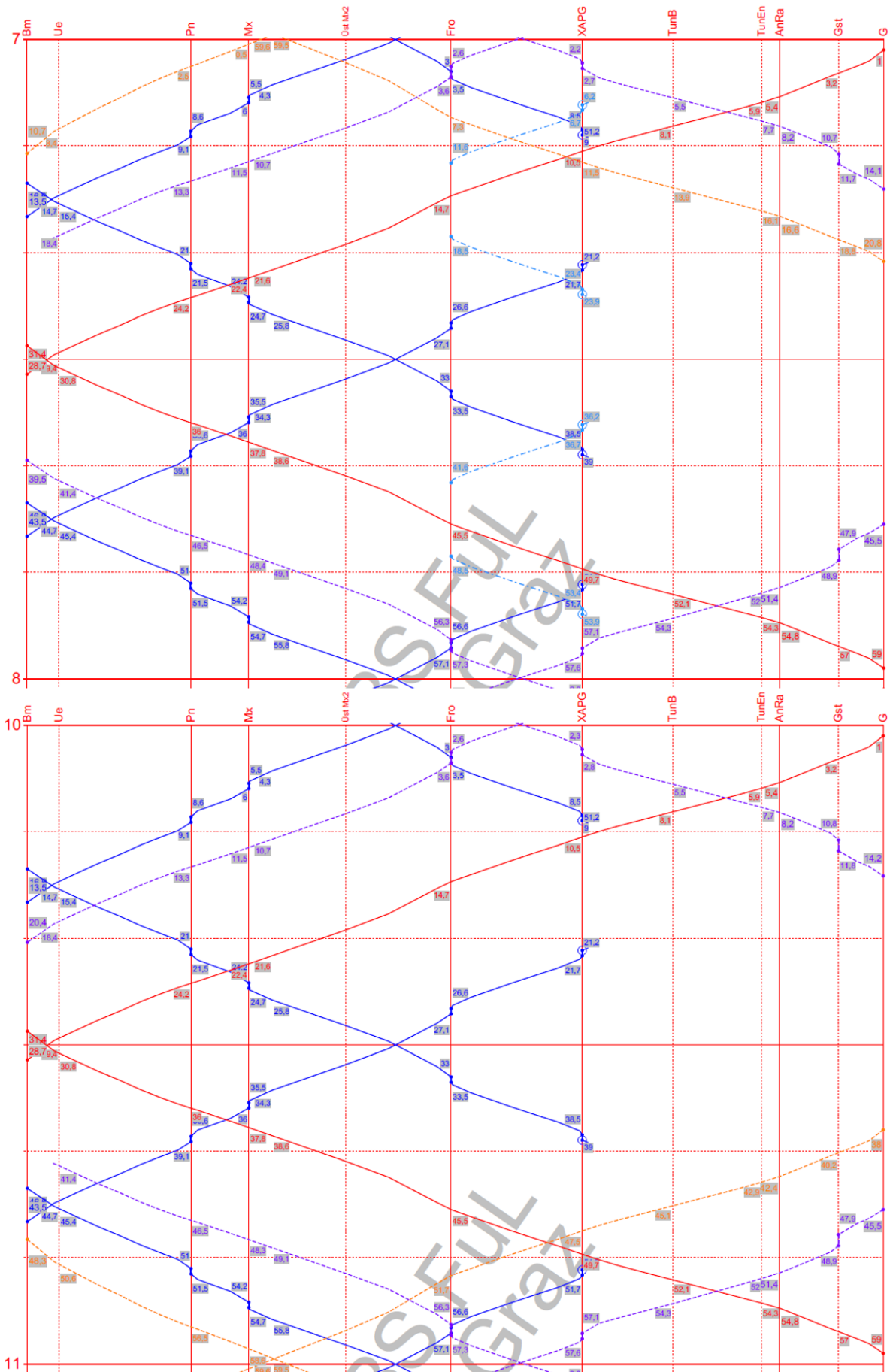


Abbildung 4-12: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 1; entlang der Neubaustrecke

Betrieb

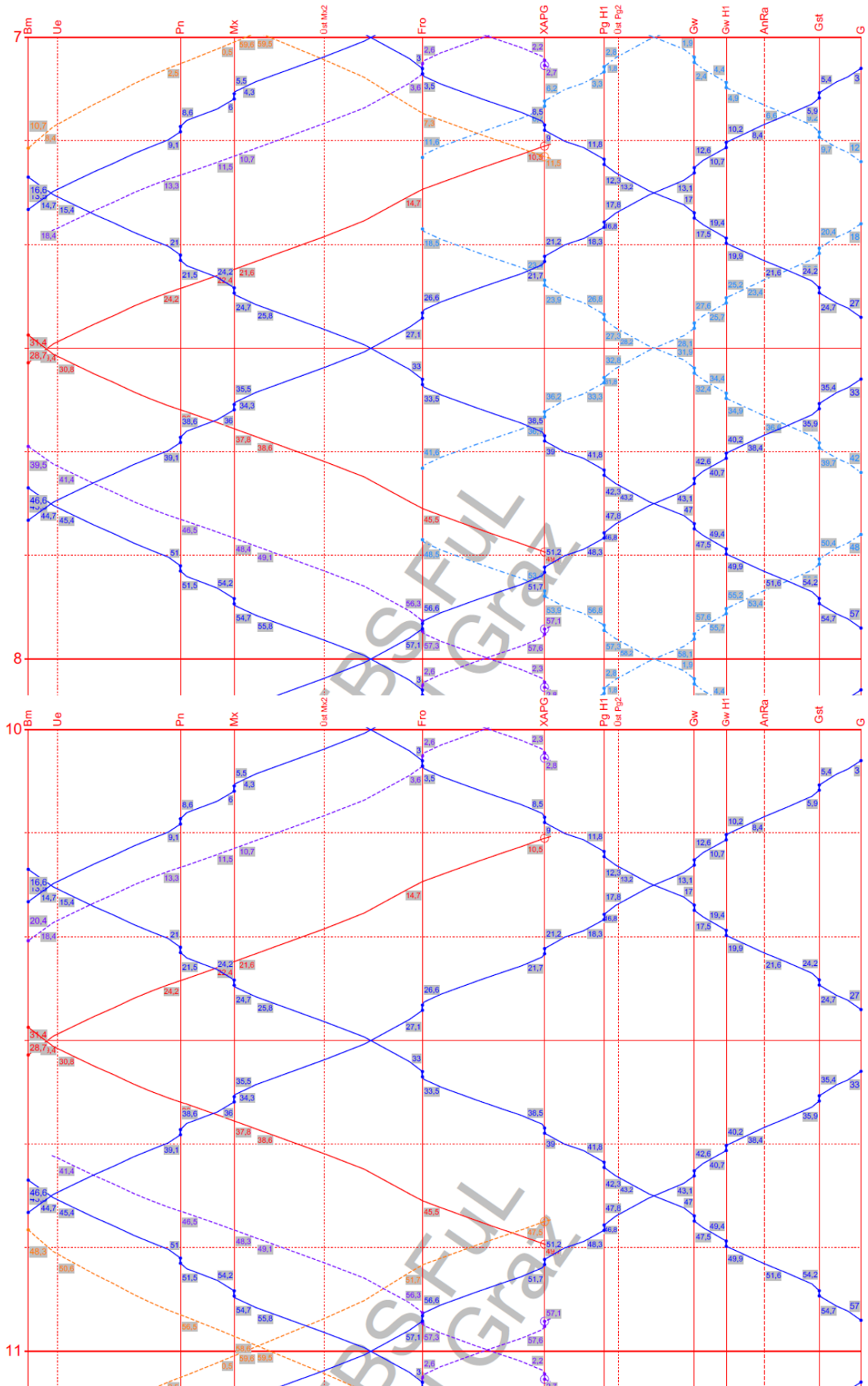


Abbildung 4-13: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 1; entlang des Bestandes

4.4.1 Fahrzeitenberechnung und Energieverbrauch

In Tabelle 4-9 und Tabelle 4-10 sind sowohl die absoluten Fahrzeiten und Energieverbräuche als auch die Differenzen zu Szenario 0 abgebildet. Die Neubaustrecke besitzt im hochrangigen Fernverkehr ein Einsparungspotential von 3,2 min mit einem ein Mehrbedarf an Energie von 16%, mit einer Bruttofahrzeit von 30,3 min genügt der alleinige Ausbau des Abschnittes Graz Hbf – Peggau-Deutschfeistritz jedoch nicht zur Realisierung der benötigten Kantenzzeit. Die Neubaustrecke der Variante „Tunnel Hausberg“ benötigt dabei aufgrund der größeren Gesamtlänge etwa 0,3 min länger in beide Richtungen und unterscheidet sich daher betrieblich nur minimal von der Variante „Tunnel Eggenberg“.

Das Einsparungspotential der Interregios ist aufgrund der zusätzlichen Halte geringer, die Fahrzeit lässt sich dennoch um bis zu 1,8 min verkürzen, wobei 1,5 min zusätzliche Haltezeiten abzuziehen sind. Aufgrund der zusätzlichen Halte erhöht sich der Energiebedarf überproportional um ca. 47%.

Da die Neubaustrecke nur für die Züge des Fernverkehrs vorgesehen ist, ergibt sich in diesem Szenario kein Mehrwert für die Züge des Regionalverkehrs.

Tabelle 4-9: absolute Fahrzeiten und Energieverbrauch, Szenario 1

Neubaustrecke		S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	35,9	19,1	29,2	27,5
	Energiebedarf [kWh]	281	178	290	530
Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	36,0	19,2	29,4	27,7
	Energiebedarf [kWh]	367	218	393	818

Tabelle 4-10: Differenz der Fahrzeiten und des Energieverbrauches Szenario 1 gegenüber Szenario 0

Neubaustrecke		S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	0	0	-1,8	-3,2
	Energiebedarf	100%	100%	147%	116%
Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	0	0	-1,7	-3,2
	Energiebedarf	100%	100%	126%	110%

4.4.2 Umläufe des Regionalverkehrs

Durch die Verlegung des RJX und den daraus resultierenden konstanten Abfahrtszeiten der S-Bahn ergeben sich positive Effekte für den Umlauf der Fahrzeuge. Insgesamt ist eine Triebwagen-Garnitur weniger vonnöten, als logische Konsequenz daraus erhöht sich die mittlere Laufleistung der Fahrzeuge um den Faktor 7:6. Die Umläufe des Grundtaktes und der Verstärkerzüge entflechten sich voneinander, was seitens des Betreibers zu einer einfacheren Verständlichkeit der Umlaufpläne führt. Da die Neubaustrecke keinen direkten

Betrieb

Effekt auf die Züge des Nahverkehrs hat, ist die Gesamtleistung aller Fahrzeuge mit dem Szenario 0 ident.

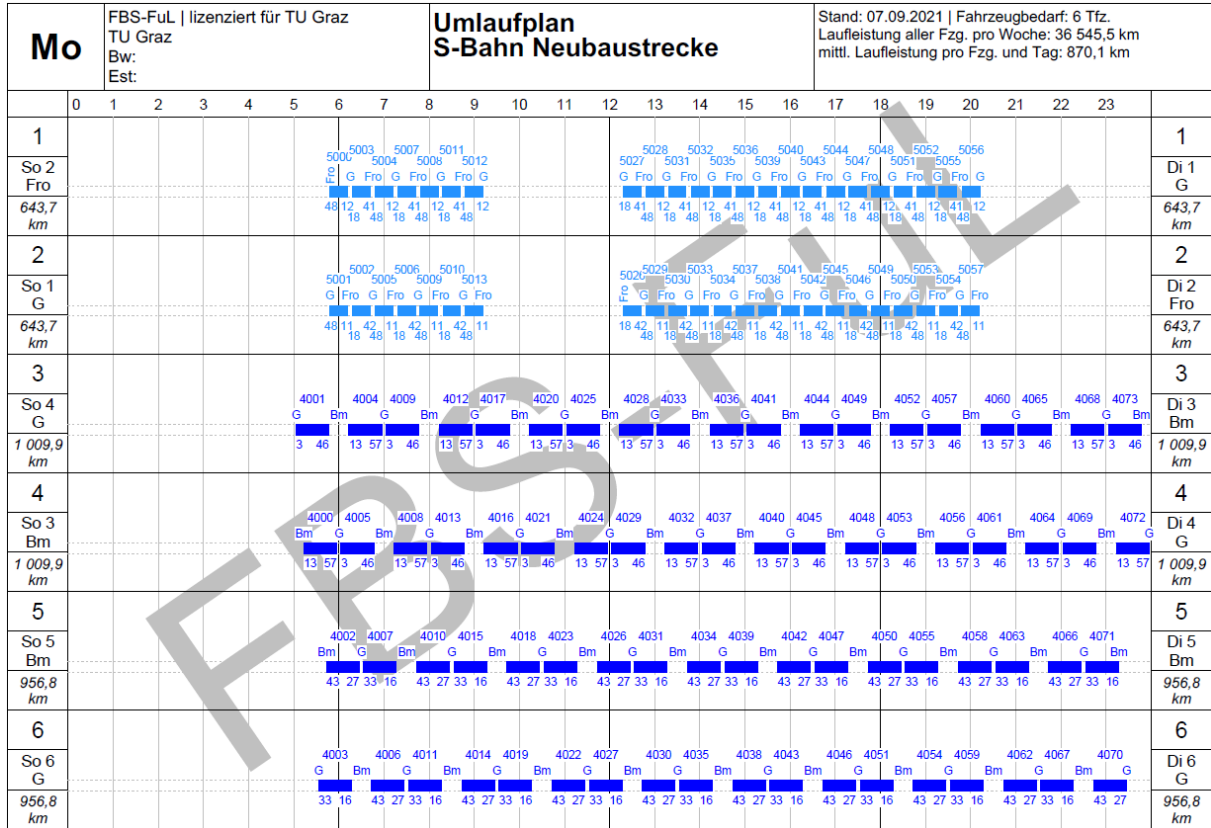


Abbildung 4-14: Umlaufplan des Regionalverkehrs Szenario 1

4.4.3 Güterverkehr

Die Entflechtung der Verkehre ermöglicht zusätzliche Güterzugtrassen, zum Beispiel zwischen den Trassen des Railjet und der S-Bahn. Unter Berücksichtigung derselben Randbedingungen können gegenüber dem Szenario 0 etwa 50 zusätzliche Güterzugtrassen entlang der Kante geschaffen werden. Zusätzlich verschiebt sich die Aufteilung der Güterzüge zugunsten des Tagesverkehrs, falls nicht alle dieser Systemtrassen benötigt werden, können diese auch in den Nachtstunden reduziert und die Lärmbelastung gesenkt werden.

Tabelle 4-11: Güterzugtrassen zufolge Szenario 1

Planfall	Richtung	HVZ	NVZ	RVZ	Nacht	Σ	Tag / Nacht
Neubaustrecke	Rtg. Graz	5	6	7	8	147	59 / 41
	Rtg. Bruck	5	6	8	8	150	57 / 43

4.5 Szenario 2: Zielnetz 2040 inklusive Neubaustrecke und Tunnel Gschwendtberg

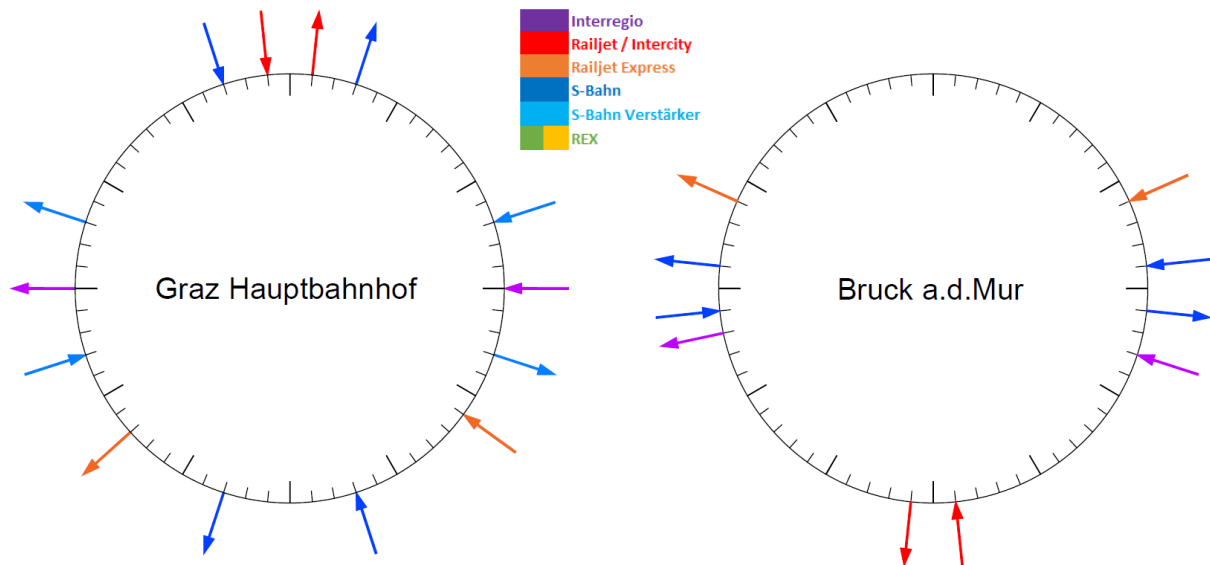


Abbildung 4-15: Bahnhofsuhren Szenario 2

Durch einen zusätzlichen Bau des Tunnels Gschwendtberg lassen sich sowohl Graz Hbf als auch Bruck an der Mur als vollwertige Taktknoten für den Fernverkehr realisieren. Dabei generiert der Tunnel gemeinsam mit der daran angrenzenden Linienverbesserung des Bestandes sogar über das Ziel hinaus Fahrzeitgewinne. Diese Reserven werden durch Erhöhung der Fahrzeitreserven entlang der Neubaustrecke auf 15% sowie zwischen der Neubaustrecke und Graz Hbf auf 20% auf die Zugfahrt umgelegt (RJ bzw. IC). Die Erhöhung der Zeitreserven auf der Neubaustrecke dient der Herabsetzung der gefahrenen Geschwindigkeit und somit einer Erhöhung des zum Abbau von Verspätungen nutzbaren Zeitpuffers. Die großzügigere Reserve bis zum Hauptbahnhof Graz soll der komplexen Verkehrssituation im Bahnhofsbereich sowie Ausrollprozessen Rechnung tragen.

Die Abfahrtszeit des RJX in Bruck an der Mur verschiebt sich gegenüber dem Szenario 1 um 1 min nach hinten, ansonsten verbleibt die Lage analog.

Der Interregio kommt aufgrund der verkürzten Fahrzeiten gegenüber dem Szenario 1 3 min früher in Bruck an der Mur an und fährt von dort 4 min später ab. Die Lage in Graz als Endbahnhof wird als Zwangspunkt gesehen und bleibt daher von dem zusätzlichen Ausbau unberührt. Auch der gemeinsame Aufenthalt des Interregio und der S-Bahn in Frohnleiten bleibt in diesem Szenario erhalten.

Das Szenario 2 erfüllt somit gegenüber dem Szenario 1 zusätzlich das Kriterium der Kantenzzeit im Fernverkehr. In Abbildung 4-16 ist zusätzlich die Lage eines Nahverkehrskonzeptes zu erkennen, für nähere Informationen siehe Kapitel 5.2.

Betrieb

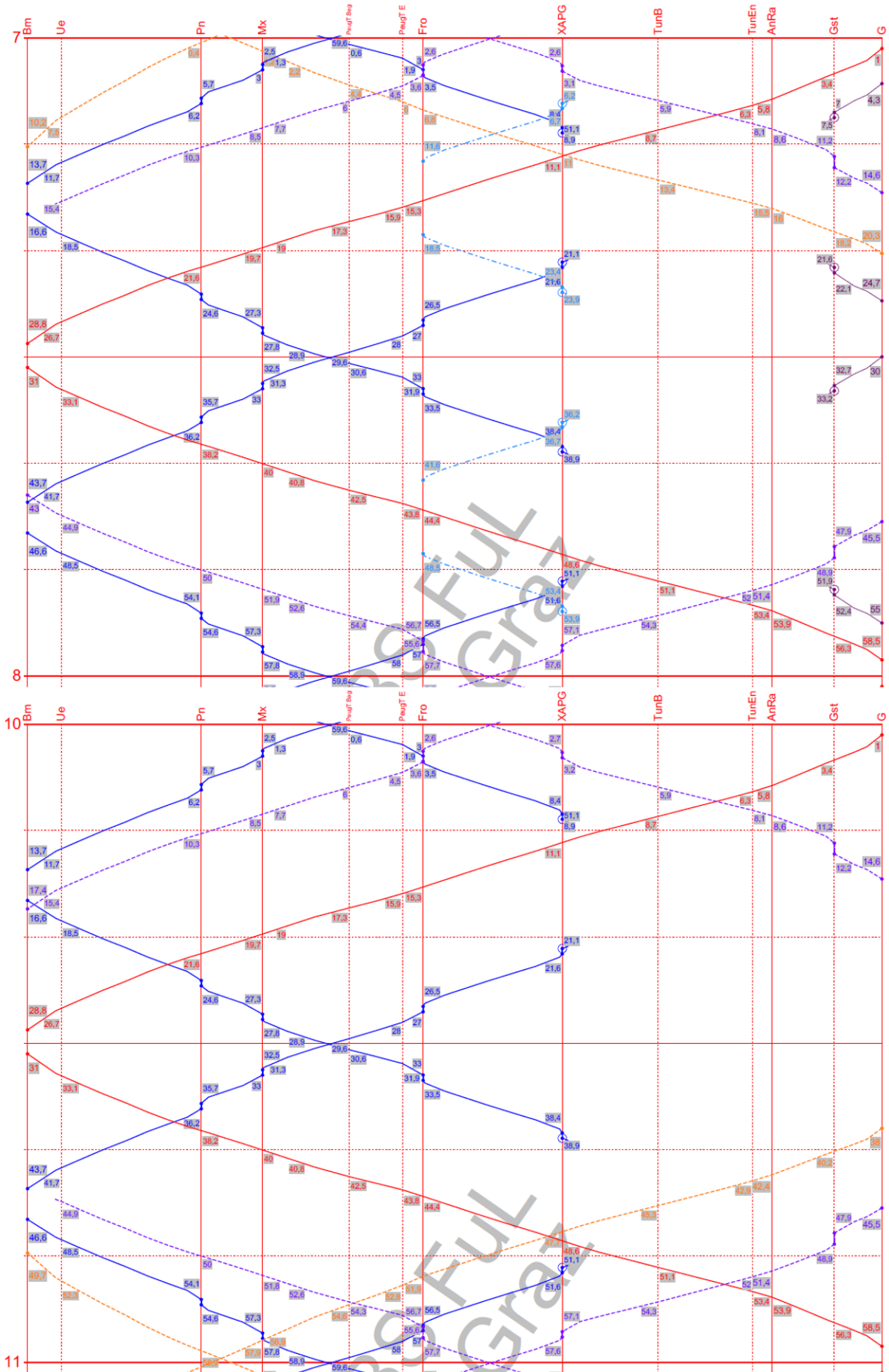


Abbildung 4-16: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 2; entlang der Neubaustrecke

Betrieb

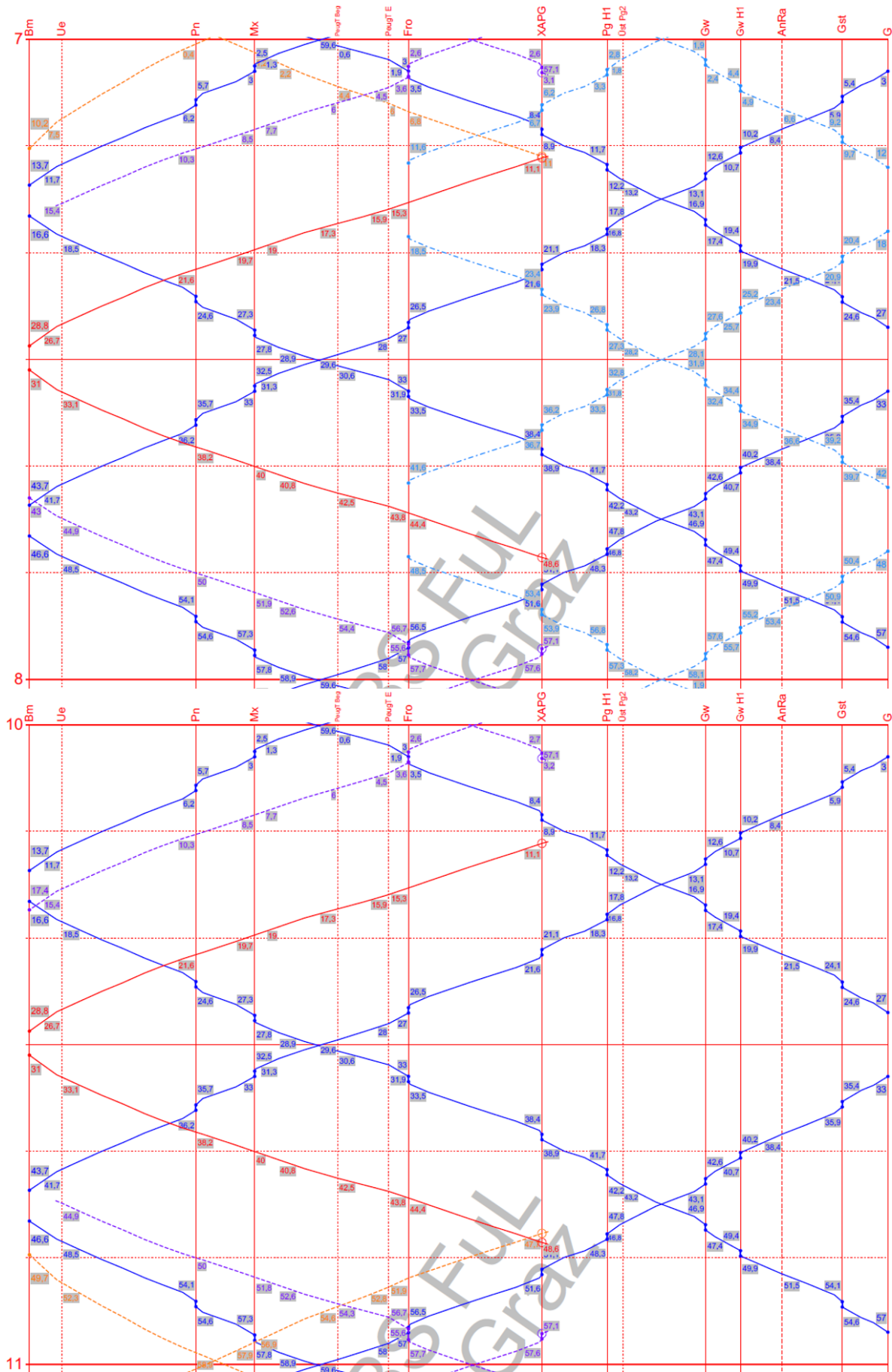


Abbildung 4-17: Haupt- und Nebenverkehrszeit Szenario 2; entlang des Bestandes

Betrieb

4.5.1 Fahrzeitenberechnung und Energieverbrauch

Als Maßnahme entlang des Bestandes generiert der Tunnel Gschwendtberg für alle in diesem Abschnitt verkehrenden Züge Fahrzeitgewinne zwischen 2,7 – 3,1 min. Mit einem Einsparungspotential von 6,2 bzw. 6,3 min wird die benötigte Kantenzzeit im Fernverkehr erreicht.

Tabelle 4-12: absolute Fahrzeiten und Energieverbrauch, Szenario 2

Neubaustrecke + Tunnel		S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	33,1	19,1	26,4	24,4
	Energiebedarf [kWh]	331	178	341	590
Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	33,3	19,2	26,7	24,7
	Energiebedarf [kWh]	399	218	428	863

Tabelle 4-13: Differenz der Fahrzeiten und des Energieverbrauches Szenario 2 gegenüber Szenario 0

Neubaustrecke + Tunnel		S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	-2,8	0	-4,6	-6,3
	Energiebedarf	118%	100%	173%	129%
Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	-2,7	0,0	-4,4	-6,2
	Energiebedarf	109%	100%	138%	116%

4.5.2 Umläufe des Regionalverkehrs

Die Auswirkungen des Tunnels Gschwendtberg auf den Umlauf der Fahrzeuge äußern sich nur marginal. Durch die Verringerung der Distanz reduziert sich die wöchentliche Laufleistung der Fahrzeuge um etwa 4,3%, der Umlauf selbst entspricht dem des Szenarios 1.

Betrieb

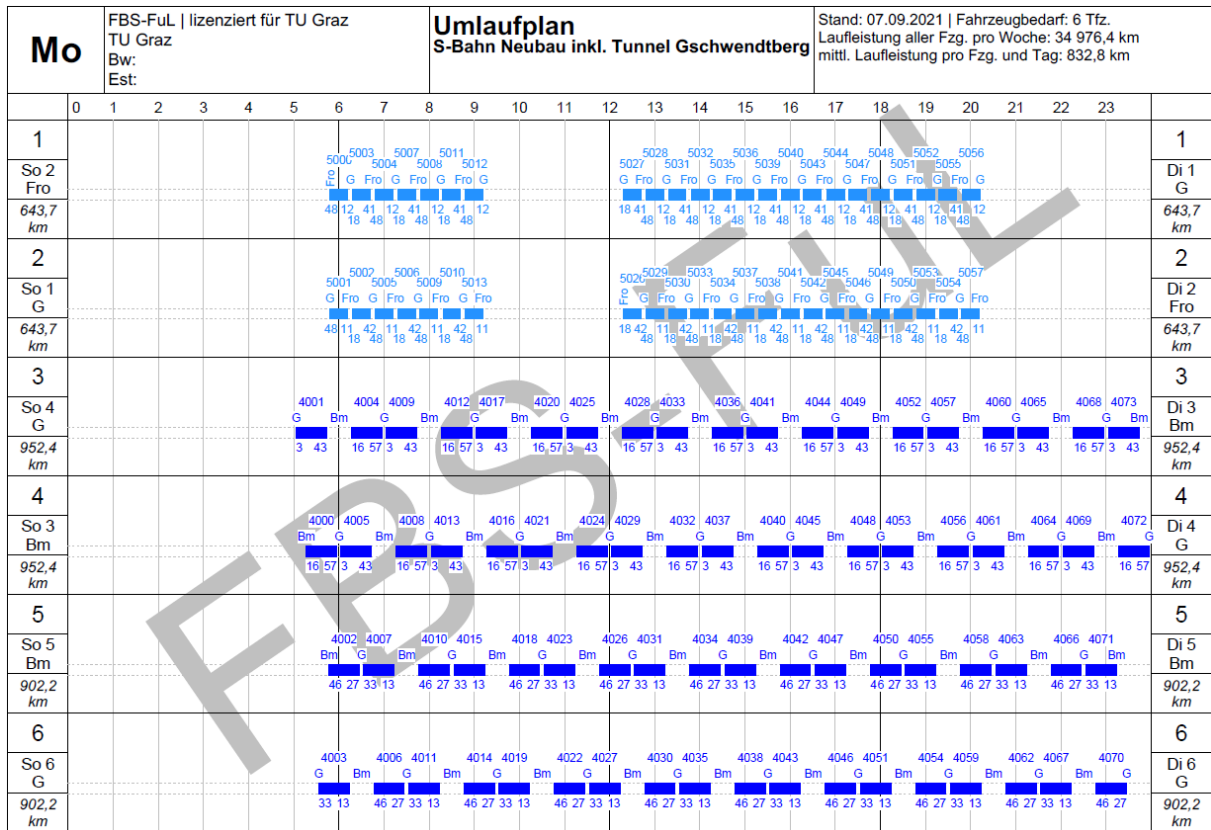


Abbildung 4-18: Umlaufplan des Regionalverkehrs Szenario 2

4.5.3 Güterverkehr

Im Vergleich zum Szenario 1 können durch die erhöhten Geschwindigkeiten und den damit verbundenen geringeren Kapazitätsverbrauch in der Hauptverkehrszeit eine halbe sowie in der Randverkehrszeit Richtung Graz ein ganze Güterzugtrasse pro Stunde zusätzlich eingepflegt werden. Es ergibt sich ein homogenes Tag/Nacht Verhältnis von 59/41, insgesamt finden im Fahrplangefüge somit 310 Systemtrassen Platz.

Tabelle 4-14: Güterzugtrassen zufolge Szenario 2

Planfall	Richtung	HVZ	NVZ	RVZ	Nacht	Σ	Tag / Nacht
Neubaustrecke + Tunnel	Rtg. Graz	5,5	6	8	8	155	59 / 41
	Rtg. Bruck	5,5	6	8	8	155	59 / 41

4.6 Integration der Übelbacherbahn

Die Übelbacherbahn bezeichnet die eingleisige, in Peggau-Deutschfeistritz einmündende Nebenstrecke der Südbahn. Die Anrainer sind aufgrund der räumlichen Nähe stark zur Stadt Graz orientiert, der enge Talboden entlang der Strecke bietet durch die Konzentration der Einwohner optimale Voraussetzungen für die Erschließung mit der Eisenbahn und soll daher in den Ausbauüberlegungen der Kante mitgedacht werden.

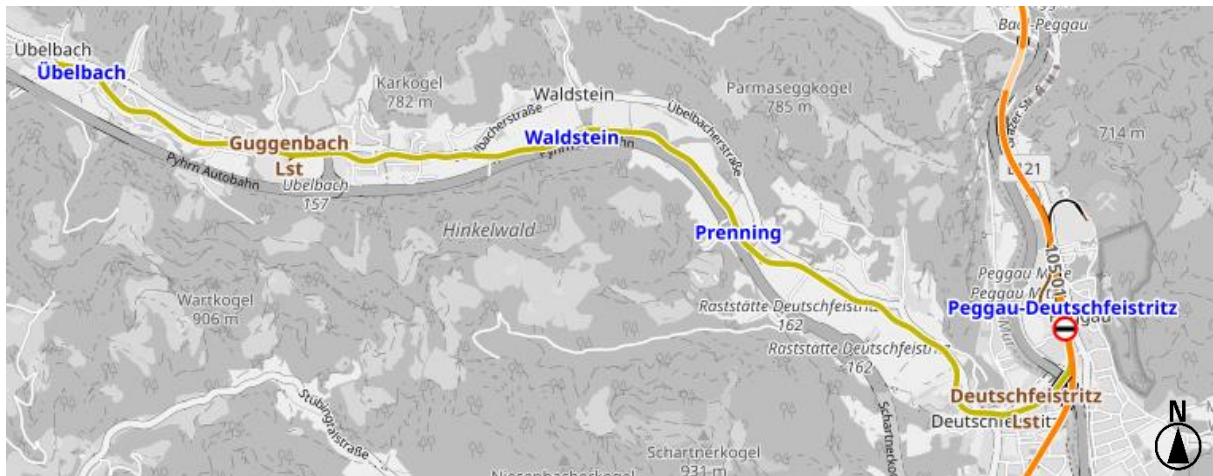


Abbildung 4-19: Verlauf der Übelbacherbahn (Quelle: openrailwaymap.org)

Hier wird wegen der lokalen Bedeutung von Peggau-Deutschfeistritz und der sonst sehr engen Radien weiter von einem Stürzen der Züge in Peggau-Deutschfeistritz ausgegangen. Um ein attraktives Angebot zu entwerfen, sollen die bereits bestehenden Direktverbindungen der S-Bahn-Linie 11 zwischen Übelbach und Graz Hbf bestehen bleiben. Die sich im Einzugsgebiet der Nebenbahn befindlichen Personen sollen an den Taktknoten Graz angebunden werden, gleichzeitig darf kein Kreuzungskonflikt entlang der Übelbacherbahn entstehen.

Es werden dabei zwei Varianten vorgeschlagen. Zum einen wird eine S-Bahn-Variante untersucht, welche sich an das namensgebende Haltemuster anpasst. Zum anderen wird eine Expresszug-Variante modelliert, welche zwischen Peggau-Deutschfeistritz und Graz Hbf nur am NVK Gösting hält.

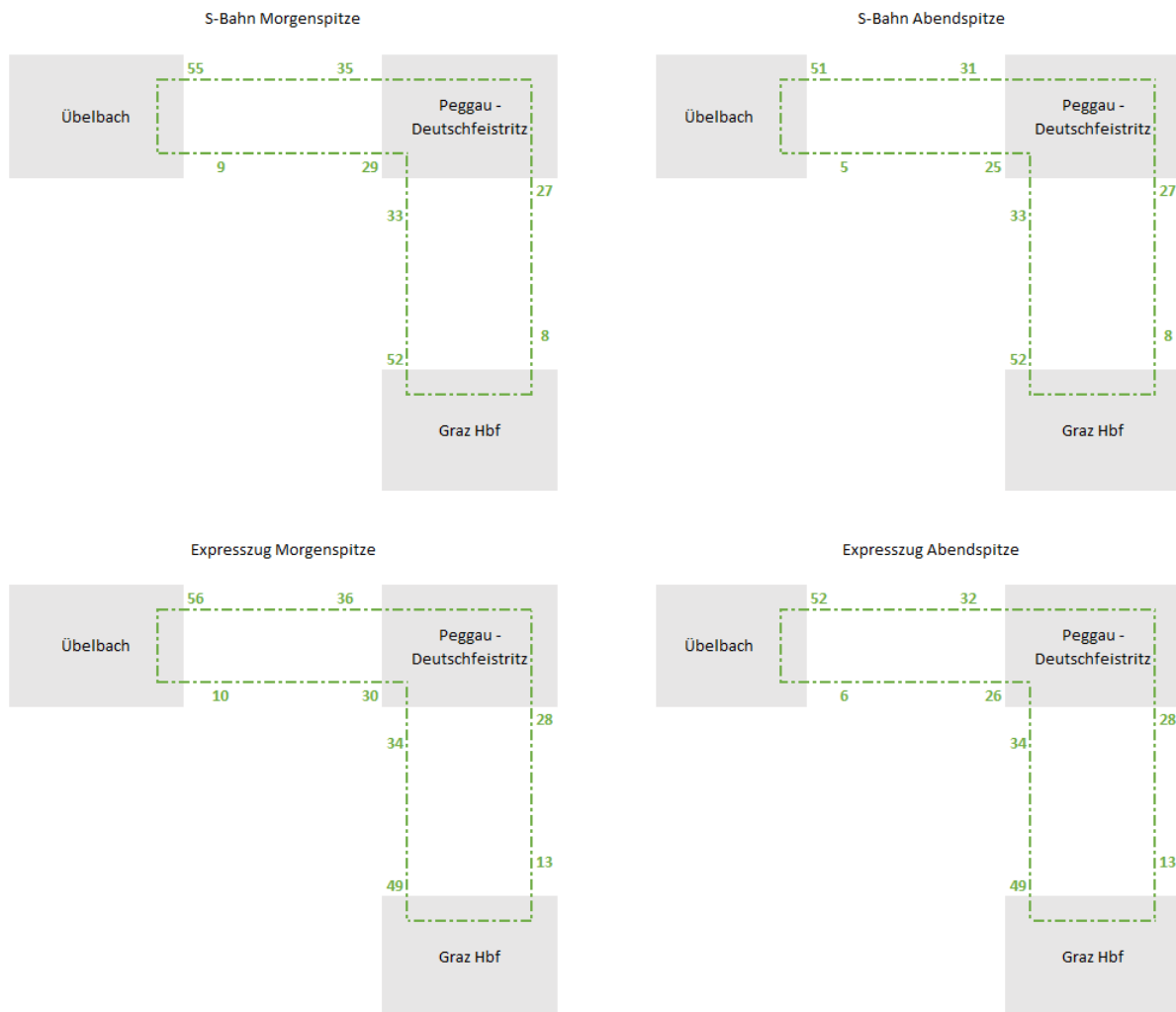


Abbildung 4-20: Umläufe der untersuchten Varianten der Übelbacherbahn

Wie in Abbildung 4-20 ersichtlich, werden die Varianten weiters in die Morgen- bzw. Abendspitze unterteilt. Diese Unterteilung ergibt sich aus einer Minimierung der Fahrzeit in die maßgebende Belastungsrichtung der Fahrgastströme sowie der vorhandenen Infrastruktur im Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz. Die Umläufe sind dabei so gewählt, dass eine Zugarnitur 120 min benötigt, um wieder an seinen Ausgangspunkt zu gelangen. Bei einem Stunden-Takt ergibt sich somit ein Bedarf von zwei Fahrzeugen, womit die Randbedingung zufolge Kapitel 4.1.4 erfüllt ist.

Um Kreuzungskonflikte auf der eingleisigen Übelbacherbahn zu vermeiden, sollten die Züge aus den Gegenrichtungen sich im Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz treffen. Gleichzeitig steht diesen Zügen jedoch nur ein Bahnsteig zur Verfügung, als Konsequenz müssen die Züge nach dem LIFO-Prinzip (Last In – First Out) gestaffelt werden. Der zuerst ankommende Zug hat demnach eine Knotenaufenthaltszeit von 8 min, während für den nachkommenden Zug nur die Wendezeit von 4 min anfällt. Die Ankunfts- und Abfahrtszeiten in Graz Hbf sollen dabei zur besseren Verständlichkeit des Fahrplanes und zur Erhaltung der Umsteigebeziehungen konstant bleiben.

Betrieb

In Abbildung 4-21 sind weiters die Bildfahrpläne der Varianten dargestellt. Da sich Morgen- und Abendspitzen entlang der Südbahn nur in der Knotenaufenthaltsdauer unterscheiden, sind im Bildfahrplan keine Unterschiede zwischen diesen zu erkennen. Bei beiden Varianten wurde eine Haltezeit von 1 min am NVK Gösting angesetzt, um die Kreuzung mit dem S-Bahn-Verstärkerzug der Gegenrichtung weiter vom Bahnhof Peggau-Deutschfeistritz wegzurücken.

Aufgrund der besseren Integration in den Taktknoten Graz sowie dem geringeren Kapazitätsverbrauch wird die Variante des S-Bahn-Haltemusters trotz der längeren Fahrzeit empfohlen. Die Gesamtreisezeit dieser Variante ist mit 43 min in die maßgebende Belastungsrichtung um bis zu 11 min schneller als die derzeitigen Angebote [43].

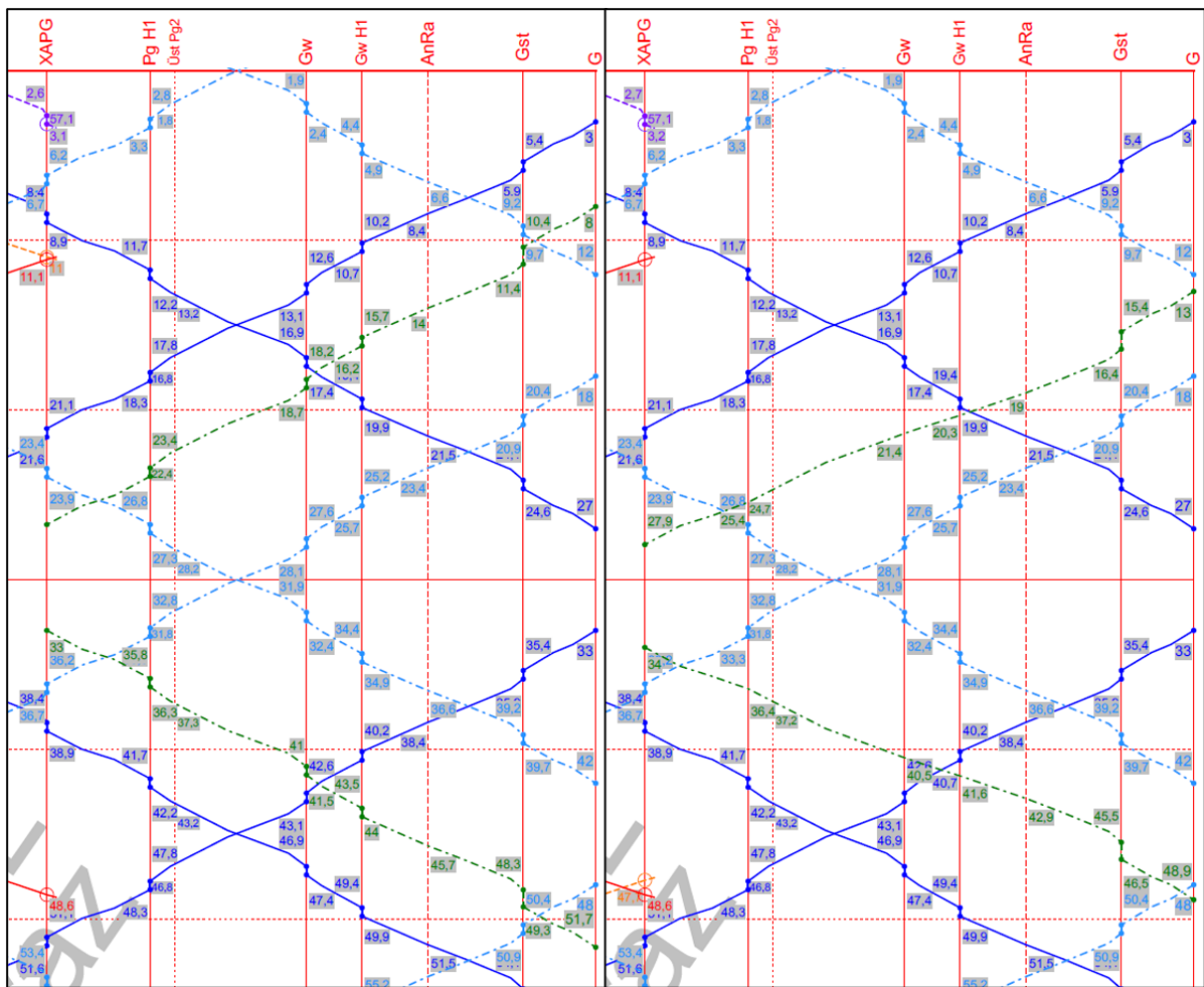


Abbildung 4-21: Bildfahrpläne der untersuchten Varianten; links: S-Bahn-Haltemuster, rechts: Expresszug-Haltemuster; Szenario 1 und 2

4.7 Analyse des Infrastrukturbedarfes

Da in den Kapiteln 4.4 bis 4.5 zukunftsfähige Betriebskonzepte erarbeitet wurden, kann auf deren Basis in einem weiteren Schritt der genaue Infrastrukturbedarf festgestellt werden. Konkret wird hierbei auf die Umtrassierung der Nordausfahrt Graz und die Notwendigkeit zweiröhriger, eingleisiger Tunnelbauten eingegangen.

4.7.1 Umtrassierung Nordausfahrt Graz

Die Neutrassierung der Bogenfolge bei Weinzödl stellt einen nicht unerheblichen Eingriff in das Bestandsnetz dar, womit sich die Frage stellt, ob dieser Ausbau nicht durch einen Verzicht der Dreigleisigkeit zwischen dem Nahverkehrsknoten Gösting und der Neubau-strecke vermieden werden kann.

Zur Analyse der Notwendigkeit werden die Belegungszeiten der beiden sich zwischen den Betriebsstellen befindlichen Blockabschnitte grafisch dargestellt. Dies geschieht sowohl gleisfein als auch für beide Szenarien. Sollten sich Belegungszeiten überlagern, führt dies zu Konflikten in den Trassenlagen und somit der Notwendigkeit einer Entflechtung der Ver-kehre.

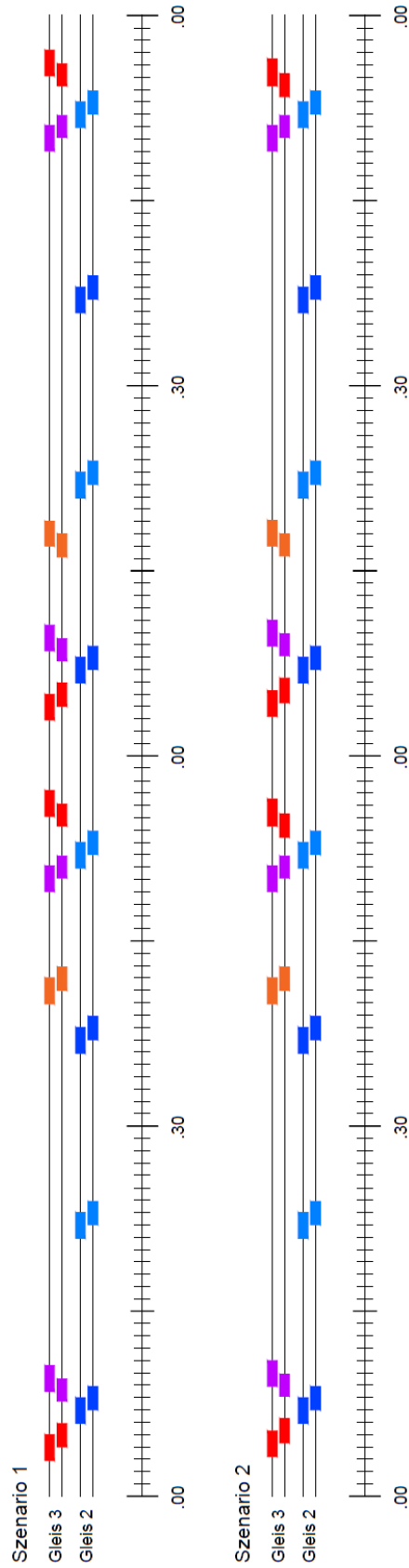


Abbildung 4-22: grafische Darstellung der Blockbelegungszeiten, Szenario 1 und 2

Wie sich in Abbildung 4-22 erkennen lässt, belegen im Szenario 1 der Interregio sowie der S-Bahn-Grundtakt simultan denselben Blockabschnitt. Im Szenario 2 überlagern sich zusätzlich der Railjet bzw. IC und die S-Bahn Verstärkerzüge, ein dreigleisiger Ausbau ist somit für die Abwicklung der Betriebskonzepte vonnöten.

4.7.2 Tunnel Eggenberg

Die Herstellung des für die Tunnellage benötigten Gleisabstandes bedingt im Bereich des Südportales einen Mehraufwand an Ablösen, darunter ein Privatgebäude. Eine Ausführung als einröhriger Tunnel hätte massives Kosteneinsparungspotential und kann die Bauzeit erheblich reduzieren.

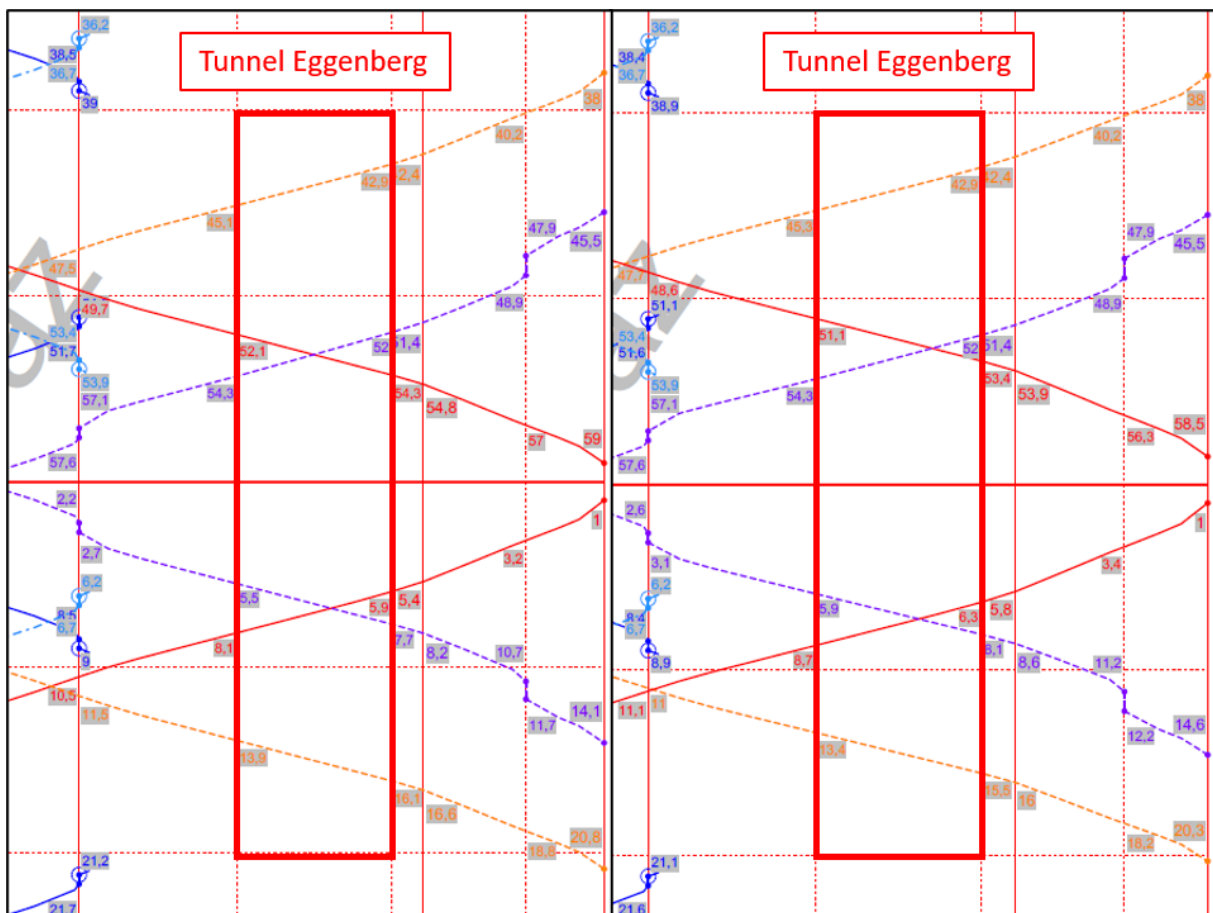


Abbildung 4-23: Kreuzungen im Tunnel Eggenberg; links: Szenario 1, rechts: Szenario 2

Abbildung 4-23 zeigt die Bildfahrpläne der beiden Szenarien. Der Tunnel Eggenberg stellt einen wichtigen Kreuzungspunkt für die Fernverkehrszüge dar und muss daher jedenfalls zweigleisig ausgeführt werden. Da sich die Fernverkehrstrassen erst wieder im Bereich des Bahnhofes Peggau-Deutschfeistritz begegnen, könnte die Strecke nach dem Tunnel theoretisch eingleisig geführt werden. Die Geschwindigkeitsreduzierungen in den dafür benötigten Weichenbereichen sind jedoch fahrzeittechnisch nicht zu empfehlen.

4.7.3 Tunnel Gschwendtberg

Letztendlich begegnen sich auch im Tunnel Gschwendtberg die Fernverkehrszüge des RJX und des IR. Abgesehen davon wird im entsprechenden Szenario 2 vorgesehen, das gesamte Verkehrsaufkommen über den Tunnel zu führen, es würden spätestens durch die Systemtrassen der Güterzüge Begegnungen im Tunnel stattfinden. Die Zweigleisigkeit wird daher auch im Falle keiner Kreuzungskonflikte empfohlen, um sich eine gewisse Flexibilität im Zugbetrieb zu erhalten.

Auch das Sicherheitskonzept ist ein entscheidender Faktor für die Zweiröhrigkeit. Bei dem Bau eines eingleisigen Tunnels muss ein Rettungsstollen vorgesehen werden, dessen spätere Aufweitung zur Aufnahme eines zweiten Tunnelquerschnittes würde erhebliche zusätzliche Kosten nach sich ziehen. Der Rettungsstollen sollte daher sinnvoller Weise im Ausbruchsquerschnitt der Eisenbahn erfolgen und kann somit auch für das zweite Gleis genutzt werden.

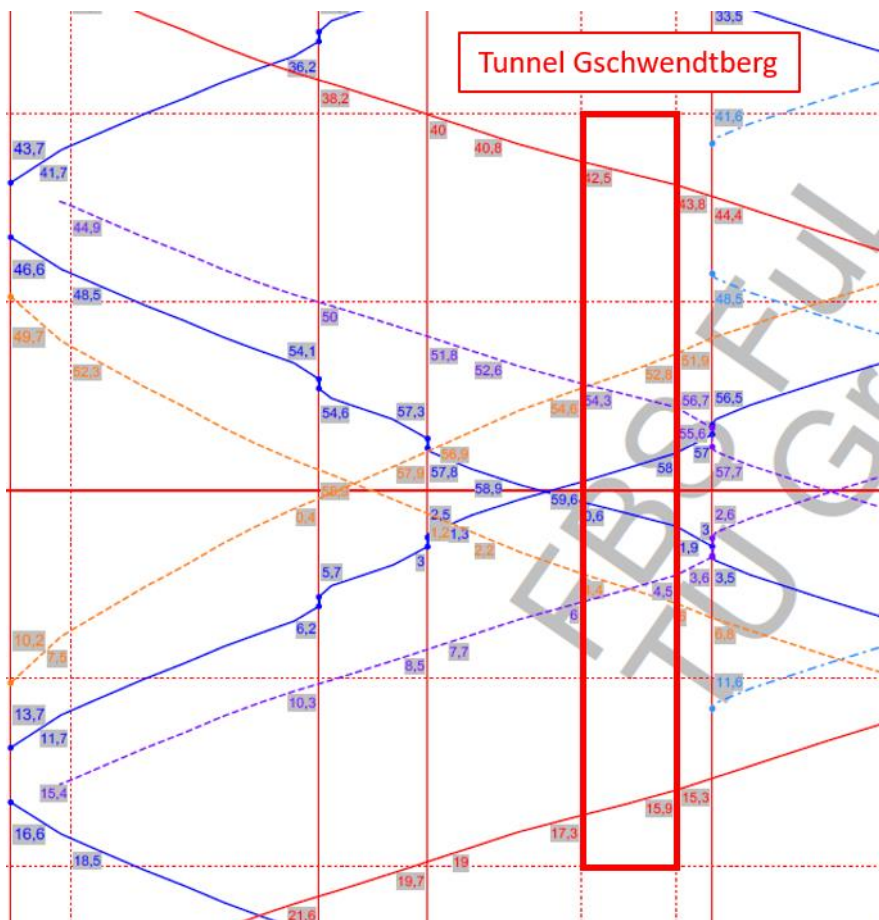


Abbildung 4-24: Kreuzungen im Tunnel Gschwendtberg; Szenario 2

5 Potential

In diesem Kapitel soll ein kurzer Ausblick auf die mit dem Ausbau zufolge Szenario 2 möglichen Zugtrassen gegeben werden, sowie auf zusätzliche Synergieeffekte eingegangen werden.

5.1 Mögliche Zugtrassen im Regional- und Fernverkehr

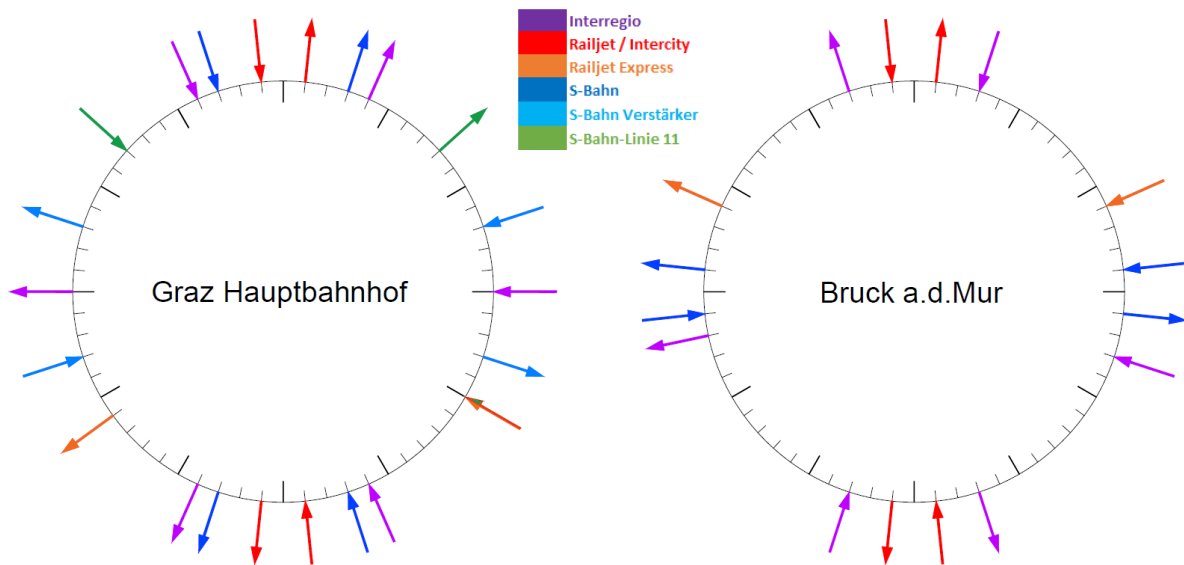


Abbildung 5-1: Bahnhofsuhren Potential

Das in Kapitel 4.5 beschriebene Betriebskonzept stellt nicht die vollständige Leistungsfähigkeit des Ausbaus zufolge Szenario 2 dar. Abbildung 5-1 zeigt eine weitere Verdichtung des Verkehrsangebotes mittels untereinander gänzlich konfliktfreier Zugtrassen. Als sinnvoll erachtete Zugtrassen können demnach bei Bedarf ohne zusätzliche Maßnahmen in das Szenario 2 aufgenommen werden, es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass weitere Ergänzungen des Betriebskonzeptes zulasten des Güterverkehrs geschehen.

Zufolge der Verdichtung kann eine zusätzliche RJ- bzw. IC-Verbindung eingepflegt werden, welche die Taktknoten gegenüber der ursprünglichen Lage um eine halbe Stunde versetzt ansteuert. Gleichzeitig können pro Stunde drei Interregios verkehren, welche neben ihren ursprünglichen Zielen auch Richtung Wiener Neustadt bzw. Wien verkehren könnten. Um Kapazität einzusparen, wird den Interregios das Haltemuster zufolge Szenario 0 mit alleinigem Halt in Frohnleiten zugrunde gelegt.

Ebenso erkenntlich sind die Verbindungen der S11 als Direktzüge der Übelbacherbahn, welche in Kapitel 4.6 erläutert wurden.

Potential

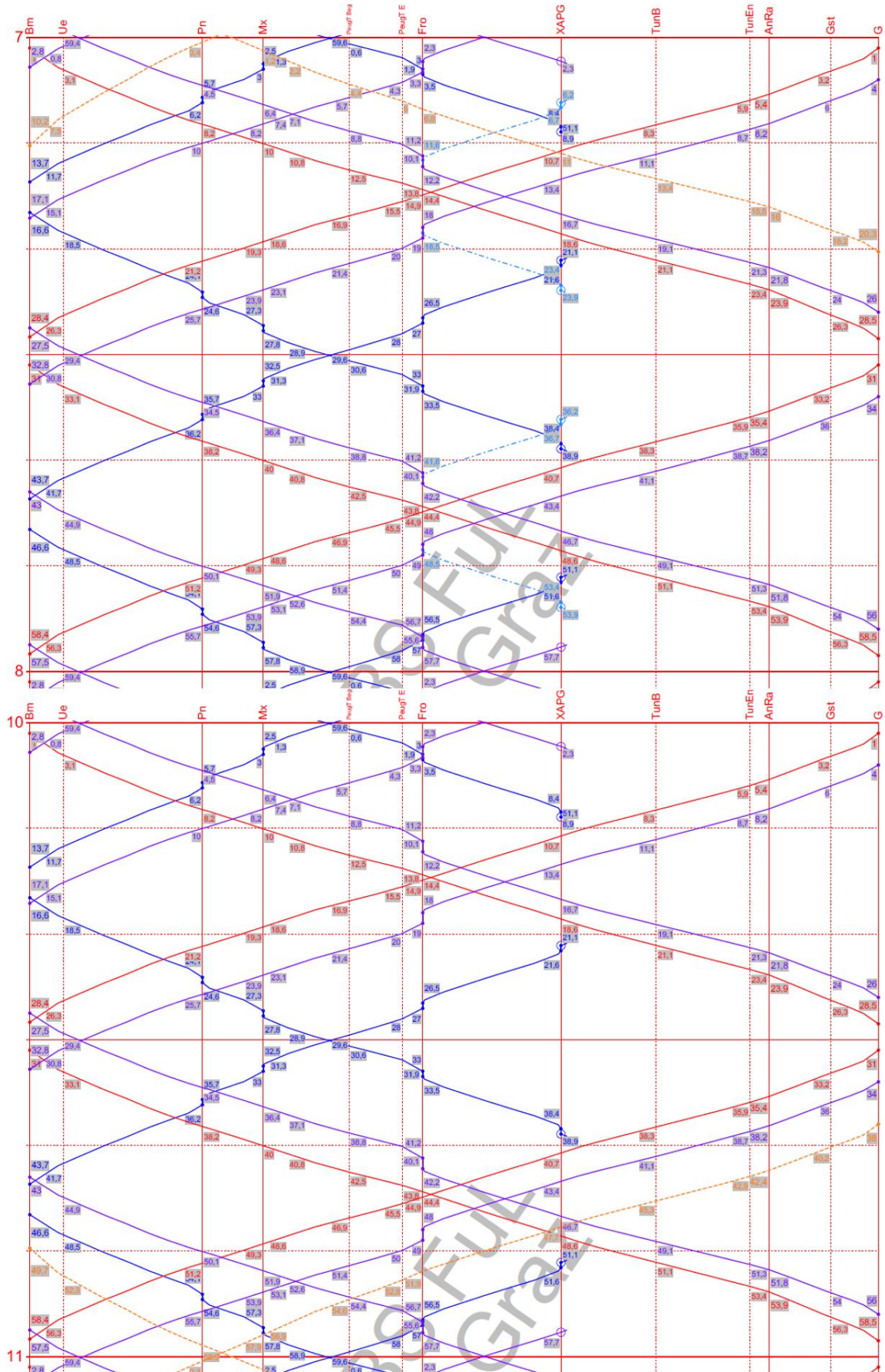


Abbildung 5-2: Haupt- und Nebenverkehrszeit möglicher Zugtrassen; entlang der Neubau-
strecke

Potential

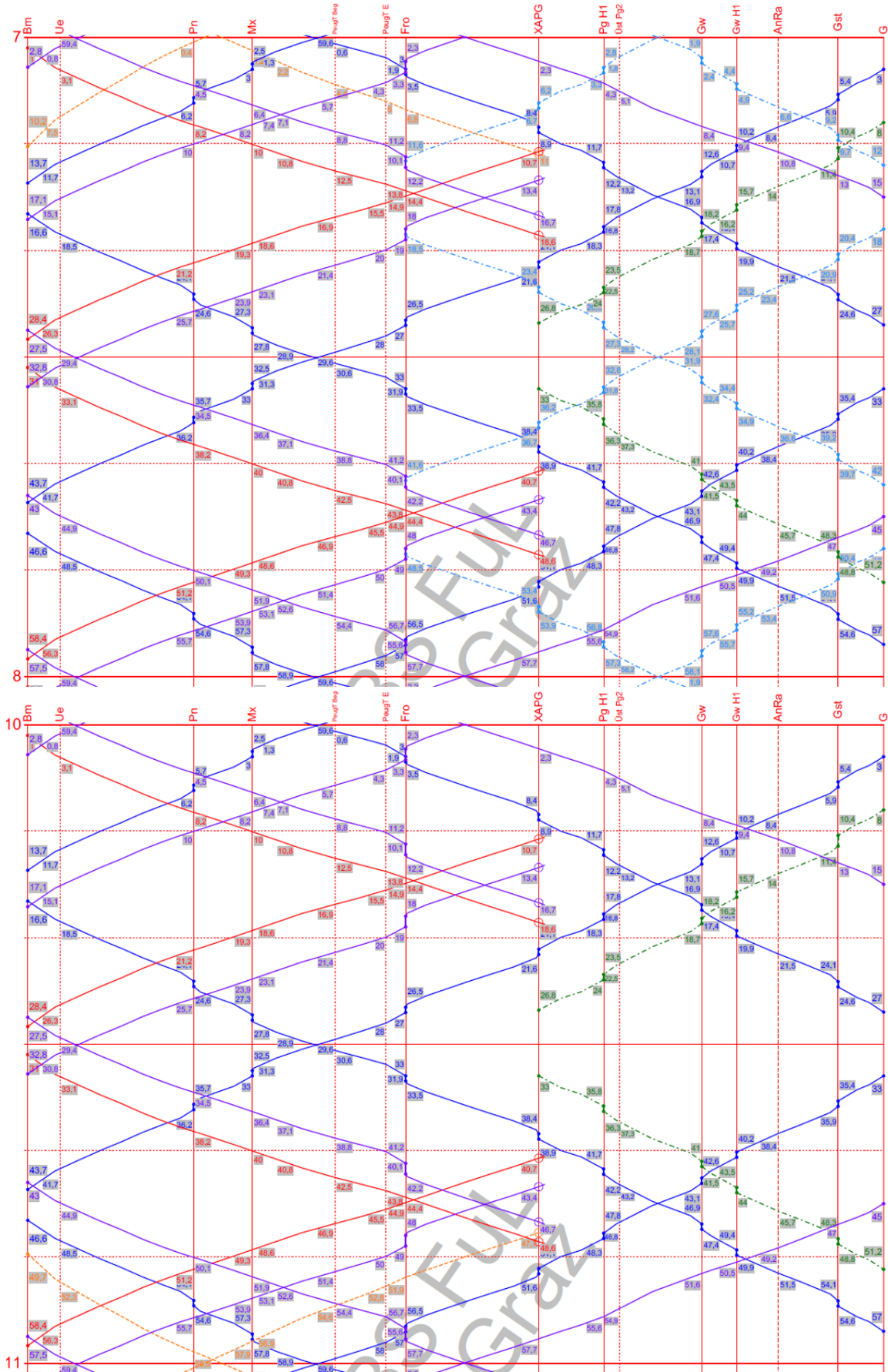


Abbildung 5-3: Haupt- und Nebenverkehrszeit möglicher Zugrassen; entlang des Bestandes

5.2 Ertüchtigung des Ausbaus für Nahverkehrskonzepte

Im Gegensatz zum Regionalverkehr wird bei einer Bedienung inner- bzw. vorstädtischer Verkehrsbeziehungen von Nahverkehr gesprochen. In Graz findet zum Zeitpunkt der Studie eine Verkehrsdebatte zum Ausbau des öffentlichen Verkehrs statt, deren Ziel es ist, den ÖV in der Stadt Graz als auch im Umland zu stärken. Eines der Verkehrskonzepte schlägt dabei eine „Cityschnellbahn“ vor, welche unter anderem von Graz Hbf über den NVK Gösting verkehren und anschließend über eine Ertüchtigung der Schleppbahn Andritz den gleichnamigen Grazer Stadtteil erschließen soll [47].

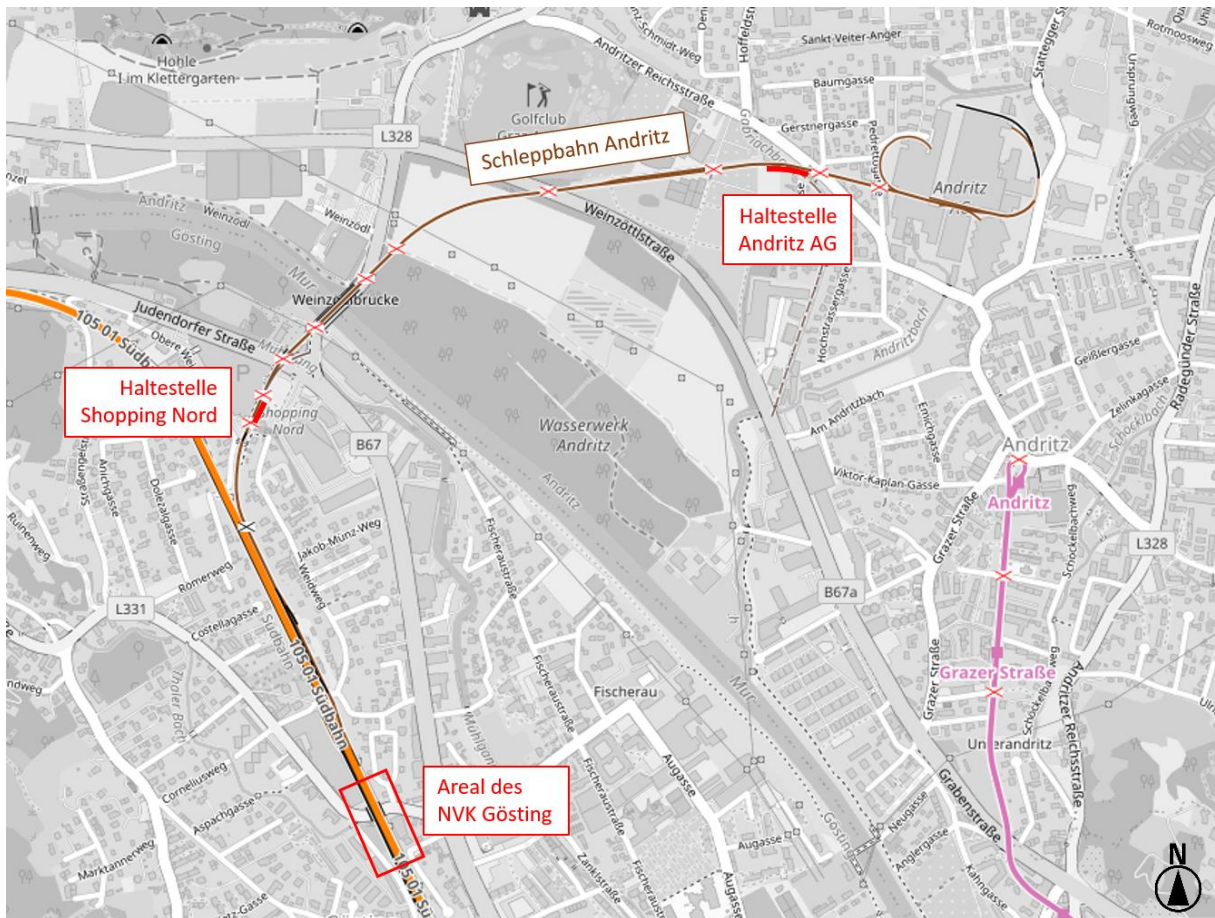


Abbildung 5-4: Verlauf der Schleppbahn Andritz (Quelle: openrailwaymap.org)

Zur Überprüfung der Möglichkeit werden Zugfahrten zwischen Graz Hbf und Andritz modelliert. Als Endstation wird dabei ein Standort gewählt, welcher unmittelbar vor der Kreuzung der Schleppbahn mit der Andritzer Reichsstraße situiert ist. Eine Station auf dem Gelände der Andritz AG wird als rechtlich nicht machbar eingestuft, eine Erweiterung der Schleppbahn nach Norden ist aufgrund der flächigen Verbauung nur unter einem den Nutzen weit übersteigenden Mehraufwand zu bewältigen.

Potential

Die Strecke ist sowohl eingleisig als auch nicht elektrifiziert, die Cityschnellbahn wird daher mit dem Dieseltriebwagen ÖBB 5022 modelliert. Da dieselbetriebene Fahrzeuge in der Regel geringere Leistungsfähigkeiten als Elektrotriebwägen aufweisen, können die Ergebnisse der Fahrzeitberechnung als kritische Werte herangezogen werden. Sollte dieses Konzept umgesetzt werden, wird im Sinne der Nachhaltigkeit jedenfalls eine Elektrifizierung vorausgesetzt. Die Züge halten neben der bereits genannten Endstation Andritz AG an einer ebenso neu zu errichtenden Haltestelle Shopping Nord, welche südlich des Eingangs des Einkaufszentrums angenommen wird. Da an der Haltestelle Shopping Nord die größten Fahrgastströme erwartet werden, wird hier die Haltezeit auf 1 min erhöht.

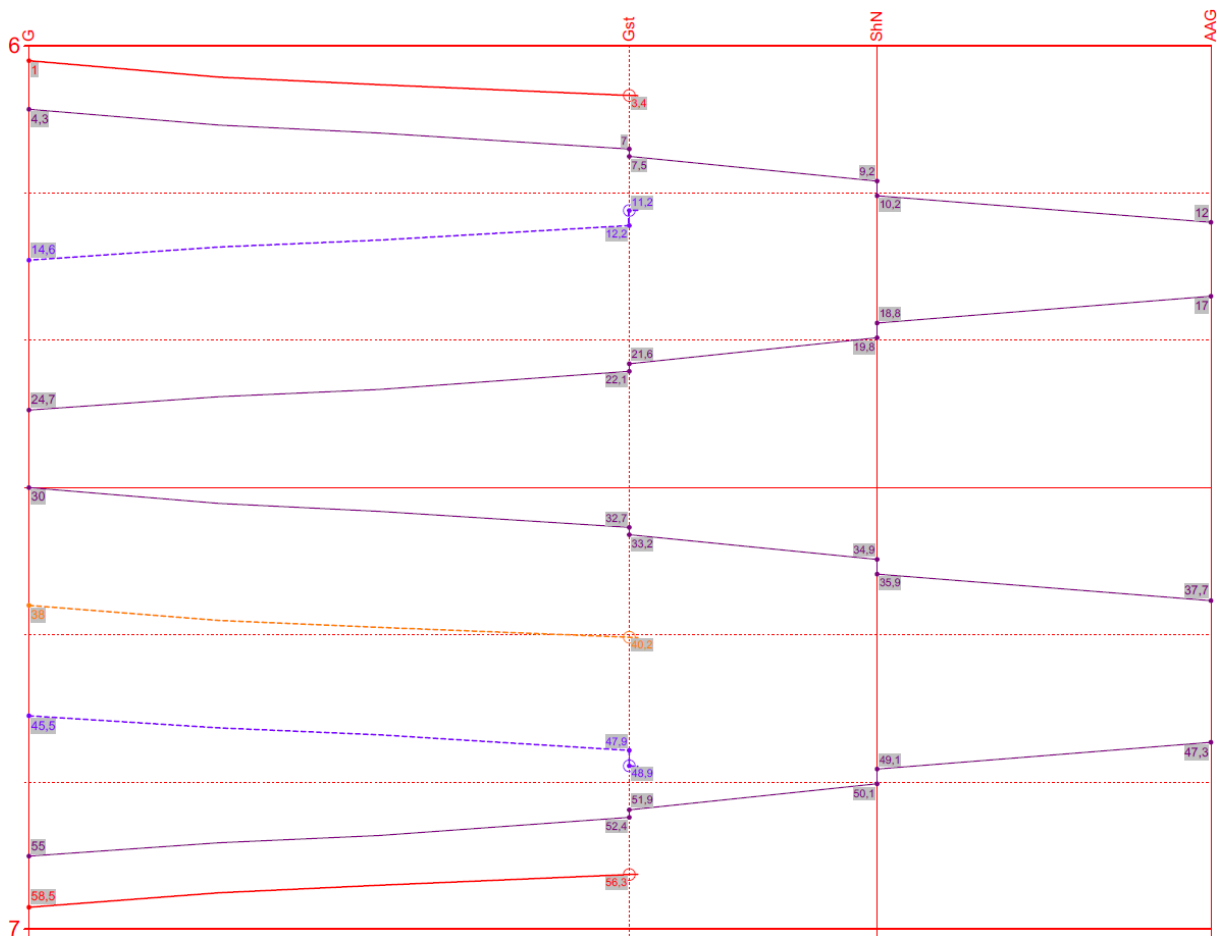


Abbildung 5-5: Zugläufe der City-S-Bahn entlang des dritten Gleises

Es können somit zwei Zugverbindungen pro Stunde und Richtung entlang des dritten Gleises eingerichtet werden. Die Reisezeit von Endstation zu Endstation beträgt in etwa 8 min, die Wendezeiten belaufen sich dabei auf 5 – 10 min, um sich den Trassen des Fernverkehrs anzupassen. Insgesamt kann der Umlauf von einem einzigen Fahrzeug bewältigt werden.

5.3 Synergie für Instandhaltungsmaßnahmen

Mit Umsetzung des Zielnetztes 2040 ist ein erheblicher Zuwachs der Zugzahlen gegeben, ein Umstand, welcher durch die Umlagerungs- und Zuwachseffekte im Güterverkehr, bedingt durch die großen österreichischen Tunnelbauprojekte, massiv verstärkt wird. Dies bedeutet eine erhebliche Mehrbelastung entlang der Strecke und einen damit einhergehenden erhöhten Instandhaltungsaufwand. Gleichzeitig steht jedoch genau für diese benötigten Instandhaltungsmaßnahmen weniger Zeit zur Verfügung, das Ergebnis sind kürzere Gleissperren (bzw. Bearbeitungslängen) und höhere Betriebserschwerungskosten [48].

Die Neubaustrecke kann dabei im Abschnitt Graz Hbf – Peggau-Deutschfeistritz maßgeblich zu einer Verminderung dieses Effektes beitragen. Zum einen führt die Entflechtung der Verkehre zu einer Absenkung der Verkehrsbelastung am Bestand, zum anderen können die Gleissperren verlängert werden. Dabei entstehen keine Betriebserschwerungskosten für den Fernverkehr.

Da sich Züge des S-Bahn-Grundtaktes nur zwischen den Betriebsstellen Gratwein-Gratkorn und Stübing begegnen, kann ab der Nebenverkehrszeit der Fahrplan in allen anderen Bereichen parallel zur Neubaustrecke vollständig eingleisig abgewickelt werden. Ein Baustellenfahrplan, welcher die Hauptverkehrszeit temporär reduziert (z.B.: 15 – 19 Uhr), könnte diesen Effekt noch weiter verstärken. Dadurch können sogar tagsüber Instandhaltungsfenster von bis zu sechs Stunden realisiert werden, der Kreuzungsabschnitt selbst kann dabei mit geschickt gewählten Instandhaltungsfenstern (von der Randverkehrszeit in die Nachtzeit hinein) ebenso berücksichtigt werden.

6 Zusammenfassung

6.1 Erkenntnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die technische und betriebliche Machbarkeit eines Infrastrukturausbaues der Kante Graz – Bruck an der Mur untersucht, um diese für zukünftige Verkehrsaufkommen zu ertüchtigen.

Die Studie ist dabei eine Weiterentwicklung vorangegangener Überlegungen des letzten Jahrzehntes [4][5] und schlägt eine Neubaustrecke zur Entflechtung von Fern- und Regionalverkehr und der damit einhergehenden Kapazitätserhöhung sowie ein drittes Gleis zwischen dem Hauptbahnhof Graz und der besagten Neubaustrecke vor. Dabei wurden zwei Varianten untersucht, von denen letzten Endes die kürzere der beiden Varianten aufgrund der Fahrzeitvorteile sowie der simpleren technischen und als günstiger eingeschätzten rechtlichen Machbarkeit vorgeschlagen wurde.

Anschließend wurden die auf der Infrastruktur möglichen Betriebskonzepte erläutert und mit einem Betriebskonzept auf der Bestandsinfrastruktur verglichen. Die Neubaustrecke zeigt eklatante Vorteile, sowohl in der Frage der Kapazität als auch der Betriebsstabilität. Aufgrund der immer näher rückenden Fertigstellung der Tunnelbauprojekte Semmering-Basistunnel und Koralmtunnel und des damit einhergehenden möglichen Flaschenhalszenarios entlang der untersuchten Kante wird ein zeitnaher Ausbau dringlichst empfohlen.

Fahrzeittechnisch wurden die Ergebnisse vorangegangener Studien validiert, da die Fahrzeitverkürzungen der Neubaustrecke nicht zur Erreichung der benötigten Kantenzeit Graz – Bruck an der Mur von 30 Minuten genügen. Als Lösungsvorschlag wurde eine Untertunnelung des Gschwendtberges in einem weiteren Betriebskonzept aufgenommen, welcher mit der Beschleunigung des umliegenden Bestandes bis zu 3,1 min Fahrzeitgewinne erzielt. Somit kann mit dem Tunnel Gschwendtberg in Verbindung mit der Neubaustrecke auch das Kriterium der Kantenfahrzeit erreicht werden.

Tabelle 6-1: Güterzugstrassen zufolge der verschiedenen Szenarien

Planfall	Richtung	HVZ	NVZ	RVZ	Nacht	Σ	Tag / Nacht
Bestand	Rtg. Graz	3,5	4,5	7	8	123	50 / 50
	Rtg. Bruck	3,5	4,5	8	8	126	49 / 51
Neubaustrecke	Rtg. Graz	5	6	7	8	147	59 / 41
	Rtg. Bruck	5	6	8	8	150	57 / 43
Neubaustrecke + Tunnel	Rtg. Graz	5,5	6	8	8	155	59 / 41
	Rtg. Bruck	5,5	6	8	8	155	59 / 41

Tabelle 6-2: Fahrzeitgewinne und Energiebedarf zufolge der verschiedenen Szenarien

Szenarien			S-Bahn	S-Bahn Verstärker	Interregio	Railjet
Bestand	Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	35,9	19,1	31,0	30,7
		Energiebedarf [kWh]	281	178	197	457
	Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	36,0	19,2	31,1	30,9
		Energiebedarf [kWh]	367	218	311	744
Neubaustrecke	Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	0	0	-1,8	-3,2
		Energiebedarf	100%	100%	147%	116%
	Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	0	0	-1,7	-3,2
		Energiebedarf	100%	100%	126%	110%
Neubaustrecke inkl. Tunnel Gschwendtberg	Richtung Graz	Netto-Fzt. [min]	-2,8	0	-4,6	-6,3
		Energiebedarf	118%	100%	173%	129%
	Richtung Bruck / Mur	Netto-Fzt. [min]	-2,7	0,0	-4,4	-6,2
		Energiebedarf	109%	100%	138%	116%

Letzten Endes wurde das Potential der Neubaustrecke abgeschätzt. Es zeigt sich, dass durch das Freiwerden der Kapazität attraktive Direktzugverbindungen zwischen Übelbach und Graz eingerichtet werden können. Zusätzlich kann das zwischen Graz Hauptbahnhof und der Neubaustrecke zu errichtende dritte Gleis für Nahverkehrskonzepte ertüchtigt werden. Zugleich kann die Neubaustrecke für zusätzliche Fernverkehrsverbindungen genutzt werden.

6.2 Ausblick

Um eine Reduktion des Wertschöpfungspotentials der ausgebauten Südbahn zu verhindern, sollten Ausbaumaßnahmen für die Kante Graz – Bruck an der Mur schnellstmöglich in die Planungs- und Projektierungsphase übergehen. Dabei ist besonders darauf zu achten, zeitnah die dafür benötigten Korridore in Verkehrsflächen umzuwidmen, um weitere Bebauung zu vermeiden. Die teils sehr nah an die Infrastruktur gebauten Wohn- und Wirtschaftsgebäude und die damit einhergehenden, unvermeidbaren Ablösen unterstreichen die Bedeutung einer zeitnahen rechtlichen Absicherung der Neubautrasse.

Des Weiteren ist eine Nachfrageanalyse der Betriebskonzepte mittels Verkehrsmodellen von besonderem Interesse. Mithilfe dieser könnte der Fahrplan weiter verfeinert werden, da Aussagen zur Attraktivität einzelner Zugtrassen getroffen, sowie mittels spezifischer Tagesganglinien ein optimierter Fahrzeugeinsatz ermittelt werden kann. Somit könnten die Auswirkungen der neuen Interregio Zuggattung sowie der beschleunigten Direktverbindungen der S11 quantifiziert werden.

Zuletzt ist auch ein Vergleich der Fahrplankonzepte innerhalb einer Betriebssimulation zu empfehlen. Damit könnten Aussagen zur Betriebsstabilität getroffen werden, welche aufgrund der starken Auslastung der Kante von höchster Wichtigkeit ist.

7 Literaturverzeichnis

[1] ÖBB Infrastruktur AG (2021) Vom Reisen und Befördern der Zukunft; online abrufbar unter: <https://suedstrecke.oebb.at/>; entnommen am 18.08.2021

[2] Rail Baltica (2021): Homepage; online abrufbar unter: <https://info.railbaltica.org/en>; entnommen am 18.08.2021

[3] BMK, ÖBB Infrastruktur AG (2020): Rahmenplan 2021-2026; online verfügbar unter: [https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbau-plan/plan_oebb.html#:~:text=Der%20%C3%96BB%2DRahmen-plan%20ist%20eine,f%C3%BCr%20die%20Instandhaltung%20des%20Schienennetzes.](https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbau-plan/plan_oebb.html#:~:text=Der%20%C3%96BB%2DRahmen-plan%20ist%20eine,f%C3%BCr%20die%20Instandhaltung%20des%20Schienennetzes.;); entnommen am 18.08.2021

[4] Veit, Walter, Bach (2011): Netzentwicklung Graz – Bruck/Mur – Untersuchung von Kapazität und Infrastrukturoptionen

[5] Rotter (2015): Variantenstudie Graz – Peggau, Masterarbeit an der Technischen Universität Graz

[6] Institut für Regional- und Fernverkehrsplanung: Homepage; online abrufbar unter: <https://www.irfp.de/willkommen.html>; entnommen am 19.08.2021

[7] Adelsberger, Petzmann (2018): Schienenkorridore für die Steiermark – Ausbauvorstellungen für den Güter- und Personenverkehr

[8] Pachl (2018): Systemtechnik des Schienenverkehrs – Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 9. überarbeitete Auflage

[9] Lichtenegger (1990): Der Taktfahrplan – Abbildung und Konstruktion mit Hilfe der Graphentheorie – Minimierung der Realisierungskosten; Dissertation an der Technischen Universität Graz

[10] Uttenthaler (2010): Grundlagen eines auf einem Integrierten Taktfahrplan basierenden Eisenbahninfrastrukturausbaues am Beispiel Zentraleuropa, Masterarbeit an der Technischen Universität Graz

[11] Smoliner (2020): Expertengespräch mit Dr.techn. Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner – Bereitstellung eines schematischen Zielnetzes 2040 zur studienrechtlichen Verwendung

[12] Land Steiermark (2015): Presse-Unterlage „S-Bahn Offensive Steiermark“; online verfügbar unter: <https://www.politik.steiermark.at/cms/beitrag/12370375/121400860/>; entnommen am 21.08.2021

[13] Land Steiermark (2021): GIS Steiermark – Höhen- und Geländedarstellung

- [14] Land Steiermark (2020): Georeferenzierte Orthofotos im Abschnitt Graz – Bruck an der Mur, bestellt unter: <https://www.landesentwicklung.steiermark.at/cms/beitrag/12652215/141979661/>
- [15] ÖBB Infrastruktur AG (2019): VzG-Grafik-Ausdrucke aller VzG-Strecken der ÖBB-Infrastruktur für den Fahrplan 15.12.2019
- [16] ÖBB Infrastruktur AG (2014): Linienführung von Gleisen – Regelwerk 01.03
- [17] Österreichische Forschungsgemeinschaft für Straße und Verkehr (2014): Linienführung und Trassierung – RVS 03.03.23
- [18] Österreichische Forschungsgemeinschaft für Straße und Verkehr (2018): Querschnittselemente sowie Verkehrs- und Lichtraum von Freilandstraßen – RVS 03.03.31
- [19] Österreichische Forschungsgemeinschaft für Straße und Verkehr (2001): Gemischte und planfreie Knoten – RVS 03.05.13
- [20] Rechtsinformationssystem des Bundes (2021): Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnbau- und -betriebsverordnung – EisbBBV), BGBl. II Nr. 156/2014; online abrufbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006077>; entnommen am 21.08.2021
- [21] TU Dresden, Professur für Gestaltung von Bahnanlagen (2018): Gleisabstände im Bahnhof, online verfügbar unter: https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/gvb/ressourcen/dateien/download_gvb/lehrmaterialien/ebb_2/ebb2_glbff.pdf?lang=de; entnommen am 21.08.2021
- [22] STATatlas (2021): Schulen in Österreich 2019/2020; online abrufbar unter: <https://www.statistik.at/atlas/schulen/#>; entnommen am 23.08.2021
- [23] Bauer (2019): Bericht an den Gemeinderat, Betreff: Masterplan ÖV, Straßenbahnausbau 2023+ Grundsatzbeschluss; online abrufbar unter: <http://www.ugoed.info/2Masterplan2023Plus.PDF>; entnommen am 23.08.2021
- [24] DSI Underground: AT-Pipe Umbrella System / Groundbreaking Forepoling Technology; online verfügbar unter: <https://www.dsiunderground.at/fileadmin/downloads/dsi-underground.at/dsi-alwag-systems-at-pipe-umbrella-support-system-en.pdf>; entnommen am 26.08.2021
- [25] Schubert, Volkmann (2007): Geotechnical Model for Pipe Roof Supports in Tunneling; online verfügbar unter: https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getVollText?pDocumentNr=112041&pCurrPk=29321
- [26] Gjall, Zeidler: Pre-Support Measures for Shallow NATM Tunneling in Urban Settings
- [27] iRFP (2016): Fahrplanbearbeitungssystem FBS – Anleitung; Ausgabe 2016, S.299

- [28] ÖBB Infrastruktur AG (2021): ETCS Ausbau; online abrufbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung/etcs-ausbau>; entnommen am 30.08.2021
- [29] vagonWEB (2021): Wagenreihungen 2021, online abrufbar unter: <https://www.vagonweb.cz/razeni/?lang=de>; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [30] ÖBB Produktion GmbH (2021): Elektroloks, online verfügbar unter: <https://produktion.oebb.at/de/lokomotiven/elektroloks>; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [31] Unfalluntersuchungsstelle des Bundes – Fachbereich Schiene (2010): Zugtrennung Z568; online verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:f7009688-4902-4180-8e6c-0a9319df1bb3/101006_sb_imst_gz795240.pdf; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [32] Fischer (2013): BR442-Talent2, 41. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge; online verfügbar unter: https://www.schienefahrzeugtagung.at/download/PDF2013/07_Fischer.pdf; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [33] Steiermärkische Landesbahnen (2019): 100 Jahre Übelbacherbahn / Festprogramm; online abrufbar unter: https://issuu.com/uebelbach/docs/festprogramm_100_jahre_belbacherbahn; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [34] WKO (2020): Schienengüterverkehr; online abrufbar unter: <https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/schienebahnen/Schienequeterverkehr.html>; entnommen am 30.08.2021
- [35] ÖBB Konzern (2021): Die ÖBB in Zahlen 2020/2021; online verfügbar unter: <https://konzern.oebb.at/de/ueber-den-konzern/die-oebb-in-zahlen>; zuletzt geprüft am 30.08.2021
- [36] Martin, Nachtigall, Li, Heppe (2019): Anforderungsgerechte Trassenstrukturen und deren Belegung im Netz von Schienenbahnen; Neues verkehrswissenschaftliches Journal, Ausgabe 28
- [37] Peter (2005): Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen, Semesterarbeit an der ETH Zürich; online verfügbar unter: <http://archiv.ivt.ethz.ch/docs/students/sa147.pdf>; zuletzt geprüft am 31.08.2021
- [38] ÖBB Personenverkehr AG (2021): Nightjet – Reiseziel; online verfügbar unter: <https://www.nightjet.com/dam/jcr:6a8041cb-0131-4ad3-84fd-25154548e5dd/nightjet-streckennetz-deutsch.pdf>; zuletzt geprüft am 31.08.2021
- [39] Moderne Urbane Mobilität 2030+ (2021): Die Metro – unsere Stadtschnellbahn für den Großraum Graz, Machbarkeitsstudie; online verfügbar unter: <https://www.holding-graz.at/de/mobilitaet/metro/>

- [40] Moderne Urbane Mobilität 2030+ (2021): Die Metro – unsere Stadtschnellbahn für den Großraum Graz, Präsentation; online verfügbar unter: <https://www.holding-graz.at/de/mobilitaet/metro/>
- [41] Wirtschaftliches Berichts- und Informationssystem (2021): Einwohner / Steiermark, 13 Bezirke, Zeitreihe 2002-2021; online verfügbar unter: <https://wibis-steiermark.at/bevoelkerung/struktur/einwohner-gesamt/wibis/einwohner/steiermark-13-bezirke/zeitreihe/>; entnommen am 31.08.2021
- [42] ÖBB Infrastruktur AG (2020): Schienennetz-Nutzungsbedingungen 2021 der ÖBB - Infrastruktur AG inklusive Mindestzugangspaket und Zusatzleistungen; online verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/snnb/snnb-2021>; zuletzt geprüft am 01.09.2021
- [43] ÖBB Personenverkehr AG (2021): ÖBB Scotty / Fahrplan Übelbach Bahnhof – Graz Hbf; online abrufbar unter: <https://fahrplan.oebb.at/bin/query.exe/dn>; zuletzt geprüft am 01.09.2021
- [44] Zeiner (2018): ATO (Automatic Train Operation) – Optimierung durch erhöhte Automatisierung auf der Vollbahn; Masterarbeit an der Technischen Universität Graz
- [45] ÖBB Infrastruktur AG (2020): Graz – Klagenfurt / Koralmbahn / Teil der neuen Süd-strecke; online verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/suedstrecke-wien-villach/koralmbahn/rund-um-den-bau/printproduktionen-kab/dokument?datei=01+%7C+Koralmbahn+Brosch%C3%BCre>; entnommen am 07.09.2021
- [46] ÖBB Personenverkehr AG (2021): ÖBB Scotty / Fahrplan Klagenfurt Hbf – Villach Hbf; online abrufbar unter: <https://fahrplan.oebb.at/bin/query.exe/dn>; zuletzt geprüft am 07.09.2021
- [47] Brenner Managment Beratung GmbH (2021): Rasch umsetzbare Lösungen für eine an der Freiheit orientierte, gleichberechtigte, gerechte und solidarische Verkehrspolitik in Graz; online verfügbar unter: https://www.graz.at/cms/dokumente/10370559_8114421/144a1cc3/Wir%20verbinden%20die%20Stadt%20Verkehrskonzept%20SP%C3%96%20Graz.pdf; zuletzt geprüft am 08.09.2021
- [48] Veit, Marschnig (2010): Optimierte Einheitskosten – Sperrpausendauern und Bau-stellenlänge
- [49] SFF Ingenieure: Erneuerung von bestehenden Eisenbahnbrücken / Minimierung von Eingriffen und Erhöhung der betrieblichen Verfügbarkeit; online verfügbar unter: https://www.ssf-ing.de/fileadmin/web_data/Downloads/Broschueren/Deutsch/Erneuerungen_von_bestehenden_Eisenbahnbruecken_DE.pdf; zuletzt geprüft am 08.09.2021



Institut für Eisenbahnwesen
und Verkehrswirtschaft
Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12/II
8010 Graz
+43 316 873 6216
office.ebw@tugraz.at
▶ www.ebw.tugraz.at