



Leopold Rotter, BSc

## **Variantenstudie Graz-Peggau**

### **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen - Bauingenieurwissenschaften

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof.Dipl.Ing.Dr.tech. Peter Veit

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Zweitbetreuer

Dipl.Ing. Stefan Walter, BSc

## **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. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift



Widmung

## Kurzfassung

Diese Arbeit diskutiert die Machbarkeit von neuen Eisenbahntrassen zwischen Graz und Peggau. Die Kantenfahrzeit für einen IC-Zug zwischen Graz und Bruck soll 30 Minuten betragen, was eine Fahrzeitverkürzung von 5 Minuten bedeutet. Um diese Zeit einzuhalten, wurden neue Trassenverläufe für den Abschnitt Graz-Peggau ausgearbeitet. Auf denen soll mit der erhöhten Geschwindigkeit von 160 km/h die geforderte Kantenfahrzeit erreicht werden. Des Weiteren sollen dadurch die zukünftig erwartete Anzahl an Personen und Güterzügen bedient werden können.

Auf Grund der topografischen Gegebenheiten des Murtales sind Neutrassierungen in den Bereichen Gratkorn Ost, Eggenfeld, Friesach und Andritz erforderlich. In den übrigen Bereichen erfolgt ein Ausbau am Bestand. Detailvarianten wurden in Bezug auf Machbarkeit, Richtlinien, Auswirkungen auf Bevölkerung, Umwelt und Topographie untersucht.

Nachdem alle Details evaluiert und mehrere Varianten ausgeschlossen worden sind, wurde die Fahrzeit für die Varianten Pailgraben und Gösting errechnet. Es konnten bei der schnellsten Variante 4,5 Minuten eingespart werden. Der Variantenvorschlag ist die Variante „Gösting“ und verläuft wie folgt:

Von Peggau aus verläuft die Variante bis südlich des Knotens Deutsch-Feistritz entlang des Bestandes, wo sie nach Osten abspringt. Sie nähert sich von Nordwesten kommend der A9 und bleibt bis zum Knoten Gratkorn Nord westlich der Autobahn.

Dort beginnt ein 3,6 Kilometer langer Tunnel der östlich von Gratkorn verläuft. Das südliche Tunnelportal befindet sich westlich der Autobahnabfahrt Gratkorn Süd und überquert dort die B 67 und die Mur. Bei km 13,0 fädelt sie sich in die Bestandsstrecke ein und verläuft entlang des Bestandes als drittes Gleis bis zum Hauptbahnhof Graz, wo die Variante endet.

## Abstract

This master thesis presents a feasibility study on a new rail line between Graz and Peggau.

Primary goal is the shortening of the operation schedule by five minutes. To secure this time a new alignment is elaborated between Peggau and Graz main railway station. The travel speed is up to 160 km/h. These measures offer the required capacity.

The habitat density, the winding Mur and the A9 were challenges for the design of the new line. Especially the area around Gratkorn and the northern part of Graz were complicated areas to find an alignment for a main railway connection.

The new railway mainly follows the motorways A9 and S35.

The results display significant differences between all analysed lines concerning investment costs. Finally the calculation of travel time was decisive. The recommended track is called "Gösting".

It starts at the railway station of Peggau and runs along the old track up to the motorway junction "Deutsch-Feistritz". There it separates. A tunnel with the length of 3,6 kilometres is to be constructed to undercross the motorway in the area of Gratkorn. The southern portal of the track is at the motorway junction "Gratkorn Süd". There it crosses the B 67 and the river "Mur". At kilometre 13,0 the track contrives with the old tracks and run along to Graz main railway station.

# Inhaltsverzeichnis

1	Bedingungen.....	12
1.1	Motivation.....	12
1.2	Fragestellung .....	12
1.3	Methode und Ablauf .....	12
1.4	Vorgaben.....	13
1.4.1	Kantenfahrzeit .....	13
1.4.2	Kapazitäten .....	14
1.4.3	Gleisanzahl.....	15
1.4.4	Trassierungsgeschwindigkeit.....	15
1.4.5	Bahnhof Gösting.....	15
2	Grundlagen.....	16
2.1	Topografie .....	16
2.2	Bestand.....	19
2.3	Straßennetz .....	19
2.4	Siedlungsstrukturen .....	20
2.5	Kartengrundlagen .....	20
2.6	Knotengestaltung .....	21
2.7	Trassierungsgrundlagen (RVE, TSI).....	23
2.7.1	Geschwindigkeit.....	23
2.7.2	Radien .....	23
2.7.3	Neigungen und Ausrundungsradien.....	24
2.7.4	Überhöhungen .....	25
2.7.5	Übergangsbogen .....	26
2.7.6	Verwindung .....	28
2.7.7	Mindestlängen.....	28
2.7.8	Gleisschere.....	29
3	Variantenstudie.....	30
3.1	Vorbemerkungen der Variantenstudie.....	30
3.2	Übersicht.....	32
3.3	Variante „Pailgraben“ .....	34
3.3.1	Brücke Peggau Süd .....	40
3.3.1.1	Variante 1: Neue eingleisige Brücke westlich .....	41
3.3.1.2	Variante 2: Neue dreigleisige Brücke .....	43
3.3.1.3	Variante 3: Neue bestandsnahe Brücke.....	45
3.3.1.4	Variante 4: Neue eingleisige Brücke östlich.....	47
3.3.1	Überwerfungsbauwerk Deutsch-Feistritz.....	49
3.3.1	Variantenentscheid .....	50
3.3.2	Autobahnkreuz und Ausfädeln der Neubautrasse .....	51
3.3.3	Murquerung Deutsch-Feistritz .....	55
3.3.1	Firma Jaritz .....	57
3.3.2	Einfädeln zwischen Bundesstraße und A9 .....	59
3.3.3	Eggenfeld zwischen Bundesstraße und A9 .....	62
3.3.4	Tunnelportal Gratkorn Nord .....	63
3.3.5	Umfahrung Gratkorn.....	64
3.3.6	Gratkornportal Süd der Variante „Pailgraben“ .....	66
3.3.7	Einfädeln in den Bestand in Höhe Gösting.....	68
3.3.8	Bahnhof Gösting.....	70
3.4	Variante „Felberbach“ .....	72

3.4.1	Tunnelportal Gratkorn Nord .....	76
3.5	Variante „Plabutsch“ .....	78
3.5.1	Umfahrung Gratkorn .....	81
3.5.2	Tunnelportal Gratkorn Süd .....	82
3.5.3	Murquerung südlich des Tunnelportals Gratkorn-Süd .....	84
3.5.4	Plabutschportal Nord .....	85
3.5.5	Queren des Autobahntunnels Plabutsch .....	87
3.5.6	Plabutschportal Süd .....	88
3.6	Variante „Weinzödl“ .....	91
3.7	Variante „Gösting“ .....	94
3.7.1	Tunnel Portal Gratkorn Süd .....	97
3.7.2	Detail Einfädeln Altbestand Höhe Gösting .....	98
3.7.3	Erweiterung des Bestandes im Bereich Raach .....	99
3.7.4	Auswirkungen auf die Fahrzeit .....	100
3.8	Kostenschätzung .....	101
3.8.1	Grundlagen .....	101
3.8.2	Kostenschätzung .....	102
4	Fahrzeitermittlung .....	104
4.1	Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 1050 m Radius .....	104
4.2	Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 800 m Radius .....	104
4.3	Variante Gösting; Brücke Peggau mit 1050 m Radius .....	104
4.4	Variante Gösting; Brücke Peggau mit 800 m Radius .....	104
4.5	Nettofahrzeit .....	105
4.6	Bruttofahrzeit .....	109
4.7	Lösungsansätze .....	110
4.7.1	Lösung Pailgraben 200 km/h .....	110
4.7.2	Streckenanalyse südlich von Peggau .....	112
4.7.3	Knotenasymmetrie .....	113
5	Trassenvergleich .....	114
5.1	Pailgraben .....	114
5.2	Felberbach .....	114
5.3	Plabutsch .....	114
5.4	Weinzödl .....	115
5.5	Gösting .....	115
5.6	Variantenentscheid .....	116
6	Zusammenfassung .....	118
7	Literaturverzeichnis .....	122

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topographie des Großraues nördlich von Graz [6].....	16
Abbildung 2: Wasserschutzgebiet Friesach .....	17
Abbildung 3: HQ300 bei Gratkorn Süd.....	18
Abbildung 4: Niveaugleiche Kreuzung Gösting .....	21
Abbildung 5: Varianten der Gleisbelegung bei Deutsch-Feistritz.....	22
Abbildung 6: Systematische Darstellung einer Gleisschere [9].....	29
Abbildung 7: Varianten der Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur [3] .....	31
Abbildung 8: Gesamtübersicht Varianten .....	32
Abbildung 9: Übersicht Details .....	33
Abbildung 10: Grundriss gemeinsamer nördlicher Verlauf aller Varianten.....	35
Abbildung 11: Mittlerer und südlicher Verlauf der Variante „Pailgraben“.....	36
Abbildung 12: Längenschnitt aller Varianten im Norden.....	37
Abbildung 13: Längenschnitt Variante "Pailgraben" .....	38
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Variante 1 Peggau .....	41
Abbildung 15: Nördlicher Lageplan Variante 1 Peggau .....	42
Abbildung 16: Südlicher Lageplan Variante 1 Peggau .....	42
Abbildung 17: Schematische Darstellung der Variante 2 Peggau .....	43
Abbildung 18: Nördlicher Lageplan Variante 2 Peggau .....	44
Abbildung 19: Südlicher Lageplan Variante 2 Peggau .....	44
Abbildung 20: Schematische Darstellung der Variante 3 Peggau .....	45
Abbildung 21: Nördlicher Lageplan Variante 3 Peggau .....	46
Abbildung 22: Südlicher Lageplan Variante 3 Peggau .....	46
Abbildung 23: Schematische Darstellung der Variante 4 Peggau .....	47
Abbildung 24: Nördlicher Lageplan Variante 4 Peggau .....	48
Abbildung 25: Südlicher Lageplan Variante 4 Peggau .....	48
Abbildung 26: Längenschnitt der Überwerfung Deutsch-Feistritz.....	49
Abbildung 27: Gebiet für die Überwerfung Deutsch-Feistritz [11].....	49
Abbildung 28: Skizze des Ausfädelns in Deutsch-Feistritz .....	51
Abbildung 29: Autobahnquerung A9 Längenschnitt .....	52
Abbildung 30: Trassierungskorridor Unterführung Deutsch-Feistritz .....	52
Abbildung 31: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Norden [11].....	53
Abbildung 32: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Norden [11].....	53
Abbildung 33: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Süden [11] .....	54
Abbildung 34: Ansicht Knoten Deutsch-Feistritz aus der Vogelperspektive [12] .....	54
Abbildung 35: Murquerung beim Autobahnknoten Deutsch-Feistritz .....	55
Abbildung 36: Querschnitt der Murquerung beim Autobahnknoten Deutsch-Feistritz .....	56

Abbildung 37: Verlauf auf Höhe der Firma Jaritz .....	57
Abbildung 38: Längenschnitt auf Höhe der Firma Jaritz .....	57
Abbildung 39: Querschnitt auf Höhe der Firma Jaritz.....	58
Abbildung 40: Einfädeln in Höhe Eggenfeld .....	60
Abbildung 41: Querschnitt Eggenfeld bei km 6,2 .....	61
Abbildung 42: Grenzbereich der Trinkwasserschutzzone 1 .....	61
Abbildung 43: Lageplan der Skizze "Gratkorn Nord" .....	62
Abbildung 44: Querprofil Eggenfeld bei km 7,3.....	62
Abbildung 45: Zubringerrampe der Varianten Plabutsch, Gösting, Pailgraben beim Tunnelportal Gratkorn Nord .....	63
Abbildung 46: Längenschnitt der Varianten Plabutsch, Gösting und Pailgraben beim Tunnelportal Gratkorn Nord .....	64
Abbildung 47: Variante „Pailgraben“ im Bereich Pailgraben .....	64
Abbildung 48: Längenschnitt der Variante „Pailgraben“ beim Bereich Pailgraben.....	64
Abbildung 49: Variante „Pailgraben“ Bereich Felberbach .....	65
Abbildung 50: Längenschnitt der Variante „Pailgraben“ auf Höhe Felberbach.....	65
Abbildung 51: Lageplan Murquerung Weinzödl .....	66
Abbildung 52: Detail Murquerung Weinzödl der Variante „Pailgraben“ .....	67
Abbildung 53: Schematischer Plan Unterführung Gösting.....	69
Abbildung 54: Lageplan Einfädeln Gösting .....	69
Abbildung 55: Bauprojekt Wohnpark Gösting [13] .....	70
Abbildung 56: Gleisplan Bahnhof Gösting .....	71
Abbildung 57: Mittlerer Verlauf der Variante „Felberbach“ .....	73
Abbildung 58: Südlicher Verlauf der Variante „Felberbach“ .....	74
Abbildung 59: Längenschnitt der Variante "Felberbach" .....	75
Abbildung 60: Gratkornportal Nord Längenschnitt der Varianten „Felberbach“ .....	76
Abbildung 61: Rampe der Varianten Felberbach und Weinzödl.....	77
Abbildung 62: Mittlerer Verlauf der Variante „Plabutsch“ .....	78
Abbildung 63: Südlicher Verlauf der Variante „Plabutsch“ .....	79
Abbildung 64: Längenschnitt der Variante "Plabutsch" .....	80
Abbildung 65: Längenschnitt Tunnel Gratkorn Variante Plabutsch .....	81
Abbildung 66: Lageplan Gratkorn Süd .....	82
Abbildung 67: Lageplan Unterführung der B 67 .....	82
Abbildung 68: Südportal Tunnel Gratkorn und Murquerung .....	83
Abbildung 69: Brücke und Wassertiefe bei HQ300 auf Höhe Gratkorn Süd .....	84
Abbildung 70: Lageplan Plabutschportal Nord.....	85
Abbildung 71: Querprofil 1 Plabutschportal Nord.....	86
Abbildung 72: Querprofil 2 Unterqueren des Bestandes bei km 13,9 .....	86
Abbildung 73: Autobahnquerung im Plabutsch.....	87

---

Abbildung 74: Übersichtskarte der problematischen Punkte .....	88
Abbildung 75: Variante „Felberbach“ mit einem Bogenradius von 1050 Metern .....	89
Abbildung 76: Variante Plabutsch mit einem Bogenradius von 400 Metern .....	89
Abbildung 77: Verlängerung der Variante Plabutsch .....	90
Abbildung 78: Mittlerer Verlauf der Variante „Weinzödl“ .....	91
Abbildung 79: Südlicher Verlauf der Variante „Weinzödl“ .....	92
Abbildung 80: Gesamter Längenschnitt der Variante " Weinzödl " .....	93
Abbildung 81: Umfahrung Gratkorn Variante Gösting .....	94
Abbildung 82: Einfahrt Graz Variante Gösting.....	95
Abbildung 83: Längenschnitt Variante Gösting .....	96
Abbildung 84: Lageplan Gratkorn Süd Variante „Gösting“ .....	97
Abbildung 85: Lageplan Unterführung der B 67 Variante „Gösting“ .....	97
Abbildung 86: Schematischer Plan Einfädeln im Bereich Gösting .....	98
Abbildung 87: Längenschnitt der Variant Gösting Höhe Raab .....	98
Abbildung 88: Querschnitt Variante Gösting Höhe Raach .....	99
Abbildung 89: Trasse der Variante "Gösting" bei Raach [12] .....	99
Abbildung 90: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm.....	108
Abbildung 91: Geschwindigkeits-Weg-Diagramm .....	108
Abbildung 90: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm Variante "Peggau 200" .....	111
Abbildung 91: Geschwindigkeits-Weg-Diagramm .....	111
Abbildung 94: Trassenverkürzung bei Peugen [15] .....	112
Abbildung 95: Lösungsvorschlag Bruck-Zlatten [15] .....	113
Abbildung 94: Verlauf der empfohlenen Variante „Gösting“ .....	118



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ [3] .....	15
Tabelle 2: Länge in Abhängigkeit der max. Verwindung .....	26
Tabelle 3: Länge in Abhängigkeit des max. zulässigen Seitenrucks .....	27
Tabelle 4: Länge in Abhängigkeit der max. zul. Überhöhungsgeschwindigkeit: .....	27
Tabelle 5: Variantenentscheid Brücke Peggau .....	50
Tabelle 6: Ermittlung der Brückenlängen und deren Kosten .....	102
Tabelle 7: Ermittlung der Tunnellänge und deren Kosten .....	102
Tabelle 8: Ermittlung der Gesamtlänge von Einschnitten/Dämmen und deren Kosten ..	102
Tabelle 9: Ermittlung der Restlänge und deren Kosten .....	103
Tabelle 10: Gesamtkosten .....	103
Tabelle 11: Beschleunigungszeit .....	105
Tabelle 12: Bremszeit .....	105
Tabelle 13: Beschleunigungsweg .....	106
Tabelle 14: Bremsweg .....	106
Tabelle 15: Zusammenfassung der Fahrzeiten für die Varianten .....	107
Tabelle 16: Zusammenfassung Bruttofahrzeitenfahrzeiten .....	109
Tabelle 17: Beschleunigungswerte Variante "Pailgraben 200 km/h" .....	110
Tabelle 18: Bremswerte Variante "Pailgraben 200 km/h" .....	110
Tabelle 19: Zusammenfassung der Berechnung Variante "Pailgraben 200 km/h" .....	110
Tabelle 20: Variantenvergleich .....	116

## Planverzeichnis

Lageplan Pailgraben:.....	Plan 1
Lageplan Plabutsch:.....	Plan 2
Lageplan Weinzödl:.....	Plan 3
Lageplan Gösting:.....	Plan 4
Lageplan Felberbach:.....	Plan 5
Längenschnitt Pailgraben:.....	Plan 6
Längenschnitt Felberbach:.....	Plan 7
Längenschnitt Plabutsch :.....	Plan 8
Längenschnitt Weinzödl:.....	Plan 9
Längenschnitt Gösting:.....	Plan 10
Lageplan alle Varianten:.....	Plan 11

## Abkürzungsverzeichnis

HQ300	Hochwasserereignis, welches statistisch alle 300 Jahre eintritt
GOK	Geländeoberkante
SOK	Sohlenoberkante
SUK	Sohlenunterkante
FOK	Firstoberkante
müA	Meter über Meeresspiegel der Adria
VzG	Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten
GIS	Geo-Informationssysteme

# 1 Bedingungen

## 1.1 Motivation

Aufgrund des Projektes „Trans-European Transport Networks“ (TEN-T) der Europäischen Union und des österreichischen Generalverkehrsplanes fördert die Republik Österreich den Ausbau der Eisenbahn. Aus dieser Zielsetzung heraus wurde von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) das Zielnetz 2025+ erstellt. [1] [2]

Das zukünftige Eisenbahnnetz wurde in Netzauslastungsanalysen geprüft. Hier zeigt sich ein Kapazitätsengpass der Südbahn zwischen Graz und Frohnleiten. Weiters liegt die Kantenfahrzeit für Intercity-Züge (IC) im Bereich Graz und Bruck an der Mur derzeit bei über 30 Minuten. Für einen integrierten Taktfahrplan sollte diese nicht mehr als 30 Minuten betragen. Daher wird hier der Neubau zweier zusätzlicher Gleise zwischen Bahnhof Peggau und Graz Hauptbahnhof erforderlich. Dabei sollen die alten Gleise bestehen bleiben. [3]

## 1.2 Fragestellung

Die Fragen, die sich aus dieser Thematik herleiten und denen in dieser Diplomarbeit nachgegangen werden sind wie folgt:

- I Welche Varianten einer Neubaustrecke zwischen Peggau und Graz sind möglich?
- I Wie können die Vorgaben zur Erweiterung der Kapazität und Einhaltung der Kantenfahrzeit bautechnisch umgesetzt werden?
- I Ermöglichen die erarbeiteten Maßnahmen die Einhaltung der Kantenfahrzeit?

## 1.3 Methode und Ablauf

In der vorliegenden Arbeit wird die detaillierte Ausarbeitung der Varianten für eine Neubaustrecke Graz-Peggau in der Steiermark behandelt. Diese Variantenstudie wird auf seine Umsetzbarkeit analysiert. Es werden die technischen, topografischen und geografischen Rahmenbedingungen und die Baukosten berücksichtigt.

Im ersten Teil der Arbeit werden die Bedingungen, die Planungsunterlagen und Trassierungsgrundlagen vorgestellt und berechnet. Dann wird mit den errechneten Werten die Trassierung vorgenommen. Als erstes werden die Planungskorridore definiert, dann der grobe Verlauf der einzelnen Trassen. Wenn der Verlauf definiert ist, werden an jenen Stellen wo eine Trasse besonders genau untersucht werden muss, Details geplant. Die

Resultate der Planung werden mittels Plänen, sowie diesem technischen Bericht dargestellt. Zusätzlich wird jene Fahrzeit berechnet, die bei den jeweiligen Varianten für die Strecke Graz-Peggau benötigt wird. Das Ziel der Berechnungen ist zu kontrollieren, ob die Kantenfahrzeit erzielt werden konnte.

## 1.4 Vorgaben

Dieser Arbeit gehen folgende Bedingungen voraus:

- I Kantenfahrzeit
- I Gleisanzahl
- I Kapazität
- I Trassierungsgeschwindigkeit
- I Bahnhof Gösting

### 1.4.1 Kantenfahrzeit

In Kapitel 1.1 wurde die zu erreichende Kantenfahrzeit von 30 Minuten zwischen Graz und Bruck erwähnt.

Diese setzt sich wie folgt zusammen:

- I Anteilige Knotenaufenthaltszeit 2 min (1 min in Aufenthalt in Graz; 1 Minuten Aufenthalt in Bruck/Mur)
- I Haltezeiten bei Nicht-Taktknoten (der Vollständigkeit aufgelistet aber in diesem Fall nicht relevant)
- I Bruttofahrzeit [4]

Die Bruttofahrzeit besteht aus:

- Fahrzeitreserve 7 % (um die Bedienqualität durch kleinere Betriebsstörungen oder Verzögerungen einhalten zu können)
- Nettofahrzeit [4]

Die Bruttofahrzeit wird wie folgt errechnet:

$$\begin{aligned} \text{Kantenfahrzeit} - \text{anteiliger Knotenaufenthaltszeit} &= \text{Bruttofahrzeit} \\ 30 - 2 &= 28 \text{ min} = \text{Bruttofahrzeit} \end{aligned}$$

Die Berechnung der Fahrzeitreserve von 7 % ist wie folgt:

$$28 * \frac{7}{100} = 1,92 \approx 2 \text{ min} = \text{Fahrzeitreserve}$$

Die Berechnung der Nettofahrzeit ist wie folgt:

Bruttofahrzeit – Fahrzeitreserve = Nettofahrzeit

$$28 - 2 = 26 \text{ min} = \text{Nettofahrzeit}$$

Die Berechnungen haben für den IC-Zug somit eine reine Fahrzeit zwischen Graz und Bruck an der Mur von 26 Minuten ergeben.

#### 1.4.2 Kapazitäten

Um die Dringlichkeit des Ausbaues zu verdeutlichen, wird nun der momentane Bestand dargestellt. Durch die Differenz zwischen IST und SOLL wird der nötige Handlungsbedarf ersichtlich.

In einer Kapazitätsanalyse wurde das Bahnnetz von ganz Österreich untersucht. Der Bestand zwischen Graz und Frohnleiten kann die prognostizierte Zuganzahl im Nah-, Fern- und Güterverkehr nicht bedienen. Die Auslastung wird mit über 100% angegeben. [5]

Bezüglich dieses Problems hat das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft die Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ veröffentlicht, welche mehrere Lösungen vorschlägt. Zuerst wurden die Fahrplanslots verdichtet, bis ein theoretisch reibungsloser Ablauf gerade noch möglich wäre. Dies geschah durch das Abbauen der Pufferzeiten zwischen den Blöcken. Wie die Ergebnisse zeigen, kann der Bestand nur dann erhalten bleiben wenn keine Pufferzeiten eingerechnet werden würden. Jedoch hat ein Fahrplan, der ohne Pufferzeiten ausgeführt wird, keine Ablaufstabilität und wird mit einer Kapazität von über 100% beschrieben. Puffer sind für einen stabilen Ablauf unabdingbar. Des Weiteren könnten mit dieser Lösung keine Güterzüge tagsüber fahren. [3]

Der zweite Ansatz war die Verdichtung von Streckenblöcken. Dies würde dem Güterverkehr Vorteile, jedoch dem Fernverkehr keinen Nutzen bringen, da die Kantenfahrzeit unverändert bleibt. Beide Szenarien erreichen nicht das gewünschte Ziel, einer Kapazitätssteigerung und einer taktfahrplankonformen Infrastruktur, welche im Zielnetz 2025+ vorgegeben ist.

Als dritten Lösungsansatz hat man den Bau eines neuen Gleises zwischen Graz und Peggau angedacht. Es wurde eine Variantenstudie im Maßstab 1:25 000 durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, dass nur der Bau einer Neubaustrecke sowohl die prognostizierte Anzahl an Güter- und Personenzügen ermöglicht, als auch die Einhaltung der Kantenfahrzeit erlaubt. Dieser dritte Lösungsansatz wird in dieser Diplomarbeit weiter verfolgt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ [3]

Szenario	Anzahl Personenzüge	Anzahl Güterzüge bei 2 min Pufferzeit	Verhältnis Güterzüge Tag/Nacht [%/%]	Auslastung bei 2 min Pufferzeit [%]	Max. Verspätung im PV [min]	S-Bahn-Takt [min]	$\Delta$ Fahrzeit S-Bahn [min]	$\Delta$ Fahrzeit Fernverkehr [min]
I: Infrastruktur Bestand								
A: Vollknoten Graz		120	12/88	104	2	19 11 13 17	+6	0
B: Halbknoten Graz		120	12/88	104	2	18 09 21 12	0	0
II: zus. Streckenblöcke	215	210	26/74	82	2	wie IA/IB	0	0
III: sel. Mehrgleisigkeit								
ohne zus. Streckenbl.		212	40/60	81	4	15 15 15 15	+2	+2
mit zus. Streckenbl.		268	35/65	75	4	15 15 15 15	+2	+2
IV: Neubaustrecke		304	39/61	67	8	15 15 15 15	0	-5

Wie die Zusammenfassung der Studie in Tabelle 1 zeigt, kann die geforderte Kapazität mit zusätzlichen Streckenblöcken alleine erreicht werden. Aber nur der Bau einer Neubaustrecke kann zusätzlich eine Reduktion der Netzfahrzeit von 5 Minuten erreichen. [3]

#### 1.4.3 Gleisanzahl

Die Neubaustrecke soll zwischen dem Autobahnknoten Deutsch-Feistritz und Gösting errichtet werden. Von Peggau bis zum Autobahnkreuz und von Gösting bis zum Hauptbahnhof Graz ist es ausreichend, ein zusätzliches drittes Gleis zu errichten. Das dritte Gleis dieser Strecke kann flexibel für den Betrieb genutzt werden, während bei jenen Abschnitten, in denen der Neubau vom Altbau getrennt verläuft, jeweils zwei Gleise notwendig sind. [3]

#### 1.4.4 Trassierungsgeschwindigkeit

Die Vorermittlung der Fahrzeit in der Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ ergab, dass eine Trassierung mit 160 km/h zunächst ausreichend ist. Nach Vorliegen der Detailplanung muss daher für jede Variante die Fahrzeit ermittelt werden.

#### 1.4.5 Bahnhof Gösting

In dieser Arbeit soll der Platzbedarf für einen Bahnhof in Höhe Gösting berücksichtigt werden, um die Anbindung in den städtischen Nahverkehr zu verbessern. Auch die höhere technische Lehr- und Versuchsanstalt (ehemalige BULME) mit ca. 2800 Schülern soll direkt profitieren.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Topografie

Der Planungskorridor verläuft entlang der Mur. Diese verläuft im Trassierungsgebiet von Norden nach Süden. Der Fluss wird östlich und westlich von den Ausläufern der Alpen flankiert. Steile Hänge und hügelige Strukturen prägen das Landschaftsbild. An einigen Stellen (Weinzödl, Höhe Dultgraben) dreht sich der Flussverlauf in engen Bögen um 90 Grad. An diesen Stellen verengt sich das Tal. Die wichtigsten topografischen Gebiete für diese Arbeit sind das nördliche Ende des Grazer Beckens der Plabutsch, die Talenge bei Raach, die nordöstlichen Gebirgsausläufe bei Gratkorn und die Talsohle zwischen Eggenfeld und Peggau



Abbildung 1: Topografie des Großraumes nördlich von Graz [6]



In Abbildung 1 ist die alpine Topographie in diesem Trassierungsgebiet gut zu erkennen. Entlang der Mäander der Mur existieren Gebiete, die als Hochwasserrückhaltegebiete vorgegeben sind. Viele dieser Überschwemmungsgebiete sind Auen und dürfen nicht bebaut werden. Auch Trinkwasserschutzgebiete sind zu vermeiden. Eines dieser Schutzgebiete befindet sich an der östlichen Muruferseite in der Umgebung von Friesach. Da Bereiche des Planungskorridors durch die „Schutzzone 2 und 3“ verlaufen müssen, besondere Berechtigungen der Wasserbehörde eingeholt werden. [7]



Abbildung 2: Wasserschutzgebiet Friesach

In jenen Gebieten wo gebaut werden darf, muss darauf geachtet werden, dass die Bauwerke keinen Rückstau verursachen. Die Folge sind Umplanungsmaßnahmen zum Erhalt des Hochwasserschutzes. Für die Planung wird der Wasserpegel der Mur bei einem 300-jährigen Hochwasserereignisses angenommen.

Das Überschwemmungsgebiet südlich der Autobahnausfahrt „Gratkorn Süd“ ist ein deutliches Beispiel dieser Problematik. Der Zwangspunkt ist der Hochwasserspiegel des Flusses

und beträgt in diesem Bereich bei einem HQ300 370,5 Meter. Da die Brücke in einem Überschwemmungsgebiet errichtet wird (siehe Abbildung 3), muss darauf geachtet werden, dieses Gebiet nicht zu verbauen, da sonst ein Rückstau entsteht. Die Brückenkonstruktion ist daher in einer Länge von 700 Metern zu errichten.

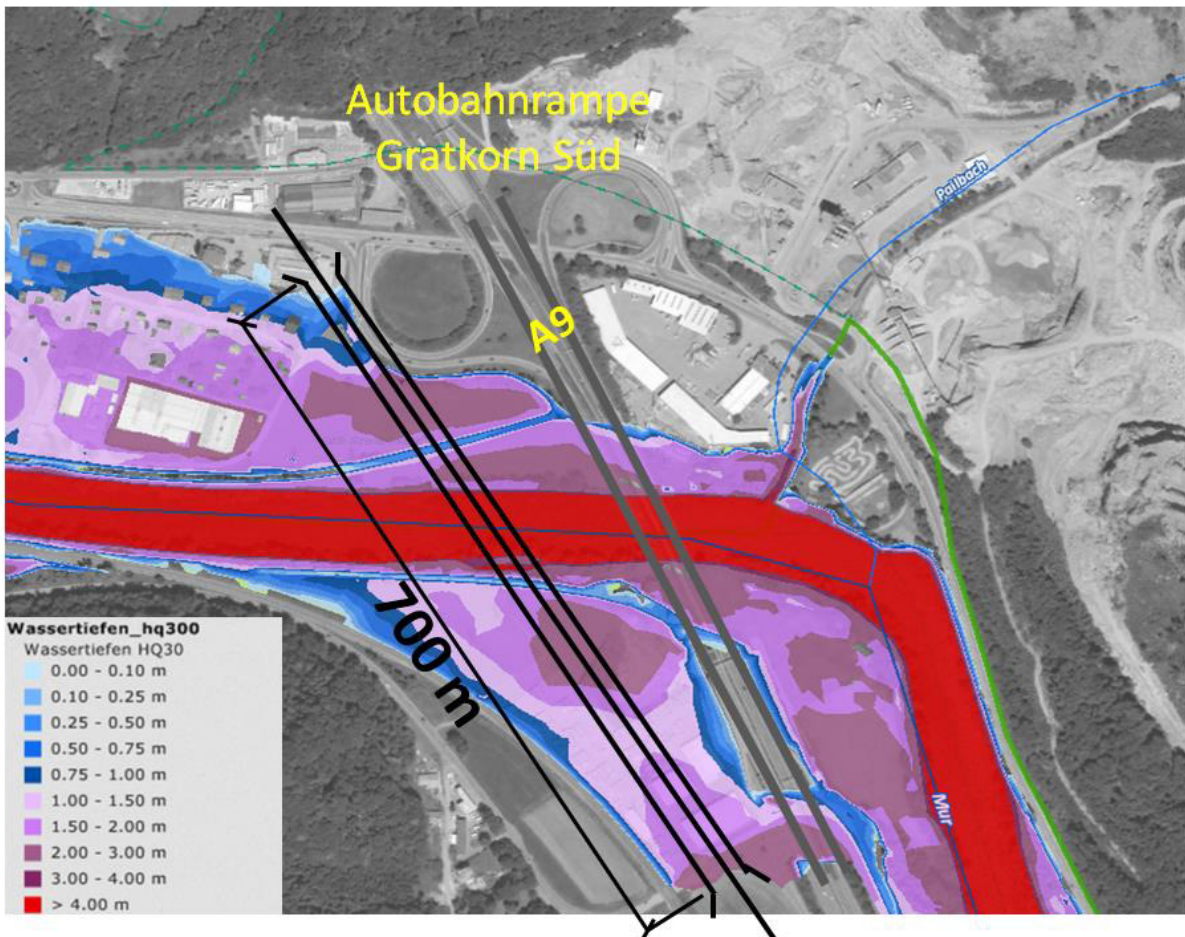


Abbildung 3: HQ300 bei Gratkorn Süd

## 2.2 Bestand

Der Trassierungskorridor beginnt im Bahnhof Peggau. Dort zweigt die Übelbacher Bahn in Richtung Westen ab und die Haupttrasse verläuft in Richtung Süden

Der aktuelle Bestand Graz-Peggau ist durchgehend zweigleisig. Auf dieser Strecke gibt es Bögen mit kleinen Radien (450 m). Daher können nur Geschwindigkeiten von 80 bis 140 km/h erreicht werden.

Nördlich, an den Grazer Hauptbahnhof anschließend, liegt ein Verschiebebahnhof. Seine kürzesten Abstellgleise haben eine Länge von 700 m und damit weniger als die gemäß RVE definierten 750 m. [4] Da diese Gleise kürzer sind als es die aktuelle Vorschrift vorgibt, muss der Erhalt des gesamten Verschiebebahnhofes im Planungsprozess berücksichtigt werden.

## 2.3 Straßennetz

Eine Rahmenbedingung ist den Ist-Zustand der Autobahnen und der Schnellstraßen beizubehalten. Diese dürfen durch die Planungen nicht beeinträchtigt oder verändert werden. Niedrigrangigere Straßen können, wenn notwendig, geringfügig angehoben, umgelegt und abgesenkt werden. Generell ist eine alternative Route anzubieten, wenn diese Straßen durch die neue Trasse ersetzt werden müssen.

Jedoch verlaufen die Trassierungskorridore hauptsächlich entlang folgender höherrangiger Straßen:

Die Phyrnautobahn A9 ist eine der wichtigsten Nord-Süd Achsen des österreichischen Straßennetzes. Südlich von Peggau befindet sich der Autobahnknoten Deutsch-Feistritz. Hier beginnt die S 35 Richtung Bruck an der Mur und liegt die Autobahnzufahrt der Landesstraße B67. Hier sind drei Brücken und drei Unterführungen zu berücksichtigen.

Weitere Merkmale der A9 zwischen dem Knoten Deutsch-Feistritz und dem Plabutschunnel sind:

- I die östliche Umfahrung von Gratkorn mit dem Tunnel Gratkorn Nord und Gratkorn Süd
- I die Ausfahrt Gratkorn Nord
- I der Rastplatz bei Gratkorn Nord in Fahrtrichtung Graz
- I die Auf-/Abfahrt Gratkorn-Süd beziehungsweise Graz Andritz

- I die Auf-/ und Abfahrt Graz–Nord
- I die B67 (Grazer Straße)
- I die L302 (Judendorfer Straße)

Die Landesstraße B67 verbindet die A9 mit der näheren Umgebung. Sie ist die Anschlussstraße bei allen vier Autobahnabfahrten (Peggau; Gratkorn Nord; Gratkorn Süd; Graz Nord) die für diese Studie relevant sind.

## 2.4 Siedlungsstrukturen

Das Trassierungsgebiet liegt in den politischen Bezirken Graz und Graz Umgebung. Nördliche Begrenzung ist Peggau und im Süden reicht dieses bis zum Grazer Hauptbahnhof. Größere Siedlungen in dieser Umgebung sind die Gemeinden Deutsch-Feistritz, Gratkorn und Gratwein–Straßengel. Des Weiteren sind die Siedlungen Kleinstübing, Friesach, Wörth, Eggenfeld und der Grazer Randbezirk Gösting anzuführen. Die Siedlungsdichte ist dementsprechend hoch. Zusätzlich ist das Gebiet zwischen den Ortschaften zersiedelt. Entlang der Autobahn liegen weiters mehrere Industriegebiete.

## 2.5 Kartengrundlagen

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) stellte im Zuge dieser Arbeit ein digitales Geländemodell (DGM) zur Verfügung. Dieses beinhaltet Höhenschichtlinien in einem Abstand von fünf Metern. Das Gebiet umfasst circa 200 km<sup>2</sup> und beginnt südlich des Bahnhofes Peggau, endet nördlich des Hauptbahnhofes Graz und deckt alle für dieses Projekt in Frage kommenden Korridore ab.

Es hat sich im Laufe des Projektes herausgestellt, dass nicht alle höhenabhängigen Fragen mit diesen Daten beantwortet werden konnten. Vor allem entlang der Talsohle der Mur und dem Verlauf der Autobahn waren detailliertere Höhenkoten notwendig, die das Gelände zwischen den fünf Meter entfernten Höhenschichtlinien genauer wiedergaben. Diese wurden mithilfe des geographischen Informationssystems (GIS) des Landes Steiermark erhoben und händisch hinzugefügt.

Die österreichische Karte (ÖK 50), mit einem Maßstab von 1:50 000, war für die Detailtiefe der Arbeit zu ungenau. So wurden die Informationen des GIS Steiermark herangezogen. Das GIS Steiermark stellt vermessungstechnische Daten zur Verfügung. Diese sind über die Internetseite [www.gissteiermark.at](http://www.gissteiermark.at) [8] abrufbar. Folgende Daten wurden für die Detailplanung im Zuge dieser Arbeit dem GIS entnommen:

- I Höhendaten
- I Katasterplan
- I Grundstücksdaten (Grenzen, Lageplan von Gebäuden,...)
- I Hochwassermarken
- I Lage und Höhe von Gebäuden und Straßen

Die erhaltenen Daten waren, zusätzlich zu jenen der ÖK 50 und des DGM, für die Detailausarbeitungen erforderlich. Diese half die Fein- und Detailplanung mit der notwendigen Genauigkeit auszuführen.

Es wurden in Orthofotos und Reliefdaten des Airborne-Laserscans der Katasterplan und Gebäudegrundrisse eingelesen und in die Pläne eingebettet.

## 2.6 Knotengestaltung

Aus der Gleisauslegung des Grazer Hauptbahnhofes ergibt sich, dass die mittleren Bahnsteige (3-4) für Intercitys und Railjets eingeplant und die äußeren für die Regionalzüge reserviert sind.

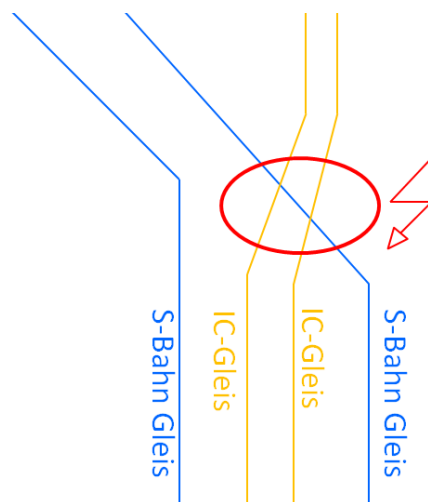


Abbildung 4: Niveaugleiche Kreuzung Gösting

Nördlich von Graz müssen daher die Gleise des Fernverkehrs aus dem Bestand ausfädeln, wobei sie die S-Bahn-Gleise nicht niveaugleich kreuzen dürfen. Wenn sich die S-Bahn Trasse und die Fernverkehrstrasse im Norden von Graz aufteilen, werden diese sich kreuzen (siehe Abbildung 4).



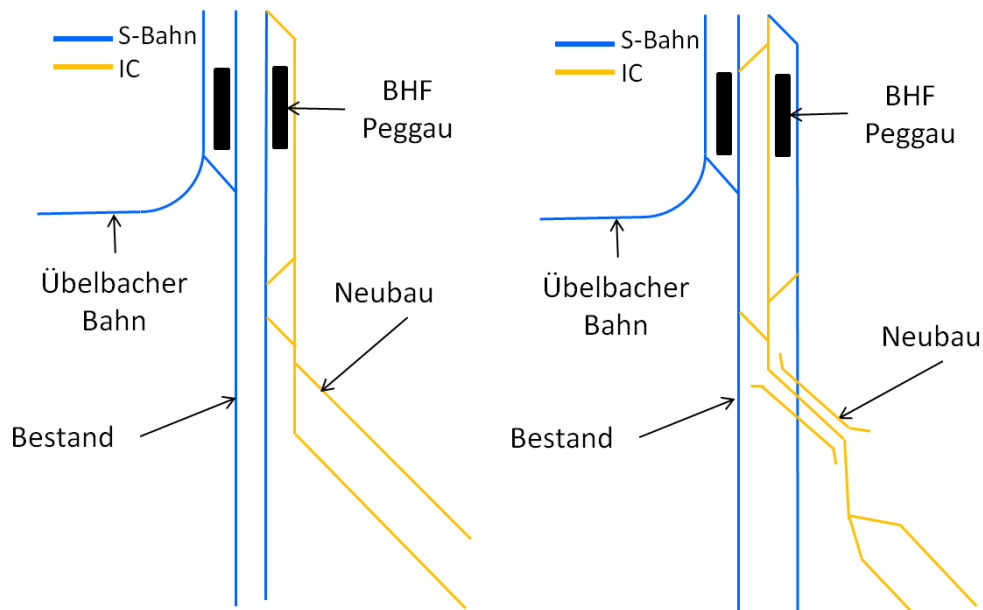


Abbildung 5: Varianten der Gleisbelegung bei Deutsch-Feistritz

Wie die in Kapitel 1.4.2. erwähnte Studie der TU Graz „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ ergeben hat, ist die notwendige Fahrzeitdifferenz für eine systematisch fliegende Überholung der S-Bahn durch zwei Fernverkehrszüge 9 Minuten. Dies kann nur erreicht werden, wenn der Fernverkehr nördlich des Bahnhofes Peggau ausfädelt. Somit stehen bereits ab dem Nordkopf des Bahnhofes Peggau drei Gleise zur Verfügung (siehe Abbildung 5).

In Peggau kann die Neubautrasse nördlich vom Bahnhof abzweigen und verläuft bis Deutsch-Feistritz parallel zum Bestand eingleisig. Eine weitere Lösung ist das mittlere Gleis für die Fernverkehrszüge zu reservieren und nördlich von Deutsch-Feistritz niveaufrei auszufädeln. Der Vorteil der zweiten Lösung ist die höhere betriebliche Flexibilität der Gleisbelegung, da auf beide S-Bahn-Gleise ausgewichen werden kann. Jedoch bedeutet der Bau einer Überwerfung zusätzliche Kosten (siehe Abbildung 5).

## 2.7 Trassierungsgrundlagen (RVE, TSI)

Die RVE 05.00.01 wurde von den ÖBB in Zusammenarbeit mit der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) erstellt und hat zwei Teile. Der erste Teil befasst sich detailliert mit den Abläufen und Abhandlungen der Trassierungsmaßnahmen. Sie ist für den wissenschaftlichen Gebrauch gedacht. [9]

Der zweite Teil ist eine gekürzte Version des wissenschaftlichen Teiles und dient dazu den Planern eine effiziente Version für die Trassierung anzubieten. Hier werden die notwendigen Bedingungen und Vorschriften, die für Trassierungen notwendig sind, erklärt.

Diese Trassierung orientiert sich an der RVE Richtlinie 05.00.01. Siedlungstechnische und topografische Faktoren entlang der Strecke führen zu einem Ausreizen der Grenzwerte. Wenn sich aus der Detailbetrachtung ergibt, dass Grenzwerte überschritten werden, führt das zum Ausschluss einer Variante und wird am Ende jeder Variantendiskussion aufgeführt.

### 2.7.1 Geschwindigkeit

Wie in Kapitel 1.4.4. erwähnt soll auf der Neubaustrecke durchgehend eine Geschwindigkeit von 160 km/h möglich sein. Mit der Trassierungsgeschwindigkeit kann man Mindeststradien von Bögen, Überhöhungen und Ausrundungsradien berechnen.

### 2.7.2 Radien

Die neue Trassierungsvorschrift ermöglicht einige Planungsfreiheiten, da sich der Bogenradius für 160 km/h im Vergleich zur HL-Richtlinie (Basis Studie „Netzentwicklung Graz Bruck/Mur“) von 1200 m auf 1050 m verkleinert hat. Eingangsdaten für die Berechnung sind wie folgt:

- I Maximalgeschwindigkeit:  $V_{max} = 160$  km/h
- I Maximalüberhöhung:  $I_0 = 160$  mm
- I Überhöhungsfehlbetrag:  $D_0 = 130$  mm

Der Mindestradius wird wie folgt berechnet:

$$Rc = \frac{11,80227 * V^2}{D_0 + I_0} \quad [9]$$

$$Rc = \frac{11,80227 * 160^2}{160 + 130} = 1041,655 \approx 1042 \text{ m}$$

Dieser Mindestradius wird auf die nächste runde Zehnerstelle zu den erwähnten 1050 aufgerundet. Der Mindestradius von 1050 m und soll nur wenn nötig angewendet werden. Da es sich jedoch um eine dicht besiedelte Region handelt, ist es in den Planungen häufig erforderlich, auf den Mindestradius zurückzugreifen.

Zusätzlich schreibt die Richtlinie vor, auch bei niedrigeren Geschwindigkeiten den Bogenradius von 450 m (wird ab einer Geschwindigkeit von 100 km/h notwendig) nicht zu unterschreiten. [9]

### 2.7.3 Neigungen und Ausrundungsradien

Die Trassierungsvorschrift schreibt bezüglich der Längsneigung für neuzubauende TSI-konforme Stecken vor maximal 12,5‰ anzusetzen.

In der RVE Richtlinie 05.00.01 werden Ausnahmefälle zugelassen. Aufgrund dieser wurden bei zwei Überwerfungen, die eine westlich des Bahnhofs Meidling und eine westlich des Linzer Hauptbahnhofes, Neigungen von 33‰ verwendet. Kurze Rampen können mit Schwung befahren werden wenn nicht die gesamte Zuglänge gleichzeitig bergauf bewegt werden muss. Begründet auf diesen Ausnahmen wurde bei dieser Arbeit die Überwerfung in Bahnhofsnähe mit solchen Neigungen dimensioniert.

Die zulässige Mindestlängsneigung im Tunnel beträgt 5‰ und soll ein Abrinnen von etwaigem Tunnelwasser garantieren. Die zulässige Maximallängsneigung beträgt im Tunnel 10‰. Die auf 12,5‰ fehlenden 2,5‰ sollen die im Tunnel herrschenden erhöhten Luftwiderstandskräfte zumindest teilweise kompensieren.

Die vertikalen Ausrundungsradien bei Neigungswechseln sind auch mit der Trassierungsgeschwindigkeit zu errechnen und lauten wie folgt:

$$Ra = \frac{v^2}{4} \quad [9]$$

$$Rc = \frac{160^2}{4} = 6400 \text{ m}$$



### 2.7.4 Überhöhungen

Die Überhöhung wird wie folgt berechnet:

$$D_{equ} = 11,80227 * \frac{v^2}{R_c} \quad [9]$$

$$D_{equ} = 11,80227 * \frac{160^2}{1050} = 287 \text{ mm}$$

Das Ergebnis für die Überhöhung sind 287 mm. Jedoch liegen die Grenzwerte für TSI-konforme Strecken bei 160 mm. Nun wird der Überhöhungsfehlbetrag berechnet indem die maximal erlaubte Überhöhung von der errechneten Überhöhung abgezogen wird. Der Wert ist zulässig solange er weniger als 130 mm beträgt.

$$287-160= 127\text{mm} \quad \Rightarrow \quad 127 \text{ mm} < 130 \text{ mm}$$

Da auch langsamere Züge dieses Gleis befahren werden, muss die Überhöhung bei der Mindestgeschwindigkeit von 100 km/h auf dieser Strecke berechnet werden. Die Überhöhung bei 100 km/h ist wie folgt:

$$D_{equ} = 11,811,80227 * \frac{100^2}{1050} = 112 \text{ mm}$$

Das Ergebnis sind 112 mm.

Nun sind zwei Überhöhungen auf einer Trasse gefordert: eine Überhöhung für 100 km/h und eine für 160 km/h. Dieser Überhöhungsüberschuss für  $V_{\min}$  darf den Maximalwert von 80 mm nicht überschreiten.

$$160- 112 = 48 \text{ mm}$$

$$48\text{mm} < 80 \text{ mm} \quad [9]$$

### 2.7.5 Übergangsbogen

Der Übergangsbogen wird als Klothoide ausgeführt, welche ein Bogen mit linear zunehmender Krümmung ist. Die Übergangsrampe, im Übergangsbogen implementiert, dient dazu, durch ihren kontinuierlichen Anstieg ruckartige Seitenbeschleunigung zu verhindern

Die Länge des Übergangsbogens wird in Abhängigkeit von drei Faktoren bestimmt. Der höchste Wert wird für die Planung herangezogen.

Die Längenbestimmung wird durch folgende Abhängigkeiten berechnet:

- I Maximale Verwindung
- I Maximal zulässiger Seitenruck
- I Maximal zulässige Überhöhungsgeschwindigkeit

Die Länge des Übergangsbogens wird, in Abhängigkeit der maximalen Verwindung mittels folgender Formel ermittelt:

$$L = \frac{|\Delta D|}{D'_0} \quad [9]$$

Mit:  $|\Delta D|$                     Höchste zulässige Überhöhungsdifferenz (mm)

$D'_0$                             GröÙte zulässige Gleisverwindung (mm/m)

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Berechnungen ersichtlich:

Tabelle 2: Länge in Abhängigkeit der max. Verwindung

$\Delta D$	$D'_0$	L
100	1.25	80.000
160	1.25	128.000
100	1.66	60.241
160	1.66	96.386
100	2.5	40.000
160	2.5	64.000

Längenbestimmung in Abhängigkeit des maximal zulässigen Seitenrucks:

$$L = \frac{V_{max} * |\Delta U|}{3,6 * \dot{U}_0} \quad [9]$$

Mit:  $|\Delta U|$  größte abrupte Änderung der Fehlüberhöhung (mm)  
 $\dot{U}_0$  größter zulässiger echter unausgeglichener Seitenruck

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Berechnungen ersichtlich:

Tabelle 3: Länge in Abhängigkeit des max. zulässigen Seitenrucks

$V_{max}$	$\Delta U$	$\dot{U}_0$	L
160	55	55	44.444
160	55	90	27.160
160	100	55	80.808
160	100	90	49.383

Längenbestimmung in Abhängigkeit der maximal zulässigen Überhöhungsgeschwindigkeit:

$$L = \frac{V_{max} * |\Delta D|}{3,6 * \dot{D}_0} \quad [9]$$

Mit:  $|\Delta D|$  Höchste zulässige Überhöhungsdifferenz (mm)  
 $\dot{D}_0$  Maximale Überhöhungsgeschwindigkeit (mm/s)

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Berechnungen ersichtlich:

Tabelle 4: Länge in Abhängigkeit der max. zul. Überhöhungsgeschwindigkeit:

$V_{max}$	$\dot{D}_0$	$\Delta D$	L
160	28	100	158.730
160	35	100	126.984
160	28	160	253.968
160	35	160	203.175

Die Berechnungen zeigen, dass der gültige Übergangsbogen eine Mindestlänge von 253,968 m hat.

### 2.7.6 Verwindung

Mit der errechneten Mindestlänge ( $L$ ) und der höchsten zulässigen Überhöhungsdifferenz ( $\Delta D$ ) kann nun die dazugehörige Verwindung errechnet werden. Die Verwindung wird wie folgt berechnet:

$$D'_0 = \frac{|\Delta D|}{L} \quad [9]$$

$$D'_0 = \frac{|160 \text{ mm}|}{253,968 \text{ m}} = 0,6299 \approx 0,63 \text{ mm/m}$$

$$0,63 \text{ mm/m} < 1,25 \text{ mm/m}$$

### 2.7.7 Mindestlängen

Die Hauptbestandteile einer Trassierung sind die Gerade und der Bogen.

Die Berechnungen aus Kapitel 2.7.5 haben eine Länge von 253,968 Meter für den Übergangsbogen ergeben.

Die Mindestelementlänge wird mit folgender Formel ermittelt:

$$L_i = 0,50 * Vmax \quad [9]$$

$$L_i = 0,50 * 160 = 80,0 \text{ m}$$

für Geschwindigkeiten  $100 < Vmax \leq 160 \text{ km/h}$

Bei Geschwindigkeiten von 160 km/h müssen die Zwischenelemente zweier Klothoiden, also die Zwischengerade und das Kreisbogenstück eine Mindestlänge von 80 Metern betragen. In Ausnahmen kann die Länge wie folgt berechnet werden:

$$L_i = 0,30 * Vmax \quad [9]$$

$$L_i = 0,30 * 160 = 48,0 \text{ m}$$

Für die Trassierung wurden daher folgende Mindestlängen vor der Einrechnung festgelegt:

- I Bogen: 340 m (2 Übergangsbogenhälften + Mindestelementlänge)
- I Gerade: 260 m (da zwei Übergangsbögen bei einer Geraden aufeinander stoßen können)

### 2.7.8 Gleisschere

Bei engen Platzverhältnissen (km 4,2; km 8,5) kann die Zwischengerade zweier Gegenbögen kleiner als 48 m sein.

In diesen Fällen kommt eine Gleisschere zur Anwendung. Sie ermöglicht ein direktes Aufeinanderfolgen von zwei Gegenbögen ohne eine Gerade dazwischen. Der Grund dafür ist der gleichmäßige Übergang von einer Überhöhung zur anderen.

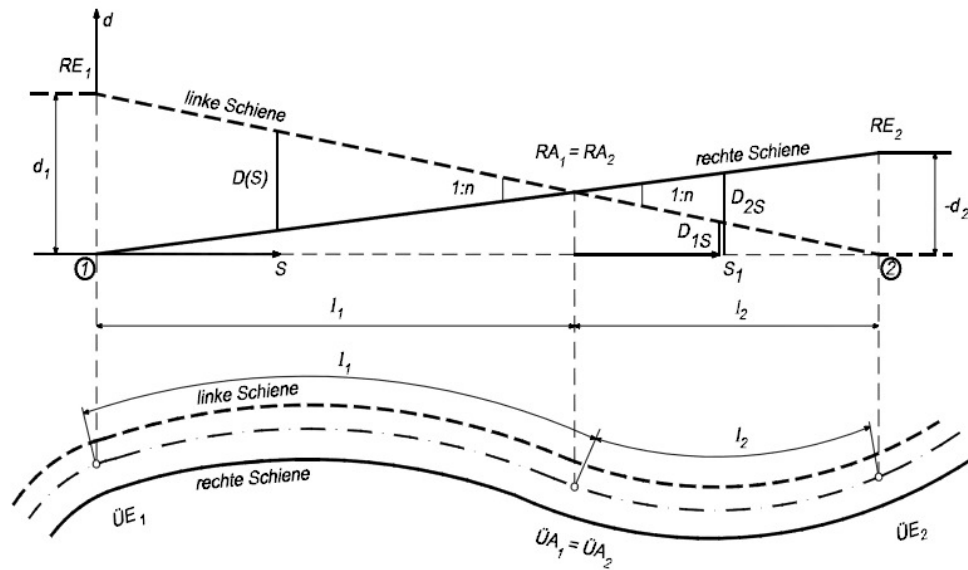


Abbildung 6: Systematische Darstellung einer Gleisschere [9]

## 3 Variantenstudie

### 3.1 Vorbemerkungen der Variantenstudie

Dieser Arbeit geht eine Studie der TU Graz „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ voraus. Dabei wurden sechs Korridore zwischen Graz und Peggau analysiert und in Plänen mit einem Maßstab 1:25000 untersucht. [3]

Als Hauptergebnis ist eine Lösung, in der die Verkehrswege gebündelt werden, zu verfolgen. So wurden alle Trassen, so weit wie möglich, mit der A9 und der S35 gebündelt. Die Trassen verlaufen größtenteils östlich der Mur.

Weiters ergibt sich aus dieser Studie:

- I Der Bestand soll bis zum Autobahnkreuz Deutsch-Feistritz genutzt werden.
- I Das Wasserschutzgebiet in Höhe Friesach soll gebündelt mit der Autobahn umfahren werden.
- I Zwischen Peggau und Raach soll die Trasse östlich der Mur verlaufen.
- I Die Siedlungsgebiete der Gemeinden Gratkorn und Gratwein-Straßengel sind zu umfahren. Diesen Bereich westlich zu umfahren, würde zum einen viele Streckenkilometer und zum anderen eine hohe Anzahl von Grundstücksablösen mit sich bringen. Des Weiteren würde sich aufgrund der Topographie eine noch höhere Anzahl von Kunstbauten ergeben.
- I Die Trasse in Friesach und Eggenfeld östlich der Autobahn zu legen ist nicht ratsam, da Siedlungen gekreuzt werden. Die hügelige Topographie (Ausläufer des Eggenbergs) erfordert größere Einschnitte und Dämme, deren Platzbedarf in den Siedlungsgebieten problematisch ist. Eine realistische Alternative ist, die Trasse in diesem Bereich westlich der A9 verlaufen zu lassen.
- I Den Bestand auf drei oder vier Gleise zu erweitern, ist nicht zu empfehlen, wie in der Variantenvorstudie ermittelt wurde. In den Bögen, die einen zu engen Radius aufweisen, müssten die zwei zusätzlichen Gleise mit einem Bogenradius von 1050 m ausgeführt werden, um die geforderte Kantenfahrzeit zu erreichen. Das ist in den Bereichen Gösting, Judendorf und Gratwein technisch sehr aufwändig. Ein weiterer Grund ist die dichte Besiedelung entlang der Strecke und das Durchfahren von Gratwein. Dies würde zu einer hohen Anzahl an Ablösen führen.







## 3.2 Übersicht

Auf der Basis der Vorstudie wurden im Zuge dieser Arbeit fünf Varianten im Detail untersucht, diese heißen wie folgt:

- I Pailgraben
- I Felberbach
- I Plabutsch
- I Weinzödl
- I Gösting

Alle Varianten haben von km 0,0 bis km 8,0 den gleichen Verlauf. Dieser Abschnitt wird in Variante „Pailgraben“ mit allen Details beschrieben. Alle weiteren Varianten werden ab dem km 8,0 erklärt. In Abbildung 8 ist jener Bereich aller Varianten ersichtlich, der die unterschiedlichen Verläufe ersichtlich macht.

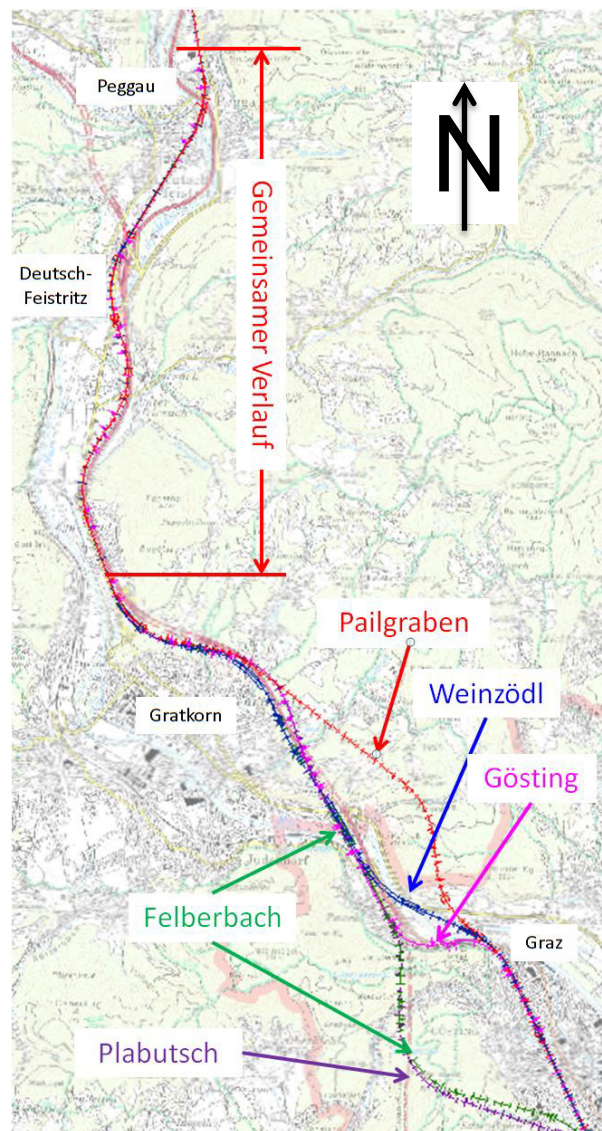


Abbildung 8: Gesamtübersicht Varianten



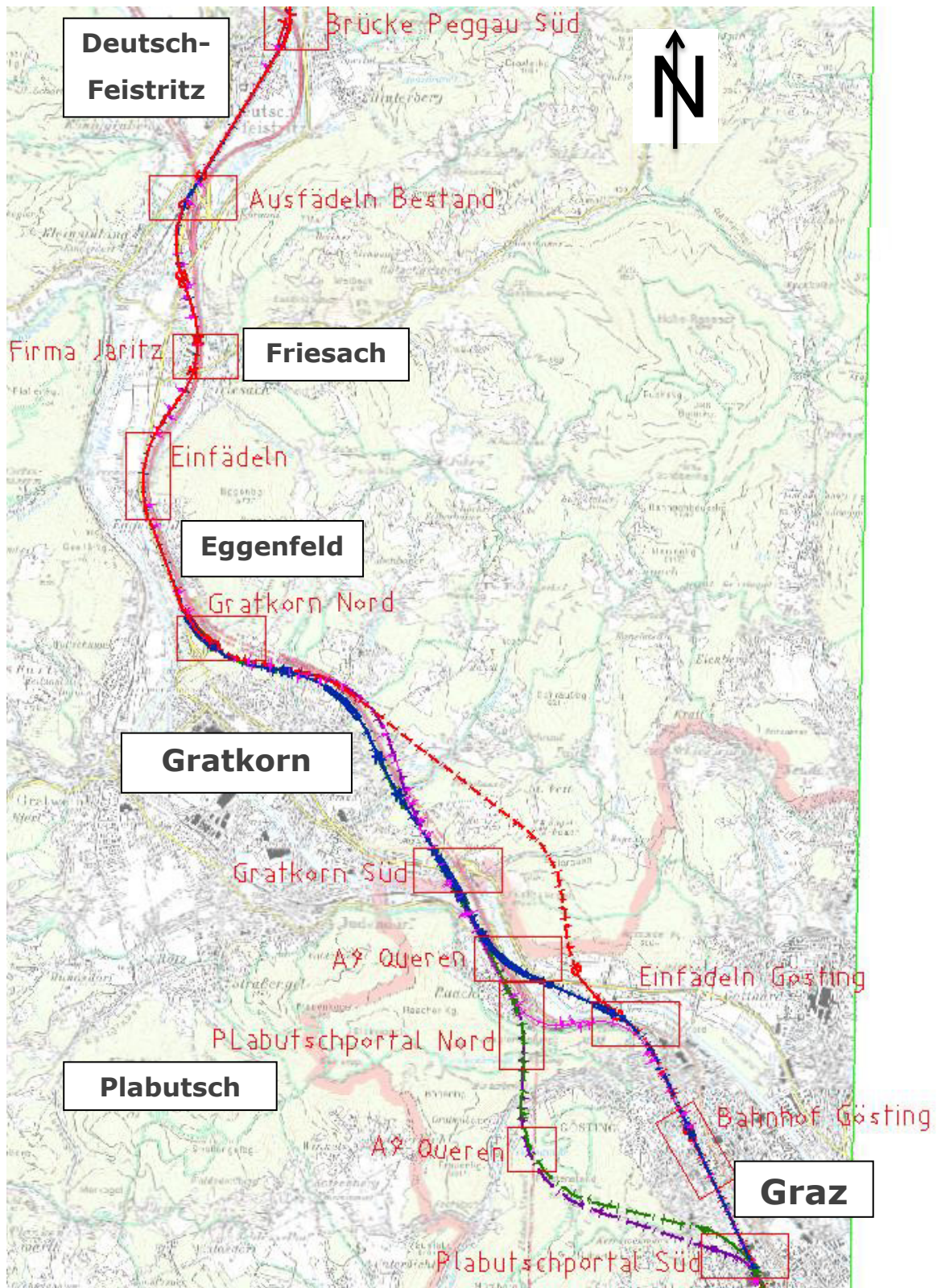


Abbildung 9: Übersicht Details

Da viele Streckenabschnitte und Details von mehreren Varianten geteilt werden, werden diese jeweils bei ihren ersten Vorkommen beschrieben. In Abbildung 9 werden die Orte der Details auf der Übersichtskarte gezeigt.

### 3.3 Variante „Pailgraben“

Der Beginn aller Trassen liegt im Bahnhof Peggau. Bis km 3,3 verlaufen sie entlang des Bestandes. Auf diesem Abschnitt reicht es aus, ein drittes Gleis hinzuzufügen. Der Bestand vom Bahnhof Peggau ausgehend kreuzt bei km 0,7 die Mur und verläuft östlich von Deutsch-Feistritz.

Südlich des Autobahnkreuzes (km 3,4) verlassen die Varianten den Bestand und biegen südöstlich ab, die Mur erneut über- und die Bundesstraße unterquerend. Ab diesem Bereich ist die Neubaustrecke zweigleisig.

Die Neubaustrecken verlaufen, von Nordwesten kommend, parallel zur Autobahn und fädeln sich nördlich von Eggenfeld zwischen Autobahn und Bundesstraße ein. Südlich von Eggenfeld, bei der Autobahnausfahrt Gratkorn Nord (km 8,1), teilen sich alle Varianten auf und verlaufen unterschiedlich.

Die Variante „Pailgraben“ setzt sich ab km 8,1 beginnend, mit einer Rampe von circa 400 Metern Länge bei der Autobahnausfahrt Gratkorn Nord fort. Gleich im Anschluss folgt der Tunnel mit einer Länge von 5630 Meter und einer Längsneigung von 5,1‰.

Der Tunnel unterquert das Felberbachtal mit einer Überdeckung von 13 Metern (FOK-GOK) und den Pailgraben mit 25,8 Metern (FOK-GOK) und endet bei km 14,2 nördlich von Weinzödl. Um genug Abstand dem Steinbruch Kanzelkogel gegenüber zu erreichen, verläuft die Trasse mit Mindeststradien (km 13,0) so weit wie möglich östlich von diesem. Vom Südportal dieses Tunnels aus verläuft die Variante Richtung Süden, die Mur bei km 14,6 überquerend. Dort beginnt eine Unterquerung der Judendorferstraße und dem Bestand mit einer Länge von 650 Meter. Ab dem km 15,8, am südlichen Portal der Unterquerung, steigt die Trasse bis zur Exerzierplatzstraße (km 16,3) mit 12,4‰ an. Hier fügt sie sich in den Bestand ein.

In den Abbildungen 8-12 finden sich Grundrisse und Längenschnitte der Variante.





Abbildung 10: Grundriss gemeinsamer nördlicher Verlauf aller Varianten

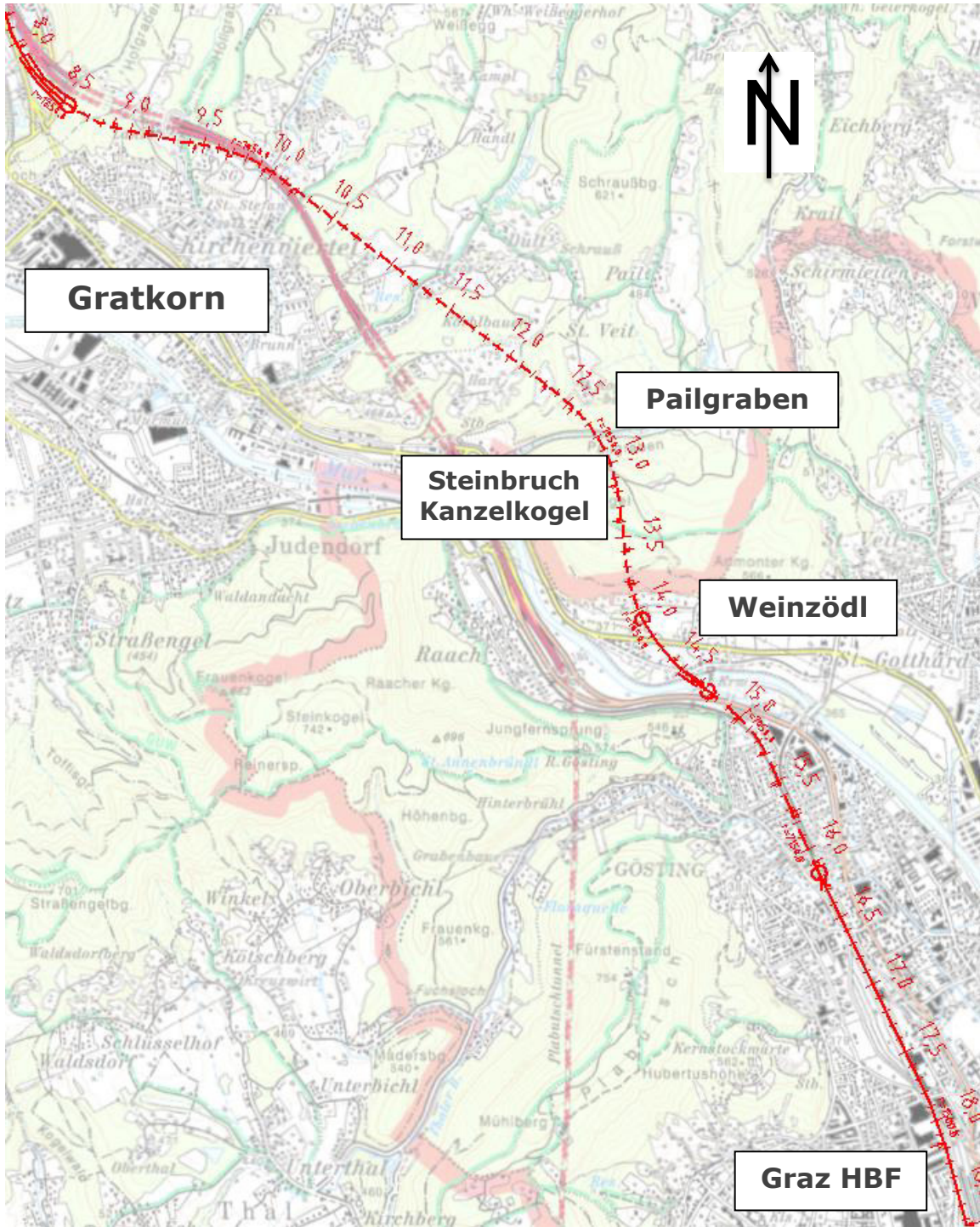


Abbildung 11: Mittlerer und südlicher Verlauf der Variante „Pailgraben“

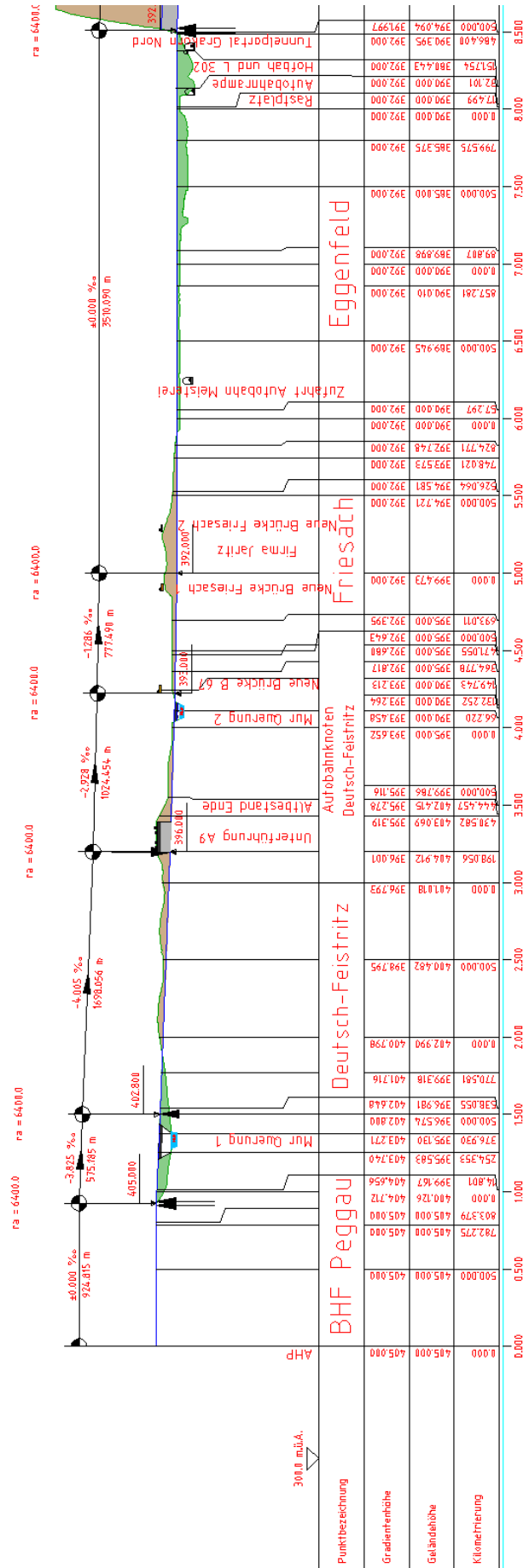


Abbildung 12: Längenschnitt aller Varianten im Norden







### 3.3.1 Brücke Peggau Süd

Ein Ziel der Arbeit war es, die Eisenbahnbrücke südlich von Peggau (km 1,2) wenn möglich zu erhalten. Der Bestand ist eine Stahlbrücke mit zwei Gleisen, in einem Bogen mit einem Radius von 800 Metern. Dieser Radius ist für maximal 130 km/h zulässig. Wie in Kapitel 2.7.1 bereits erwähnt, ist ein Radius von mindestens 1050 Metern nötig, um 160 km/h fahren zu können.

Laut dem VzG der Strecke Graz-Bruck ist die zu fahrende Geschwindigkeit im Bereich Peggau 120 km/h. Dies ist die Ausgangsgeschwindigkeit für alle weiteren Fahrzeitberechnungen, die im Kapitel 4 zusammengefasst werden [10].

Eine weitere konstruktive Vorgabe ist es, den Bestand der Übelbacher Bahn mit ihrer denkmalgeschützten Brücke zu erhalten. Der Bereich zwischen Mur und der Gabelung (zwischen Bestandsstrecke und Übelbacher Bahn) ist sehr eng.

Im Folgenden werden vier Varianten diskutiert. Deren genaue Ausgestaltung im Bahnhofsbereich Peggau muss in einer gesonderten Untersuchung (Ladegleise, Gebäude, Betriebsflächen) erarbeitet werden.



### 3.3.1.1 Variante 1: Neue eingleisige Brücke westlich

Die erste Variante sieht vor, westlich der bestehenden Brücke eine neue eingleisige Brücke mit einem Radius von 1050 Metern zu errichten. Der neue Bogen beginnt auf Höhe Bahnhof Peggau, tangiert östlich das Übelbacher Gleis und verläuft 10 Meter westlich der bestehenden Mur-Brücke. Die alte Brücke bleibt erhalten. Mit 1050 Meter Radius schert dieser jedoch nördlich der Brücke deutlich nach Osten aus, was zur Folge hat das die zwei S-Bahn-Gleise ebenfalls nach Osten verlegt werden müssen. In Höhe des Bahnhofes kommt es dadurch zu Ablösen.

Da das Neubaugleis nun westlich der S-Bahn gleise verläuft, muss nördlich Deutsch-Feistritz eine Überwerfung errichtet werden um die S-Bahn nicht zu kreuzen. Eine Unterführung ist bautechnisch aufwendig, da in diesem Bereich der Grundwasserspiegel nur wenige Meter unterhalb der Geländeoberkante liegt. Eine Überwerfung würde das Landschaftsbild deutlich prägen. Mit einer maximalen Längsneigung von 33‰ und einer zu überwindenden Höhe von 10 Metern, würde diese Konstruktion (2 Rampen, eine Brücke) eine Länge von 900 Metern einnehmen.

In der Abbildung 14 wird die Lösung skizzenhaft dargestellt.

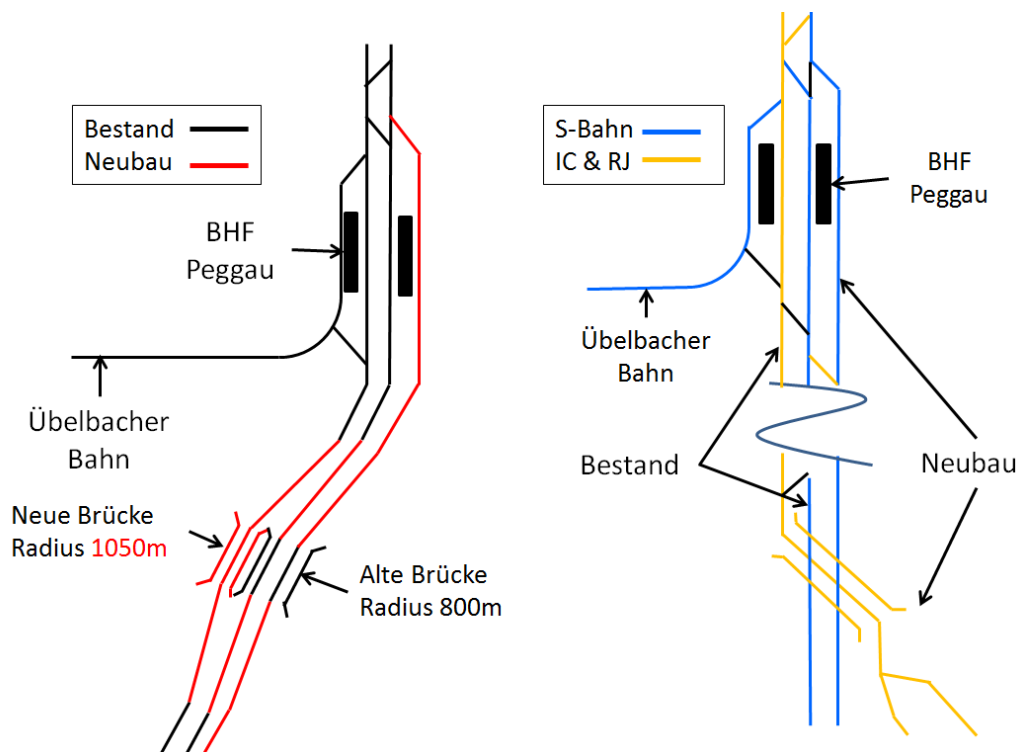


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Variante 1 Peggau



Abbildung 15: Nördlicher Lageplan Variante 1 Peggau



Abbildung 16: Südlicher Lageplan Variante 1 Peggau

### 3.3.1.2 Variante 2: Neue dreigleisige Brücke

Die zweite Variante sieht vor, anstatt der bestehenden Brücke eine neue dreigleisige Brücke mit einem Radius von 1050 Metern zu errichten. Die bestehende Brücke wird abgetragen. Der neue Bogen beginnt auf Höhe Bahnhof Peggau, tangiert östlich das Übelbacher Gleis und fädelt sich 300 Meter südlich in den Bestand ein. Mit 1050 Meter Radius schert dieser jedoch nördlich der Brücke deutlich nach Osten aus. Das hat auf Höhe des Bahnhofes Ablösen zur Folge.

Da alle drei Gleise einen Bogen von 1050 Metern haben, können die drei Gleise flexibel für Nah und Fernverkehr verwendet werden. Um zu den Kosten für den Neubau der dreigleisigen Brücke keine weiteren für ein Überwerksbauwerk bei der Ausfädelung der Neubaustrecke entstehen zu lassen, empfiehlt sich die Nutzung des östlichen Gleises für den Regelbetrieb des Fernverkehrs.

In der Abbildung 17 wird die Lösung skizzenhaft dargestellt.

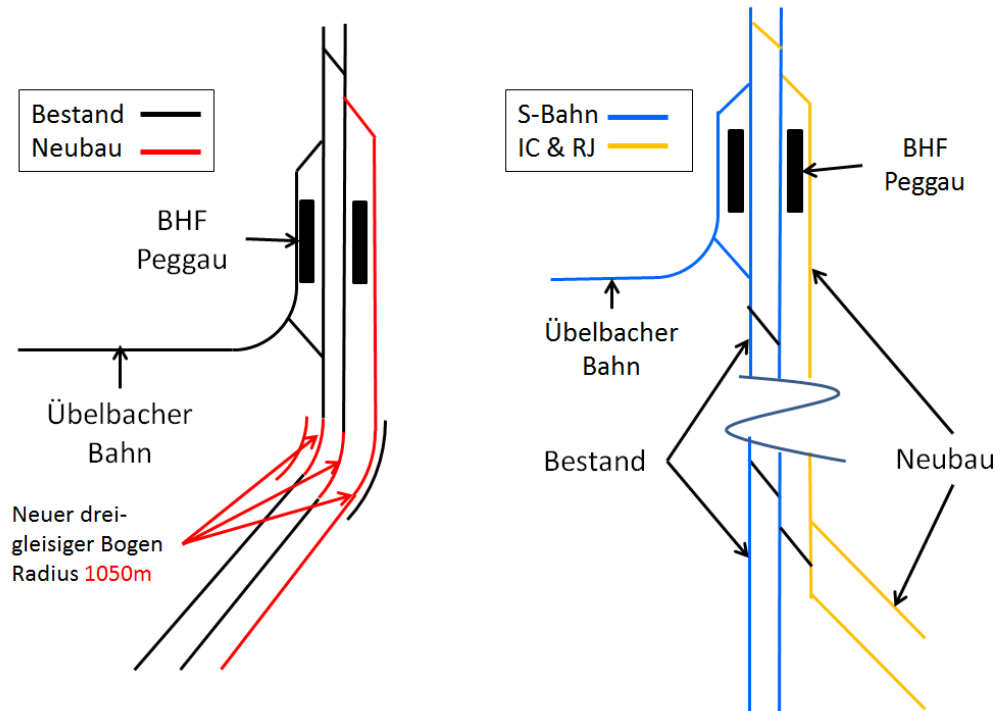


Abbildung 17: Schematische Darstellung der Variante 2 Peggau



Abbildung 18: Nördlicher Lageplan Variante 2 Peggau



Abbildung 19: Südlicher Lageplan Variante 2 Peggau

### 3.3.1.3 Variante 3: Neue bestandsnahe Brücke

Die dritte Variante sieht vor, westlich der bestehenden Brücke eine neue eingleisige Brücke mit einem Radius von 800 Metern zu errichten. Der neue Bogen verläuft 4 Meter westlich der bestehenden Brücke und fädelt sich in das Übelbacher Gleis ein. Das Übelbacher Gleis wird um eine Gleisachse nach Westen verschoben. Ein neuer Bahnsteig ist für diese Landesbahn notwendig. Die alte Brücke bleibt erhalten. Der Bogen mit 800 Meter Radius schert jedoch, im Vergleich zu Variante 1 und 2, nördlich der Brücke nicht nach Osten aus.

Da alle drei Gleise einen Bogen von 800 Metern haben, gilt für die Gleisbelegung dasselbe wie bei Variante 2. Jedoch hat die Variante einen großen Nachteil: Es sind auf den ersten 1,5 km der Strecke keine Geschwindigkeiten von 160 km/h mehr möglich. Ein Bogenradius von 800m kann man maximal mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h befahren werden. Das bedeutet gegenüber 160 km/h auf der gleichen Strecke einen Zeitverlust gegenüber von 11 Sekunden, welcher im Anschluss beurteilt wird.

In Abbildung 20 wird die Lösung skizzenhaft dargestellt.

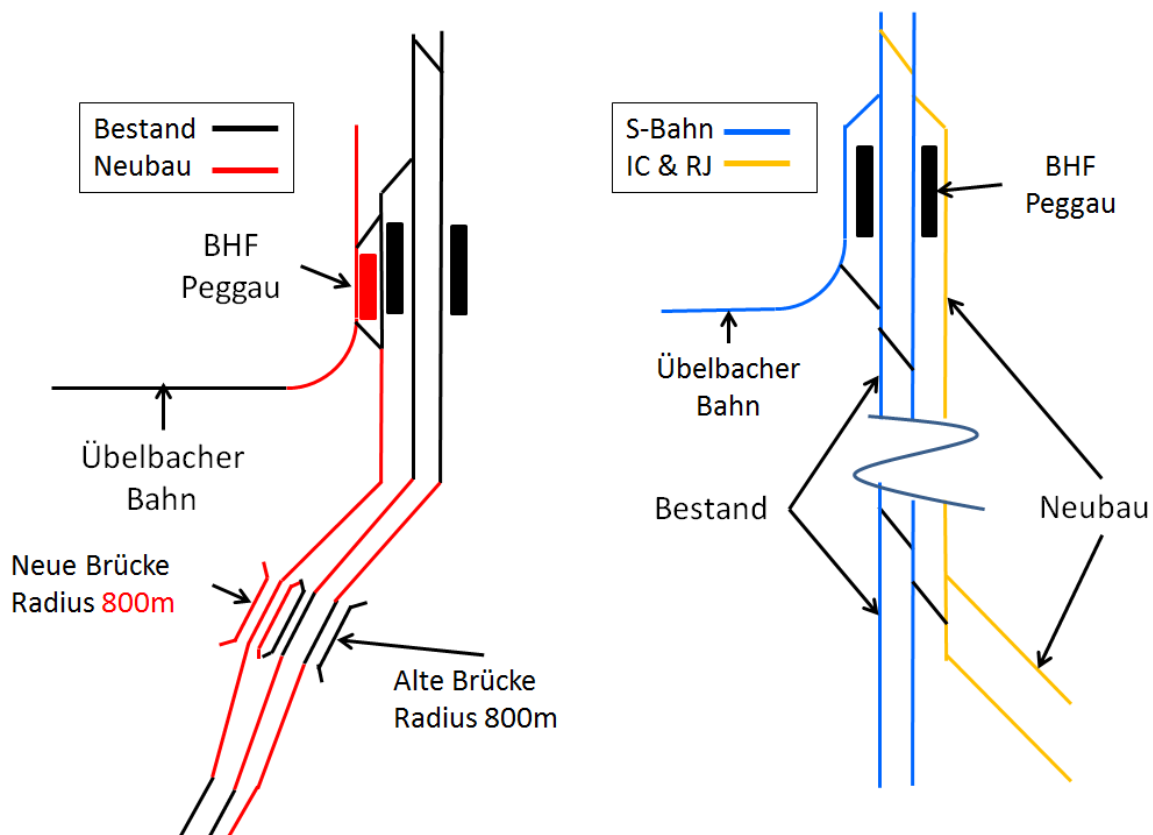


Abbildung 20: Schematische Darstellung der Variante 3 Peggau





Abbildung 21: Nördlicher Lageplan Variante 3 Peggau



Abbildung 22: Südlicher Lageplan Variante 3 Peggau

### 3.3.1.4 Variante 4: Neue eingleisige Brücke östlich

Die vierte Variante sieht vor, östlich der bestehenden Brücke eine neue eingleisige Brücke mit einem Radius von 1050 Metern zu errichten. Der neue Bogen beginnt auf Höhe Bahnhof Peggau und tangiert östlich die bestehenbleibende Brücke. Mit 1050 Meter Radius schert dieser jedoch nördlich und südlich der Brücke deutlich nach Osten aus. Die Folge sind Ablösen im südlichen und nördlichen Bereich rund um die Brücke.

Da das Neubaugleis nun östlich der S-Bahn Gleise verläuft, muss der Fernverkehr im Regelfall auf dem östlichen Gleis abgewickelt werden. Es ist zwar kein Überwerfungsbauwerk auf der Höhe der Abzweigung der Neubaustrecke notwendig, jedoch muss im Störungsfall der Fernverkehr auf die langsameren Nahverkehrsgleise ausweichen, wodurch sich der in Variante 3 erwähnte Zeitverlust auch in dieser ereignen kann. Die Brücke in Peggau muss nicht abgetragen werden, jedoch gibt es eine hohe Anzahl an Ablösen entlang des Neubaugleises.

In Abbildung 23 der wird die Lösung skizzenhaft dargestellt.

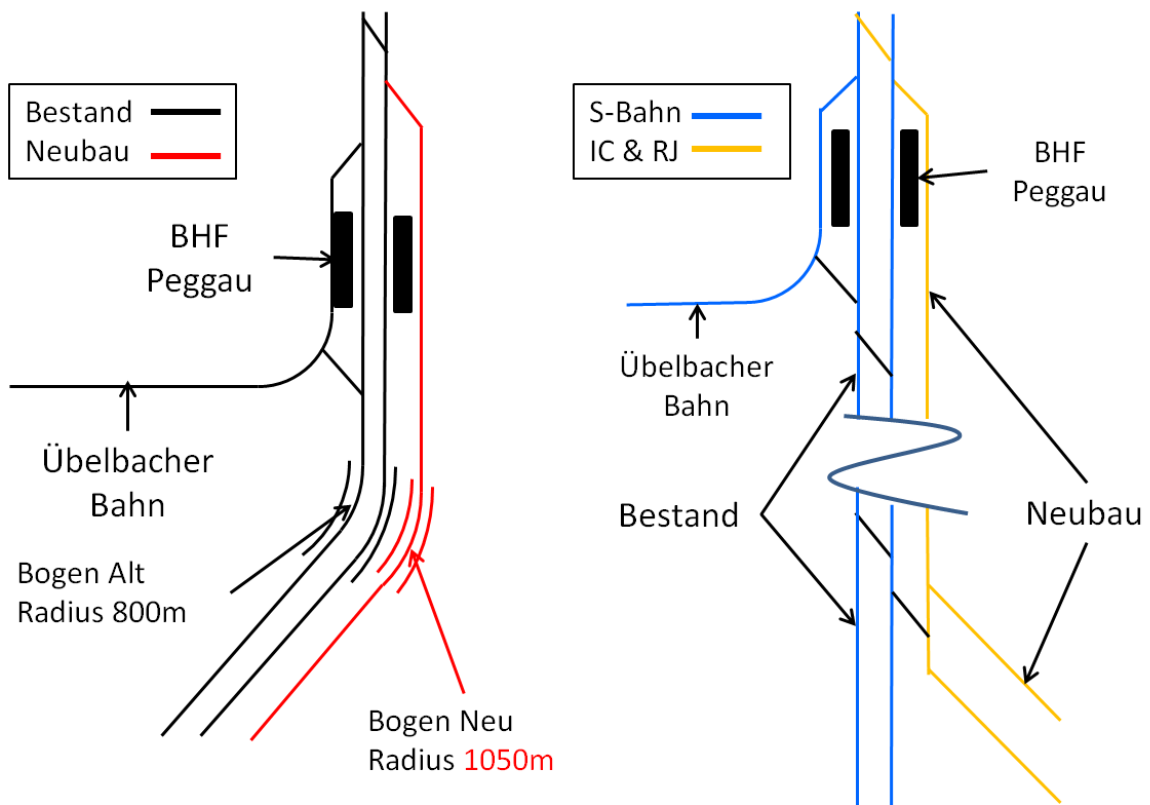


Abbildung 23: Schematische Darstellung der Variante 4 Peggau



Abbildung 24: Nördlicher Lageplan Variante 4 Peggau



Abbildung 25: Südlicher Lageplan Variante 4 Peggau



### 3.3.1 Überwerfungsbauwerk Deutsch-Feistritz

Für die in den Kapiteln 3.1.1 -3.1.4 erwähnten Überwerfungen für das niveaufreie Ausfädeln der Neubaustrecke bietet sich das Feld nördlich des Autobahnkreuzes Deutsch-Feistritz an. Die Konstruktion benötigt eine Länge von circa 900 Metern, da unter anderem die Ausrundungsradien von 6400 Metern die Konstruktion in die Länge ziehen.

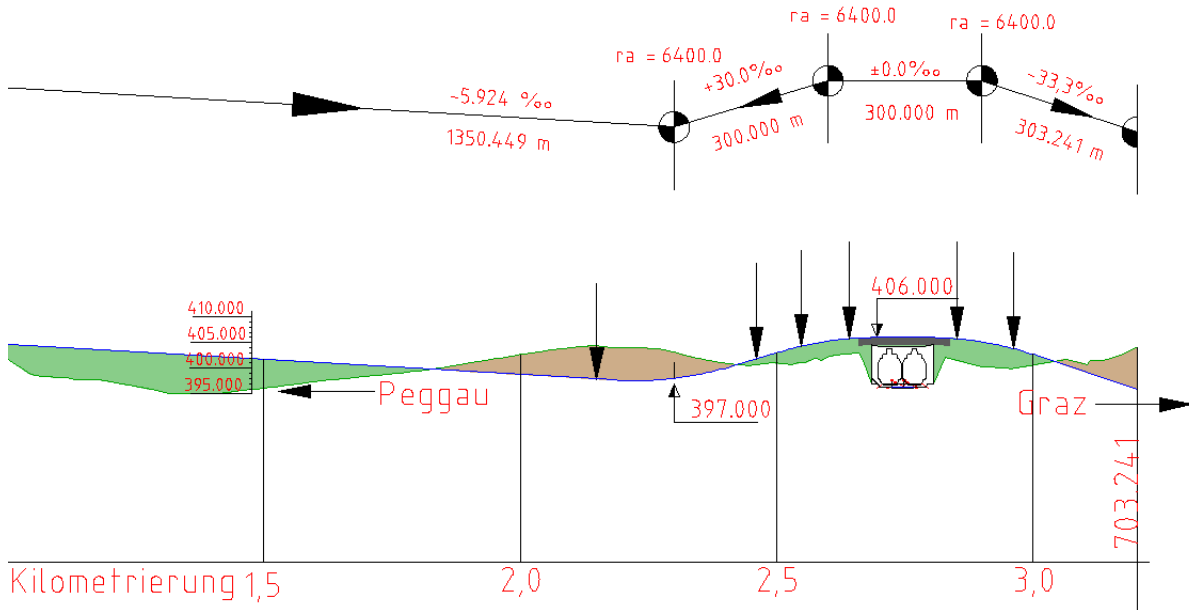


Abbildung 26: Längenschnitt der Überwerfung Deutsch-Feistritz



Abbildung 27: Gebiet für die Überwerfung Deutsch-Feistritz [11]

## 3.3.1 Variantenentscheid

Die Zusammenfassung der Varianten ist wie folgt:

Tabelle 5: Variantenentscheid Brücke Peggau

	Variante 1 1x1050 westlich	Variante 2 3x1050	Variante 3 3x800	Variante 4 1x 1050 östlich
Ablösen Nord	-	-	+	-
Ablösen Süd	+	~	~	-
Überwerfung Deutsch-Feistritz	-	~	~	+
Neu zu Bauende Brückengleise	+	-	+	+
Zu verlegende Gleise zwischen BF Peggau und Prücke	-	+	+	-
Fahrzeit	+	+	-	+
Betriebsstabilität	-	+	+	-
<b>Ergebnis</b>	<b>-</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>-</b>

Die Zusammenfassung zeigt, dass qualitativ die Variante 3 zu präferieren ist. Es sei denn die 10 Sekunden Fahrzeitverlust sind relevant und die Variante 3 ist aus Fahrzeittechnischen Gründen auszuschließen. Dann ist die Variante 2 zu empfehlen. Diese Problematik wird in Kapitel 4 behandelt.

### 3.3.2 Autobahnkreuz und Ausfädeln der Neubautrasse

Unter dem langgezogenen Autobahnkreuz zwischen der A9, der S35 und der B 67 fädelt die Neubaustrecke vom Bestand in Richtung Südosten aus. Bei km 3,4 wird die Neubaustrecke zweigeisig. In Abbildung 28 ist der entsprechende Lageplan zu sehen und in Abbildung 29 wird die Unterführung der Trasse unterhalb des Autobahnknotens im Grundriss und Längenschnitt dargestellt, in Abbildung 30 ist der zur Verfügung stehende Trassierungskorridor ersichtlich.

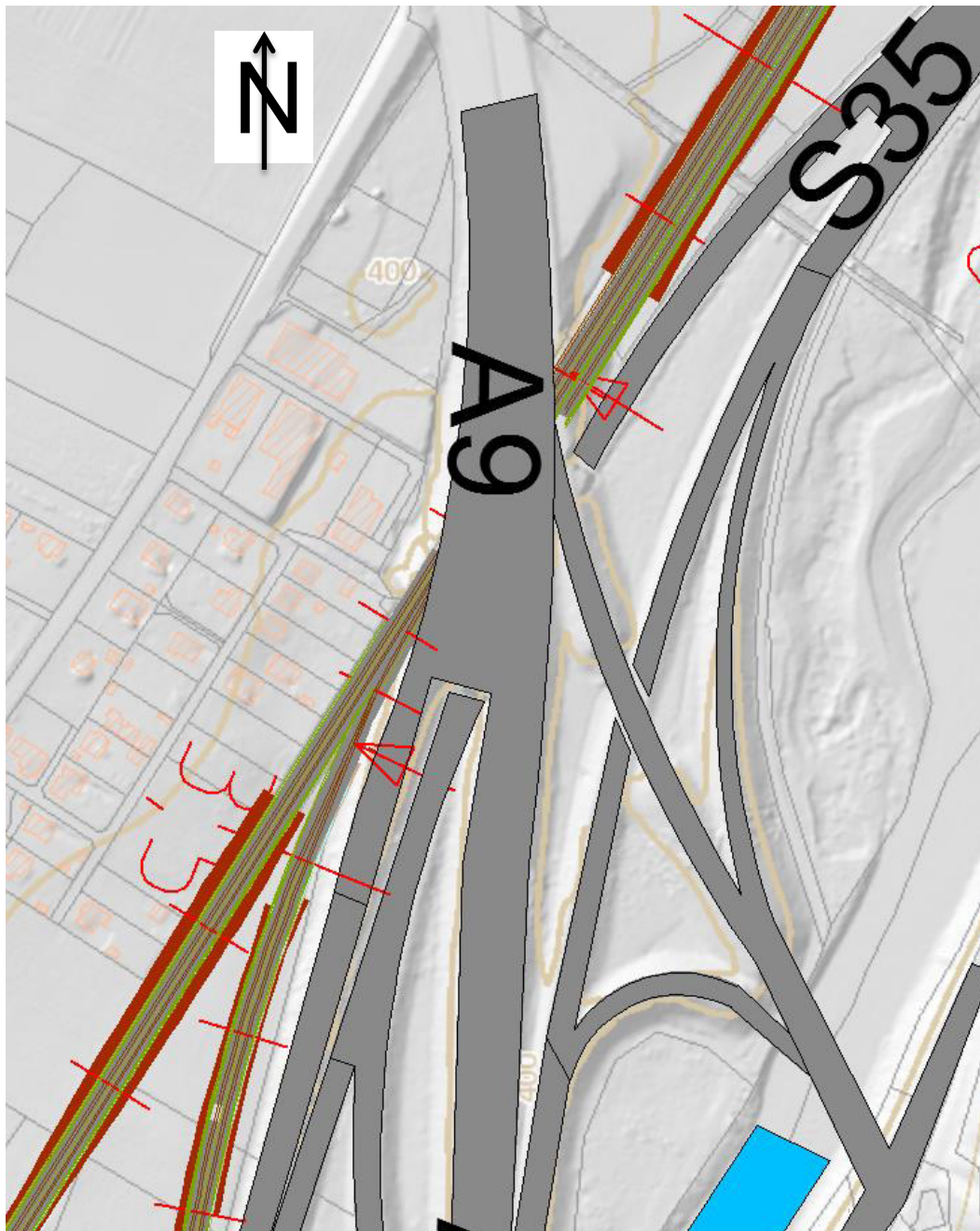


Abbildung 28: Skizze des Ausfädelns in Deutsch-Feistritz

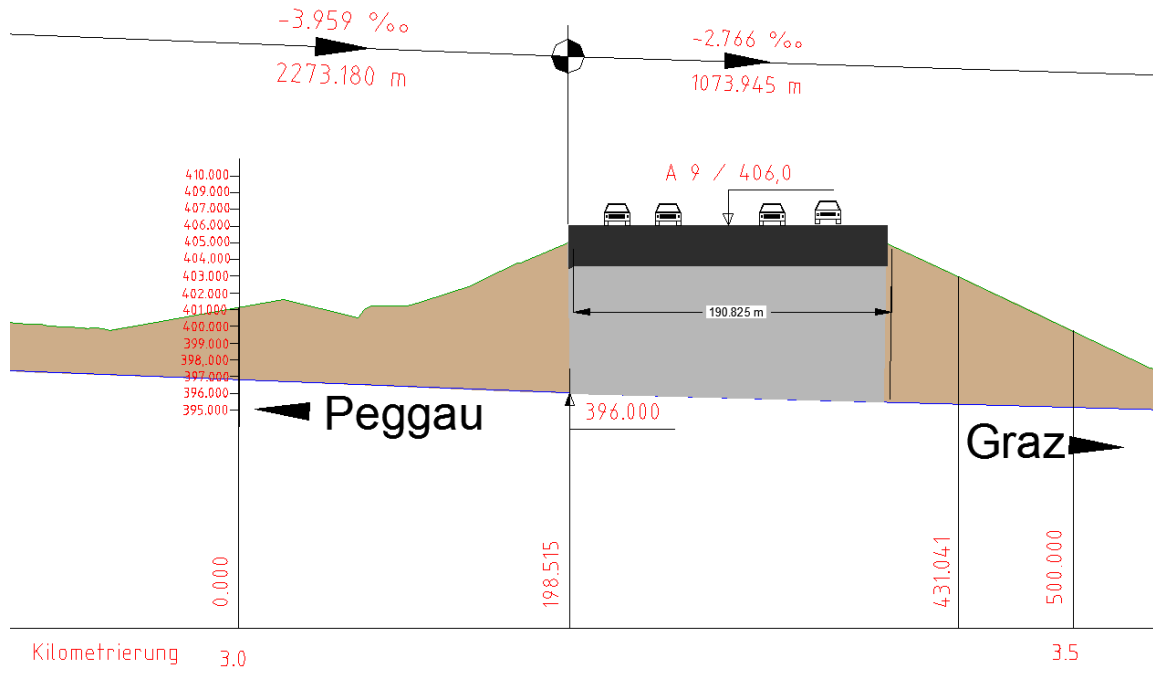


Abbildung 29: Autobahnquerung A9 Längenschnitt

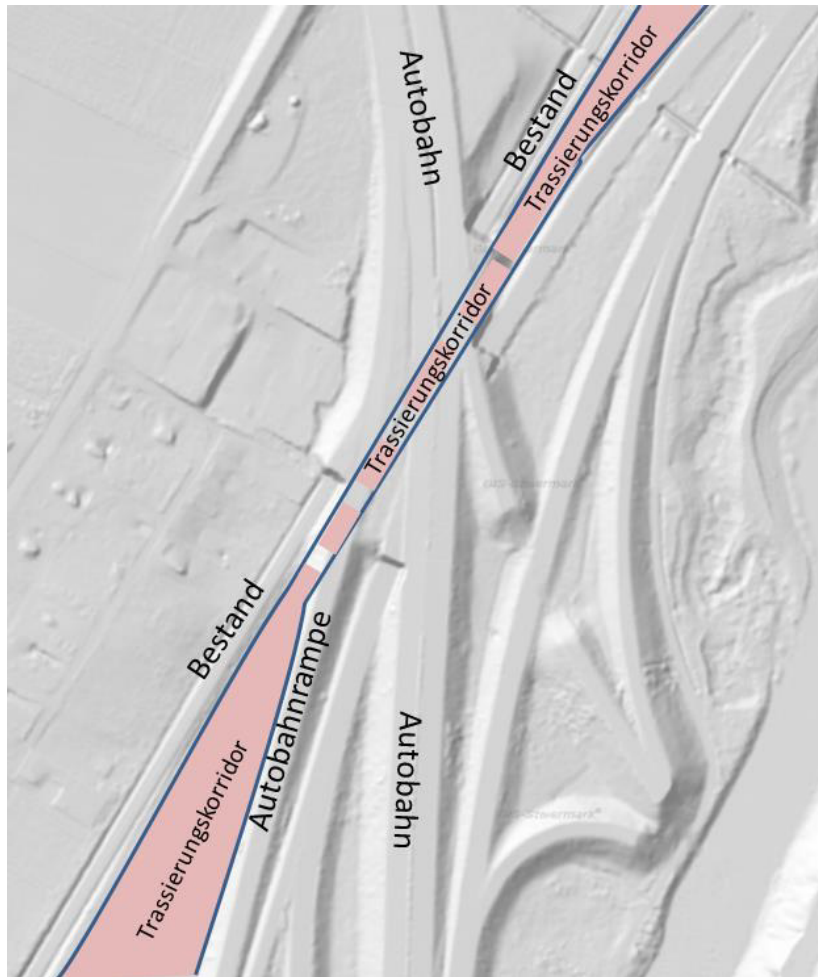


Abbildung 30: Trassierungskorridor Unterführung Deutsch-Feistritz



Wie in Abbildung 30, erkennbar, muss die bestehende Unterführung des Bestandes unter der Autobahn um eine Gleisachse erweitert werden. Obwohl in diesem Bereich beide Rampen der A9 ansteigen, ist genug Platz für die Erweiterung der Eisenbahn auch bezüglich der Bauwerkshöhen (siehe Abbildung 31, 32, 33,34). Dennoch ist dieser Bereich im Detail einer gesonderten Untersuchung zu unterziehen.

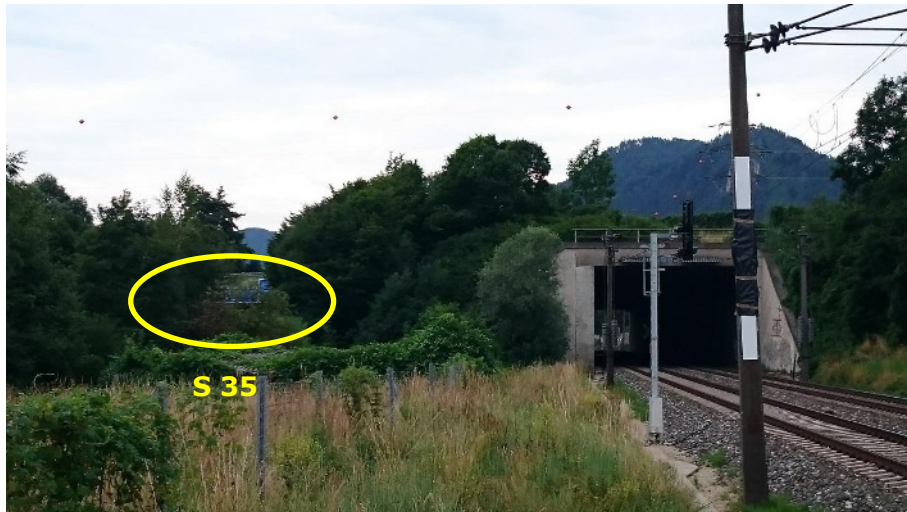


Abbildung 31: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Norden [11]



Abbildung 32: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Norden [11]

In Abbildung 31 und Abbildung 32 ist die annähernd parallel verlaufende Auffahrtsrampe der S35 zu erkennen.



Abbildung 33: Ansicht Unterführung Deutsch-Feistritz vom Süden [11]

In Abbildung 33 und Abbildung 34: Ansicht Knoten Deutsch-Feistritz aus der Vogelperspektive sieht man die nach rechts abzweigende Rampe der S35. Die Neubaustrecke würde rechts entlang der Bauwerke verlaufen.

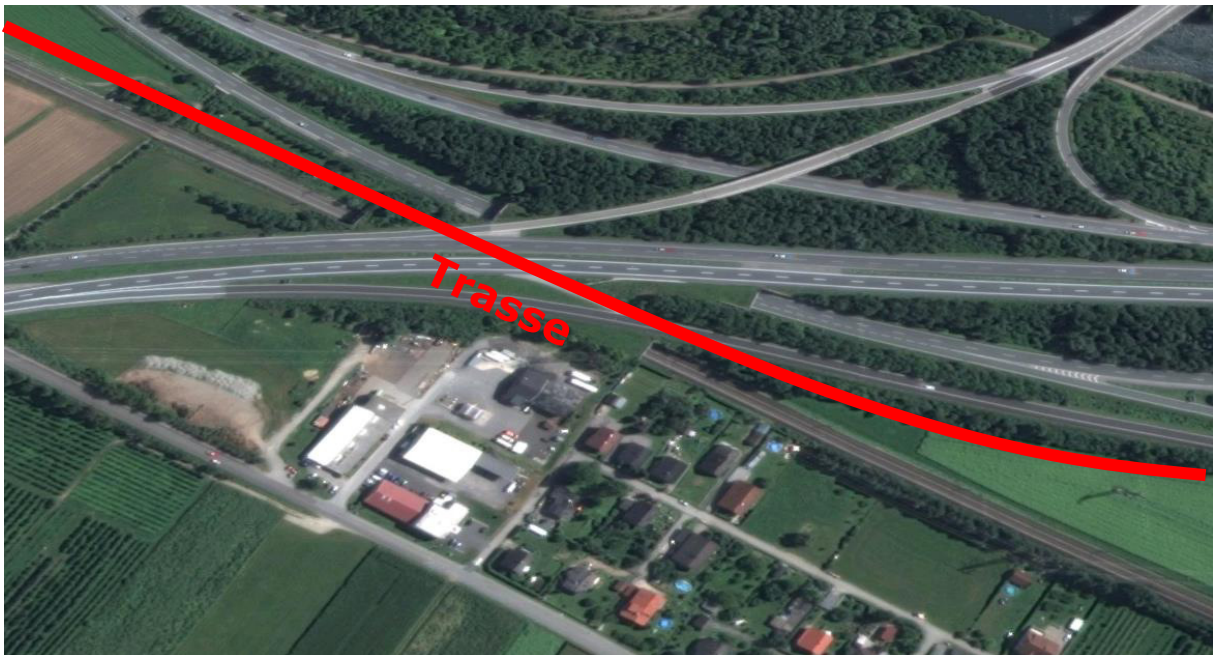


Abbildung 34: Ansicht Knoten Deutsch-Feistritz aus der Vogelperspektive [12]



### 3.3.3 Murquerung Deutsch-Feistritz

Bei km 4,0 wird die Mur überquert. Die Brückenunterkante liegt auf 392 müA. Die Marke von 391 müA darf von der Eisenbahn nicht unterschritten werden, da diese Marke der Wasserstand der Mur für ein 300-jähriges Hochwasserereignis (HQ300) ist.

Bei km 4,3 kreuzt die Trasse die Bundesstraße B67. Die B67 überquert 200 Meter weiter nördlich die Autobahn, bei einer Seehöhe von 407 müA und kann daher nicht ausreichend absinken, um die Eisenbahntrasse zu unterqueren (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). So wird die Bundesstraße auf der Höhe der Querung von 400 müA auf 403 müA angehoben und zu einer durchgehenden Brücke über die A9 und der Neubaustrecke umgebaut.

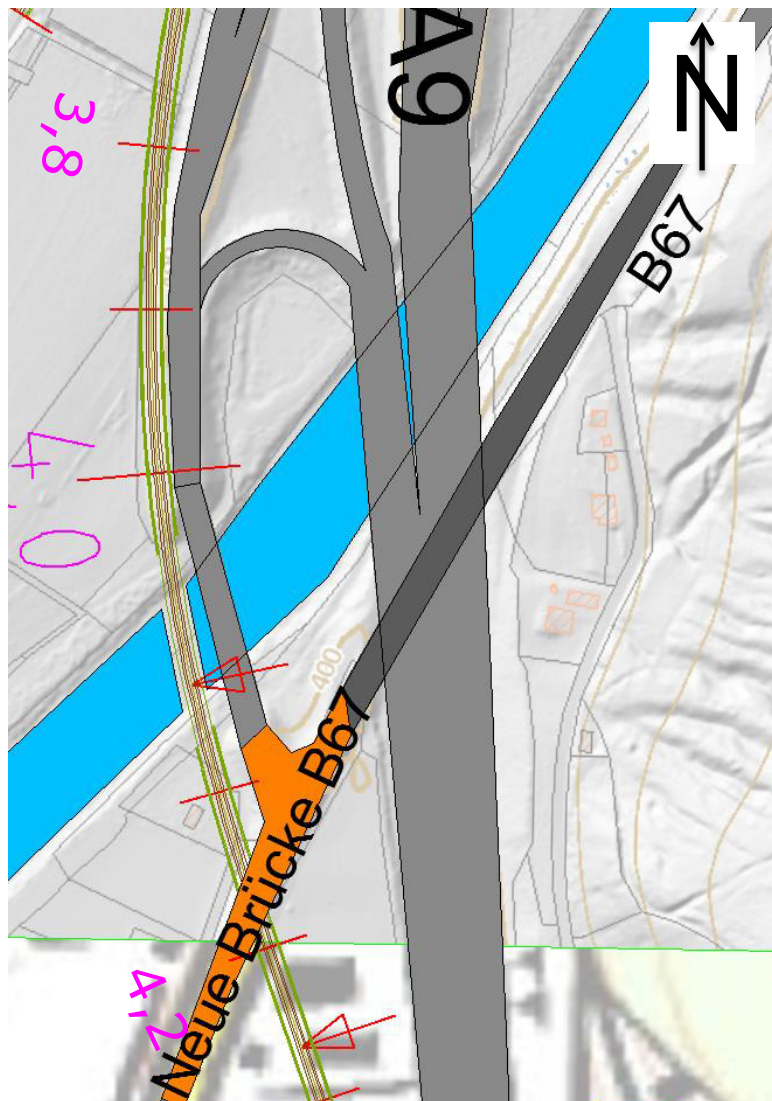


Abbildung 35: Murquerung beim Autobahnknoten Deutsch-Feistritz

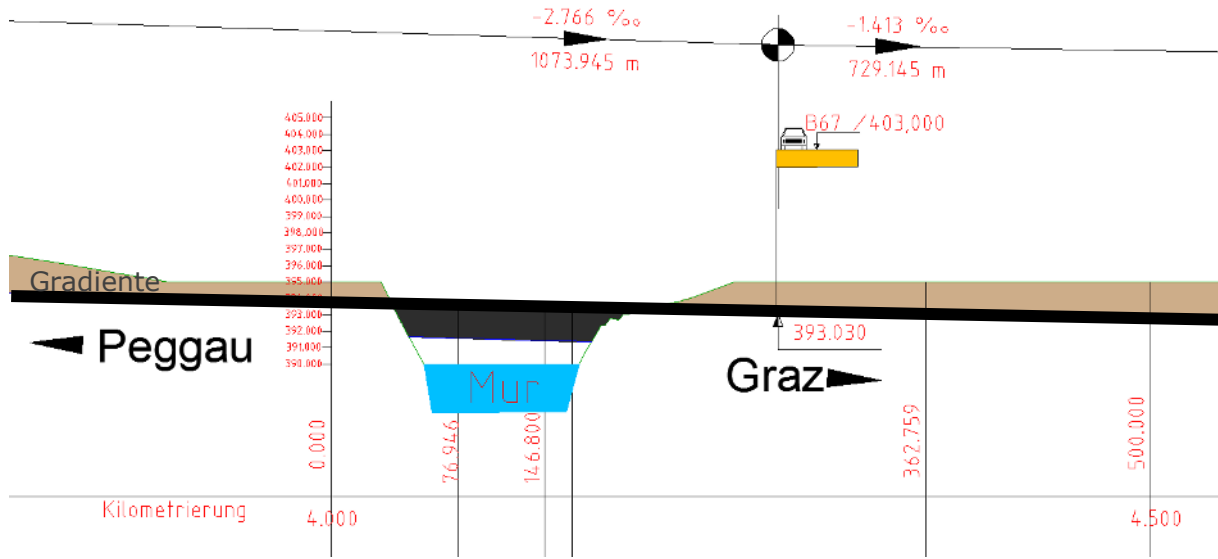


Abbildung 36: Querschnitt der Murquerung beim Autobahnknoten Deutsch-Feistritz



### 3.3.1 Firma Jaritz

Die HL-Strecke kreuzt bei km 5,1 die Gründe der Firma S. Jaritz Stahlbau GmbH. Der Abstand zwischen der Fabrikhalle und der Böschungsmauer beträgt 11 Meter. Das ist ausreichend Abstand, um die Halle nicht abtragen zu müssen.

Die Jaritz-Gründe sind nördlich und südlich durch zwei wichtige Verbindungsstraßen nach Friesach flankiert. Diese überqueren die A9 bei km 4,9 und km 5,2 mit Brücken. Da der Gleiskörper an dieser Stelle die gleiche Höhenkote hat wie die Autobahn, werden diese Brücken verlängert (siehe Abbildung 38).

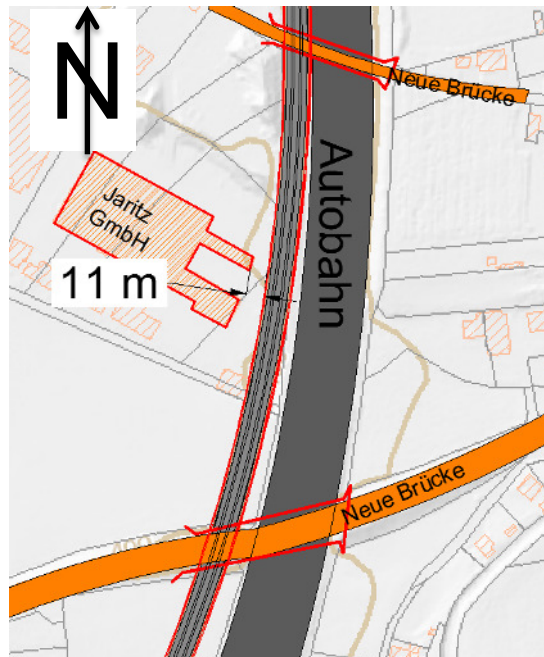


Abbildung 37: Verlauf auf Höhe der Firma Jaritz

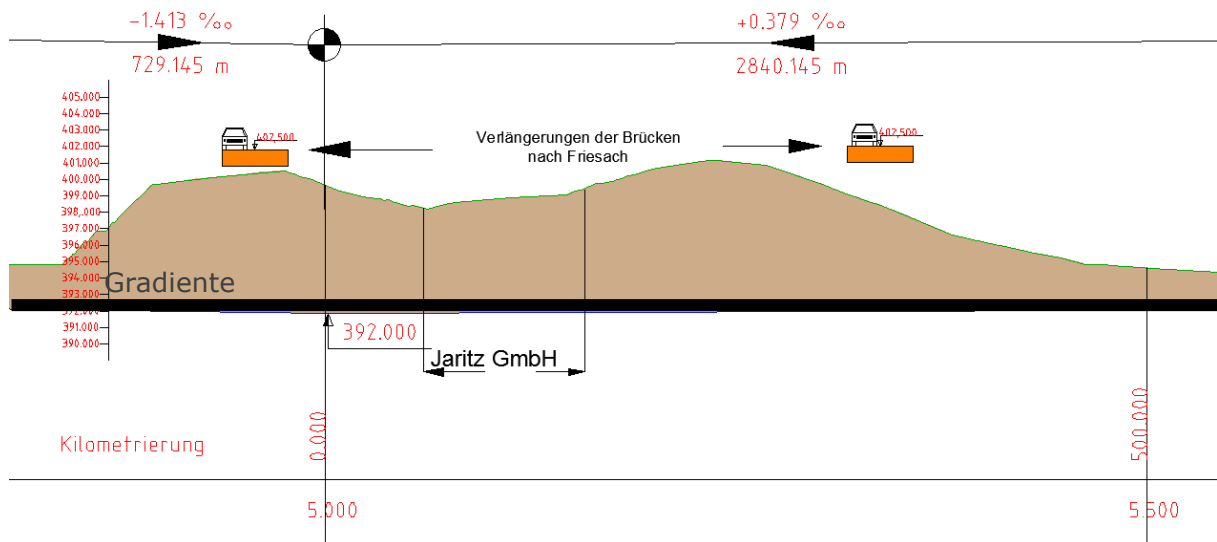


Abbildung 38: Längenschnitt auf Höhe der Firma Jaritz

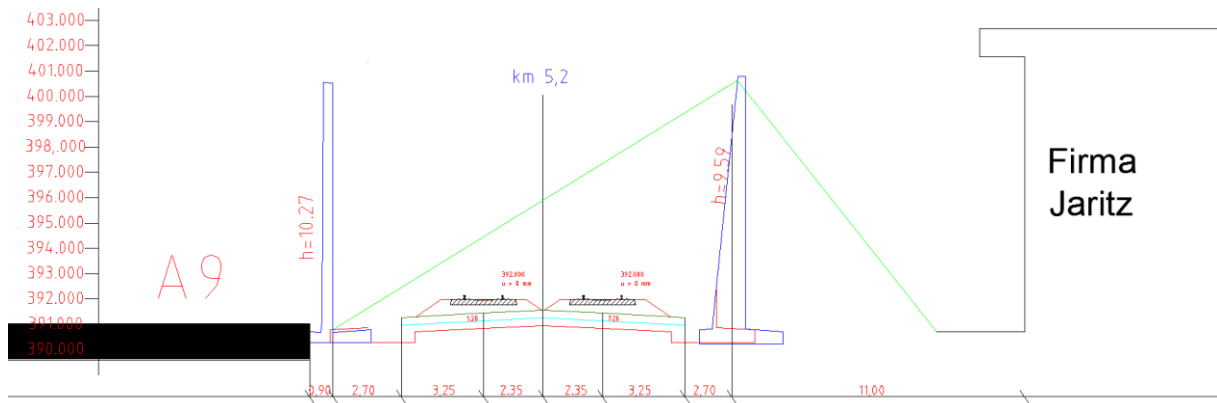


Abbildung 39: Querschnitt auf Höhe der Firma Jaritz

### 3.3.2 Einfädeln zwischen Bundesstraße und A9

Auf der Höhe der Autobahnmeistereizufahrt (km 6,1) der A9 in Eggenfeld-Nord fügt sich die Trasse zwischen Autobahn und Bundesstraße ein. Der Bogen der Neubaustecke wurde so gewählt, dass die Zufahrt (382 müA) der Autobahnmeisterei nicht verlegt werden muss. Sie unterquert die Trasse (392 müA) mit der nötigen Höhendifferenz von 10 Metern. Der Bogenradius der Autobahn ist an dieser Stelle enger als 1050 Meter. Dies führt zu einer schweifenden Überschneidung der Eisenbahn mit der Bundesstraße, welcher an der Außenseite des Bogens der A9 liegt. Die Länge dieser Überschneidung beträgt 800 Meter. In diesem Bereich ist die Bundesstraße um 30 Meter nach Westen zu verlegen. In Abbildung 40 sieht man den Grundriss dieses Einfädelns.



Abbildung 40: Einfädeln in Höhe Eggenfeld

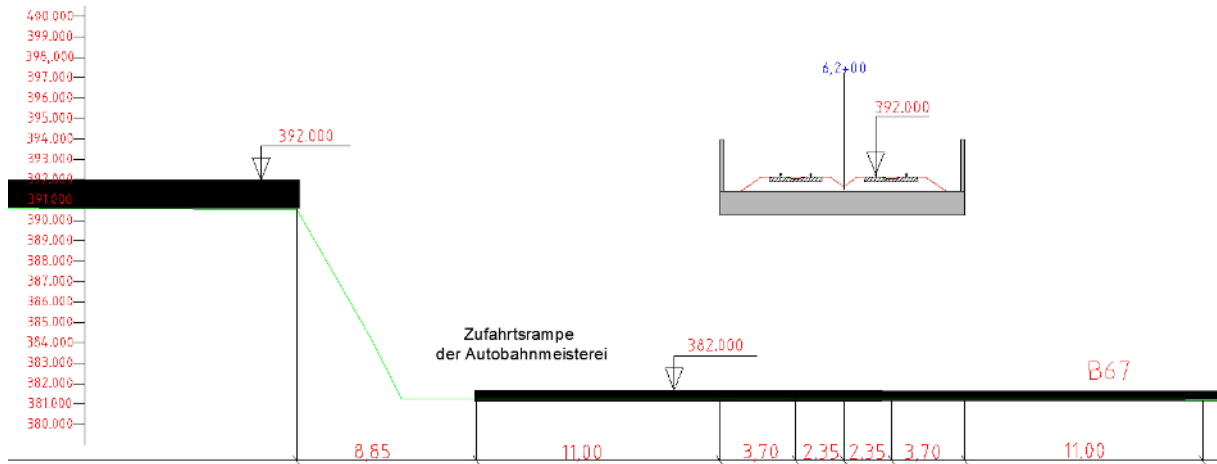


Abbildung 41: Querschnitt Eggenfeld bei km 6,2

Im Westen dieses Bereiches liegt die Schutzzone 1 des Wasserwerkes Friesach an. Aus den über GIS Steiermark verfügbaren Daten geht nicht eindeutig hervor auf welcher Straßenseite der B67 diese Schutzzone endet, weshalb für die genauere Ausgestaltung dieses Abschnittes potentiell mit zusätzlichen Kosten bei der Entwässerung gerechnet werden muss.

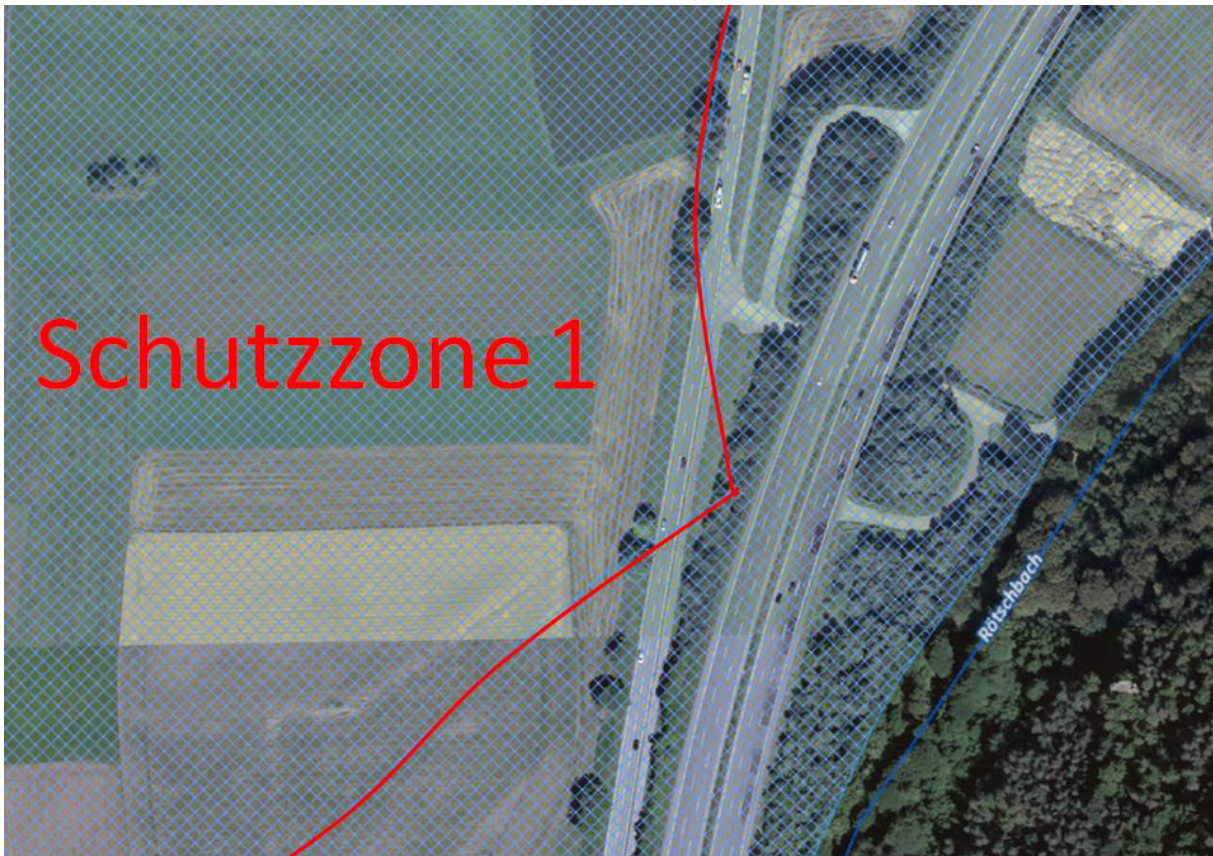


Abbildung 42: Grenzbereich der Trinkwasserschutzzone 1



### 3.3.3 Eggenfeld zwischen Bundesstraße und A9

In Eggenfeld beträgt die Mindestentfernung zwischen der westlichen Autobahn Planums-kante und dem östlichen Rand der Bundesstraße B67 17 Meter. Daher ist die Böschung zwischen Autobahn und Bundesstraße ausreichend breit, um den Gleiskörper dort einzu-fügen. Die Trasse behält die Höhenlage der A9 und wird auf Seiten der Bundesstraße, die um fünf Meter niedriger liegt, mit einer Stützmauer abgestützt (siehe Abbildung 44).

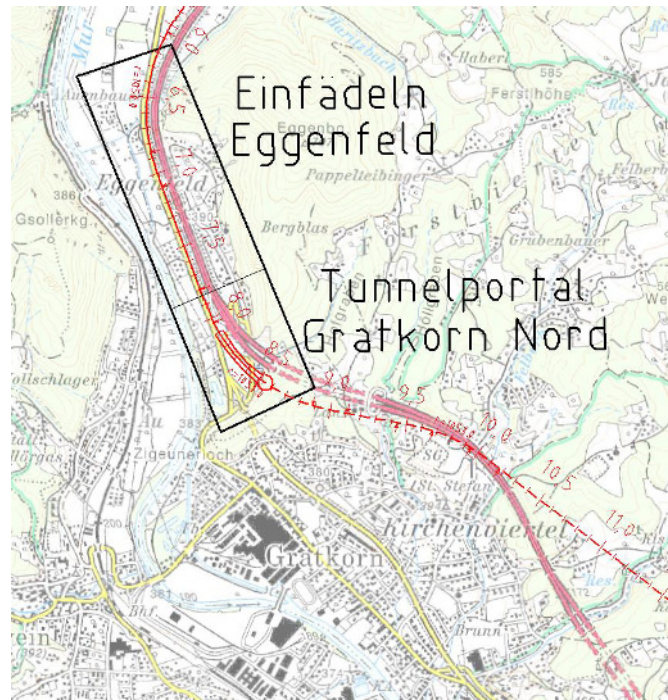


Abbildung 43: Lageplan der Skizze "Gratkorn Nord"

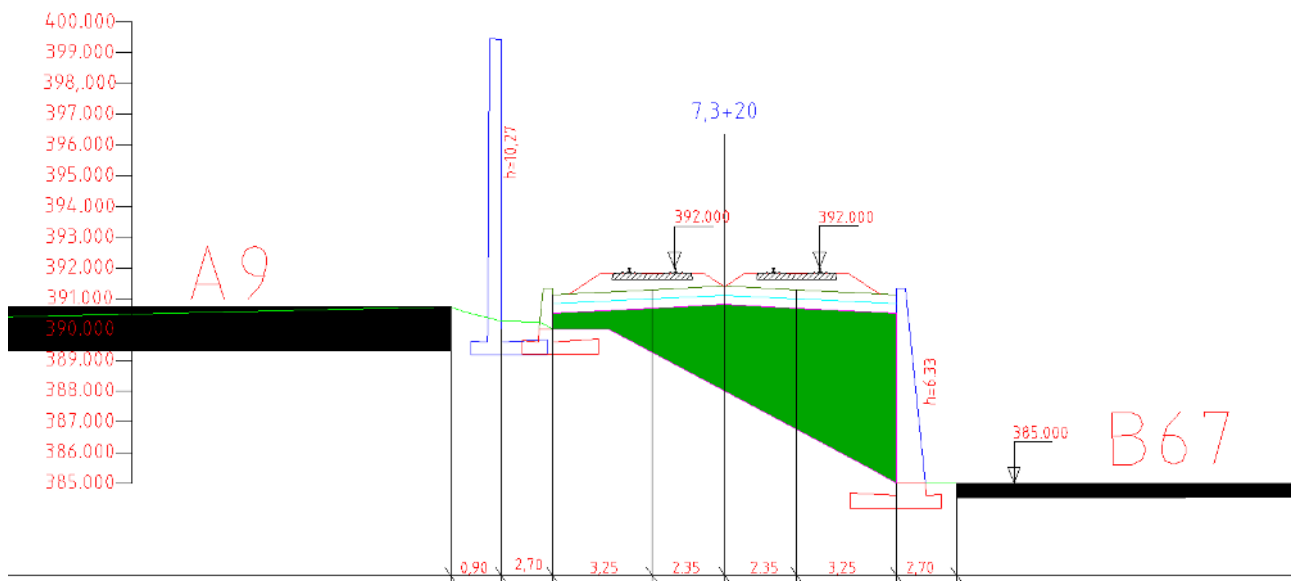


Abbildung 44: Querprofil Eggenfeld bei km 7,3

### 3.3.4 Tunnelportal Gratkorn Nord

Die Varianten „Pailgraben“, „Plabutsch“ und „Gösting“ weisen bei km 8,5 eine Höhenkote von 392 müA auf. Der Hofbach fließt in einer Höhe von 384 müA, und die L302 quert die Trasse bei einer Seehöhe von 385 müA. Um genug Höhendifferenz zu erreichen, muss die L302 um fünf Meter abgesenkt werden. Da der Hofbach die Bundesstraße an der Stelle der Absenkung kreuzt muss dieser umgeleitet werden. Ein Düker ist nicht ratsam da dieser bei Hochwasser verstopfen kann. Für die Verlegung dieses Gewässers ist eine gesonderte Untersuchung erforderlich. Die Rampe der Autobahnauffahrt Gratkorn Nord muss umgebaut werden. Der neue Verlauf beginnt bei der B 67 auf Höhe des Rastplatzes. Die Eisenbahntrasse unterkreuzend steigt sie auf Niveau der Autobahn an und schleift in den Beschleunigungstreifen des Rastplatzes ein. In der Abbildung 45 und Abbildung 46 sind der Lageplan und der Längenschnitt der Varianten Plabutsch, Pailgraben und Gösting zu sehen.

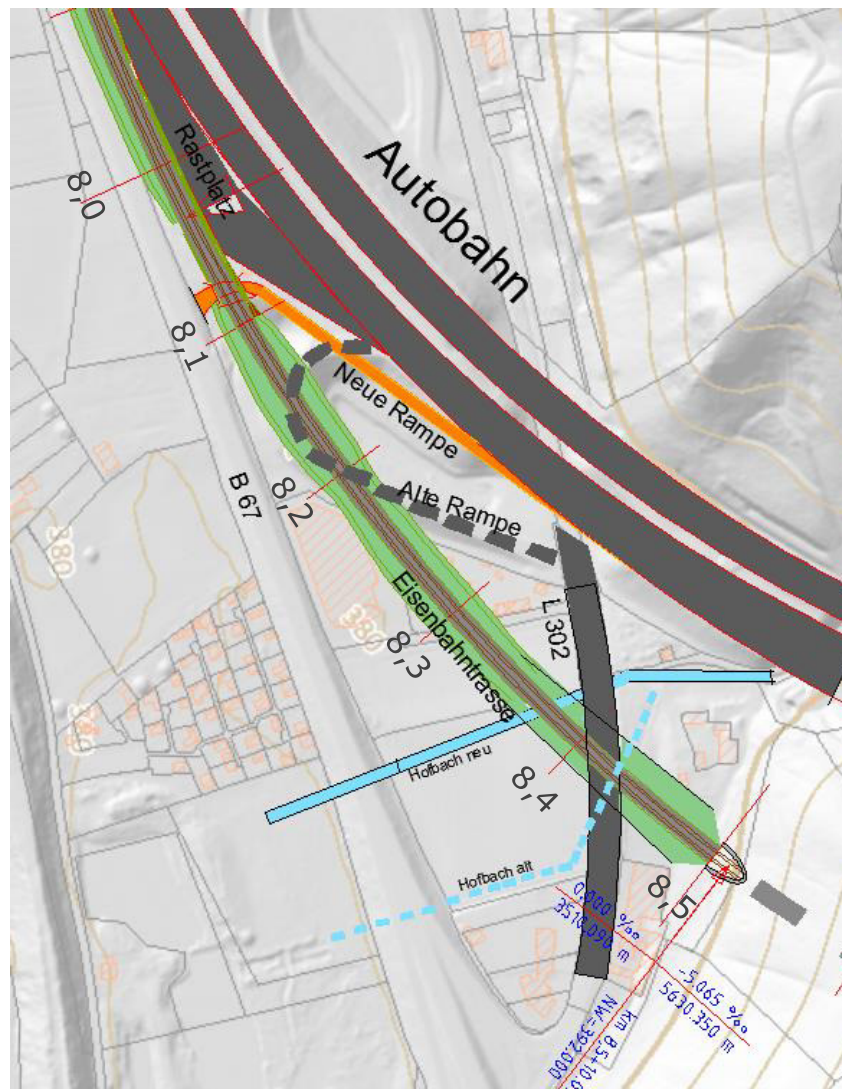


Abbildung 45: Zubringerrampe der Varianten Plabutsch, Gösting, Pailgraben beim Tunnelportal Gratkorn Nord







Abbildung 49: Variante „Pailgraben“ Bereich Felberbach

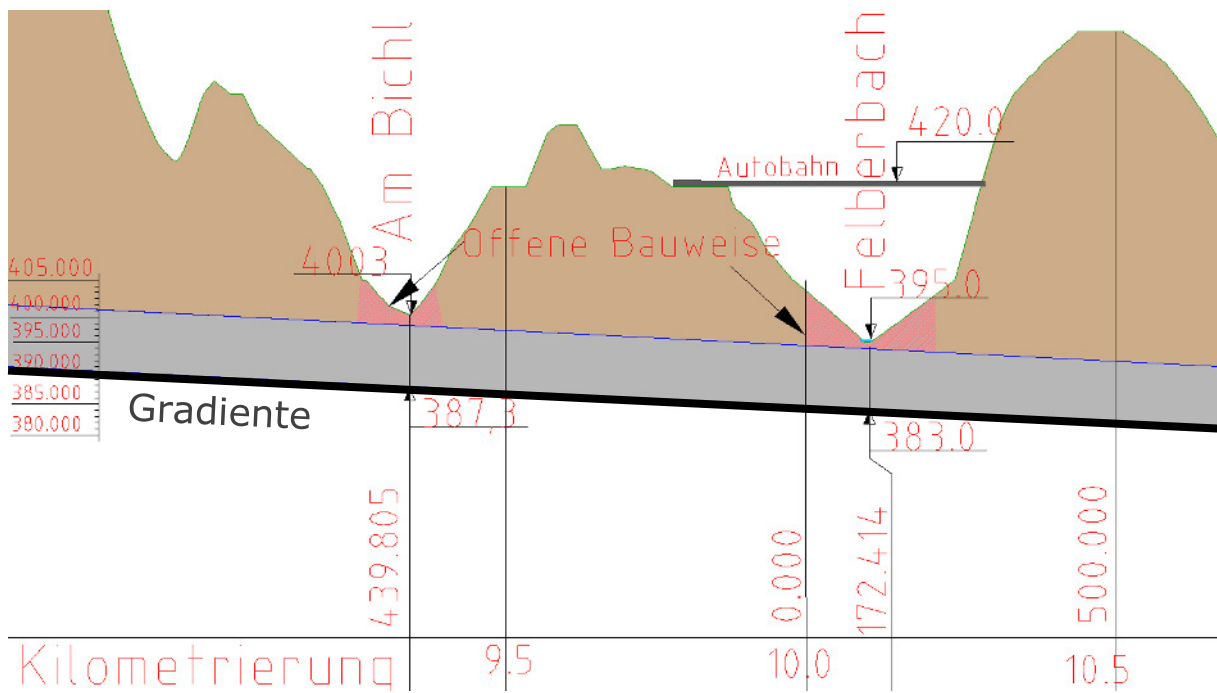


Abbildung 50: Längenschnitt der Variante „Pailgraben“ auf Höhe Felberbach

### 3.3.6 Gratkornportal Süd der Variante „Pailgraben“

Um das nötige Mindestgefälle von 5,0‰ im Tunnel zu erreichen, muss das Südportal des Tunnels auf 363,5 müA abgesenkt werden. Von hier aus steigt die Trasse mit 12,5‰ an bis zum km 14,5 um genug Höhendifferenz zur Mur zu haben. Die HQ300 Marke der Mur ist hier 364 müA daher hat die Trasse hier eine Höhenkote von 367,5 müA

Häuser sind in diesem Gebiet nicht betroffen und müssen nicht abgelöst werden. Die Trasse kreuzt die B67 bei km 14,3 auf gleicher Höhenlage. Die Straße wird an dieser Stelle aus Gründen des Landschaftsschutzes herabgesenkt und zu einer Unterführung umgebaut. Da in diesem Bereich das Grundwasser nahe der Geländeoberkante ist, muss die Bundesstraße als „Weiße Wanne“ ausgeführt werden (siehe Abbildung 52).

Die Gebiete nördlich der Mur im Bereich Weinzödl sind durch Regulierungsmaßnahmen hochwassergeschützte Agrarflächen. So besteht hier bei einem HQ300 keine Gefahr einer Überschwemmung.

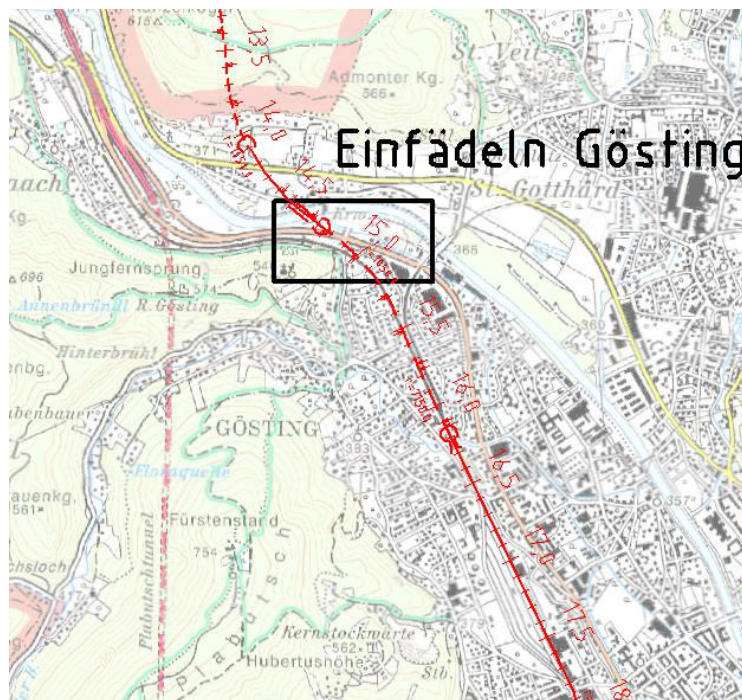


Abbildung 51: Lageplan Murquerung Weinzödl

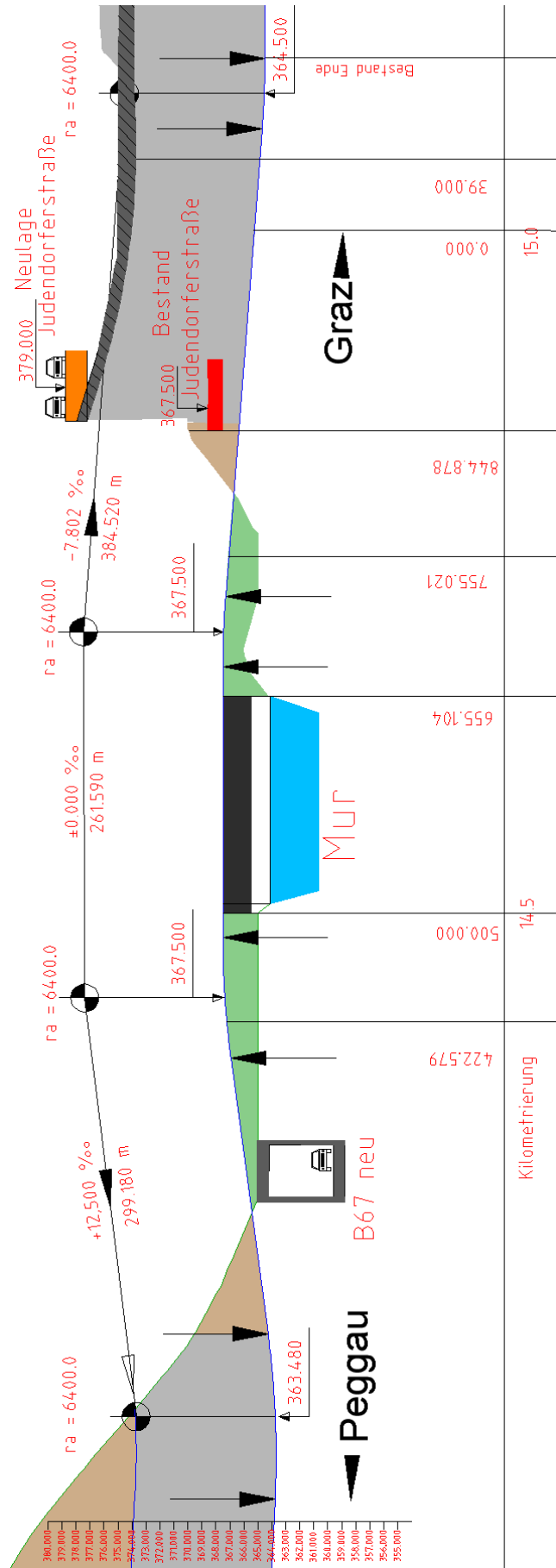


Abbildung 52: Detail Murquerung Weinzödl der Variante „Pailgraben“

### 3.3.7 Einfädeln in den Bestand in Höhe Gösting

In Kapitel 2.6 wurde die Vorgabe des niveaufreien Ein- beziehungsweise Ausfädelns der TSI-konformen Trasse erwähnt. In Höhe Gösting ist daher für das Einfädeln in den Bestand eine Unterführung notwendig.

Diese beginnt bei km 14,7 kurz nach der Murüberquerung. Ab hier fällt die Trasse mit 7,8‰ ab (siehe Abbildung 52). Auf Höhe Judendorferstraße (L 302) hat die Trasse eine Höhenkote von 366 müA und die Straße liegt bei 367 müA. Um niveaufrei kreuzen zu können wird die L 302 um 9 Meter angehoben. Bei km 15,0 hat die Trasse genug Höhenunterschied (10 Meter) um den Altbestand zu unterqueren ab km 15,8 steigt die Trasse mit 12,5‰ an und gliedert sich bei km 16,2 in den Bestand ein. Direkt am südlichen Ende der Rampe liegt eine Weichenkonstruktion mit einer Gesamtlänge von 600 Metern. Diese ist notwendig, da vier Gleise auf drei Gleise zusammengeführt werden müssen. In dem Bereich, in dem die Überwerfung errichtet werden soll, sind ein Gleis für den Verschiebebahnhof, zwei für den Personenverkehr und eines für die Andritz-Werke vorhanden. Die Breite des Bestandes zwischen km 16,0 und km 18,0 ist mit 28 Metern ausreichend, um ein neues Gleis zu den vier bestehenden hinzuzufügen. Auf Höhe des Bahnhofes Gösting sind für die Kapazität nur vier Gleise und zwei Bahnsteiglagen notwendig.

In Abbildung 53 wird das Einfädeln schematisch und in Abbildung 54 im Lageplan dargestellt.

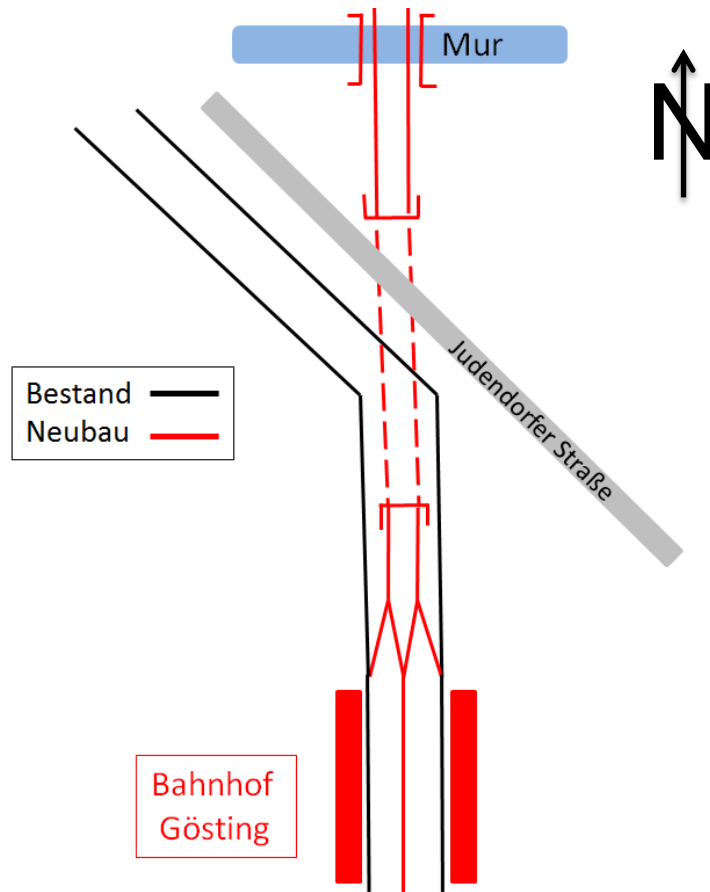


Abbildung 53: Schematischer Plan Unterführung Gösting

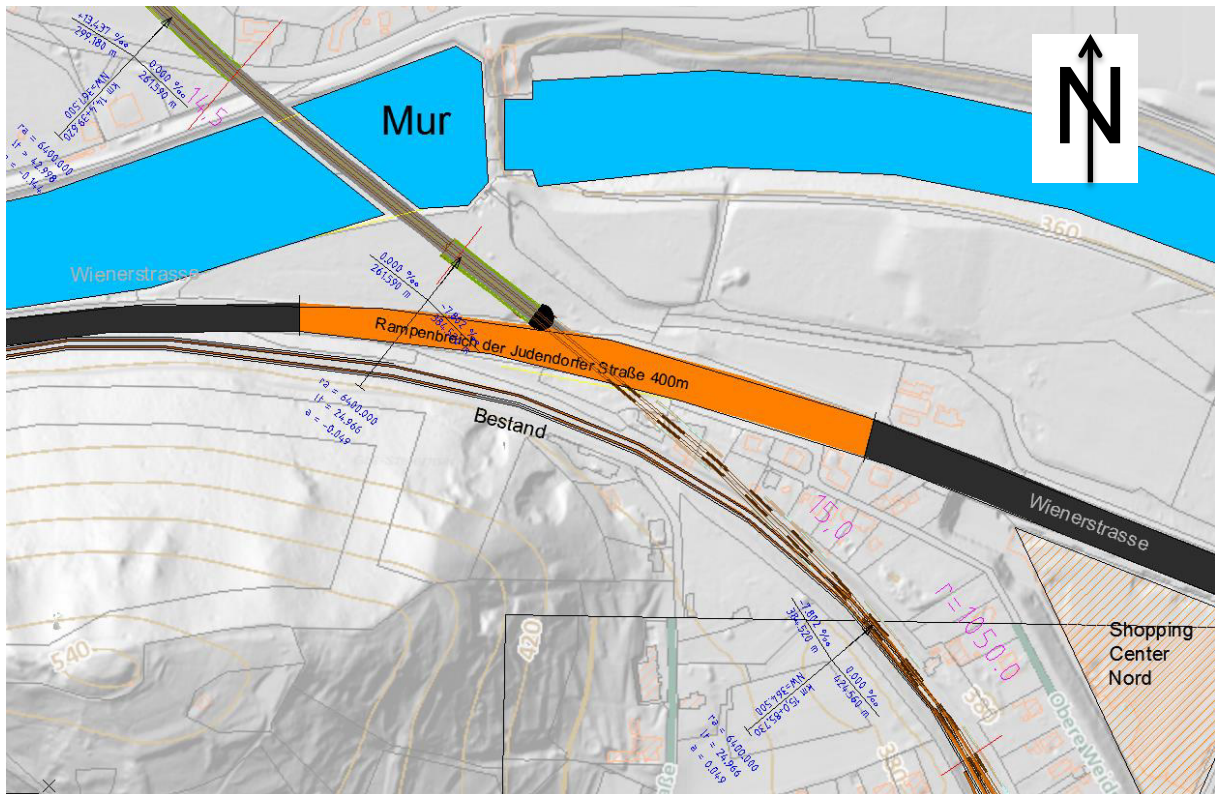


Abbildung 54: Lageplan Einfädeln Gösting



### 3.3.8 Bahnhof Gösting

Die Hauptmotivation für den Bau des Bahnhofes Graz Gösting ist es einen Nahverkehrsknoten im Norden von Graz zu errichten. So werden die Höhere technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt sowie die Bewohner von Gösting besser an den Nahverkehr angebunden. Für den Bereich, wo der Bahnhof entstehen soll, wurden die ehemaligen Kleinschegg-Gründe ausgewählt. Entwicklungsstudien haben sich mit diesem Projekt auseinandergesetzt. In diesem sind Wohnbauanlagen mit einem integrierten Bahnhof ausgearbeitet worden. [13]



Abbildung 55: Bauprojekt Wohnpark Gösting [13]

Zusätzlich zu dem Bestand von 4 Gleisen, im Bereich zwischen der Ibererstraße und der Exerzierplatzstraße, muss ein zusätzliches Gleis und zwei Bahnsteige gebaut werden.

Die Abbildung 56 zeigt wie der Bahnhof und das neue Gleis in den Bestand eingefügt werden können.



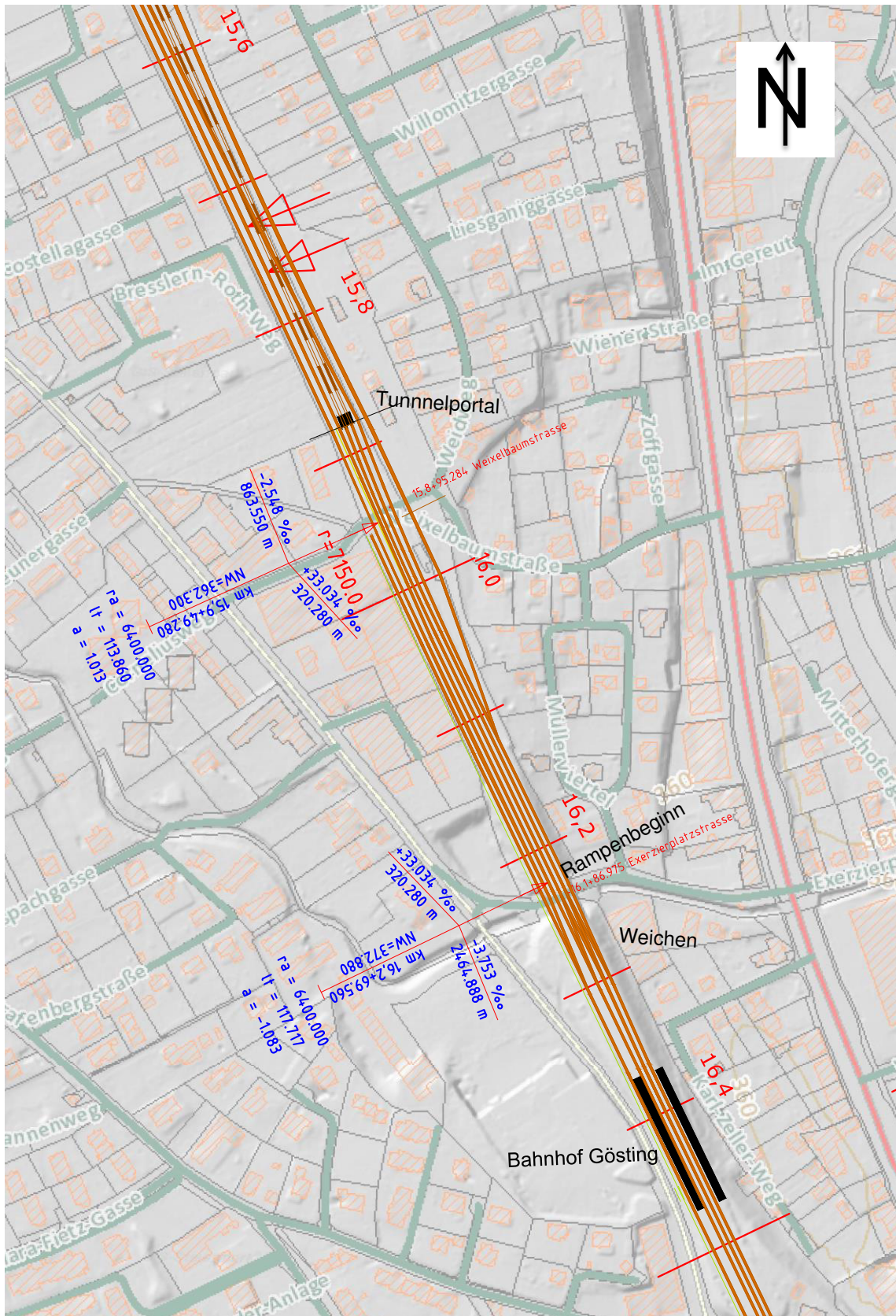


Abbildung 56: Gleisplan Bahnhof Gösting



### 3.4 Variante „Felberbach“

Die Variante „Felberbach“ verläuft bis km 8,1 gleich wie die Variante „Pailgraben“

Ab dem km 8,1 der gemeinsamen Strecke verläuft die Variante „Felberbach“ im Längenschnitt auf Höhe und im Grundriss westlich der Autobahn. Sie beginnt mit einer Rampe bei der Autobahnausfahrt Gratkorn Nord, gleich im Anschluss folgt der erste Tunnel mit einer Länge von 730 Meter und einer Längsneigung von 12,1‰.

So positioniert verläuft die Trasse im Bereich Gratkorn parallel der A9 und quert bei km 9,8 mit einer 420 Meter langen Brücke das Felberbachtal. Kurz nach Ende der Brücke sinkt die Variante mit 15,1‰. Bei km 11,3 beginnt der zweite Tunnel der Tunnelkette Gratkorn mit 740 Meter Länge und geht (bei km 12,0) direkt in eine Brücke mit 1000 Meter Länge über. Hier überquert die Trasse die Autobahnabfahrt „Gratkorn Süd / Graz Andritz“ und die Mur.

Die Variante verläuft weiter in Richtung Süden, westlich der A9 auf gleicher Höhe wie diese bleibend, den Bestand unterführend (km 14,0), wo das Nordportal des Plabutschtunnels liegt. Sie unterquert den Thalerbach mit einer Überdeckung von 23 Meter (FOK / GOK) und einer Längsneigung von 14,217‰. Im Fels quert sie die Autobahn (km 15,4) mit einer Höhendifferenz von 14 Metern und fällt ab diesem Punkt bis zum km 17,5 mit 13,2‰ ab. Danach steigt die Trasse für eine kurze Rampe erneut an mit einer Längsneigung von 16,291‰. Das Süd-Portal des Tunnels liegt südwestlich des Verschiebebahnhofs bei km 18,0. Die Variante fädelt sich südlich der Brücke über der Peter-Tunner-Gasse in den Bestand ein.

Da in vielen Bereichen die Längsneigung über den geforderten 12,5‰ liegt und die Trasse den Verschiebebahnhof Graz durchquert wird diese Variante nicht im Detail weiter verfolgt. Der Verlauf wird in den Abbildung 57 und Abbildung 58 dargestellt.

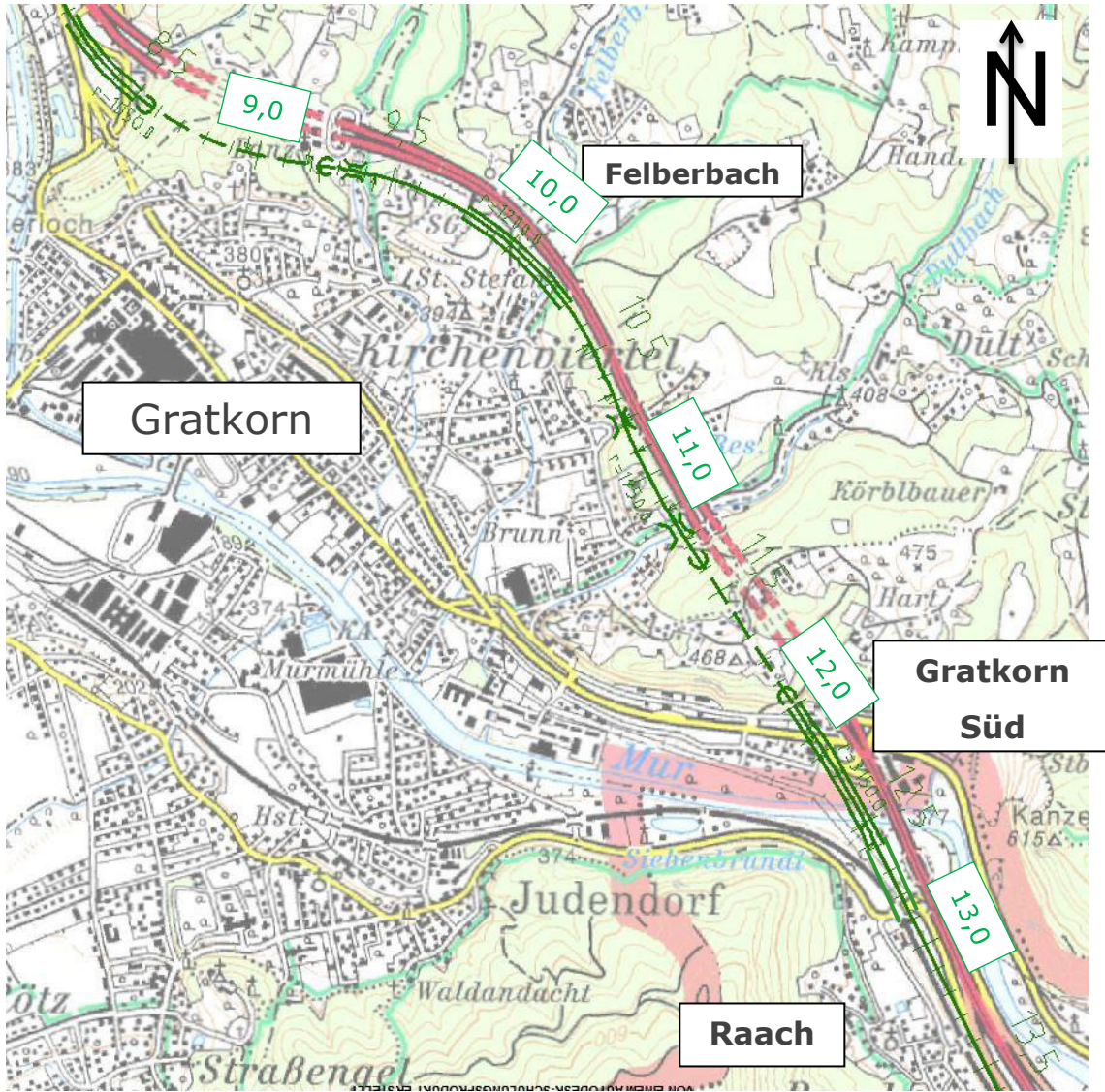


Abbildung 57: Mittlerer Verlauf der Variante „Felberbach“



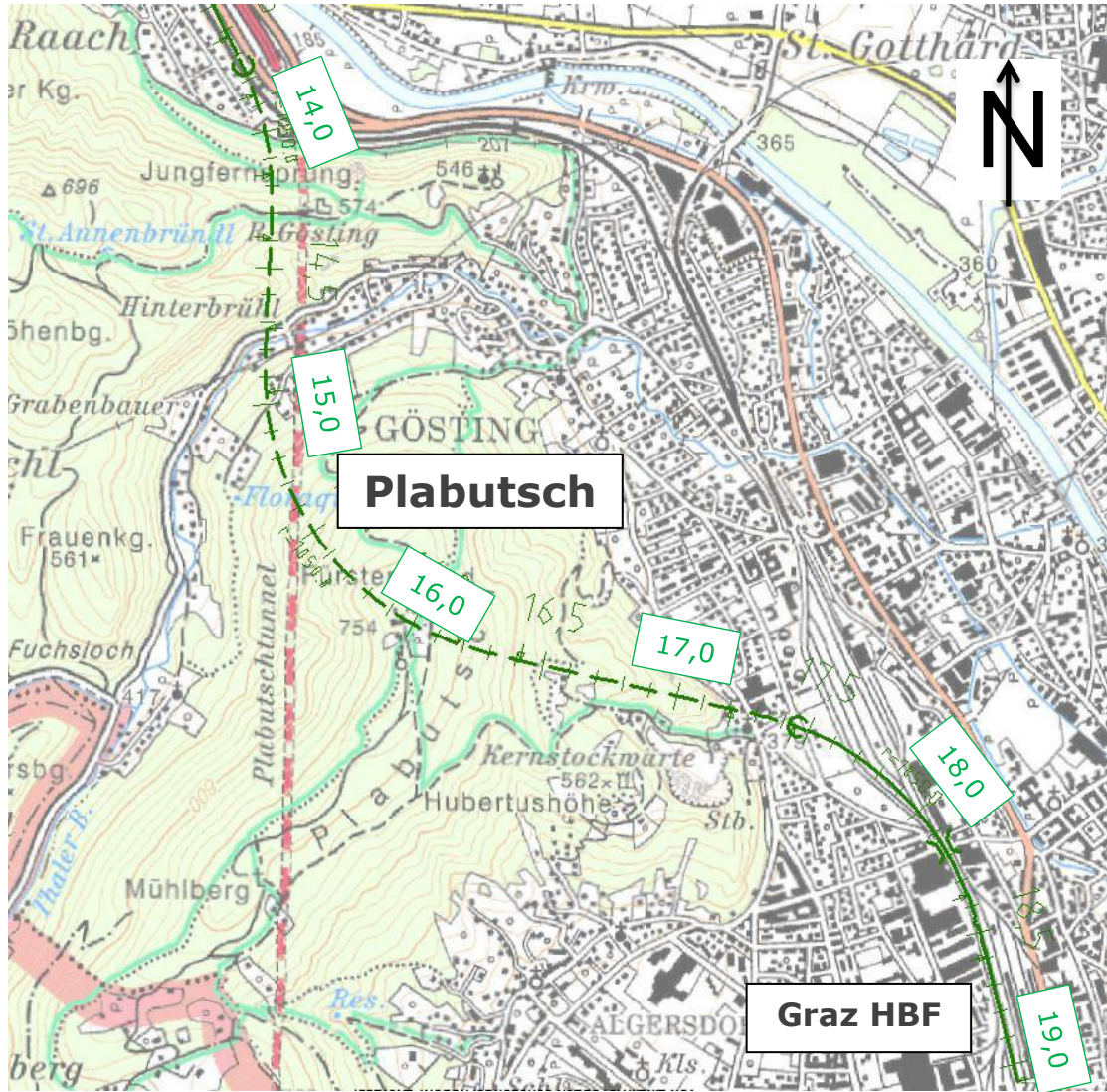


Abbildung 58: Südlicher Verlauf der Variante „Felberbach“

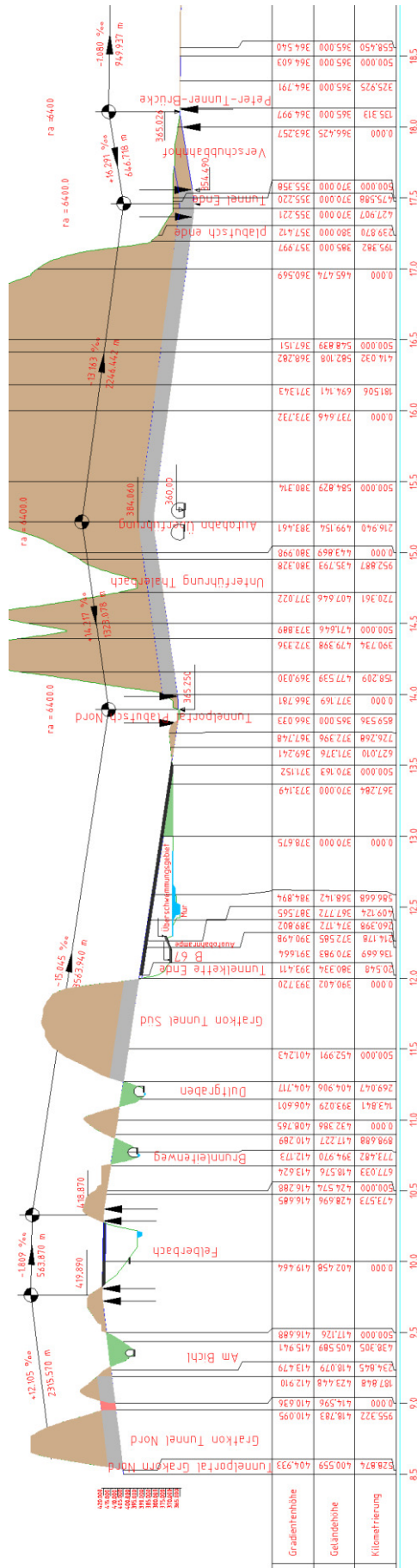


Abbildung 59: Längenschnitt der Variante "Felberbach"

### 3.4.1 Tunnelportal Gratkorn Nord

Bei den Varianten „Felberbach“ und „Weinzödl“ wurde der Höhenverlauf des Gleiskörpers mit jener der Autobahn gleichgesetzt. So entstand eine Tunnelkette mit zwei Tunnels und einer Brücke. Um die Portalhöhe der Autobahn zu erreichen, ist die Rampe bei km 8,5 nördlich vor der Tunnelkette Gratkorn 500 Meter lang und weist eine Längsneigung von 10,2‰ auf. Da die Trassenachse in diesem Bereich durch die Bauwerke verläuft (siehe Abbildung 61) und diese deshalb abgelöst werden müssen, kann die Rampe als Damm ausgeführt werden. Bei km 8,4 gibt es eine Unterführung, in welcher die Landesstraße L302 (Judendorferstraße) sowie der Hofbach queren. In Abbildung 60 und Abbildung 61 sieht man den Längenschnitt der Varianten Weinzödl und Felberbach auf Höhe des Tunnelportals Gratkorn Nord. Die Abbildung 59 zeigt den Längenschnitt der Variante Felberbach.

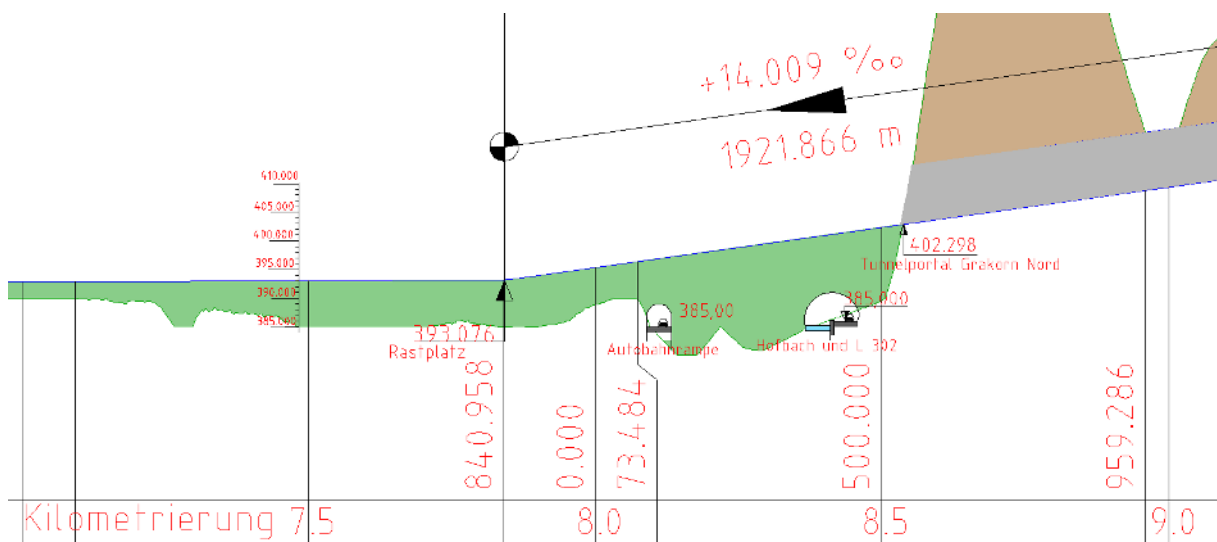


Abbildung 60: Gratkornportal Nord Längenschnitt der Varianten „Felberbach“

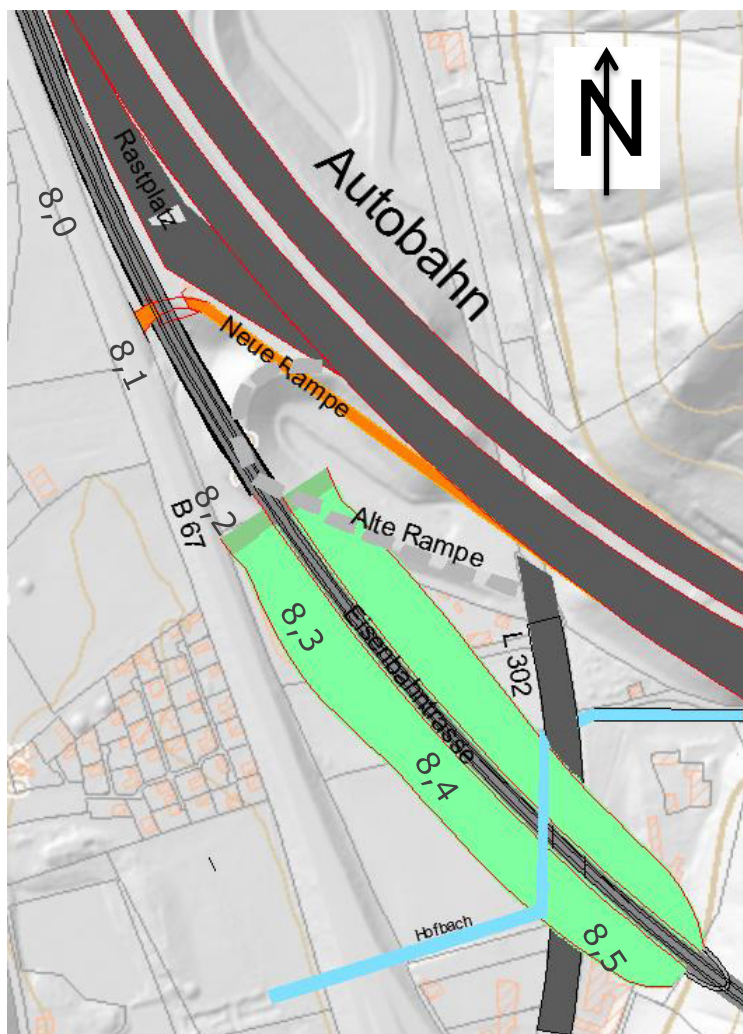


Abbildung 61: Rampe der Varianten Felberbach und Weinzödl



### 3.5 Variante „Plabutsch“

Die Variante „Plabutsch“ versucht die Probleme, die bei der Variante „Felberbach“ entstanden sind (Längsneigung, Verschiebebahnhof Graz) zu vermeiden. Sie hat bis zum km 10,5 den gleichen Verlauf wie die Variante „Pailgraben“. Ab diesem Punkt fällt sie westlich von der Variante „Pailgraben“ ab und unterquert bei km 11,2 den Dultgraben (390 müA) mit einer Überdeckung von 21,5 Metern. An der gleichen Stelle hat die A9, die ebenfalls dort unterquert wird, eine Höhenlage von 400 müA und wird mit einer Brücke über den Graben geführt.

Der Tunnel unterquert das Felberbachtal mit einer Überdeckung von 15 Metern (FOK zu GOK) und endet bei km 12,2 westlich der Autobahnrampe Gratkorn Süd. Im Anschluss wird die B67 überquert und das Gebiet der Firma Mothwurf gekreuzt, bevor die Mur bei km 12,5 überquert wird. Vom km 12,5 bis km 17,0 ist der Verlauf gleich der Variante „Felberbach“. Von hier an zweigt die Trasse Richtung Süden ab und hat ihr Tunnelportal am Südlichen Rand des Verschiebebahnhofes. Von dort steigt die Trasse für eine 400 Meter lange Rampe mit 28,9‰ und fädelt sich bei der Brücke Peter-Tunner-Gasse in den Bestand ein.

Der Verlauf wird in den Abbildung 62 und Abbildung 63 dargestellt.

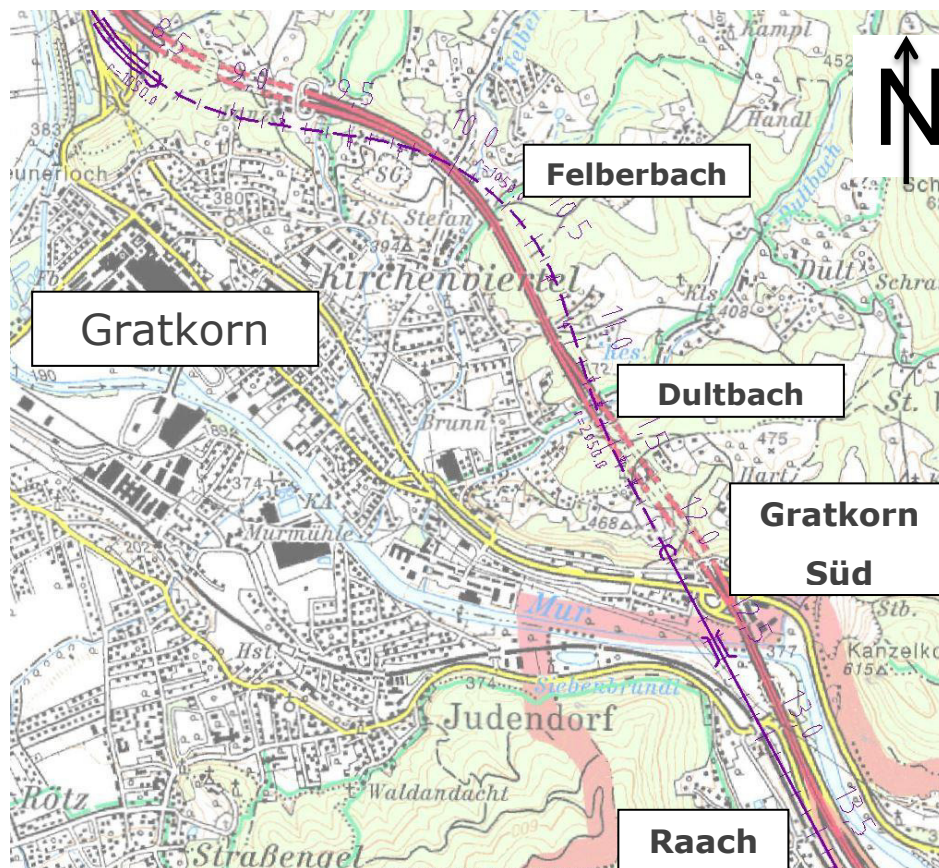


Abbildung 62: Mittlerer Verlauf der Variante „Plabutsch“



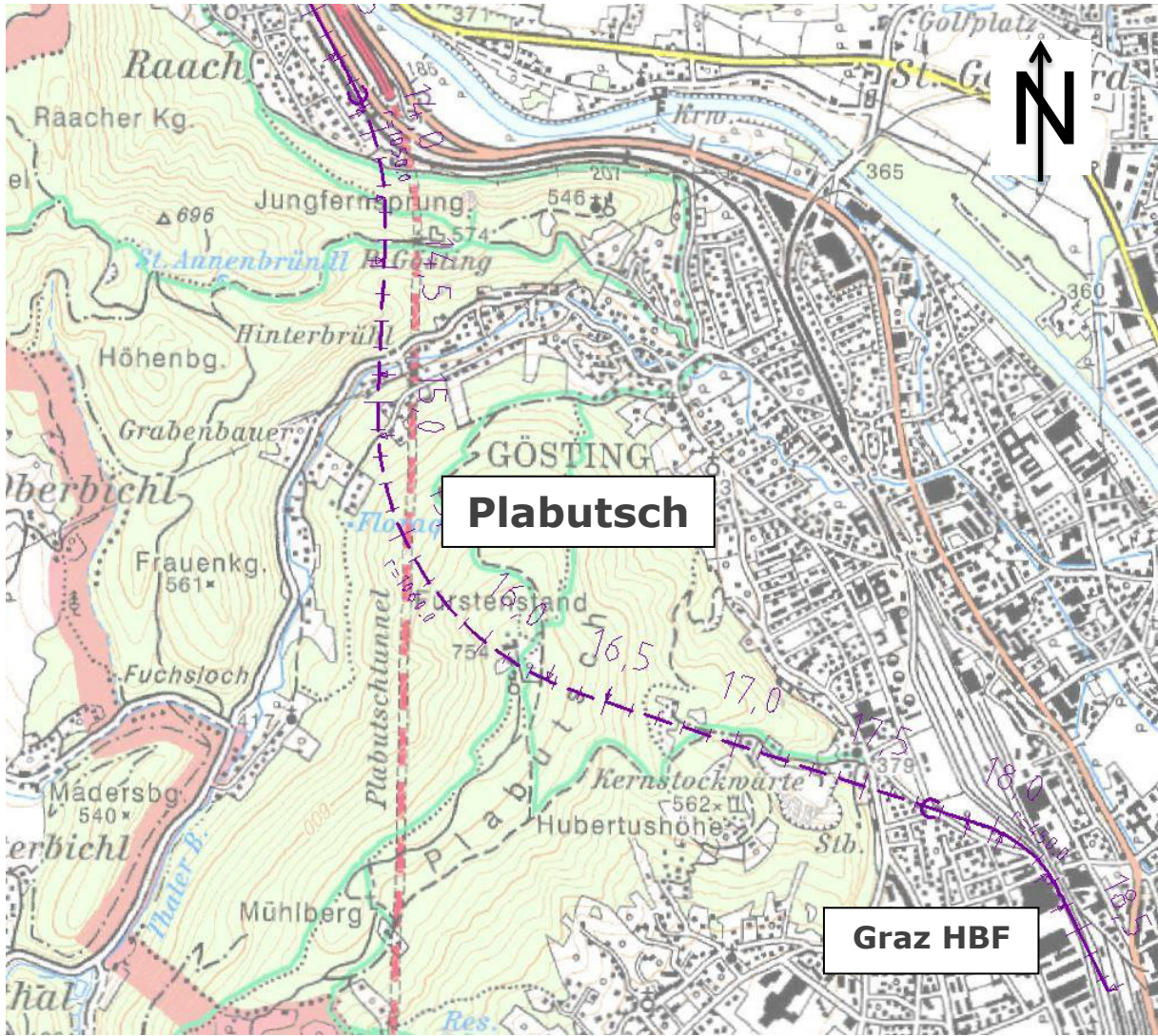


Abbildung 63: Südlicher Verlauf der Variante „Plabutsch“



### 3.5.1 Umfahrung Gratkorn

Durch die großen Längsneigungen (knapp 17‰) und die Höhendifferenz zur Autobahn beim Südportal des Gratkorn-Süd-Tunnels wurde die Variante „Felberbach“ modifiziert.

Die Tunnelkette Gratkorn wird in der Variante „Plabutsch“ als ein durchgehender Tunnel (km 8,5 bis km 14,15) ausgeführt. Der Tunnel hat ein durchgehendes Gefälle von 6,1‰, bis das Südportal mit einer Höhe von 368 müA erreicht wird. Die Autobahn wird bei km 10,1 und km 11,4 unterkreuzt. Bei km 9,4 und km 10,1 wird der Tunnel als offene Bauweise errichtet. Bei km 9,4 und km 10,1 wird der Tunnel als offene Bauweise errichtet.

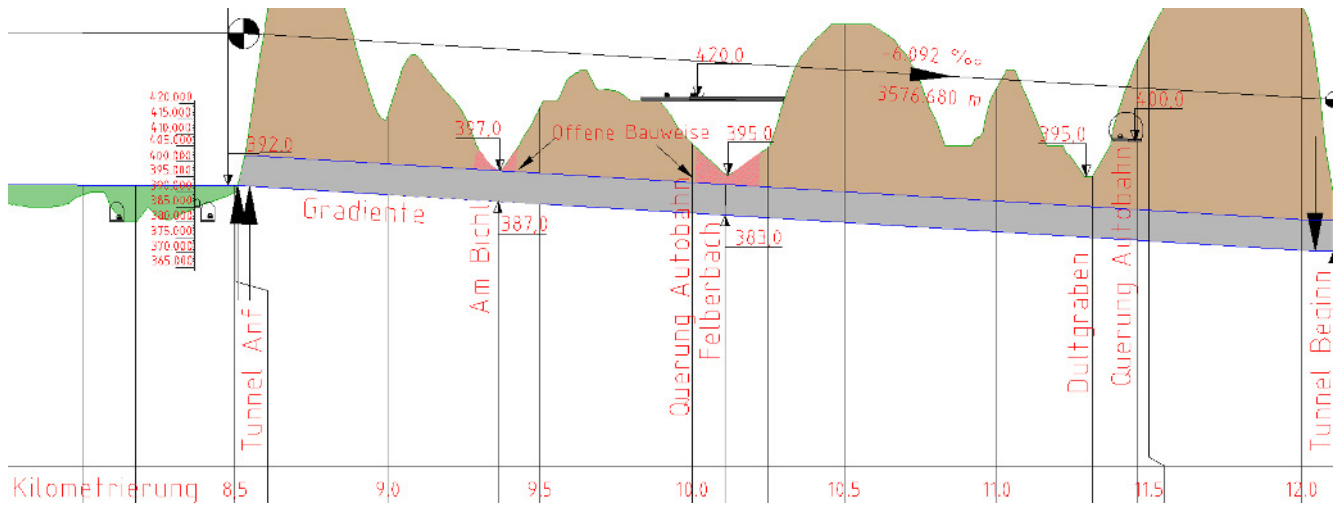


Abbildung 65: Längsschnitt Tunnel Gratkorn Variante Plabutsch



### 3.5.2 Tunnelportal Gratkorn Süd

Das Südportal der Tunnels wird im Vergleich zu Variante „Felberbach“ lagetechnisch um fünf Meter nach Westen verlegt. Dadurch wird die Autobahnrampe nur tangiert und nicht gequert. Die Gründe der Firma Styriaprint, weiters die B67 werden bei km 12,4 gequert. Die Bundesstraße wird um acht Meter abgesenkt. Die Industriegründe werden abgelöst, die Autobahnrampe wird verlegt.

Um im Tunnel die geeignete Mindestneigung zu erreichen, ist die direkte Verbindung zwischen den zwei Zwangspunkten bei km 8,5 und km 12,5 zu flach. Ein zusätzlicher Tiefpunkt wird bei km 12,1 eingefügt. Dieser wird vom Hochpunkt an der Mur-Brücke (12,5 km) ausgehend konstruiert (siehe Abbildung 68). Mit dem Maximalgefälle von 12,5‰ sinkt die Trasse Richtung Tunnelportal ab.

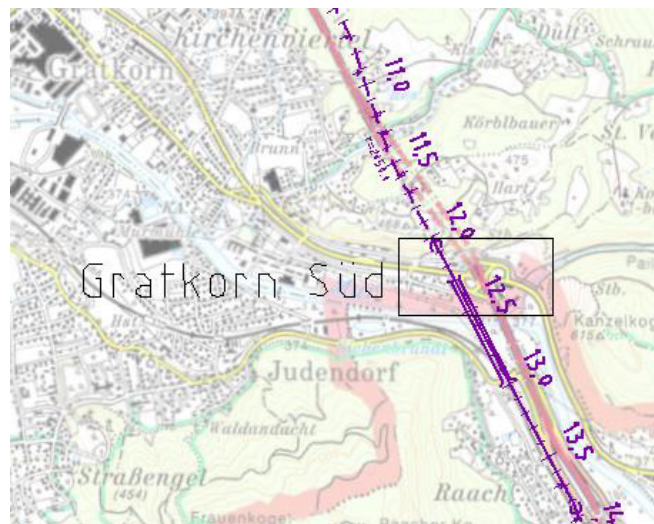


Abbildung 66: Lageplan Gratkorn Süd

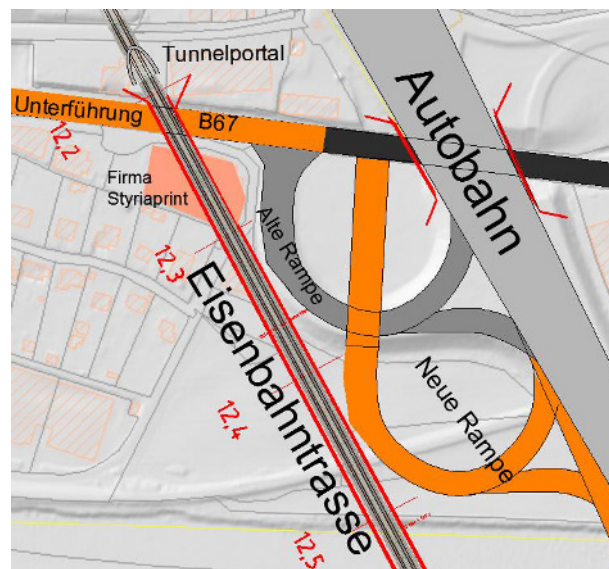


Abbildung 67: Lageplan Unterführung der B 67

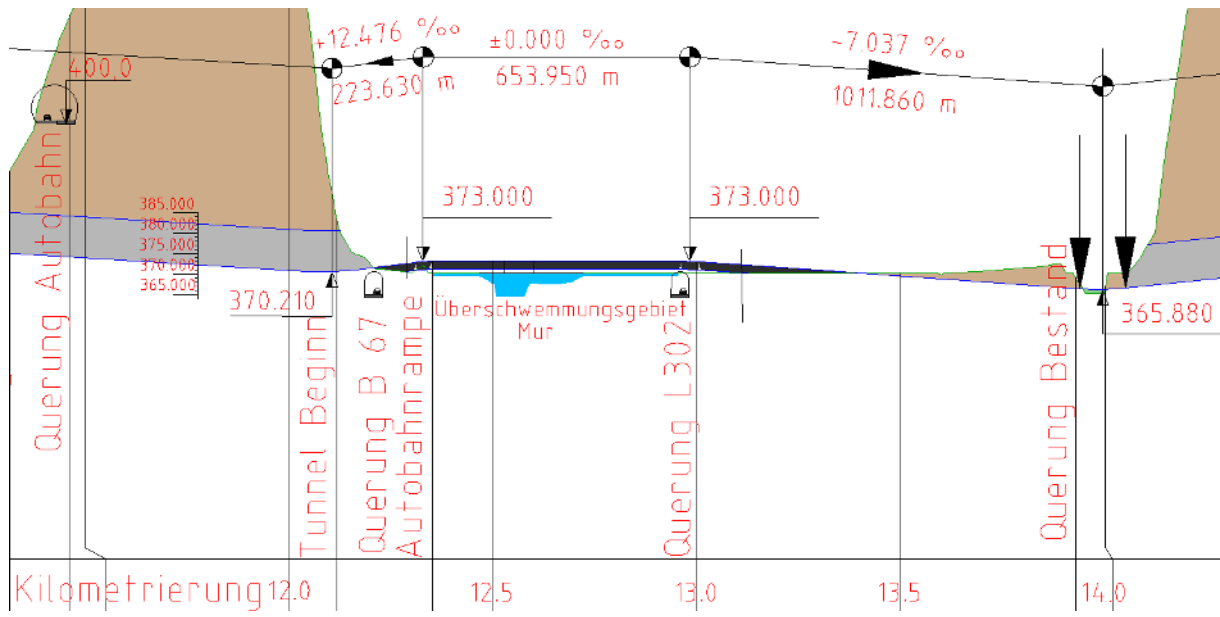


Abbildung 68: Südportal Tunnel Gratkorn und Murquerung

### 3.5.3 Murquerung südlich des Tunnelportals Gratkorn-Süd

Die Mur wird bei km 12,5 mit Mindesthöhenabstand gequert. Der Zwangspunkt ist der Hochwasserspiegel des Flusses und beträgt bei einem HQ300 370,5 müA. Da die Brücke in einem Überschwemmungsgebiet errichtet wird (siehe Abbildung 69), muss darauf geachtet werden, dieses nicht zu verbauen, um einen Rückstau zu vermeiden. Die Brückenkonstruktion ist daher in einer Länge von 700 Metern zu errichten.

Um die Achse tiefer legen zu können, ist eine Brücke mit geringer Konstruktionshöhe zu empfehlen. Der Zwangspunkt über der Mur (km 12,5) wird dadurch abgesenkt und eine problemlose Höhenabwicklung wird erreicht.

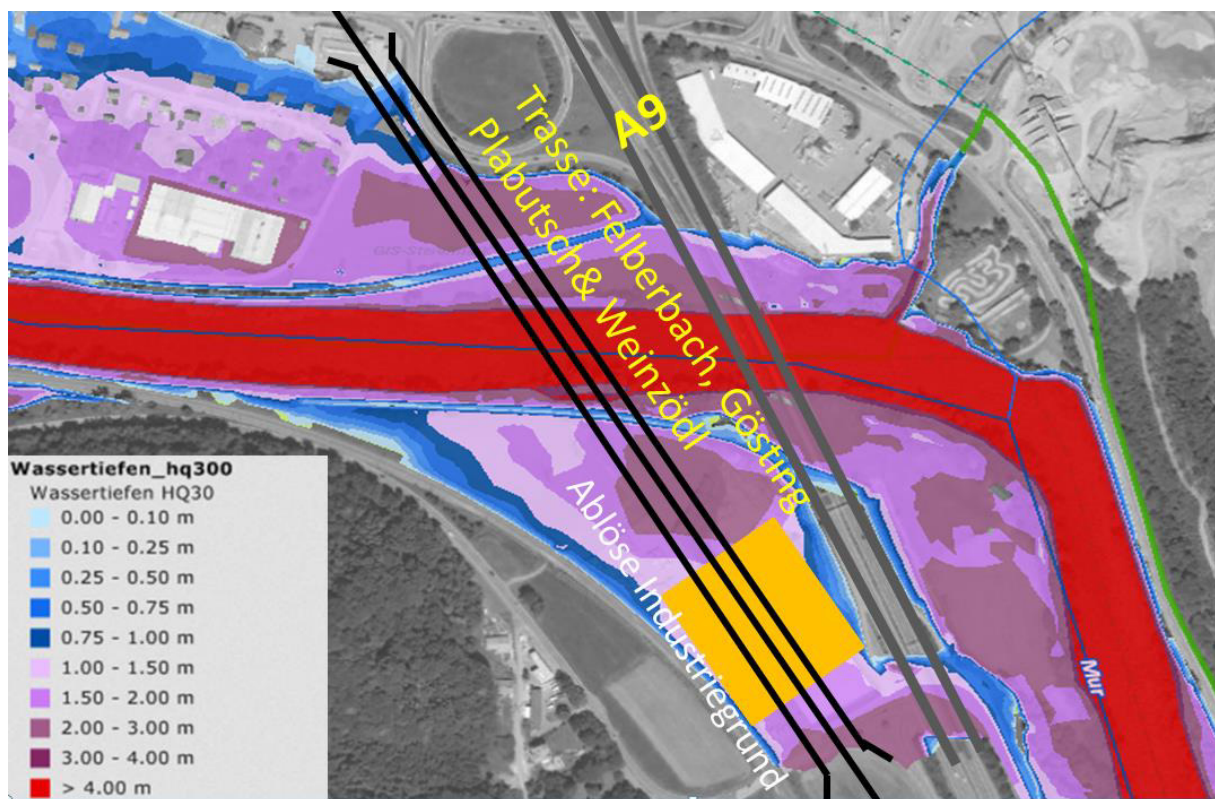


Abbildung 69: Brücke und Wassertiefe bei HQ300 auf Höhe Gratkorn Süd



### 3.5.4 Plabutschportal Nord

Der Platz zwischen Autobahn und Bestand ist beschränkt. Die Linienführung verläuft parallel zur Autobahn. Auch im Längenschnitt verläuft die Neubaustrecke auf gleicher Höhe wie die A9. So ist es möglich, den Bestand der Judendorferstraße nicht zu berühren und ebenfalls den Gleisbestand nicht ändern zu müssen (siehe Abbildung 70). Der tiefste Punkt (366 müA) ist bei km 14,0. Mit 10 Metern Höhendifferenz zwischen SOK der Neubaustrecke (366 müA) und der SOK des Bestandes (376 müA), ist genug Überdeckung vorhanden, um den Bestand zu unterqueren (siehe Abbildung 70).

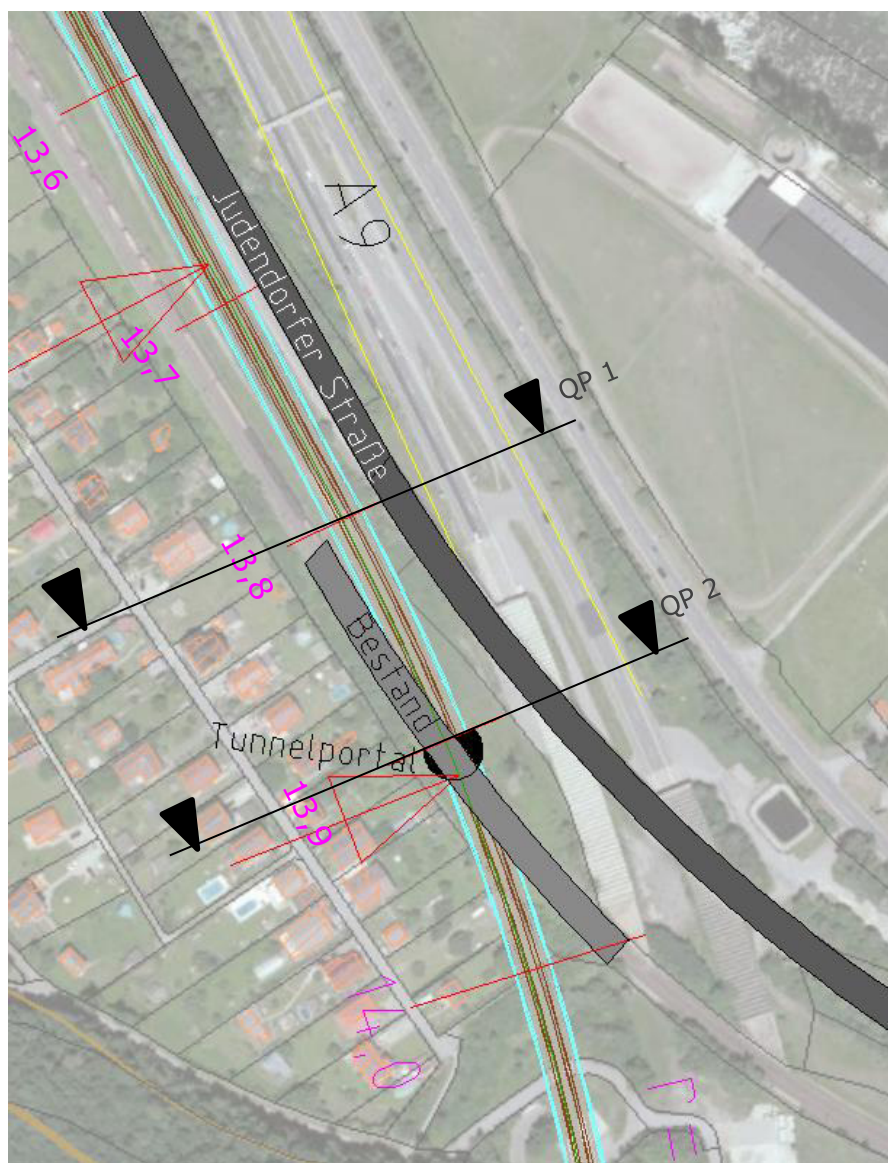


Abbildung 70: Lageplan Plabutschportal Nord

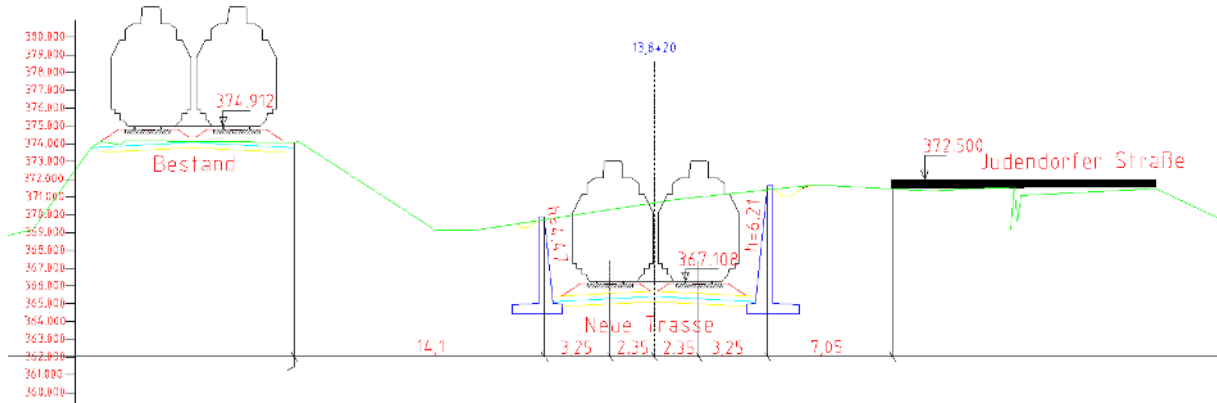


Abbildung 71: Querprofil 1 Plabutschportal Nord

In Abbildung 72 wird gezeigt wie die Unterführung der Neubaustrecke unter dem Bestand aussehen kann. Es ist gleichzeitig das Nordportal des Plabutschtunnels.

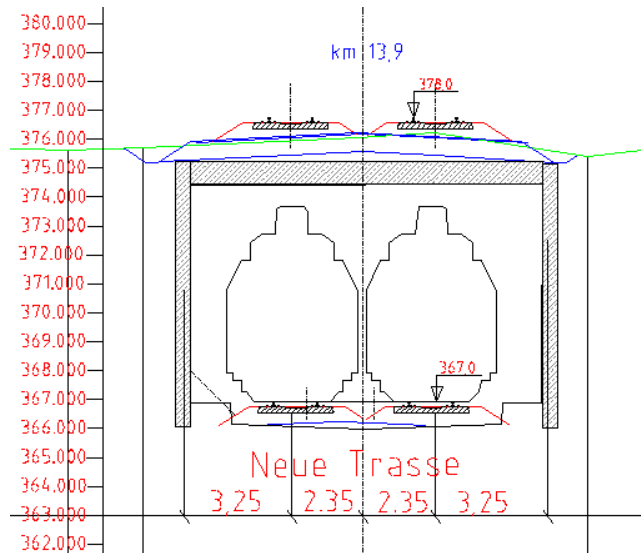


Abbildung 72: Querprofil 2 Unterqueren des Bestandes bei km 13,9

### 3.5.5 Queren des Autobahntunnels Plabutsch

Zwei Zwangspunkte der Variante „Plabutsch“ sind das Unterqueren des Bestandes (km 13,8) und das Überqueren der A9 (km 14,6). Ab dem Tunnelportal hat die Trasse eine Längsneigung von 8,1‰. Bei km 14,6 hat die Trasse genug Höhe erreicht um die Autobahn mit einer Höhendifferenz zwischen Schienenoberkante und Sohlenoberkante von 15 Metern zu überqueren (siehe Abbildung 73). Der Tunnel soll seine Tiefpunkte in Höhe der Portale haben, da dadurch aufwändige Entwässerungsanlagen im Inneren des Tunnels entfallen.

Ab dem Kreuzungspunkt sinken die Gleise wieder ab, um genug Überdeckung für das Unterfahren der Siedlung am Fuße des Plabutsches zu haben.

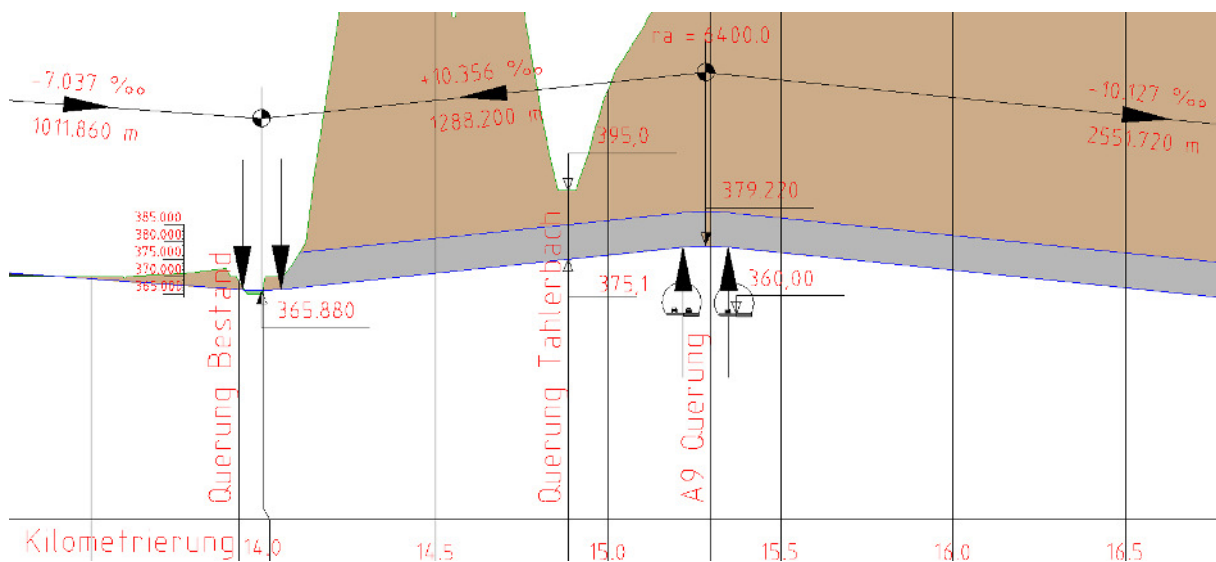


Abbildung 73: Autobahnquerung im Plabutsch

### 3.5.6 Plabutschportal Süd

Bei der Trassierung im Bereich des Verschiebebahnhofes sind einige Rahmenbedingungen zu beachten. Es gibt mehrere Faktoren, welche die Einfädung der Varianten „Felberbach“ und „Plabutsch“ beeinflussen.

- I Der Verschiebebahnhof darf nicht in seiner Funktion beeinträchtigt werden. Mit einer Länge von 700 Metern unterschreitet dieser bereits die geforderte Mindestlänge
- I Eine Mindestüberdeckung von zehn Metern ist im Bereich von Neubausiedlungen mit der SUK der Tiefgaragen einzuhalten
- I Eine Mindestüberdeckung von zehn Metern ist im Bereich von Gründerzeitvillen (SUK des Fundaments) einzuhalten
- I Die Industriehallen in diesem Bereich sollen erhalten bleiben
- I Die Brücke über die Peter-Tunner-Straße ist im Bestand zu erhalten. Es handelt sich dabei um eine Stahlkonstruktion aus dem Jahr 1945, die als Provisorium errichtet worden ist. Sechs Gleise werden von dieser Konstruktion getragen. Da diese Brücke ein geschlossener Körper ist, ist es schwer diesen umzubauen.

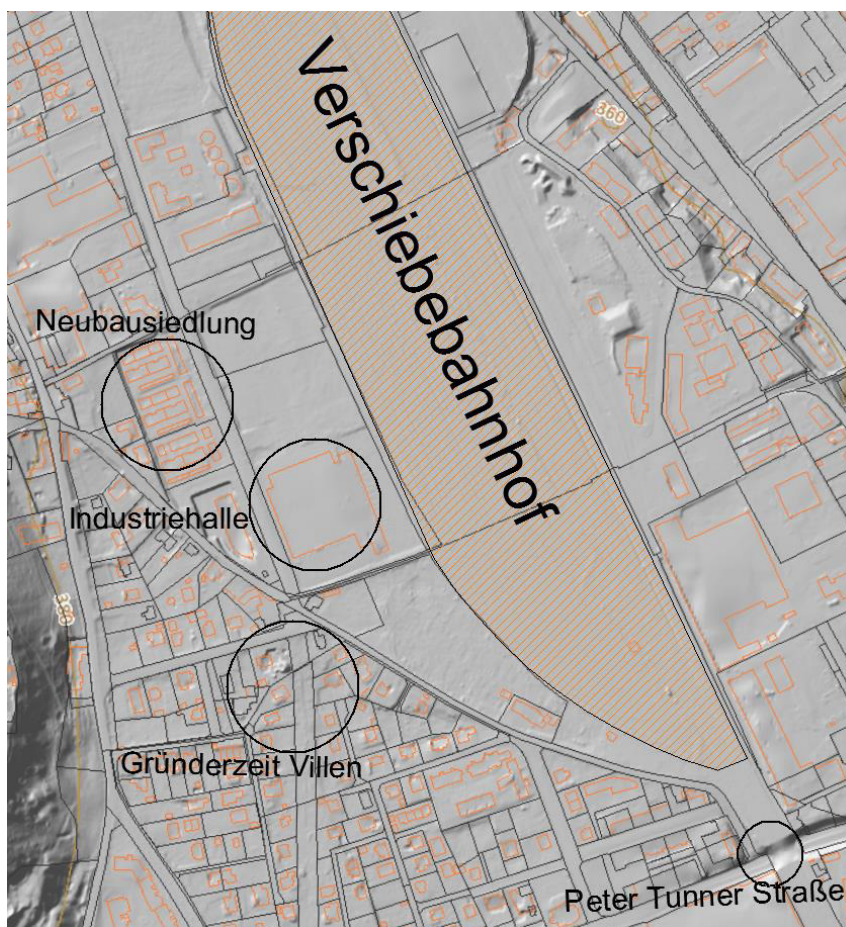


Abbildung 74: Übersichtskarte der problematischen Punkte



Der primäre Ansatz war es, gleich nach der „Peter-Tunner-Bücke“ mit maximaler Längsneigung abzusinken, um beim Erreichen der Siedlungen genügend Überdeckung zu erreichen. Ebenso muss der Übergangsbogen gleich bei der Brücke beginnen, da der Güterbahnhof so wenig wie möglich berührt werden soll. Ein Bogen mit 1050 Metern Radius würde den Verschiebebahnhof in der Mitte queren und diesen unbrauchbar machen (siehe Abbildung 75).

Der maximale Radius, der die Brücke und den Verschiebebahnhof nicht berührt beträgt 200 Meter. Jedoch sind, gemäß der RVE 05.00.01 [9], bei einer Neutrassierung Bögen mit einem Mindestradius von 450 Metern vorzusehen. Um dies erfüllen zu können, wurde beschlossen den Verschiebebahnhof nicht zu berühren und den Bogen schon vor der Brücke beginnen zu lassen (siehe Abbildung 76). Dies erfordert jedoch einen vollständigen Brückenneubau.

Die letzte Problemstellung die sich bei der Variante Plabutsch stellt ist das Einfädeln der Neubaustrecke in den Bestand, ohne die S-Bahn Trasse niveaugleich zu kreuzen. Um eine Überwerfung über dem Bestand zu ermöglichen wäre eine Längsneigung von 40,0‰ ab dem Tunnelportal bei km 17,5 nötig um bei km 18,3 genug Höhendifferenz zu erreichen. Das bedeutet eine Rampenlänge von 800 Metern. Eine Rampe mit solch einer Längsneigung überschreitet jedoch selbst die Ausnahmegrenzwerte. Die Peter-Tunner-Gasse unterhalb der Straße (Höhenlage 355 müA) zu unterqueren, bedeutet ab dem Überqueren der A9 bei km 14,0 mit 15,0‰ im Fels abzufallen. Nur dann erreicht die Trasse genug Überdeckung um die Peter-Tunner-Gasse zu unterqueren. Eine Längsneigung von 15,0‰ im Fels überschreitet die Ausnahmegrenzwerte ebenfalls und deshalb ist die Variante nicht durchführbar.



Abbildung 75: Variante „Felberbach“ mit einem Bogenradius von 1050 Metern

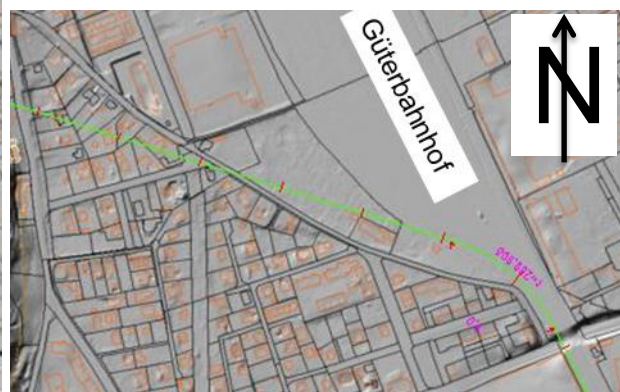


Abbildung 76: Variante Plabutsch mit einem Bogenradius von 400 Metern

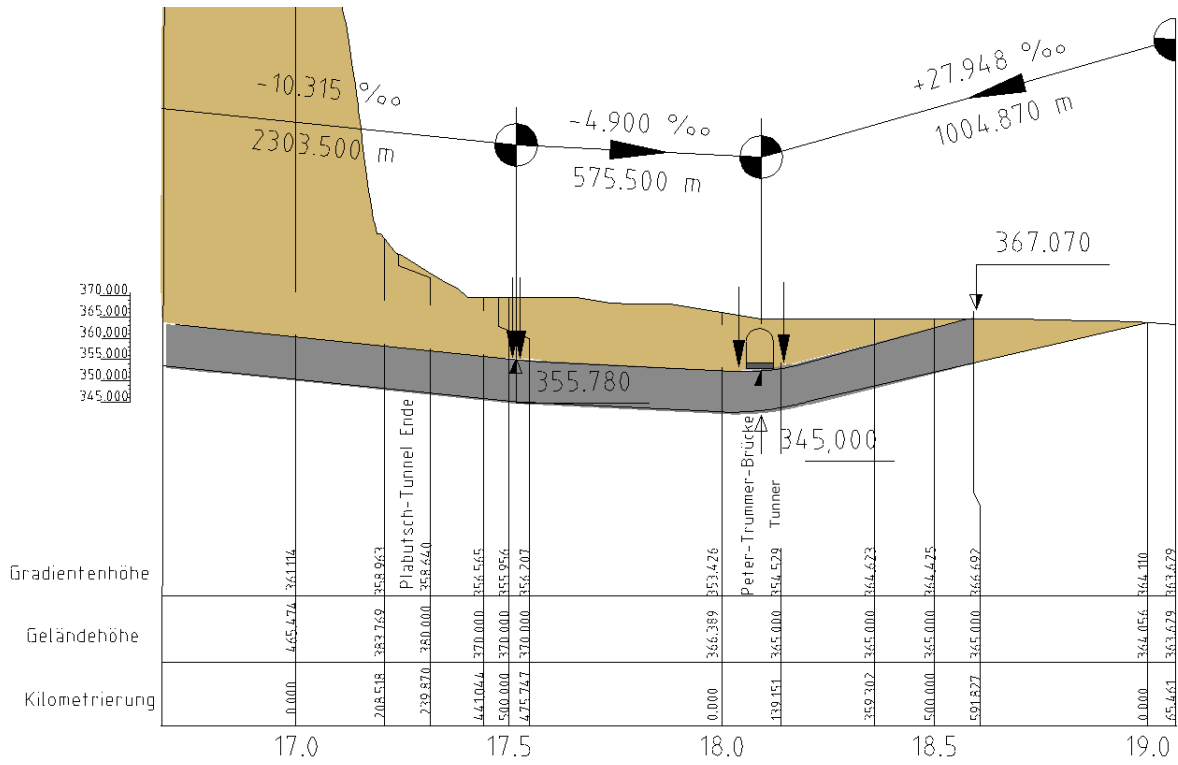


Abbildung 77: Verlängerung der Variante Plabutsch



### 3.6 Variante „Weinzödl“

Die Variante "Weinzödl" hat bis km 13,0 den gleichen Verlauf wie „Felberbach“. Ab diesem Punkt schwenkt diese nach Osten. Die Trasse quert die Autobahnrampe (km 12,1), das Überschwemmungsgebiet der Mur (km 12,2-12,9), die Autobahn (km 13,0-13,4), erneut die Mur (km 13,4-13,9) in so kurzen Abständen, dass eine durchgehende Brückenkonstruktion von 1850 Metern notwendig ist. Bei km 14,4 quert die Variante ein letztes Mal die Mur und unterquert kurz danach die L 302 (Judendorfer Straße). Die Neigung ist von km 10,5 bis km 14,8 durchgehend 12‰. Gleich darauf beginnt ein Tunnel mit einer Länge von 1130 Metern.

Ab dem km 15,8, in Höhe des südlichen Portals des Tunnels, steigt die Trasse bis zur Exerzierplatzstraße (km 16,3) mit 12,5‰ an und fügt sie sich in den Bestand ein. Der Lageplan und der Längenschnitt werden in Abbildung 78 und Abbildung 79 dargestellt. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist der Längenschnitt der Variante „Weinzödl“ in der Höhe von Gratkorn dargestellt.

Da die Längsneigungen im Tunnel bei der Umfahrung Gratkorn steiler sind als es die RVE Vorschrift zulässt (12‰ > 10,0‰), wird diese Variante nicht weiter verfolgt.

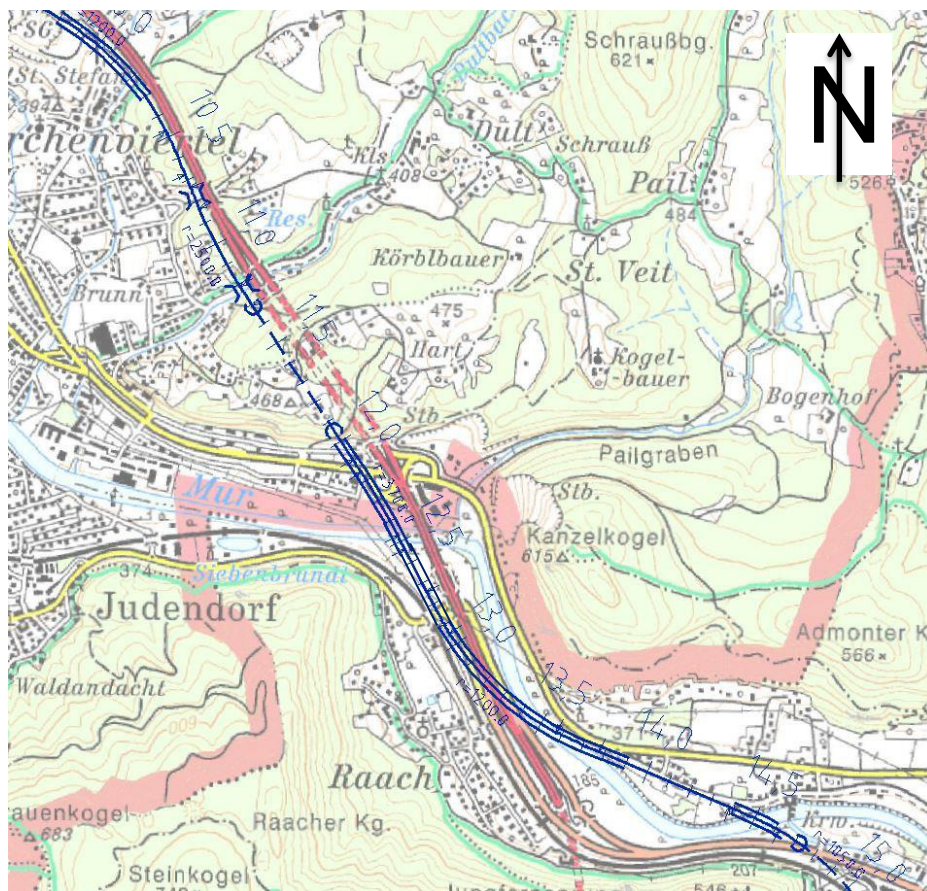


Abbildung 78: Mittlerer Verlauf der Variante „Weinzödl“



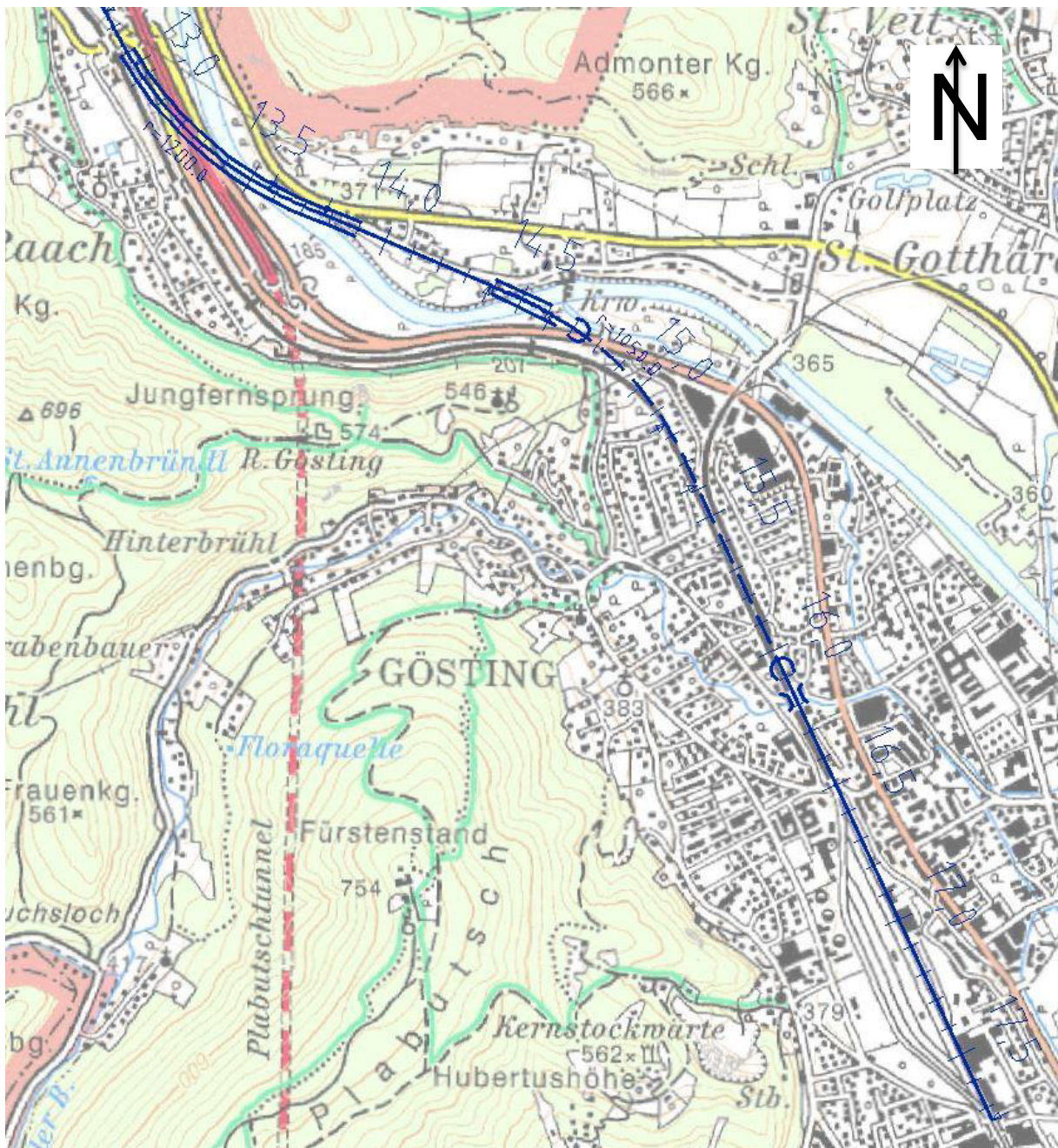


Abbildung 79: Südlicher Verlauf der Variante „Weinzödl“

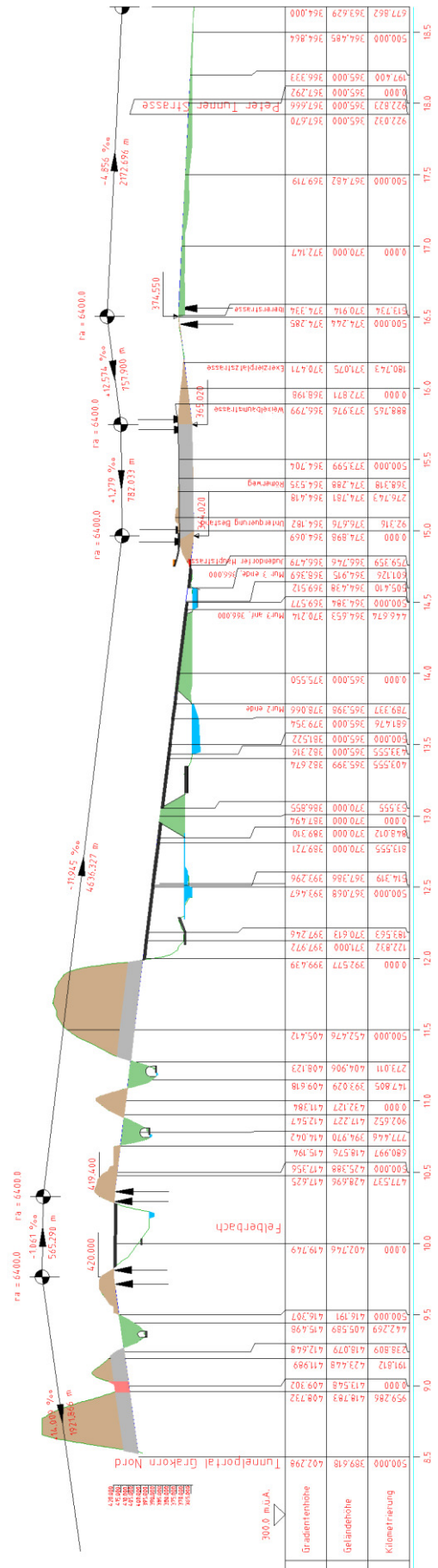


Abbildung 80: Gesamter Längenschnitt der Variante " Weinzödl "



### 3.7 Variante „Gösting“

Es hat sich gezeigt, dass sich die Varianten „Felberbach“ und „Plabutsch“ wegen des Verschubbahnhofes beziehungsweise der Einfädelung im Bereich der Peter-Tunner-Gasse nicht verwirklichen lassen. Die Variante „Pailgraben“ hat errichtungstechnisch im Bereich Gösting große Probleme mit der Unterführung, da diese unterhalb des Bestandes verläuft, der während der Errichtung im Betrieb bleiben muss. Die Variante „Gösting“ ist eine Lösung, die beide Probleme umgeht.

Der Verlauf entspricht der Variante Plabutsch bis zum km 14,0, mit Ausnahme dem Gefälle im Tunnel. Dieses beträgt bei der Variante 3,0‰. Das niedrige Gefälle ergibt sich aus den Höhenzwangspunkten vor und nach dem Tunnel. Ab km 14 gliedert sie sich bis zum Grazer Hauptbahnhof dem Verlauf des Bestandes ein, allerdings wird dieser auf drei Gleise erweitert. Hierbei ist anzumerken, dass ab km 14,0 mit den vorhandenen kleinen Radien trassiert werden kann, weshalb Fahrzeitverzögerungen entstehen, welche in Kapitel 4 diskutiert werden.

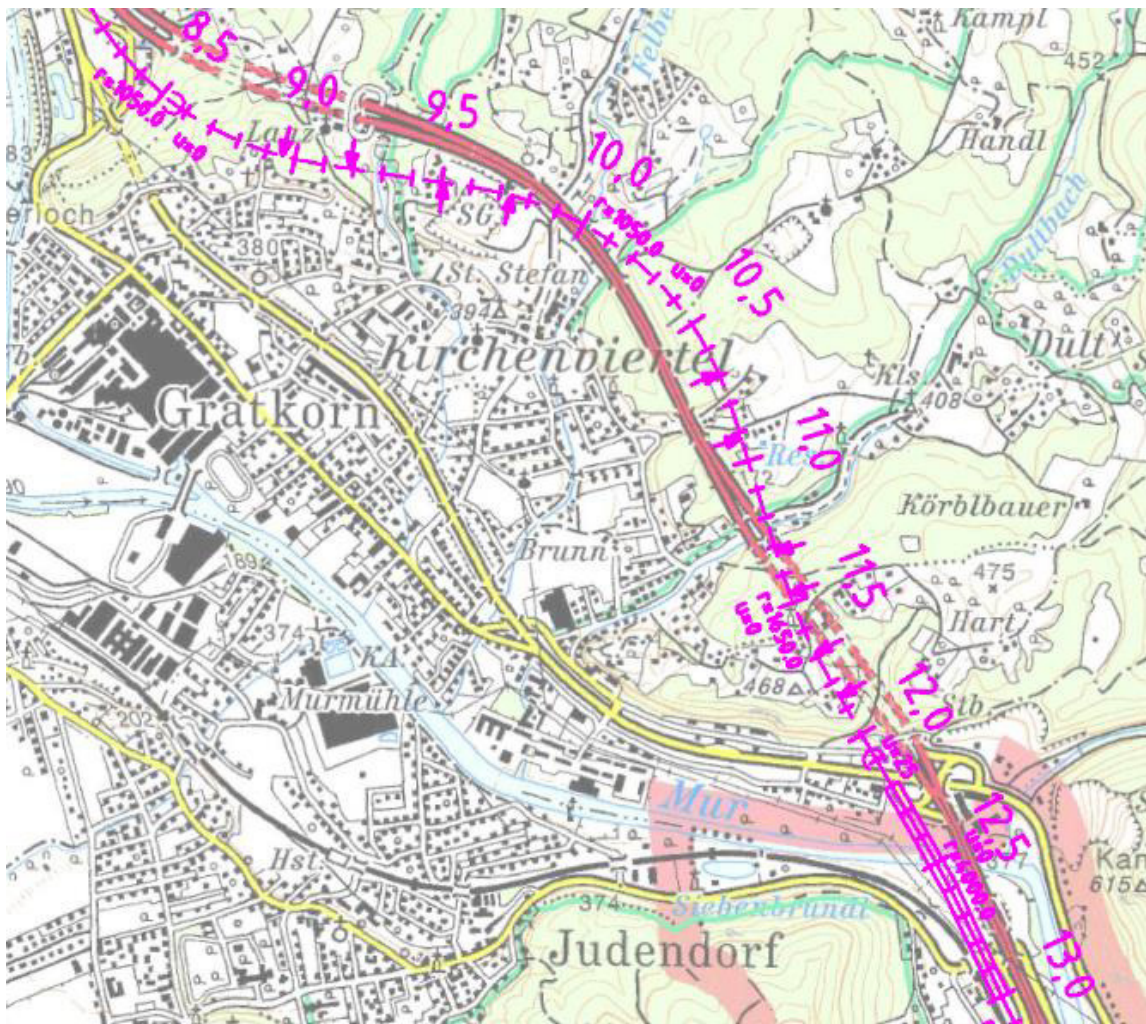


Abbildung 81: Umfahrung Gratkorn Variante Gösting



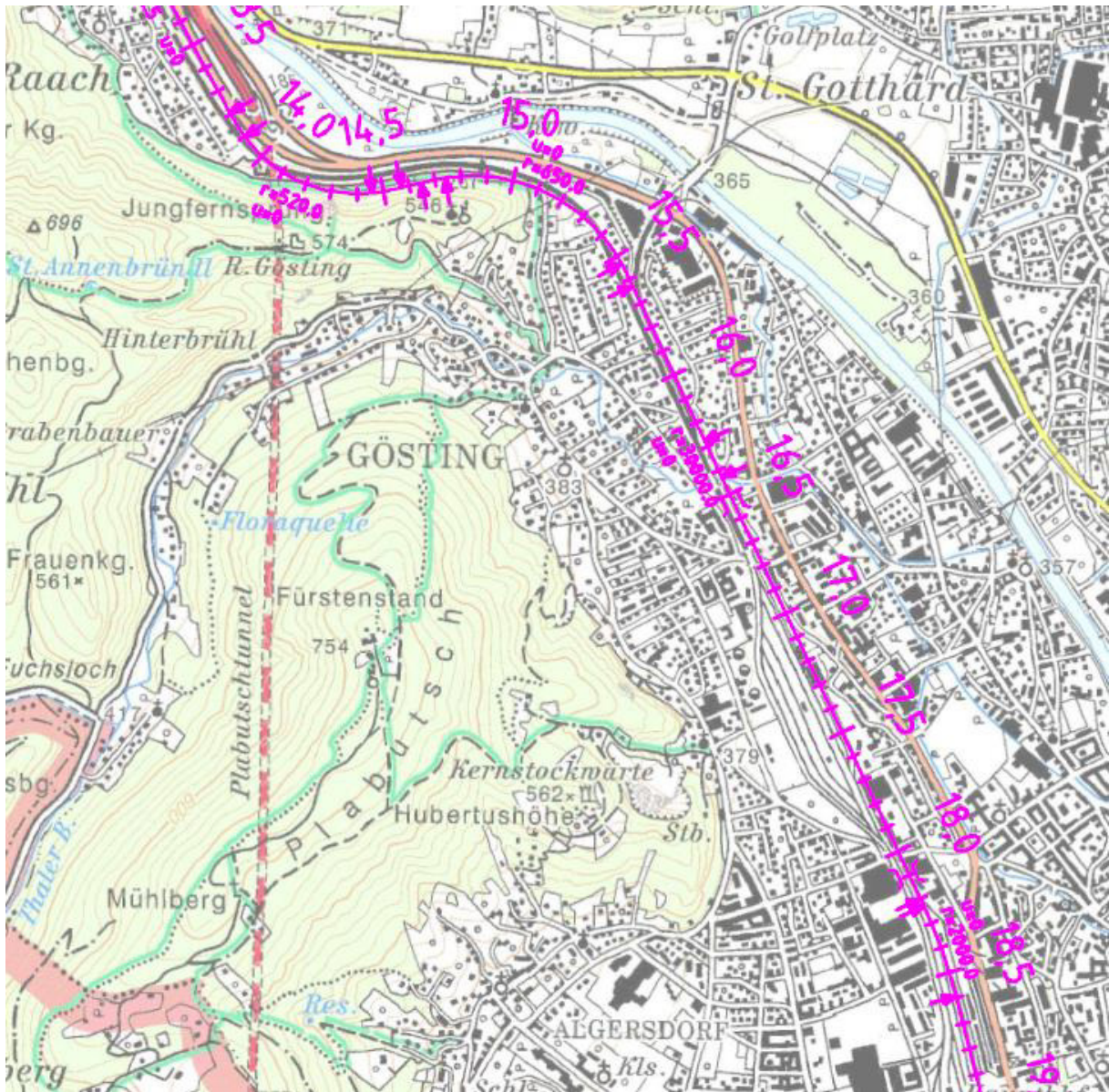


Abbildung 82: Einfahrt Graz Variante Gösting



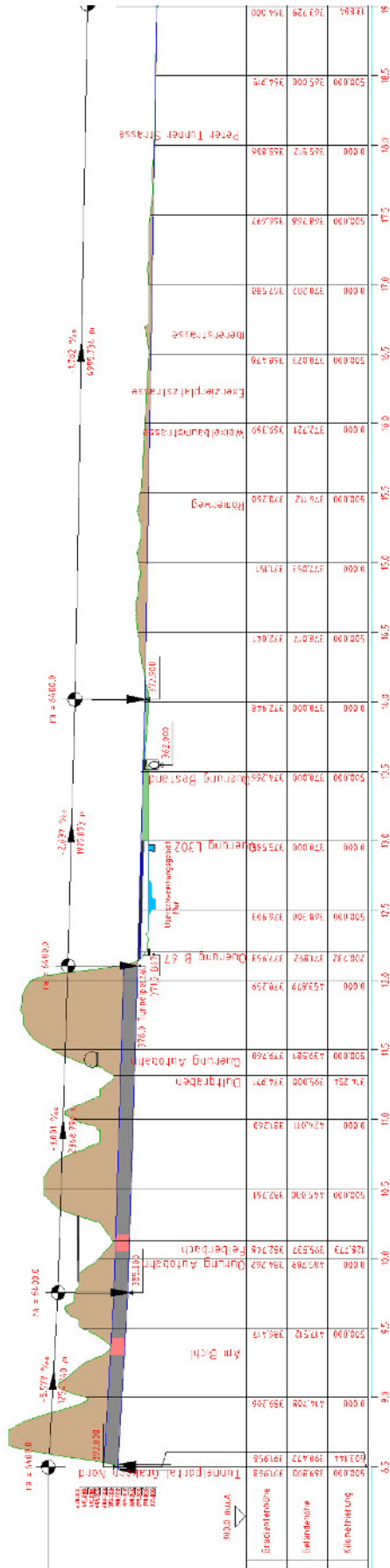


Abbildung 83: Längenschnitt Variante Götting

### 3.7.1 Tunnelportal Gratkorn Süd

Das Südportal der Tunnels wird im Vergleich zu Variante „Felberbach“ lagertechnisch um fünf Meter nach Westen verlegt. Dadurch wird die Autobahnrampe nur tangiert und nicht gequert. Die Gründe der Firma Styriaprint, weiters die B67 werden bei km 12,4 gequert. Da der Tunnel ein Gefälle von 3,0‰ hat und das Tunnelportal „Gratkorn Süd“ auf 378,0müA liegt, muss die Bundesstraße bei km 12,2 nur um einen halben Meter abgesenkt werden. Die Autobahnrampe muss nicht wie in Variante „Plabutsch“ verlegt werden. Die Industriegebiete werden abgelöst.

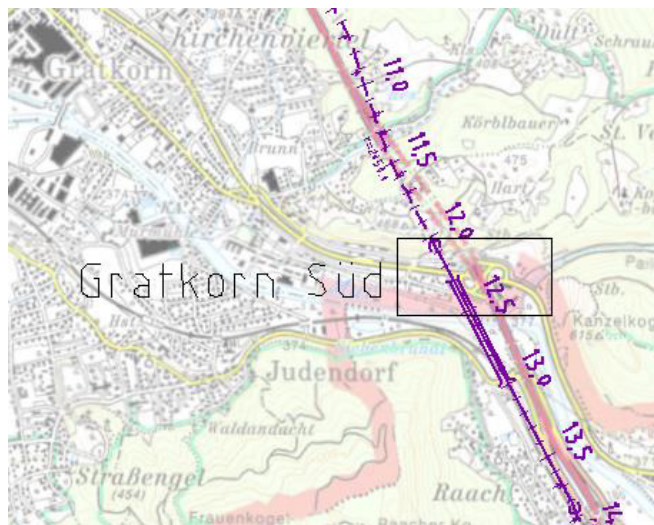


Abbildung 84: Lageplan Gratkorn Süd Variante „Gösting“

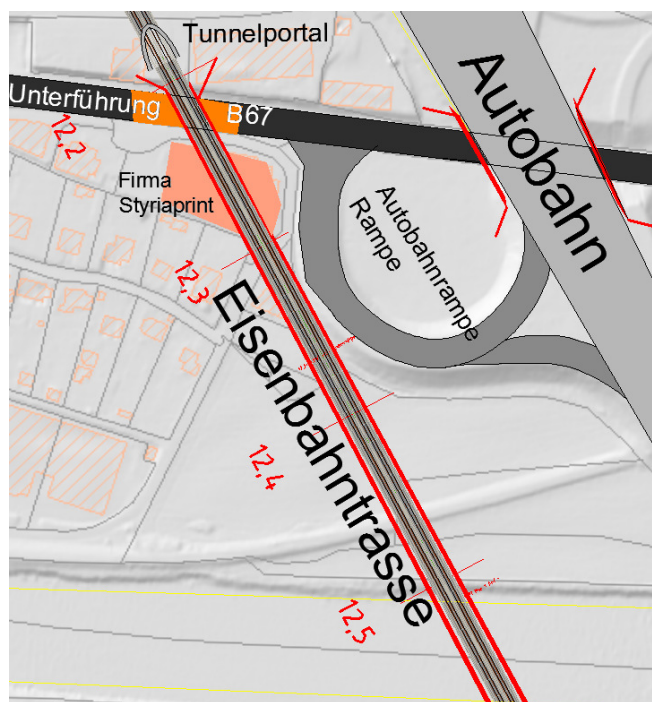


Abbildung 85: Lageplan Unterführung der B 67 Variante „Gösting“

### 3.7.2 Detail Einfädeln Altbestand Höhe Gösting

Ab km 14,0 wird der Verlauf des Bestandes um ein Gleis erweitert. Die Neubaugleise fädeln sich mit konstantem Höhenverlauf zwischen die Bestandsgleise ein. Um dies niveaufrei zu realisieren wird das östliche Bestandsgleis in diesem Bereich abgesenkt und unterquert das Neubaugleis.

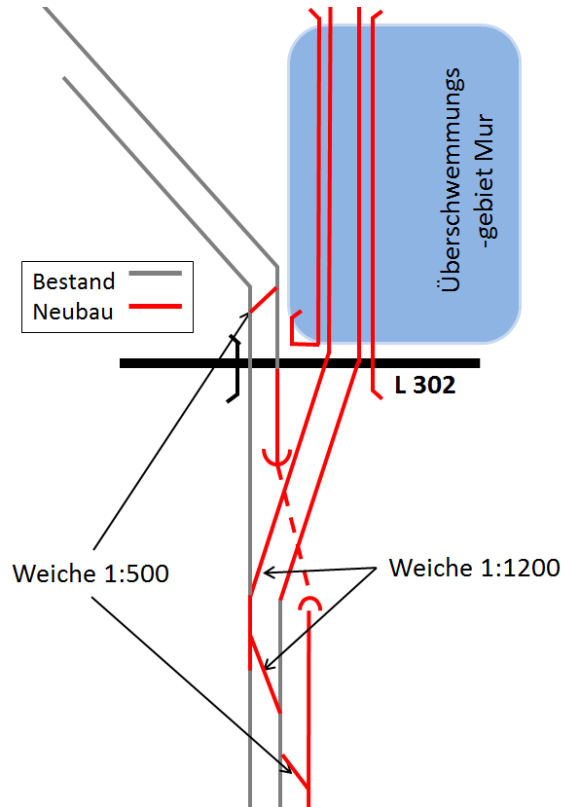


Abbildung 86: Schematischer Plan Einfädeln im Bereich Gösting

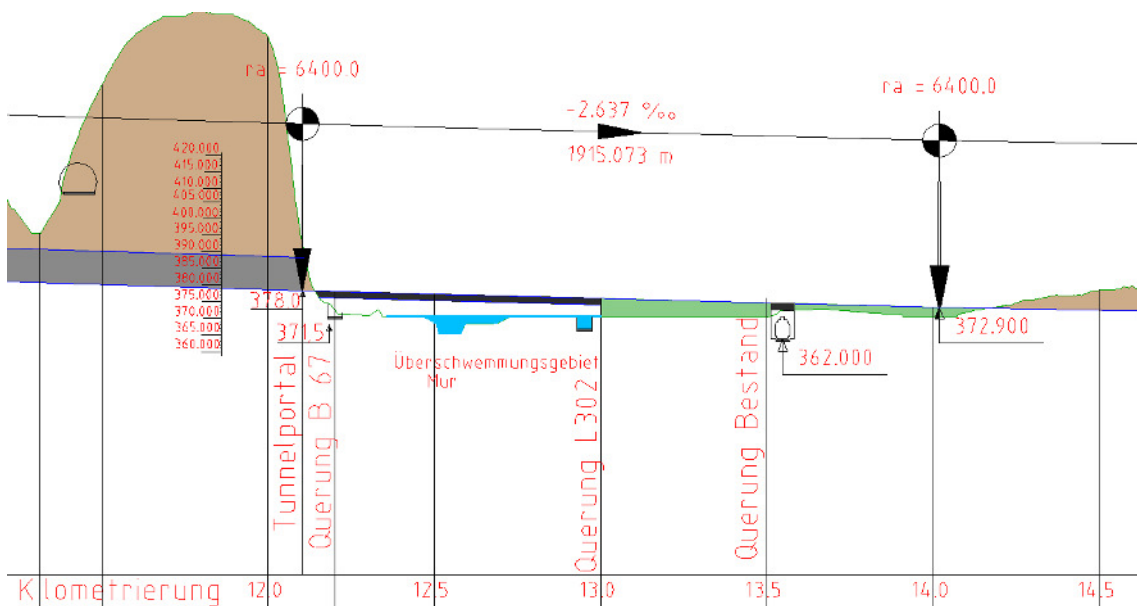


Abbildung 87: Längenschnitt der Variante Gösting Höhe Raab

### 3.7.3 Erweiterung des Bestandes im Bereich Raach

Da der Bestand in diesem Bereich bundesstraßenseitig mit einer Stützmauer befestigt worden ist, kann die Trasse nur hangseitig erweitert werden. Dort verläuft ein Radfahrweg. Dieser wird hangseitig neu verlegt.

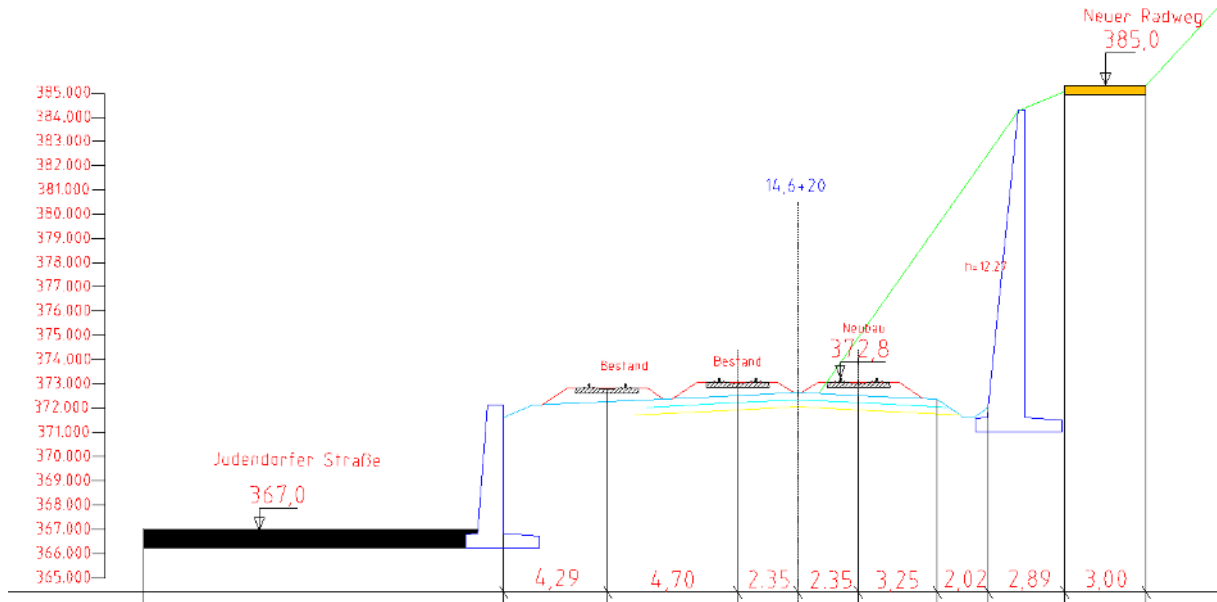


Abbildung 88: Querschnitt Variante Gösting Höhe Raach



Abbildung 89: Trasse der Variante "Gösting" bei Raach [12]

#### 3.7.4 Auswirkungen auf die Fahrzeit

Bei km 14,0 beginnt ein Bogen mit einem Radius von 450 Metern. Hier müssen die Züge auf 100 km/h abbremsen. Diese Fahrgeschwindigkeit bleibt bis zum HBF Graz konstant. Dies verlängert die Fahrzeit um eine Minute. Die Folgen werden in Kapitel 4 erläutert.



## 3.8 Kostenschätzung

### 3.8.1 Grundlagen

Die Kostenschätzung ist eine grobe Auflistung von Kostenpunkten durch die sich die beiden favorisierten Varianten „Pailgraben“ und „Gösting“ differenzieren sollen. Der Oberbau, Sicherheitstechnik, Ablösen, geologische Analysen, Planung, Hangsicherungen wurden unter anderem nicht gesondert erhoben.

Für die Kostenermittlung werden die folgenden Positionen aus dem Trassierungsprojekt im ProVI erhoben. Alle Kosten beziehen sich auf die Länge des jeweiligen Abschnittes und werden in der Einheit Millionen Euro pro Kilometer [mio € /km] aufgelistet. Die nachfolgenden Kostensätze stammen mit Werten aus dem Jahr 2011: [4]

I	Einröhriger Tunnel:	13,0 mio €/km
I	Eingleisige Brücke:	19,0 mio €/km
I	Einschnitte und Dämme:	7,0 mio €/km
I	Freie Strecke:	3,5 mio €/km

Da die Kostensätze aus dem Jahre 2011 stammen, wurde eine Inflationsanpassung auf Basis des Groß-Handels-Preis-Indexes (GHPI) durchgeführt [14]. Laut dieser Quelle betrug die durchschnittliche Inflation für diesen Zeitraum sieben Prozent. So mussten alle Werte mit einem Faktor von 1,07 (= 7%) multipliziert werden. Des Weiteren gelten diese Kosten für eingleisige Bauten. So wurden die Werte um 40 Prozent erhöht, um einen realistischen Mehrkostenfaktor, für die Differenz einer eingleisigen und einer zweigleisigen Trasse zu erhalten. [4]

So lauten die geänderten Positionskosten wie folgt:

I	Zweigleisige Brücke:	28,5 mio €/km
I	Einröhriger, zweigleisiger Tunnel:	19,5 mio €/km
I	Einschnitte und Dämme:	10,5 mio €/km
I	Freie Strecke:	5,3 mio €/km

## 3.8.2 Kostenschätzung

In diesem Stadium der Planung gibt es einige Unsicherheiten bezüglich der Übergänge zwischen Damm und Brücke und Einschnitt und Tunnel.

Zuerst müssen die Längen und die Art der Kunstbauten je Variante ermittelt werden. Diese werden in der folgenden Tabelle aufgelistet. In Tabelle 6 werden die Gesamtlängen der Brücken, in Tabelle 7 die Gesamtlängen der Tunnel, in Tabelle 8 die Gesamtlänge der erforderlichen Einschnitte und Dämme und in Tabelle 9 die Kosten für den restlichen Verlauf überschlagsmäßig ermittelt.

Tabelle 6: Ermittlung der Brückenlängen und deren Kosten

Brücken [m]	Pailgraben	Gösting
I	180	180
II	190	190
III	120	120
IV	200	750
V		50
Summe m	690	1290
Summe km	0,96	1,29
<b>Baukosten Brücke (28,5 mio€/km)</b>	<b>19,67</b>	<b>57.57</b>

Tabelle 7: Ermittlung der Tunnellänge und deren Kosten

Tunnel [m]	Pailgraben	Gösting
I	5630	3604
II	1514	0
Summe m	7144	3604
Summe km	7.14	3.60
<b>Baukosten Tunnel (19,5 mio€/km)</b>	<b>139.31</b>	<b>70.28</b>

Tabelle 8: Ermittlung der Gesamtlänge von Einschnitten/Dämmen und deren Kosten

Dämme / Einschnitte [m]	Pailgraben	Gösting
I	500	500
II	3600	3600
III	0	1000
Summe m	4100	5100
Summe km	4.10	5.10
<b>Baukosten Einschnitt (10,5 mio€/km)</b>	<b>43.05</b>	<b>53.55</b>

Tabelle 9: Ermittlung der Restlänge und deren Kosten

Restlänge	Pailgraben	Gösting
Länge [km]	18.770	19.150
Anteil Tunnel [km]	7.144	3.604
Anteil Brücke [km]	0,690	1,290
Anteil Damm/Einschnitt > 5 m [km]	4.100	5.100
Restlicher Streckenanteil [km]	6,836	9,156
<b>Baukosten Einschnitt (5,3 mio€/km)</b>	<b>34,18</b>	<b>45,78</b>

In Tabelle 10 werden die Kosten der verschiedenen Positionen aufsummiert:

Tabelle 10: Gesamtkosten

Variante		Pailgraben	Gösting
Anteil Tunnel [Mio €]		139.31	70.28
Anteil Brücke [Mio €]		40.47	57.57
Anteil Damm/Einschnitt > 5 m [Mio €]		43.05	53.55
Rest [Mio €]		30.53	42.13
Kosten <b>grob</b>	[Mio €]	263,21 <sup>1</sup>	206,38 <sup>1</sup>
<b>Kostenverhältnis</b>			
<b>Pailgraben</b>		<b>Gösting</b>	
<b>114</b>		<b>100</b>	

Die Tabelle zeigt auf, dass die Variante „Gösting“ mit einer groben Kostenschätzung von 206,38 Millionen Euro die kostengünstigere ist, allerdings die Ergebnisse zeigen ebenfalls eine sehr geringe Differenz zu einander. Da die ermittelten Kosten auf Schätzungen beruhen kann aus Kostengründen keine eindeutig bevorzugt werden.

<sup>1</sup> Für eine ausführliche und realistische Kostenaufstellung sind weitere Faktoren wie Ablösen, Oberbau, Geologische Analysen, Hangsicherungen, Umlegung von Straßen und Gewässern zu Berücksichtigen. Diese Kostenschätzung dient nur dazu durch ausgewählte Kostensätze eine prozentuelle Differenzierung zwischen den zwei Varianten zu ermöglichen.

## 4 Fahrzeitermittlung

In diesem Kapitel werden nun die fahrzeittechnischen Aspekte aller relevanten Details und deren Auswirkung auf die Gesamtfahrzeit zusammengefasst.

Für die zwei Varianten „Pailgraben“ und „Gösting“ werden vier Varianten vorgestellt.

### 4.1 Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

Die Länge dieser Variante beträgt 18,7 km. Der Zug beschleunigt im Bahnhof Peggau von 120 km/h auf 160 km/h. Diese Geschwindigkeit wird bis vor dem Grazer Hauptbahnhof beibehalten, wo dieser abbremsen muss und dort zum Stillstand kommt.

### 4.2 Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 800 m Radius

Die Länge dieser Variante beträgt 18,7 km. Der Zug beschleunigt im Bahnhof Peggau von 120 km/h auf vorerst 130 km/h. Erst nach der Brücke südlich von Peggau bei km 1,5 beschleunigt der Zug auf 160 km/h. Diese Geschwindigkeit wird beibehalten bis der Zug vor dem Grazer Hauptbahnhof abbremsen muss und dort zum Stillstand kommt.

### 4.3 Variante Gösting; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

Die Länge dieser Variante beträgt 19,1 km. Der Zug beschleunigt im Bahnhof Peggau von 120 km/h auf 160 km/h. Diese Geschwindigkeit wird beibehalten bis der Zug in den Bestand bei km 14,0 einfädelt. Bis zu diesem Punkt muss der Zug auf 100 km/h abgebremst werden und fährt mit dieser Geschwindigkeit weiter. Vor dem Grazer Hauptbahnhof wird er abgebremst und kommt dort zum Stillstand.

### 4.4 Variante Gösting; Brücke Peggau mit 800 m Radius

Die Länge dieser Variante beträgt 19,1 km. Der Zug beschleunigt im Bahnhof Peggau von 120 km/h auf vorerst 130 km/h. Erst nach der Brücke südlich von Peggau bei km 1,5 beschleunigt der Zug auf 160 km/h.

Diese Geschwindigkeit wird beibehalten bis der Zug in den Bestand bei km 14,0 einfädelt. Bis zu diesem Punkt muss der Zug auf 100 km/h abgebremst haben und fährt mit dieser Geschwindigkeit weiter, bis er beginnt vor dem Grazer Hauptbahnhof abzubremsen und dann dort zum Stillstand kommt.

## 4.5 Nettofahrzeit

Für die Berechnung der Fahrzeit werden zunächst die Beschleunigungs- und Bremszeiten mit folgender Formel berechnet:

$$t_b = \frac{v_e - v_a}{a} \quad [4]$$

$$t_{br} = \frac{v_e - v_a}{a} \quad [4]$$

mit:

$t_b$  Beschleunigungszeit (s)

$t_{br}$  Bremszeit (s)

$v_a$  Geschwindigkeit vor der Beschleunigung (m/s)

$v_e$  Geschwindigkeit nach der Beschleunigung (m/s)

$a$  Beschleunigungswert ( $m/s^2$ )

Tabelle 11: Beschleunigungszeit

Beschleunigen						
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$\Delta V \left(\frac{km}{h}\right)$	$\Delta v \left(\frac{m}{s}\right)$	$t_b(sec)$	$t_b(min)$
120	130	0.3	10	2.78	9.26	0.15
120	140	0.3	20	5.56	18.52	0.31
130	140	0.3	10	2.78	9.26	0.15
140	160	0.15	20	5.56	37.04	0.62

Tabelle 12: Bremszeit

Bremsen						
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$\Delta V \left(\frac{km}{h}\right)$	$\Delta v \left(\frac{m}{s}\right)$	$t_{br}(sec)$	$t_{br}(min)$
160	100	0.6	60	16.67	27.78	0.46
100	0	0.6	100	27.78	46.30	0.77
160	0	0.6	160	44.44	74.07	1.23



Mit den Beschleunigungszeiten kann jetzt die Beschleunigungs- und Bremsstrecke berechnet werden

Formel:

$$s_b = a * \frac{t_b^2}{2} + v_a * t_b \quad [4]$$

mit

$s_b$  Strecke der Beschleunigung (m)

$a$  Beschleunigungsfaktor ( $m/s^2$ )

$v_a$  Geschwindigkeit vor der Beschleunigung (m/s)

$t_b$  Zeitdauer der Beschleunigung (s)

Ergebnisse:

Tabelle 13: Beschleunigungsweg

Beschleunigen					
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$v_a \text{ (m/s)}$	$t_b \text{ (sec)}$	$S_b \text{ (km)}$
120	140	0.3	33.33	18.52	0.67
130	140	0.3	36.36	9.26	0.35
140	160	0.15	38.89	37.04	1.54

Tabelle 14: Bremsweg

Bremsen					
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$v_a \text{ (m/s)}$	$t_b \text{ (sec)}$	$S_b \text{ (km)}$
160	100	0.6	33.33	18.52	0.67
100	0	0.6	36.36	9.26	0.35
160	0	0.6	38.89	37.04	1.54

Mit diesen Werten kann berechnet werden welche Distanzen der Zug mit konstanter Beschleunigung zurücklegt und welche Zeit er dafür benötigt.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Fahrzeiten für die Varianten

## Zusammenfassung

### Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

von km	bis km	$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	$S_{km}$	$t_{min}$
0	2.21	120	160	2.21	0.93
2.21	17.05	160	160	14.84	5.57
17.05	18.7	160	0	1.65	1.23
<b>Summe</b>				<b>18.7</b>	<b>7.73</b>

### Variante Pailgraben; Brücke Peggau mit 800 m Radius

von km	bis km	$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	$S_{km}$	$t_{min}$
0	0.32	120	130	0.32	0.15
0.32	1.50	130	130	1.18	0.54
1.50	3.39	130	160	1.89	0.77
3.39	17.05	160	160	13.66	5.12
17.05	18.70	160	0	1.65	1.23
<b>Summe</b>				<b>18.7</b>	<b>7.83</b>

### Variante Gösting; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

von km	bis km	$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	$S_{km}$	$t_{min}$
0	2.21	120	160	2.21	0.93
2.21	13.00	160	160	10.79	4.04
13.00	14.00	160	100	1.00	0.46
14.00	18.38	100	100	4.38	2.61
18.38	19.02	100	0	0.64	0.77
<b>Summe</b>				<b>19.02</b>	<b>8.82</b>

### Variante Gösting; Brücke Peggau mit 800 m Radius

von km	bis km	$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	$S_{km}$	$t_{min}$
0	0.32	120	130	0.32	0.15
0.32	1.50	130	130	1.18	0.54
1.50	3.39	130	160	1.89	0.77
3.39	13.00	160	160	9.60	3.60
13.00	14.00	160	100	1.00	0.46
14.00	18.38	100	100	4.38	2.61
18.38	19.02	100	0	0.64	0.77
<b>Summe</b>				<b>19.02</b>	<b>8.92</b>

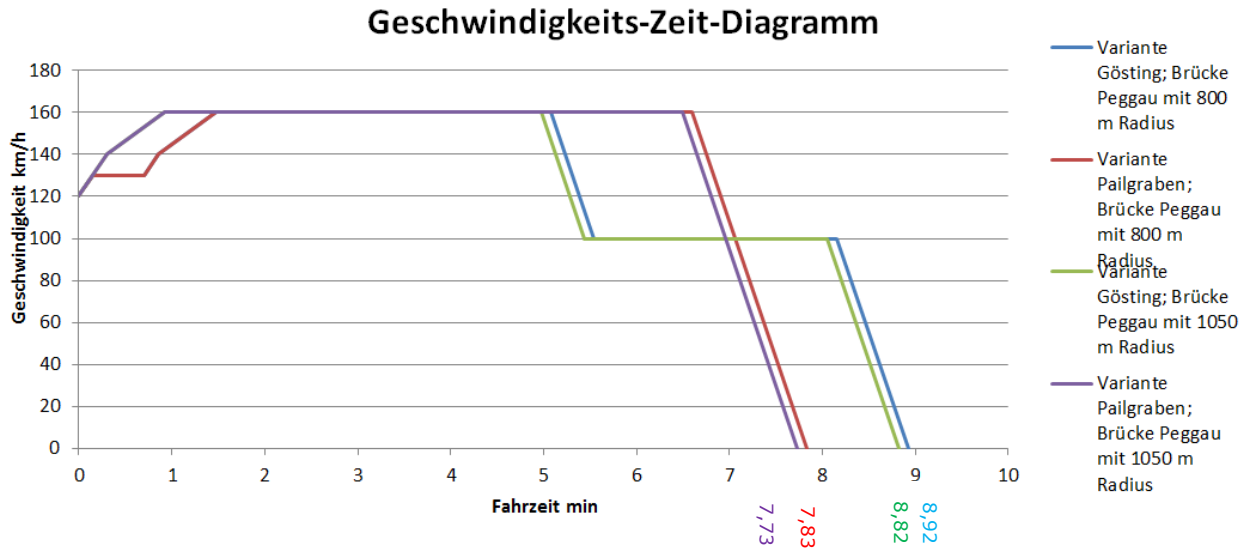


Abbildung 90: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm

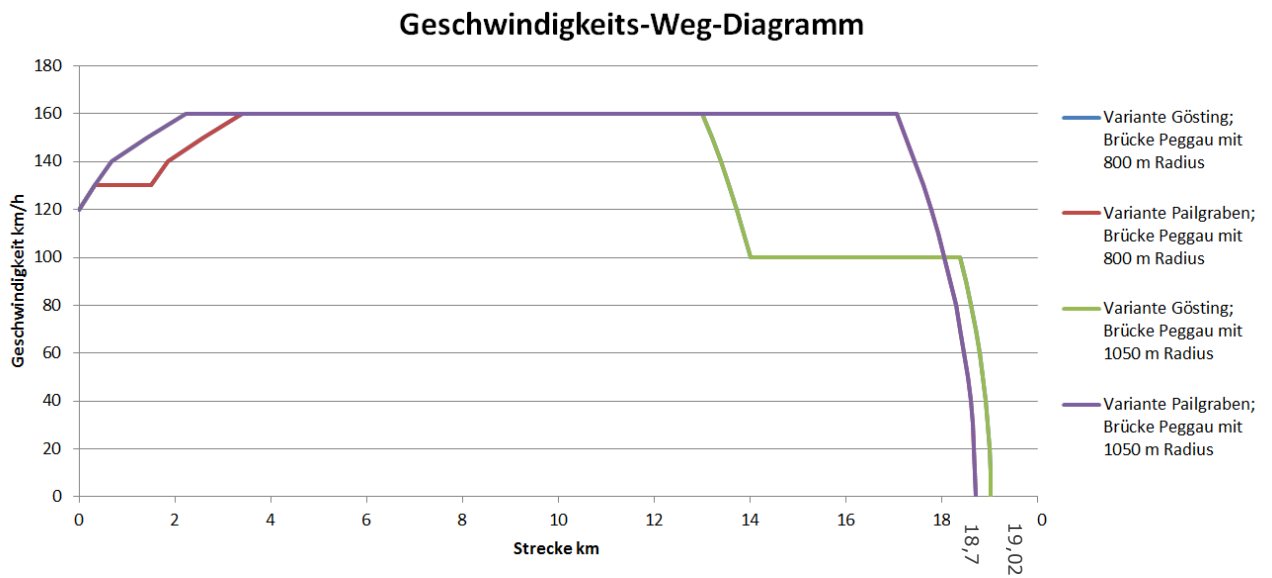


Abbildung 91: Geschwindigkeits-Weg-Diagramm

## 4.6 Bruttofahrzeit

Wie in Kapitel 1.4.1 erwähnt setzt sich die für die Konstruktion eines integrierten Taktfahrplanes notwendige Kantenfahrzeit aus Bruttofahrzeit und anteiliger Knotenaufenthaltszeit (sowie theoretisch aus der Haltezeit von Zwischenhalten) zusammen. Die Nettofahrzeit der Strecke Bruck-Peggau im Bestand beträgt 19 Minuten. Das ergibt bei 7 % Fahrzeitreserve 20,33 Minuten. Abzüglich der eingangs erwähnten anteiligen Knotenaufenthaltszeit von 2 Minuten verbleiben auf dem Abschnitt von Peggau nach Graz nur noch  $28 - 20,33 = 7,66$  Minuten Bruttofahrzeit.

Die Berechnungen zeigen, dass sämtliche Fahrzeitvarianten zwischen 0,61 Minuten (Pailgraben; Brücke Peggau mit 1050 m Radius) und 1,87 Minuten (Gösting; Brücke Peggau mit 800 m Radius) zu lang sind (siehe Tabelle 16). Da alle Varianten nicht die geforderte Fahrzeit erreichen kann bezüglich dieser Rahmenbedingung keine entscheidende Aussage getroffen werden.

Tabelle 16: Zusammenfassung Bruttofahrzeitenfahrzeiten

<b>Bruttofahrzeit</b>				
	Variante <b>Pailgraben;</b> Brücke Peggau mit <b>1050</b> m Radius	Variante <b>Pailgraben;</b> Brücke Peggau mit <b>800</b> m Ra- dius	Variante <b>Gösting;</b> Brücke Peggau mit <b>1050</b> m Radius	Variante <b>Gösting;</b> Brücke Peggau mit <b>800</b> m Ra- dius
Nettofahrzeit Peggau-Graz	7,73 min	7,83 min	8,82 min	8,92 min
Bruttofahrzeit Peggau-Graz	8,27 min	8,38 min	9,45 min	9,54 min
Bruttofahrzeit Bruck-Graz	28,60 min	28,71 min	29,78 min	29,87 min
$\Delta t$ zur Fahrzeit- vorgabe (28 min)	0,60 min	0,71 min	1,78 min	1,87 min

Keine Variante erfüllt die Vorgaben daher werden im folgenden Kapitel Lösungsvorschläge aufgelistet.

## 4.7 Lösungsansätze

### 4.7.1 Lösung Pailgraben 200 km/h

Da die Variante „Pailgraben“ zwischen Tunnelportal Gratkorn Nord (km 8,5) und der Einfädelung Gösting (km 16,5) im Tunnel liegt und deshalb vergleichsweise große Trassierungsfreiheiten aufweist, ist ein Lösungsansatz diesen Abschnitt mit 200 km/h zu trassieren. Folgende Berechnung soll Aufschluss darüber geben ob dieser Ansatz die erforderliche Zeitersparnis ermöglicht.

Tabelle 17: Beschleunigungswerte Variante "Pailgraben 200 km/h"

Beschleunigung							
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$\Delta V \left(\frac{km}{h}\right)$	$\Delta v \left(\frac{m}{s}\right)$	$t_b(sec)$	$t_b(min)$	$S_b(km)$
120	140	0.3	20	5.56	18.52	0.31	0.67
140	160	0.15	20	5.56	37.04	0.62	1.54
160	200	0.15	40	11.11	74.07	1.23	3.70

Tabelle 18: Bremswerte Variante "Pailgraben 200 km/h"

Bremsen							
$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	a	$\Delta V \left(\frac{km}{h}\right)$	$\Delta v \left(\frac{m}{s}\right)$	$t_b(sec)$	$t_b(min)$	$S_b(km)$
200	0	0.6	160	44.44	74.07	1.23	5.76

Tabelle 19: Zusammenfassung der Berechnung Variante "Pailgraben 200 km/h"

Variante Pailgraben 200; Brücke Peggau mit 1050 m Radius						
von km	bis km	$V_a \left(\frac{km}{h}\right)$	$V_e \left(\frac{km}{h}\right)$	$S_{km}$	$t_{min}$	
0.00	2.21	120	160	2.21	0.93	
2.21	8.50	160	160	6.29	2.36	
8.50	12.21	160	200	3.71	1.23	
12.21	16.13	200	200	3.92	1.18	
16.13	18.70	200	0	2.57	1.23	
<b>Summe</b>				<b>18.70 km</b>	<b>6.93 min</b>	



## Variante Pailgraben 200; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

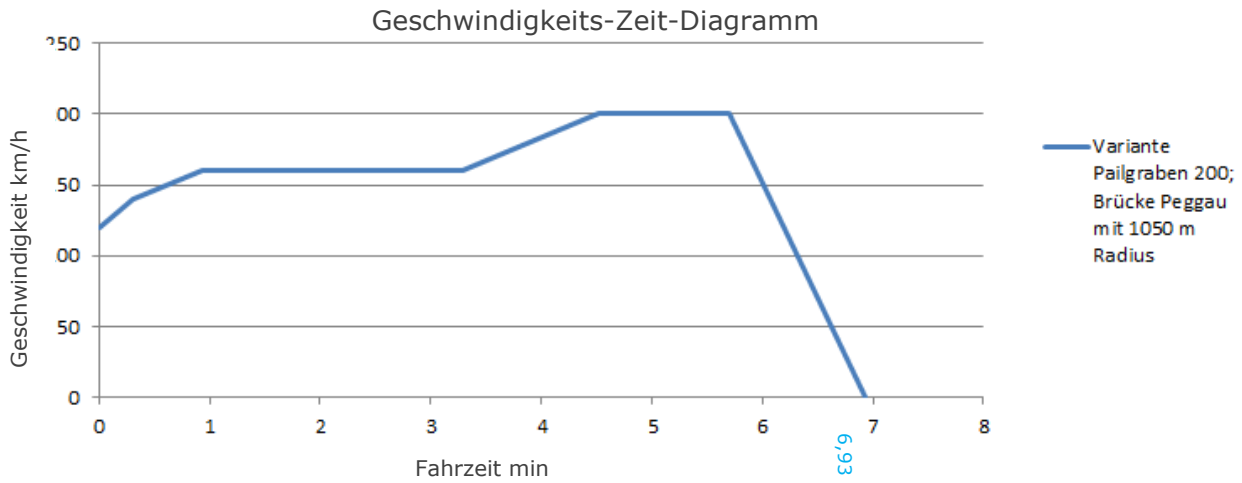


Abbildung 92: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm Variante "Peggau 200"

## Variante Pailgraben 200; Brücke Peggau mit 1050 m Radius

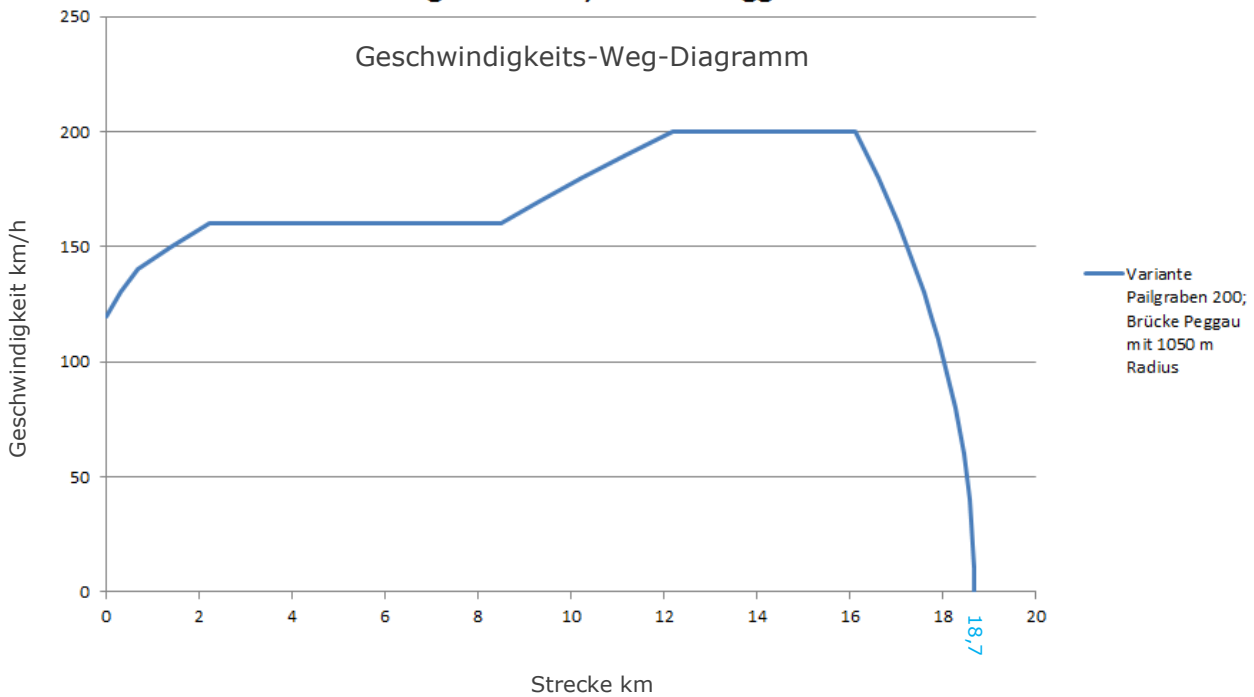


Abbildung 93: Geschwindigkeits-Weg-Diagramm

Dieser Ansatz ermöglicht eine Fahrzeit Graz-Peggau von 6,93 Minuten womit die geforderte Fahrzeit eingehalten werden kann. Allerdings muss im Detail untersucht werden, ob die Zusatzkosten für die Ausrüstung und den Erhalt einer Trasse mit 200 km/h Betriebsgeschwindigkeit rechtfertigen.

#### 4.7.2 Streckenanalyse südlich von Peggau

Im Bereich zwischen Bruck und Frohnleiten gibt es mehrere Bereiche mit engen Bögen, wo durch bauliche Maßnahmen Geschwindigkeiten erhöht und Streckenkilometer eingespart werden können. Die Diplomarbeit „Überlegungen zum Ausbau der Bahnlinie Graz-Bruck/Mur“ behandelt die Trassenoptimierung in den Bereichen Peugen, Stübing und südlich von Bruck [15].

Ein Beispiel ist das Murknie bei Peugen:

Die Strecke verläuft dort in einem Bogen mit 350 Meter Radius. Die zulässige Geschwindigkeit in diesem 4,4 Kilometer langen Abschnitt ist 80 km/h. Es werden 3,3 Minuten benötigt bis dieser Bereich passiert ist. Dieser Abschnitt kann mit einem 2,2 km langen Tunnel abgekürzt werden in dem Geschwindigkeiten von 160 km/h möglich sind. Es werden für die neue Trasse 0,75 Minuten benötigt. So können durch die Errichtung des Tunnels circa 2,5 Minuten eingespart werden.



Abbildung 94: Trassenverkürzung bei Peugen [15]

Ein weiterer Bereich in dem Optimierungsvorschläge erarbeitet worden sind, befindet sich zwischen Bruck und Zlaten. Auch hier kann durch die Errichtung von Tunnels Zeit eingespart werden.

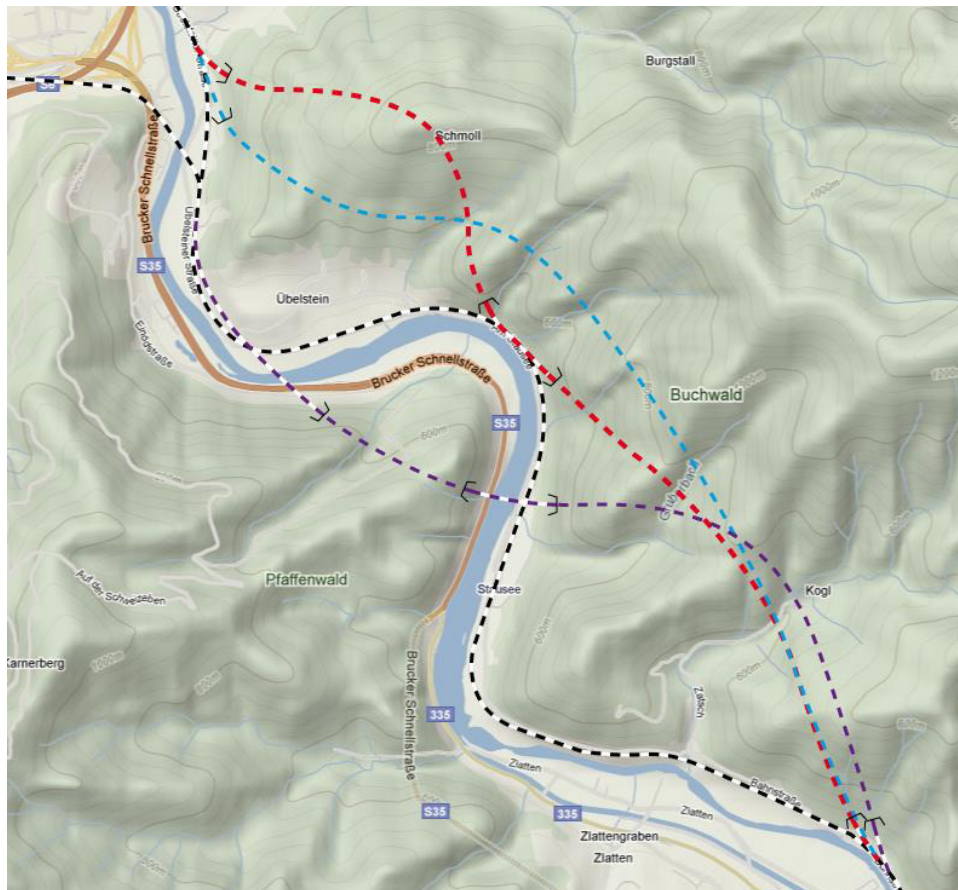


Abbildung 95: Lösungsvorschlag Bruck-Zlatten [15]

#### 4.7.3 Knotenasymmetrie

Eine weitere Lösungsmöglichkeit besteht gemäß „Grundlagen eines auf einem integrierten Taktfahrplanes basierenden Eisenbahninfrastrukturbaues am Beispiel Zentraleuropa“ darin eine unerreichbare Kantenfahrzeit dennoch zu erzielen, indem man die angrenzenden Knoten asymmetrisch bedient. Das bedeutet die anliegenden Knotenaufenthaltszeiten auf die angrenzenden Fahrzeiten zu verschieben. Im gegenständlichen Fall ist im Detail zu untersuchen ob die anschließenden Strecken nach Eröffnung des Semmering-Basis-Tunnels und der Koralmbahn ausreichend Fahrzeitreserve aufweisen um den Knoten Bruck und Graz asymmetrisch zu bedienen zu können. Damit könnten die Brücke Peggau mit Radius 800 Metern und Variante Gösting trotz der Fahrzeitnachteile empfohlen werden. [16]

## 5 Trassenvergleich

Bis km 8,1 wird für alle Varianten der gleiche Trassierungsverlauf empfohlen. Dieser führt von Bahnhof Peggau entlang des Bestandes, in Deutsch-Feistritz nach Osten ablenkend und der A9 folgend, an Friesach und Eggenfelg vorbei bis zum nördlichen Tunnelportal Gratkorn Nord.

### 5.1 Pailgraben

Ab dem Ende der gemeinsamen Trasse beginnt ein 5630 Meter langer Tunnel, der mit bergmännischer Bauweise errichtet werden kann. Die Lage des Südportals und der weitere Verlauf sind so gewählt, dass wenige Häuser abgelöst werden müssen und die Murquerung in einem Hochwassergebiet liegt. Die B 67 und die Judendorferstraße werden an den jeweiligen Stellen als Unter- beziehungsweise Überführung umgebaut. Eine Unterquerung des Bestandes in Höhe des Shopping Center Nord ist erforderlich und wird während laufendem Betrieb errichtet werden müssen. Die Trasse kann sich niveaufrei in den Bestand einfädern.

### 5.2 Felberbach

Die Variante „Felberbach“ hat die gleiche Höhenabwicklung wie die A9 entlang der Umfahrung Gratkorn. Die Höhenzwangspunkte Felberbach-Brücke und die Unterquerung des Bestandes in Höhe des Plabutschportals Nord führen zu einer Längsneigung von 15,1‰. Diese ist steiler als es die TSI-Vorschrift zulässt.

### 5.3 Plabutsch

Diese Variante wurde entwickelt um die problematische Neigung der Variante „Felberbach“ zu umgehen. Hierfür wurde ein Tunnelverlauf entwickelt, der eine konstante Längsneigung von 6,1‰ aufweist. Die Überflutungszone der Mur südlich des Gratkorn-Tunnels führt zu einer Brückenkonstruktion von 700 Metern. Der Tunnelverlauf durch den Plabutsch ist so gewählt, dass die Trasse die Autobahn mit ausreichend Abstand überqueren kann. Der Verschiebebahnhof nördlich des Grazer Hauptbahnhofes kann erhalten bleiben. Es konnte keine konstruktive Lösung entwickelt werden, die ein niveaufreies Einfädern in den Bestand ermöglicht und dabei die Rahmenbedingungen einhält.

## 5.4 Weinzödl

Diese Variante war die favorisierte der vorhergegangenen Studie „Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur“ [3]. Sie hat den gleichen Höhenverlauf wie die Variante „Felberbach“ im Bereich Gratkorn und quert unmittelbar nach dem Südportal des Tunnels Gratkorn die Mur, dann die Autobahn und zwei weitere Male die Mur. Dies führt zu einer 2000 Meter langen Brückenkonstruktion. Die Längsneigung im Tunnelbereich beträgt 12‰ und ist somit steiler als es die TSI-Vorschrift zulässt. Weiters stellt die Brückenkonstruktion einen deutlichen Eingriff ins Landschaftsbild dar.

## 5.5 Gösting

Es gelten die gleiche Vor- und Nachteile wie bei der Variante „Plabutsch“, bis zu km 13,0 beziehungsweise zur Querung der B67 in Höhe Raach. Dort fädelt sich die Trasse in den Bestand ein und verläuft als drittes zusätzliches Gleis. Die Variante ist aus konstruktiver Sicht machbar und weist die geringsten Baukosten auf. Mit einer Fahrzeit von 29,78 Minuten braucht ein Zug für die Strecke Graz-Bruck/Mur 1,78 Minuten länger als es die Rahmenbedingungen dieser Arbeit vorgeben.

Die Varianten „Felberbach“, „Plabutsch“ und „Weinzödl“ scheidet aus, die Varianten „Pailgraben“ und „Gösting“ werden näher diskutiert. In Kapitel 5.6 werden die Konsequenzen bezüglich der jeweiligen Eigenschaften aller Varianten gezogen.



## 5.6 Variantenentscheid

Die Varianten „Weinzödl“ und „Felberbach“ werden aufgrund der Längsneigungen ausgeschieden. Die Variante „Plabutsch“ wird ausgeschieden, weil kein niveaufreies Einfädeln in den Bestand in Graz möglich ist.

Die Variante „Pailgraben“ hält alle TSI-Richtlinien und Vorgaben dieser Arbeit ein. Nur die Bruttofahrzeit von 28 Minuten wird nicht erreicht. Diese Vorgabe kann von keiner der Varianten erreicht werden, wobei die Variante Pailgraben die kürzeste Fahrzeit aufweist. Die Errichtung einer Unterführung in Gösting wird baubetrieblich als sehr kompliziert bewertet, da diese während laufendem Betrieb durchgeführt werden muss. Außerdem führt die Errichtung dieser Variante zur Abwertung der Wohnsiedlung Weinzödl.

Die Durchsetzbarkeit der Variante „Gösting“ ist durch das frühe Einfädeln in den Bestand ebenfalls gegeben. Bei dieser Variante wird die Siedlung im Bereich Gratkorn Süd (Hartboden) durch die Errichtung der Trasse abgewertet. Jedoch muss erwähnt werden, dass diese Siedlung neben der Autobahn liegt und dadurch schon wertetechnisch Einbußen hat. Ein kritisch zu betrachtender Faktor ist die lange Fahrzeit von 29,78 Minuten. Da beide Varianten nicht die geforderte Fahrzeit erreichen ist diese Rahmenbedingung weniger stark zu gewichten. Es sind zusätzliche Maßnahmen notwendig um die Fahrzeit herabzusetzen (Bauliche Maßnahmen; Asymmetrische Bedienung der Knoten;...).

Bedingt durch die konstruktive Machbarkeit, den vereinfachten Baubedarf und die Durchsetzbarkeit in den Siedlungsgebieten wird die Variante „Gösting“ empfohlen.

Tabelle 20: Variantenvergleich

<b>Zusammenfassung</b>		
	Pailgraben	Gösting
Längsneigung [‰]	33,0	5,58
Fahrzeit [min]	28,60	29,87
Tunnel [km]	7,14	3,60
Brücken [km]	0,96	1,29
Streckenlänge [km]	18,7	19,1



## 6 Zusammenfassung

Während der Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die Umfahrung von Gratkorn, gebündelt entlang der Autobahn, ein bedeutendes topographisches Hindernis darstellt. Diesen Bereich der Strecke gänzlich als Tunnel in bergmännischer Bauweise zu konstruieren, erwies sich als sehr vorteilhaft.

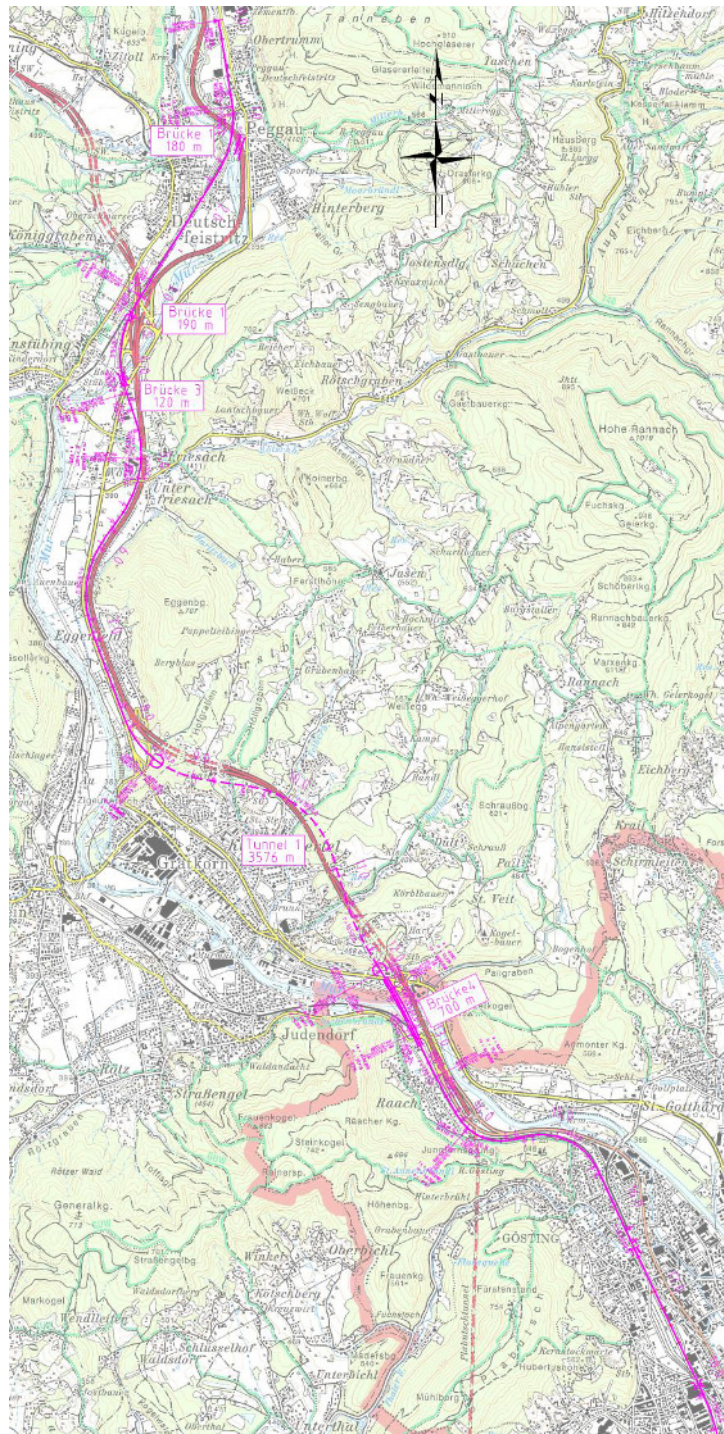


Abbildung 96: Verlauf der empfohlenen Variante „Gösting“

Die Forderung den Bestand des hochrangigen Straßennetzes nicht zu beeinflussen konnte prinzipiell erfüllt werden. Nur die Landestrasse B67 muss bei allen Varianten (km 6,0) um 800 Meter umgelegt werden und an mehreren Stellen abgesenkt werden. Die L302 muss bei den Varianten „Pailgraben“ und „Weinzödl“ in Höhe des Shopping Center Nord um 5 Meter angehoben werden.

Ein weiterer Punkt war die Berücksichtigung des Wasserpegels während eines 300-jährigen Hochwasserereignisses. Viele Zwangspunkte entstanden durch die Vorgaben der Hochwasserdaten, da die Mur entlang des zu untersuchenden Korridors einige Male gequert werden musste. Vor allem das große Überschwemmungsgebiet südlich der Autobahnausfahrt „Gratkorn Süd“ führte bei den Varianten „Felberbach“, „Weinzödl“, „Plabutsch“ und „Gösting“ zu langen Brückenkonstruktionen

Ablösen konnten, außer im Bereich der Brücke Peggau, großteils vermieden werden. Mit der Ausnahme der Varianten „Plabutsch“ wo unter anderem eine Schrebergartensiedlung und die Fabrik Mothwurf (ebenfalls bei Variante „Gösting“) abgelöst werden muss, sind bei den anderen Varianten jeweils mehrere Einfamilienhäuser abzulösen.

Das kreuzungsfreie Einfädeln der Neubaustrecken ohne die Bestandstrasse zu kreuzen ist ein weiterer wichtiger Punkt der Trassierung. Das kreuzungsfreie Einfädeln der Varianten „Weinzödl“ und „Pailgraben“ in den Bestand im Grazer Stadtraum, führte zu einer errichtungstechnisch komplexen Lösung. Im Gegensatz zu den Varianten „Felberbach“ und „Plabutsch“ ist dies jedoch prinzipiell machbar. Die letzten beiden Varianten queren die Bestandstrasse nördlich des Grazer Hauptbahnhofes

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Variante „Gösting“ zur Realisierung empfohlen werden kann. Die Längsneigungen sind vergleichsweise gering und ein niveaufreies Ein- und Ausfädeln ist sowohl in Peggau als auch in Raach möglich.

Die Fahrzeitberechnung hat gezeigt, dass keine Varianten die eingangs vorgegebenen Anforderungen bezüglich der Fahrzeit erfüllen kann. Am ehesten entspricht die Variante „Pailgraben“ den Anforderungen. Die Kantenfahrzeit Graz-Bruck von 30 Minuten kann nur durch weitere Maßnahmen wie die Errichtung weiterer geschwindigkeitserhöhenden und streckenverkürzenden Bauwerke zwischen Bruck und Peggau erreicht werden oder die asymmetrische Bedienung der Knoten Bruck beziehungsweise Graz

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission. Das Transeuropäische Verkehrsnetz. [http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/index_en.htm). [Online] 07. 10 2014. [Zitat vom: 09. 0.1 2015.]
- [2] ÖBB. Infrastrukturprojekt Zielnetz 2025. <http://www.oebb.at/infrastruktur>. [Online] 10. 10 2010. [Zitat vom: 25. 10 2014.]
- [3] Bach, Holger; Walter, Stefan und Veit, Peter: *Netzentwicklung Graz-Bruck/Mur*. Graz : Technische Universität Graz, 2011.
- [4] Walter, Stefan. *Skript Bachelorprojekt*. TU Graz : EBW, 2012.
- [5] Matthä A.: *Kapazitätserhöhung des Netztes durch Ausbau und Ertüchtigung*; IAF Kongress BahnBau; 2011.
- [6] Rotter. *Aufnahme der Reliefkarte im Johanneum*. Johanneum, Graz : 2015.
- [7] Land Steiermark, Geo Informationssysteme. [www.gis.steiermark.at](http://www.gis.steiermark.at). [Online] Land Steiermark. [Zitat vom: 16. 03. 2015.]
- [8] Land Steiermark. GIS Steiermark. [Online] 27. 11 2014. [Zitat vom: 28. 12 2014.]
- [9] ÖBB. *RVE 05.00.01 Trassierungsvorschrift für Planer*. Wien : ÖBB, 2014.
- [10] *Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten*. Wien : ÖBB, 2013.
- [11] Rotter. *Lokalaufnahme Deutsch-Feistritz* . Deutsch-Feistritz : 2015.
- [12] Google Maps. <https://www.google.at/maps>. [Online] Google, 2015. [Zitat vom: 21. 06 2015.]
- [13] Gröbl, 111Gruppe. Wohnpark Gösting. <http://www.wohnpark-goesting.at/wgg/cms/cms.html>. [Online] 2012. [Zitat vom: 10. 09 2014.]
- [14] Statistik, Austria. Großhandelspreisindex. [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/grosshandelspreisindex/zeitreihen\\_und\\_verkettungen/019864.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/grosshandelspreisindex/zeitreihen_und_verkettungen/019864.html). [Online] 07. 01 2015. [Zitat vom: 26. 01 2015.]

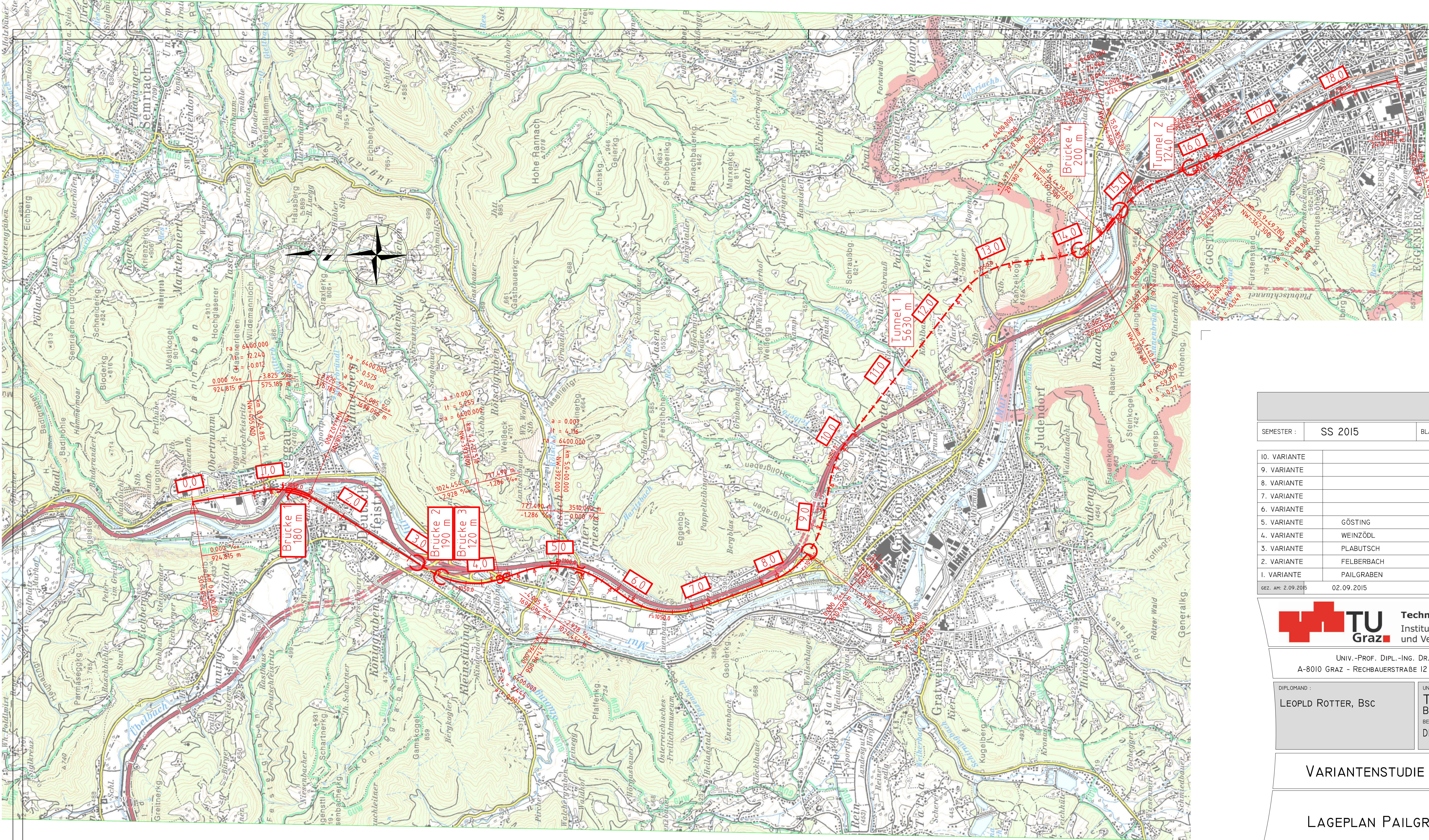


- [15] Frewein, Albert. *Überlegungen zum Ausbau der Bahnlinie Graz-Bruck/Mur*. TU Graz : 2000.
- [16] Helmut, Utthenthaler. *Grundlagen eines auf einem integrierten Taktfahrplan basierenden Eisenbahninfrastrukturausbaues am Beispiel Zentraleuropa*. TU Graz: 2010.
- [17] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Verkehrstrategie Österreich.  
[http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/ausbauplan/downloads/strategie\\_ausbau\\_2013.pdf](http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/ausbauplan/downloads/strategie_ausbau_2013.pdf). [Online] 2013. [Zitat vom: 17. 2 2015.]



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](http://www.ebw.tugraz.at)





SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM. :	A I
------------	---------	--------------	-----

10. VARIANTE	
9. VARIANTE	
8. VARIANTE	
7. VARIANTE	
6. VARIANTE	
5. VARIANTE	GÖSTING
4. VARIANTE	WEINZÖDL
3. VARIANTE	PLABUTSCH
2. VARIANTE	FELBERBACH
1. VARIANTE	PAILGRABEN
GEZ. AM: 2.09.2015	02.09.2015

**TU Graz** Technische Universität Graz  
 Institut für Eisenbahnen- und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
 A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

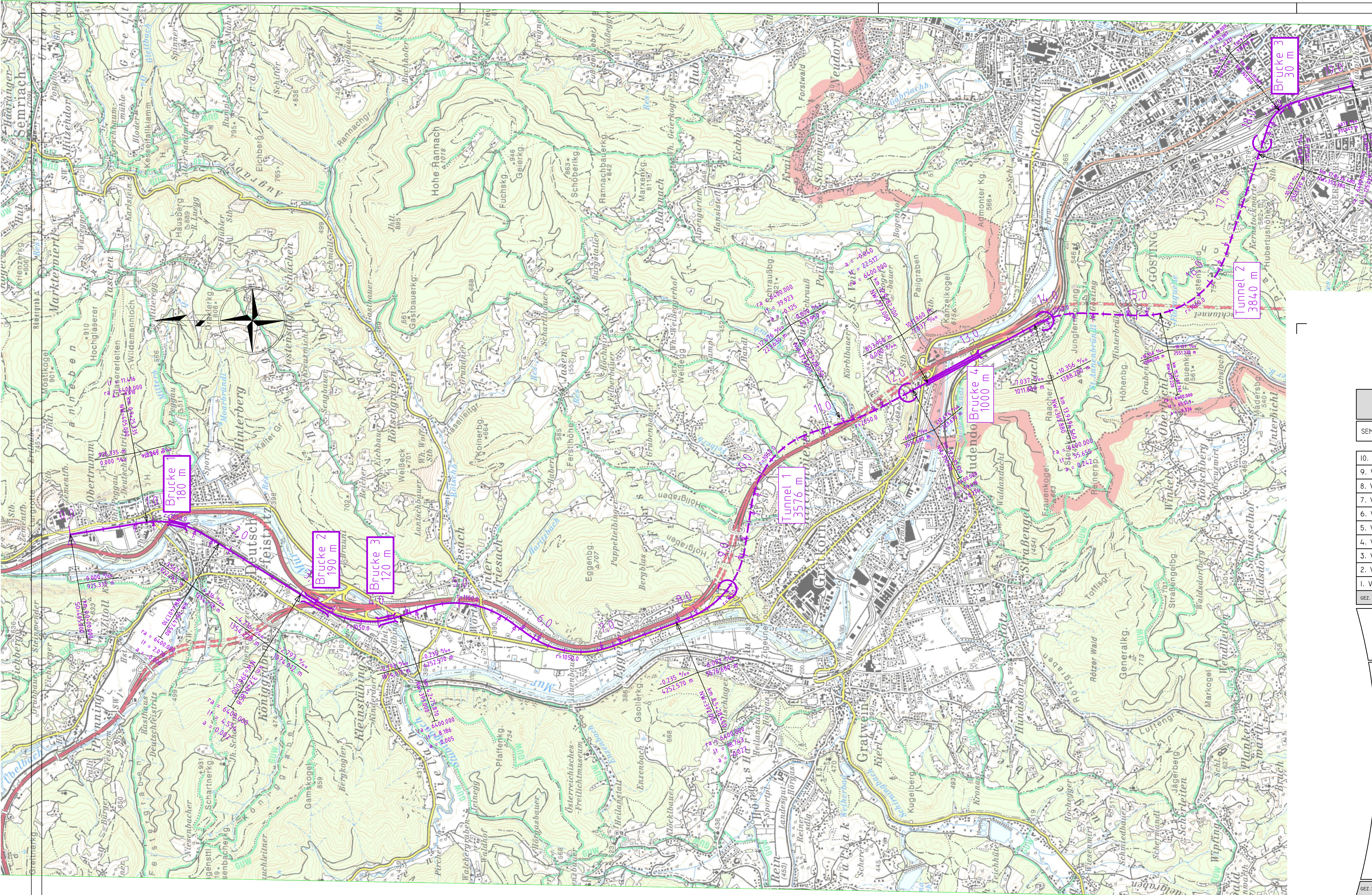
DIPLOMAND : LEOPLD ROTTER, BSC	UNIVERSITÄT : <b>TUGRAZ</b> - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN
-----------------------------------	---

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

LAGEPLAN PAILGRABEN	PLANNR. <b>1</b> ERSETZT
---------------------	--------------------------------

GEZ.: LEOPOLD ROTTER MAZST.: M 1:25.000





SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM. :	A I
10. VARIANTE			
9. VARIANTE			
8. VARIANTE			
7. VARIANTE			
6. VARIANTE			
5. VARIANTE	GÖSTING		
4. VARIANTE	WEINZÖDL		
3. VARIANTE	PLABUTSCH		
2. VARIANTE	FELBERBACH		
1. VARIANTE	PAILGRABEN		
GEZ. AM: 19.07.2015	23.07.2015		

**TU Graz** Technische Universität Graz  
 Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
 A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND :	LEOPLD ROTTER, BSC	UNIVERSITÄT :	TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
		BETREUER:	DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

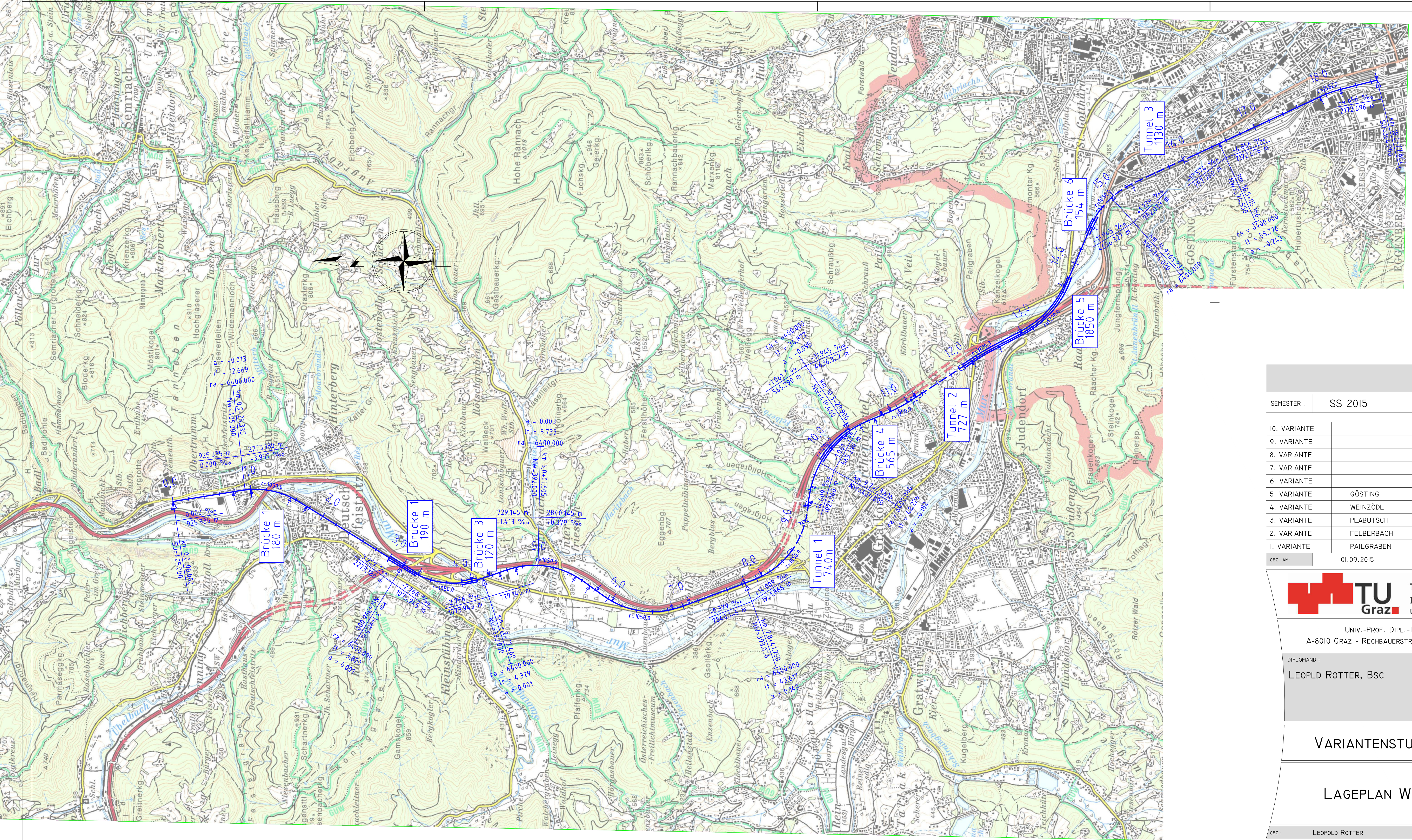
LAGEPLAN PLABUTSCH

PLANNR. **2**

ERSETZT

GEZ.: LEOPLD ROTTER      MAZST.: M 1:25.000





SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM. :	A I
------------	---------	--------------	-----

10. VARIANTE	
9. VARIANTE	
8. VARIANTE	
7. VARIANTE	
6. VARIANTE	
5. VARIANTE	GÖSTING
4. VARIANTE	WEINZÖDL
3. VARIANTE	PLABUTSCH
2. VARIANTE	FELBERBACH
1. VARIANTE	PAILGRABEN

GEZ. AM: 01.09.2015

**Technische Universität Graz**  
Institut für Eisenbahnenwesen  
und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND : LEOPOLD ROTTER, BSC	UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN
------------------------------------	--

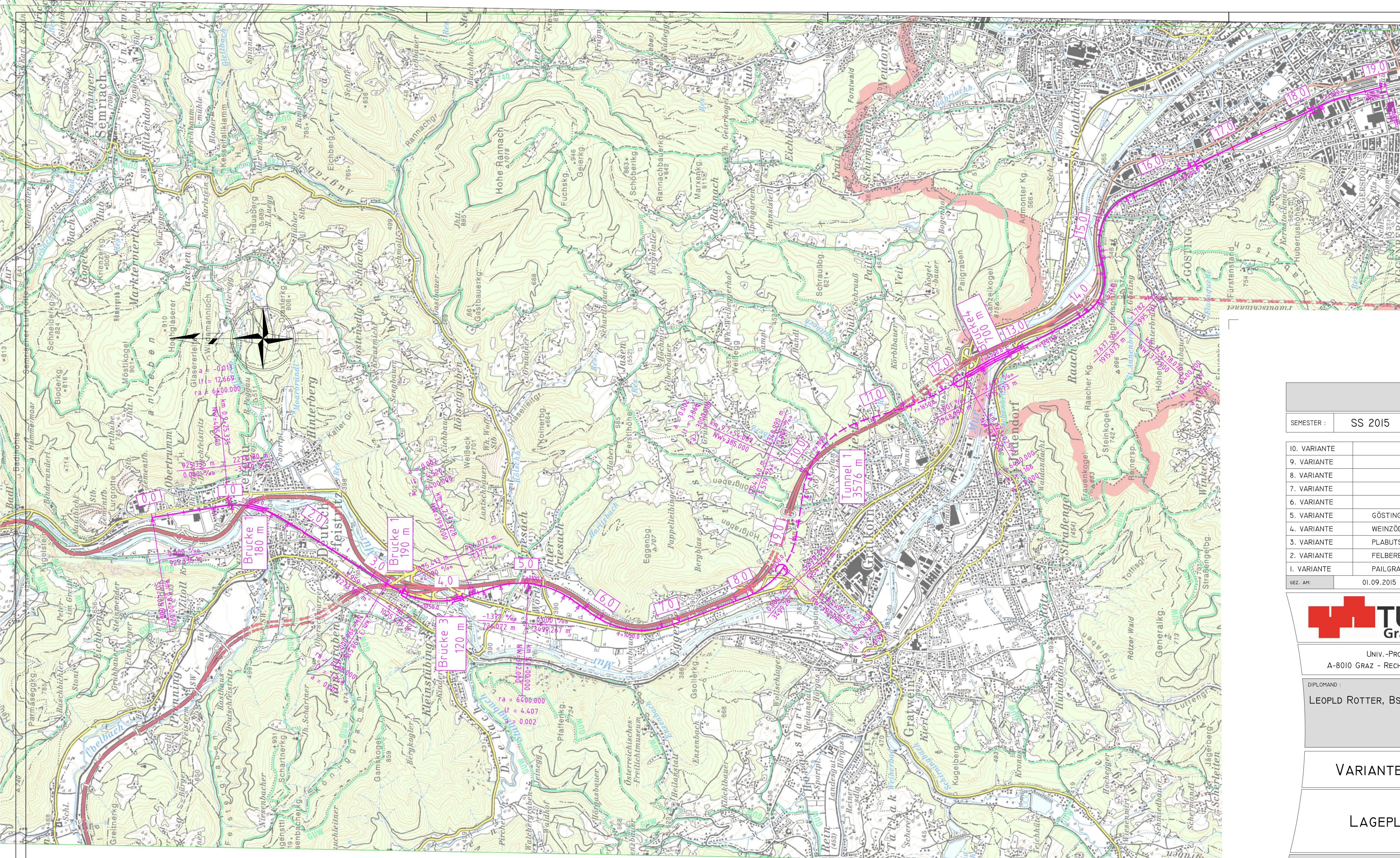
## VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

### LAGEPLAN WEINZÖDL

GEZ.:	LEOPOLD ROTTER	MAZST.:	M 1:25.000
-------	----------------	---------	------------

PLANNR.  
**3**  
ERSETZT





SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM :	A I
------------	---------	-------------	-----

10. VARIANTE	
9. VARIANTE	
8. VARIANTE	
7. VARIANTE	
6. VARIANTE	
5. VARIANTE	GÖSTING
4. VARIANTE	WEINZÖDL
3. VARIANTE	PLABUTSCH
2. VARIANTE	FELBERBACH
1. VARIANTE	PAILGRABEN
GEZ. AM:	01.09.2015

**TU** Technische Universität Graz  
 Institut für Eisenbahnen  
 und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
 A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND :	LEOPLD ROTTER, BSC	UNIVERSITÄT :	TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
		BETREUER:	DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

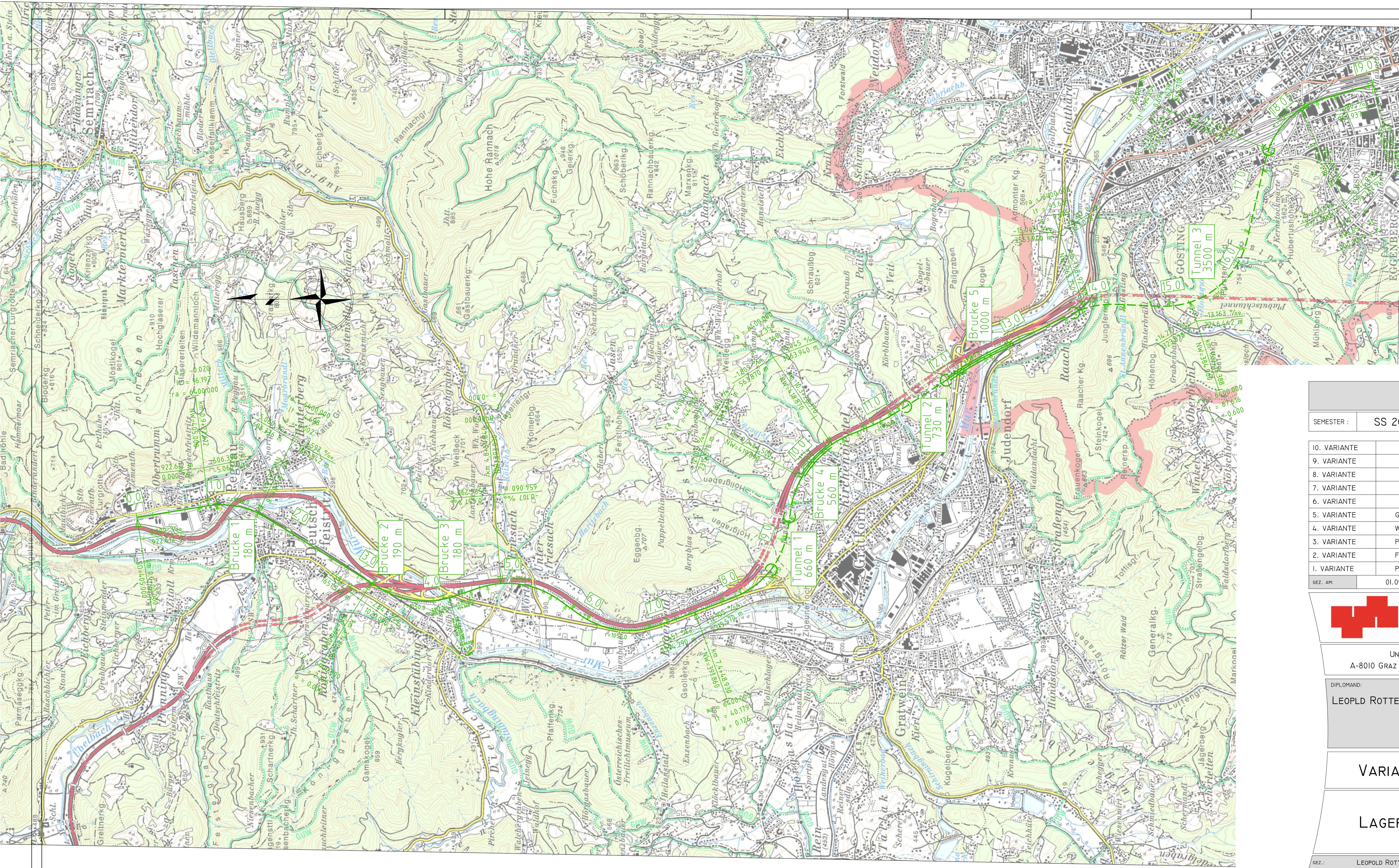
LAGEPLAN GÖSTING

PLANNR. **4**

ERSETZT

GEZ.:	LEOPLD ROTTER	MAZST.:	M 1:25.000
-------	---------------	---------	------------





SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM. :	A I
------------	---------	--------------	-----

10. VARIANTE	
9. VARIANTE	
8. VARIANTE	
7. VARIANTE	
6. VARIANTE	
5. VARIANTE	GÖSTING
4. VARIANTE	WEINZÖDL
3. VARIANTE	PLABUTSCH
2. VARIANTE	FELBERBACH
1. VARIANTE	PAILGRABEN

GEZ. AM: 01.09.2015

**Technische Universität Graz**  
Institut für Eisenbahnen  
und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND: LEOPLD ROTTER, BSC	UNIVERSITÄT : <b>TUGRAZ -</b> BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN
----------------------------------	---

## VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

### LAGEPLAN FELBERBACH

GEZ.: LEOPLD ROTTER	MAZST.: M 1:25.000	PLANNR. <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">5</span> ERSETZT
---------------------	--------------------	---



Ort/Gebiet BHF Peggau Deutsch-Feistritz Autobahnknoten Deutsch-Feistritz Friesach Eggenfeld Umfahrung Gratkorn Weinzödl Graz Graz Hauptbahnhof

Legende: Einschnitt Tunnel Offene Bauweise Damm Brücke

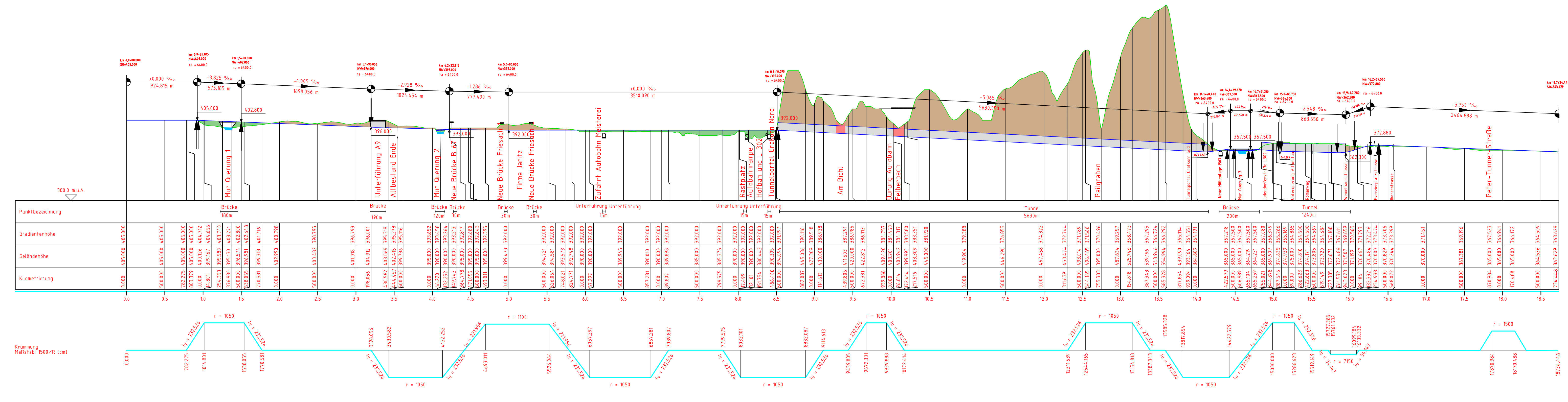


Table with 3 columns: Gradiente, Geländehöhe, and Kleinfertigung, providing elevation data for the Pailgraben section.

Project information block for TU Graz, including semester (SS 2015), platform (A 0), variant list, and student details (Leopold Rotter, BSC).

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU LÄNGENSCHNITT PAILGRABEN PLANNR 6 ERSETZT

Ort/Gebiet BHF Peggau Deutsch-Feistritz Autobahnknoten Deutsch-Feistritz Friesach Eggenfeld Umfahrung Gratkorn Raach Plabutschunnel Graz Graz Hauptbahnhof

Legende: Einschnitt Tunnel Offene Bauweise Damm Brücke

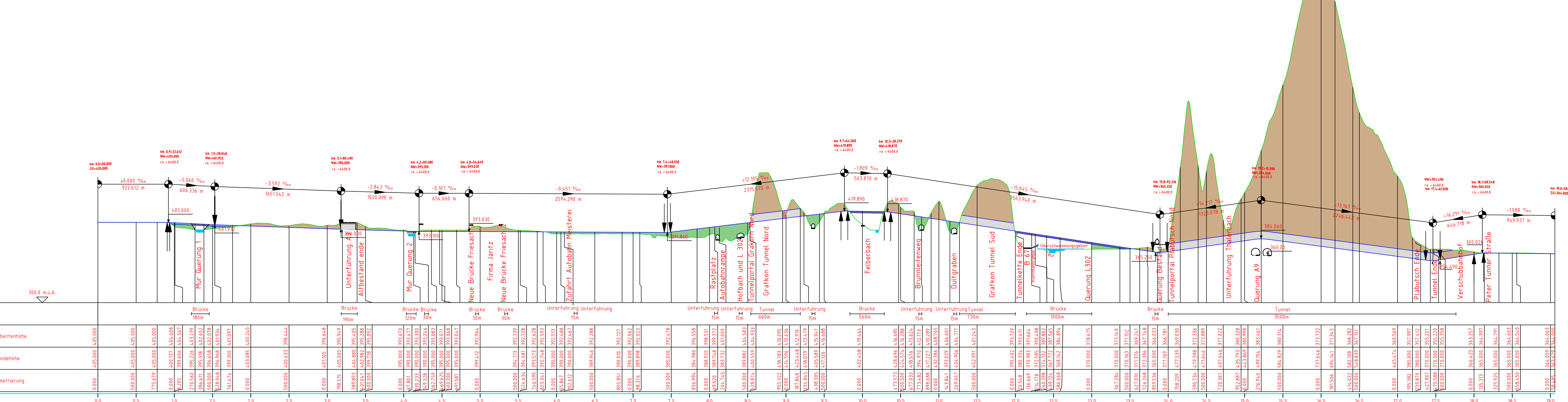


Table with 3 columns: Gradiente, Geländehöhe, and Kleinfertigung, providing elevation data for the Felberbach section.

Project information block for TU Graz, including semester (SS 2015), platform (A 0), variant list, and student details (Leopold Rotter, BSC).

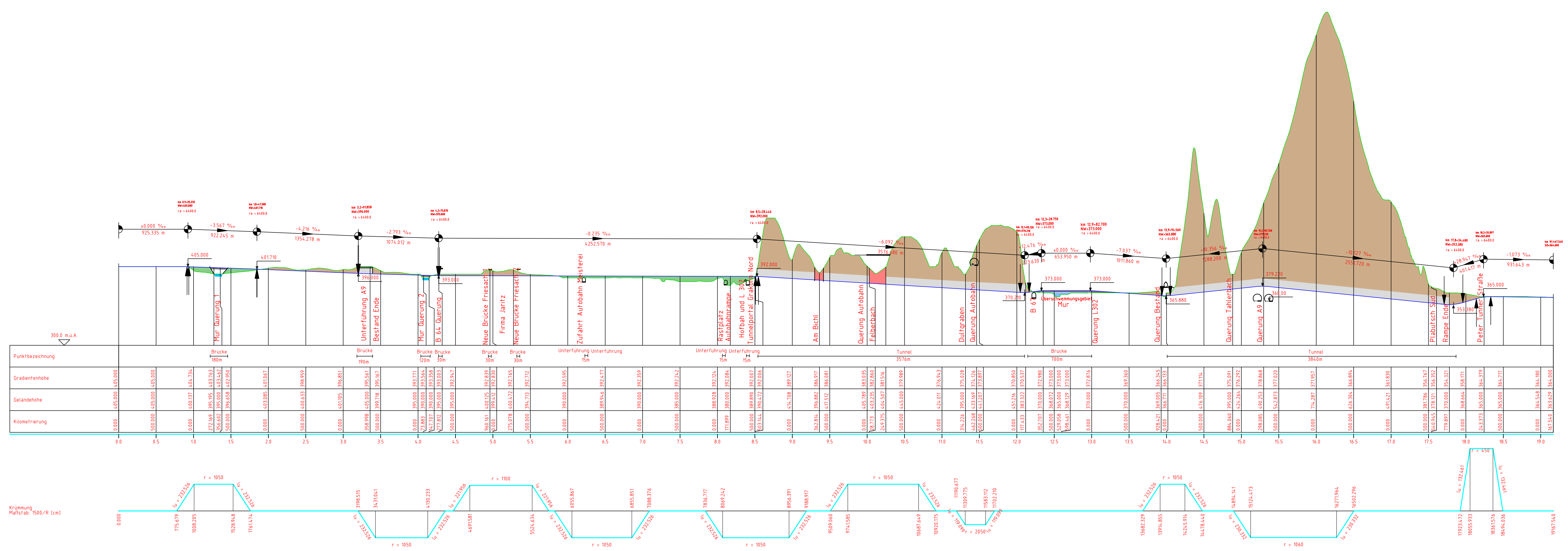
VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU LÄNGENSCHNITT FELBERBACH PLANNR 7 ERSETZT



Ort/Gebiet	BHF Peggau	Deutsch-Feistritz	Autobahnknoten Deutsch-Feistritz	Friesach	Eggenfeld	Umfahrung Gratkorn	Raach	Plabutschtunnel	Graz	Graz Hauptbahnhof
------------	------------	-------------------	----------------------------------	----------	-----------	--------------------	-------	-----------------	------	-------------------

Legende:

- Einschnitt
- Tunnel
- Offene Bauweise
- Damm
- Brücke



SEMESTER: SS 2015    BLATTFORM: A 0

10. VARIANTE  
9. VARIANTE  
8. VARIANTE  
7. VARIANTE  
6. VARIANTE  
5. VARIANTE GÖSTING  
4. VARIANTE WEINZÖDL  
3. VARIANTE PLABUTSCH  
2. VARIANTE FELBERBACH  
1. VARIANTE PAILGRABEN

GEZ. AM: 01.09.2015

**TU Graz** Technische Universität Graz  
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft  
UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND: LEOPLD ROTTER, BSC    UNIVERSITÄT: TU GRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN  
BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLNER MARTIN

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

LÄNGENSCHNITT PLABUTSCH

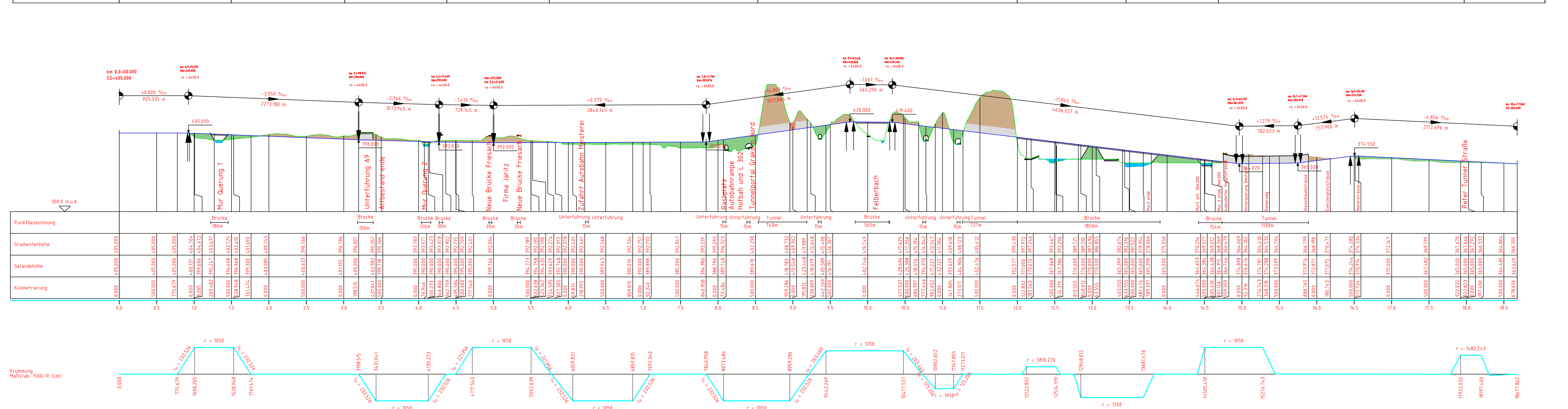
PLANO: 8  
ERSETZT

GEZ.: LEOPOLD ROTTER    MAßST.: M 1:25.000 / 1:2500

Ort/Gebiet	BHF Peggau	Deutsch-Feistritz	Autobahnknoten Deutsch-Feistritz	Friesach	Eggenfeld	Umfahrung Gratkorn	Raach	Weinzödl	Graz	Graz Hauptbahnhof
------------	------------	-------------------	----------------------------------	----------	-----------	--------------------	-------	----------	------	-------------------

Legende:

- Einschnitt
- Tunnel
- Offene Bauweise
- Damm
- Brücke



SEMESTER: SS 2015    BLATTFORM: A 0

10. VARIANTE  
9. VARIANTE  
8. VARIANTE  
7. VARIANTE  
6. VARIANTE  
5. VARIANTE GÖSTING  
4. VARIANTE WEINZÖDL  
3. VARIANTE PLABUTSCH  
2. VARIANTE FELBERBACH  
1. VARIANTE PAILGRABEN

GEZ. AM: 01.09.2015

**TU Graz** Technische Universität Graz  
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft  
UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND: LEOPLD ROTTER, BSC    UNIVERSITÄT: TU GRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN  
BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLNER MARTIN

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

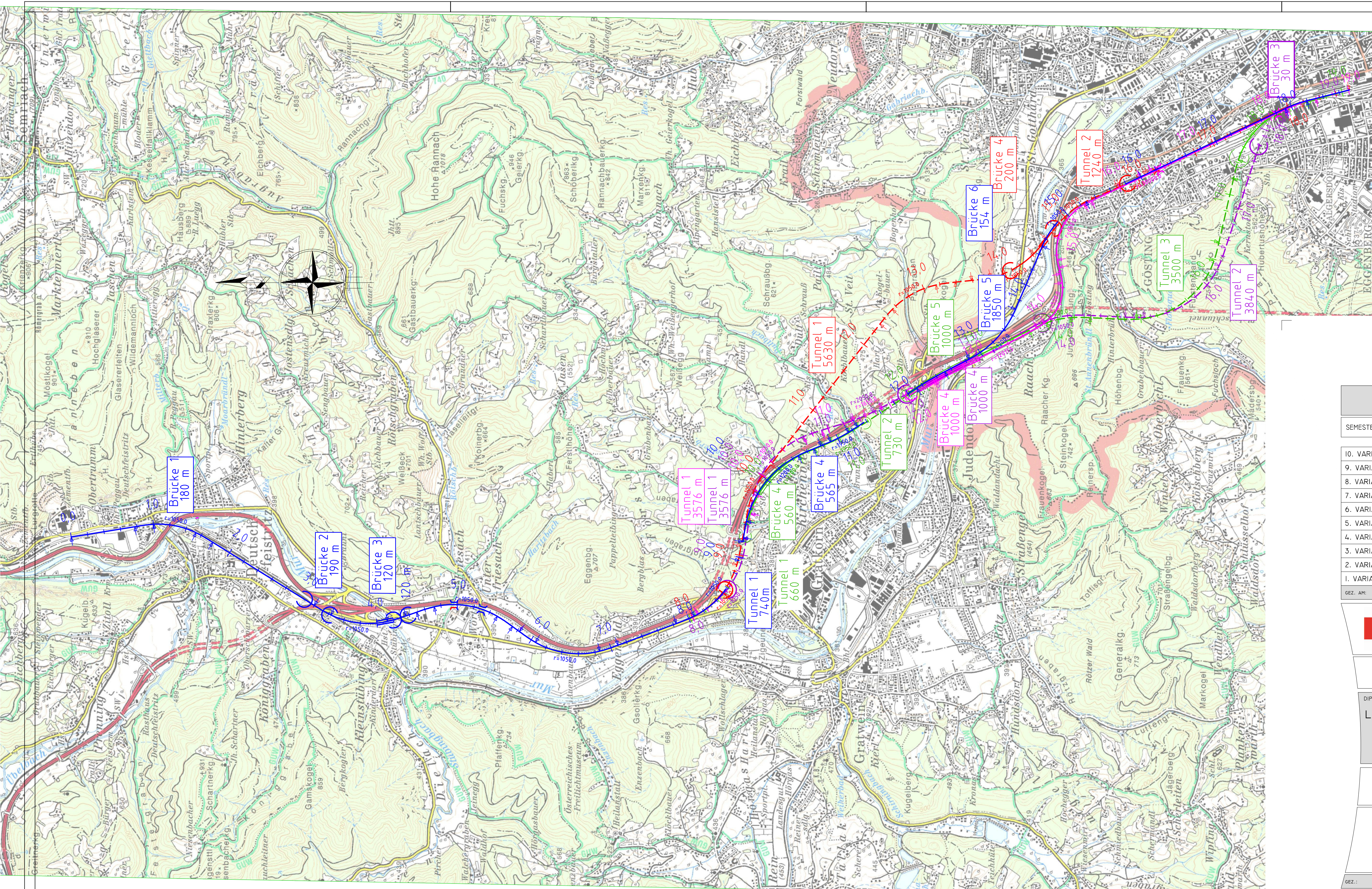
LÄNGENSCHNITT WEINZÖDL

PLANO: 9  
ERSETZT

GEZ.: LEOPOLD ROTTER    MAßST.: M 1:25.000 / 1:2500







SEMESTER :	SS 2015	BLATTFORM :	A I
10. VARIANTE			
9. VARIANTE			
8. VARIANTE			
7. VARIANTE			
6. VARIANTE			
5. VARIANTE	GÖSTING		
4. VARIANTE	WEINZÖDL		
3. VARIANTE	FLABUTSCH		
2. VARIANTE	FELBERBACH		
1. VARIANTE	PAILGRABEN		
GEZ. AM:	01.09.2015		

**TU Graz** Technische Universität Graz  
 Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT  
 A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

DIPLOMAND : LEOPLD ROTTER, BSC  
 UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN  
 BETREUER: DI WALTER STEFAN, DI SMOLINER MARTIN

VARIANTENSTUDIE GRAZ-PEGGAU

LAGEPLAN ALLE VARIANTEN

GEZ.: LEOPOLD ROTTER      MAZST.: M 1:25.000

PLANNR. **11**  
 ERSETZT