



Nicholas Hofer, BSc

Neue Wälderbahn autonom und nachhaltig betrieben

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium

Bauingenieurwissenschaften - Infrastruktur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

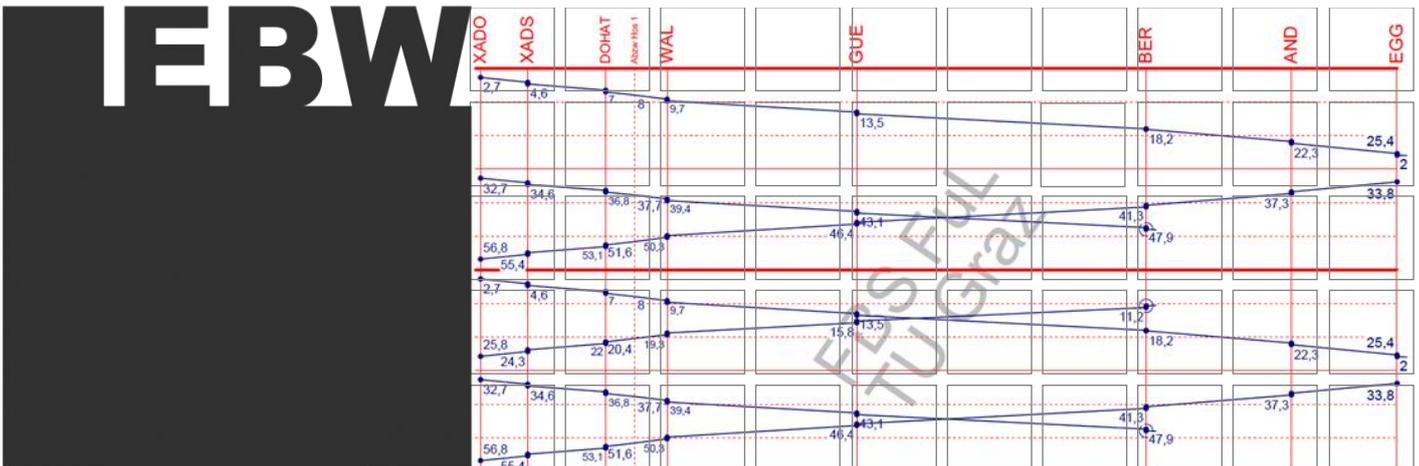
Betreuer

Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Landgraf

Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Graz, August 2020



Neue Wälderbahn

Autonom und nachhaltig betrieben

Masterarbeit

Abgabedatum 31.08.2020

Nicholas Hofer
 Bsc.
 01530417
n-hofer@outlook.com

Betreuer:
 Matthias Landgraf
 Dipl.-Ing. Dr.techn.
m.landgraf@tugraz.at

Martin Smoliner
 Dipl.-Ing. BA BSc MA
martin.smoliner@tugraz.at



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Graz am 28.08.2020



(Unterschrift)

Kurzfassung

Aufbauend auf der Trassenstudie Dornbirn-Bregenzer Wald wird die in der Studie vorgeschlagene Achse überarbeitet. Dabei wird sie wo notwendig an die neue Bebauung angepasst und wo möglich wird die Geschwindigkeit erhöht. Zeitgleich werden Betriebskonzepte entwickelt, welche einen Betrieb der Wälderbahn sinnvoll darstellen. Basierend auf diesen Konzepten werden Fahrpläne und Umlaufpläne entwickelt. Anschließend werden diese Betriebskonzepte verglichen und ein Vorschlag für den Betrieb der Wälderbahn gegeben.

In der Arbeit werden die alternativen Antriebsmöglichkeiten Wasserstoff und Akkuhybrid behandelt. Diese werden auf einen möglichen Einsatz bezüglich der Wälderbahn geprüft. Dazu wird ein Vergleich der Antriebe erstellt und ein Vorschlag abgegeben. Es wird aufgezeigt, was bei einer möglichen Automatisierung der Wälderbahn beachtet werden muss und welche Vor- und Nachteile dies mit sich bringt. Zusätzlich werden mögliche Synergieeffekte, welche durch den Bau einer Wälderbahn entstehen können, dargestellt.

Abstract

Based on the route study Dornbirn - Bregenzer Wald, the proposed axis will be enhanced and adapted to new developments like buildings. Also, it is targeted to increase the line routing speed if possible. At the same time, operational concepts are being developed which show a reasonable implementation of the Wälderbahn. Based on these concepts, timetables and vehicle schedules are developed. These operating concepts are then compared and a proposal for the operation of the Wälderbahn is made.

Furthermore, the alternative drive options hydrogen and battery hybrid are dealt with in the thesis. These are checked for possible use on the Wälderbahn. For this purpose, a comparison of the drives is created, and a proposal is made. It also shows what needs to be considered in the event of possible automation of the Wälderbahn and what advantages and disadvantages this entails. Additionally, possible synergy effects that could arise from the construction of the Wälderbahn are shown.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken die zum Abschluss dieser Arbeit sowie meines Studiums beigetragen haben.

Mein erster Dank geht dabei an DDI Simon Battlogg und Dipl.-Ing. Hubert Rhomberg von der Firma Rhomberg Bau, die mit dem Auftrag zu dieser Arbeit auf die TU Graz zugekommen sind, und diese somit erst möglich machten.

Ein großer Dank geht an meine Betreuer Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Landgraf, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit und Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner. Ganz besonders hervorheben möchte ich dabei Dipl.-Ing. BA BSc MA Martin Smoliner welcher sich immer Zeit für meine Fragen genommen hat, und mir immer weiterhelfen konnte.

Ein weiterer Dank ergeht an alle, die mir mit Informationen und ihrem Wissen weitergeholfen haben, hier besonders erwähnen möchte ich Herrn DI Dr. techn. Dieter Jussel, welcher mir zusätzliche Informationen und Kontakte ermöglichte und Dr. Ralf Chaumet für wertvolle Informationen im Bereich des Eisenbahnbetriebs bei den zahlreichen Präsentationen.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meinen Eltern und Freunden bedanken. Meinen Eltern, ohne deren Unterstützung dieses Studium so nicht möglich gewesen wäre. Meiner Freundin Theresa, mit welcher ich das Studium gemeinsam durchgestanden habe und die mich immer unterstützt hat, sowie Johannes der beinahe alle Lehrveranstaltungen mit mir absolvierte.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abkürzungsverzeichnis | 1 |
| 1 Einleitung | 2 |
| 1.1 Status quo | 2 |
| 1.2 Zielsetzungen | 2 |
| 1.3 Konzept | 3 |
| 2 Grundlagen | 5 |
| 2.1 Planungsbasis und Methodik | 5 |
| 2.2 Randbedingungen | 6 |
| 2.2.1 Trassierungsparameter | 6 |
| 2.2.1.1 Lage | 6 |
| 2.2.1.2 Höhe | 6 |
| 2.2.2 Betriebliche Randbedingungen | 6 |
| 3 Trassierung | 8 |
| 3.1 Abzweigung Wallenmahd bis Bersbuch | 10 |
| 3.1.1 Wallenmahd | 10 |
| 3.1.2 Gütle | 11 |
| 3.1.3 Bersbuch | 11 |
| 3.2 Ast Mellau | 13 |
| 3.2.1 Bezau | 13 |
| 3.2.2 Mellau | 14 |
| 3.3 Ast Egg | 15 |
| 3.3.1 Andelsbuch | 15 |
| 3.3.2 Egg | 16 |
| 4 Randparameter Antriebsarten | 17 |
| 4.1 Wasserstoffbetrieb bei Schienenfahrzeugen | 17 |
| 4.2 Vergleich Zillertalbahn | 17 |
| 4.3 Akkuhybrid bei Schienenfahrzeugen | 18 |
| 5 Autonomes Fahren | 20 |
| 5.1 Benötigte Infrastruktur | 21 |
| 5.1.1 Streckeninfrastruktur | 21 |
| 5.1.2 Fahrzeugausrüstung | 22 |
| 5.2 Vergleich mit der S-Bahn Hamburg | 22 |
| 5.3 Einbindung in Vorarlbergbahn-Dornbirn Wallenmahd bis Dornbirn HBF | 23 |
| 5.4 Vor- und Nachteile autonomes Fahren | 23 |
| 6 Betrieb/Fahrplan | 25 |
| 6.1 Basisbetriebskonzepte | 25 |
| 6.1.1 Betriebskonzept 1.1 „Wechselnde Direktzüge“ | 26 |
| 6.1.2 Betriebskonzept 2.1: Pendelzug Dornbirn-Mellau / Bersbuch-Egg | 28 |
| 6.1.3 Betriebskonzept 2.2: Zugteilung in Bersbuch | 31 |
| 6.2 Varianten Betriebskonzepte | 34 |
| 6.2.1 Betriebskonzept 3: Skibetrieb/Tourismuskonzept | 34 |
| 6.2.2 Betriebskonzept 4: Integration S-Bahn Vorarlberg | 35 |
| 6.3 Energiebedarf | 36 |
| 7 Vergleich der Betriebskonzepte | 41 |

Inhaltsverzeichnis

7.1 Vergleich der Basiskonzepte 41

7.2 Vergleich erweitert Betriebskonzepte..... 44

8 Synergien Infrastruktur46

8.1.1 Entlastung des bestehenden Straßennetzes 46

8.1.2 Ersparnis Umfahrungsstraen 46

8.1.3 Anschluss Güterverkehr 46

8.1.4 Wasserstoffherstellung 46

8.1.5 Radtunnel..... 47

9 Vergleich der Antriebe.....48

9.1 Grundlegender Vergleich..... 48

9.2 Reihungsvergleich..... 50

10 Zusammenfassung55

10.1 Erkenntnisse 55

10.2 Ausblick..... 56

Literaturverzeichnis 58

Abbildungsverzeichnis 62

Tabellenverzeichnis..... 63

Anhang 64

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------|---|
| AG | Aktiengesellschaft |
| ATO | automatic train operation (automatischer Fahrbetrieb) |
| BK | Betriebskonzept |
| E-Triebwagen | Elektrischer Triebwagen |
| ETCS | european train control system (Europäisches Zugbeeinflussungssystem) |
| GIS | Geoinformationssystem |
| GmbH & Co KG | Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft |
| GSMR | Global System for Mobile Communication-Railway (Globales System für Mobilkommunikation-Eisenbahn) |
| GoA | grade of automation (Automatisierungsgrad) |
| HBF | Hauptbahnhof |
| HVZ | Hauptverkehrszeit |
| L... | Landesstraße ... |
| MIV | Motorisierter Individualverkehr |
| NVZ | Nebenverkehrszeit |
| OL | Oberleitung |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| ÖBB | Österreichische Bundesbahnen |
| PKW | Personenkraftwagen |
| St. | Sankt |
| S... | S-Bahn Linie ... |
| S-Bahn | Stadtschnellbahn |
| TU | Technische Universität |
| VVV | Verkehrsverbund Vorarlberg |
| VZG | Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten |

1 Einleitung

1.1 Status quo

Die Region Bregenzer Wald in Vorarlberg kämpft seit längerem mit einem stark steigenden Verkehr. Treibend für diesen sind Ein- und Auspendler ins angrenzende Rheintal als auch der Tourismusverkehr, hier vor allem der Skiverkehr im Winter. Um diesen Verkehrsmengen gerecht zu werden, wurden bereits Konzepte und Untersuchungen in Auftrag gegeben, welche von Ortsumfahrungen über Seilbahnprojekte bis zu einem Bustunnel reichen.

Die wesentliche Grundlage ist die Masterarbeit „Trassenstudie Dornbirn-Bregenzer Wald“ von Martin Wakolbinger [1], welche eine Trassenstudie für eine Vollbahn von Dornbirn in den Bregenzer Wald ist. In dieser Studie wurden verschiedene Korridore geprüft, um den Bregenzer Wald bestmöglich an das Rheintal anzubinden und ein möglichst großes Potential zu erreichen. Im Laufe der Arbeit wurde eine Variante mit mehreren Untervarianten empfohlen, welche zuerst von Dornbirn auf der bestehenden Vorarlbergbahn Richtung Wallenmahd verläuft. Anschließend zweigt sie beim bestehenden Abzweiggleis auf Höhe der Sparzentrale ab und verläuft durch zwei Tunnel über den Ortsteil Gütle nach Bersbuch. In Bersbuch teilt sich die Achse in einen Ast Richtung Egg über Andelsbuch und einen weiteren Ast Richtung Mellau über Bezau.

Die Firma Rhomberg Bau GmbH kam nun auf die TU Graz zu, um eine Umsetzung dieser Trassenvariante als eine autonom fahrende und wasserstoffbetriebene Vollbahn zu prüfen.

1.2 Zielsetzungen

Als Ziel dieser Arbeit soll ein Betriebskonzept zur Anbindung von Dornbirn in den Bregenzer Wald erarbeitet werden. Dafür soll im ersten Schritt die bestehende Trassierung aus der Masterarbeit von Martin Wakolbinger geprüft und entsprechend den aktuellen Gegebenheiten adaptiert werden. Aufbauend auf dieser Trassierung sollen Betriebskonzepte und Fahrplankonzepte erstellt und deren Energiebedarf ermittelt werden. Weiters sollen die Antriebssysteme Wasserstoff, Akku-Hybrid und Oberleitung miteinander verglichen und die Auswirkungen auf die Betriebskonzepte ermittelt werden. Darauf folgend sollen Vor- und Nachteile des autonomen Betriebs diskutiert werden.

1.3 Konzept

Beim Bearbeiten der Studie wird nach nachfolgendem Konzept (siehe Abbildung 1-1 Konzeptablauf) vorgegangen:

Im ersten Schritt wird überprüft, ob die vorgeschlagene Trasse aus der Trassenstudie aufgrund der aktuellen Verbauung oder sonstiger Änderungen, noch realisierbar ist. Weiters wird versucht, die Geschwindigkeit, wenn möglich anzuheben und die Streckenführung zu optimieren.

Nach Abschluss der Trassierung werden die Randbedingungen an die Infrastruktur von Seiten der Fahrzeugantriebe, als auch für den automatisierten Eisenbahnverkehr, ermittelt. Nach Festlegung der Randbedingungen werden erste Fahrzeitberechnungen durchgeführt, um Kantenzeiten festzulegen und optimieren zu können. Über diesen Weg wird die Trassierung nochmals angepasst, um für die Betriebskonzepte stabile Kantenzeiten vorweisen zu können. Auf diese Kantenzeiten können dann verschiedene Betriebskonzepte aufgebaut werden.

Für diese Betriebskonzepte werden anschließend Fahrpläne, Umlaufpläne als auch der Energiebedarf ermittelt. Weiter werden Vor- und Nachteile der Automatisierung erörtert und die Auswirkungen der verschiedenen Antriebe auf den Betrieb ermittelt.

Im letzten Schritt werden die Antriebe und Betriebskonzepte miteinander verglichen, deren Vor- und Nachteile ermittelt und ein Vorschlag erstellt.

Einleitung

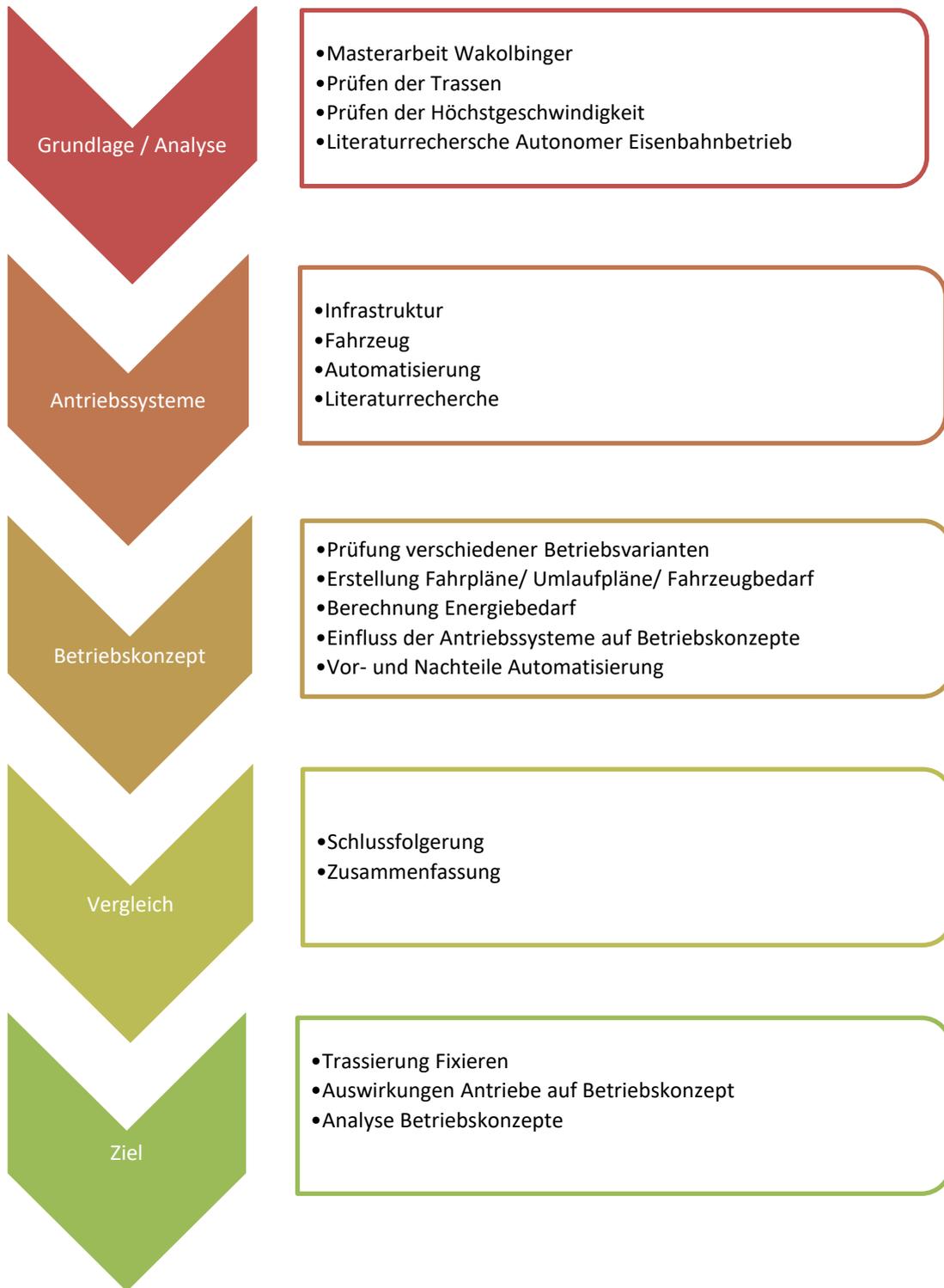


Abbildung 1-1 Konzeptablauf

2 Grundlagen

2.1 Planungsbasis und Methodik

Als Basis für die Trassierungsarbeiten werden die Trassenachsen aus der Masterarbeit von Martin Wakolbinger [1], Geodaten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen [2], und das Luftbild des Landes Vorarlbergs [3] verwendet. Weiters werden zur Ergänzung dieser Daten Layer aus dem Geodatenkatalog des Landes Vorarlberg [4], wie Schutzgebiete und Laserscanning, verwendet. Die Umsetzung der Trassierung erfolgt mit der Trassierungssoftware ProVi 6.1, welche auf AutoCad aufbaut. Die Achsen der Trassenstudie können somit übernommen werden. Um die Daten aus der Geodatenbank verwenden zu können, werden diese mit dem GIS-Programm Q-Gis transformiert. Die bestehenden Trassen von Martin Wakolbinger werden so abgewandelt, dass die Trassierung entsprechend dem aktuellen Kenntnisstand machbar ist. Ferner wird auf die Kantenzeiten hin optimiert und Geschwindigkeitserhöhungen geprüft. Die Fahrplanberechnungen und die Energierrechnung werden mit dem Programm FBS - FUL, mit einer Lizenz für Forschung und Lehre (FuL) erstellt und berechnet. Für die Berechnung werden Fahrzeuge von aktuellen Herstellern verwendet. Aufgrund des iterativen Prozesses zwischen Fahrplan (Fahrzeiten) und Trassierung wird die Trasse mehrfach an verschiedenen Stellen adaptiert, um eine optimierte Trassenführung zu erstellen. Die Plandarstellung der Trasse erfolgt einmal als Übersicht im Maßstab 1:25 000. Weiters werden die Hauptäste jeweils im Maßstab 1:10 000 dargestellt. Die Darstellung der Höhenpläne erfolgt ebenfalls im Maßstab 1:10 000, jedoch in der Höhe um das 10-fache überhöht. Für neuralgische Punkte und Bahnhöfe wird eine Darstellung von 1:5 000 gewählt. Für die Darstellung der möglichen Erweiterung der Trasse im Bregenzer Wald wird der Maßstab 1:50 000 gewählt, um nur einen groben Korridor aufzuzeigen. Die mögliche Erweiterung ins Kleinwalsertal wird im Höhenplan im Maßstab 1:50 000 dargestellt und 10-fach überhöht. Grundlegend wird das Luftbild als Hintergrund verwendet. Bei den kleineren Maßstäben wird ergänzend der Grenzkataster eingeblendet.

Nach Abschluss der Trassierung werden die erstellten Betriebskonzepte miteinander verglichen und deren Vor- und Nachteile ausgearbeitet. Zusätzlich werden die Vor- und Nachteile des autonomen Eisenbahnbetriebs erörtert. In einem weiteren Schritt werden nun die verschiedenen Antriebssysteme verglichen und die Auswirkungen auf die Betriebssysteme ermittelt.

2.2 Randbedingungen

2.2.1 Trassierungsparameter

Ziel der Trassierung ist eine Optimierung der Bestvariante aus der Trassenstudie, unter der möglichst besten Anpassung an das Gelände mit Rücksicht auf die umgebende Landschaft. Dabei sind die Radien und Längsneigungen so gewählt, dass Standardfahrzeuge diese ohne Probleme durchfahren und überwinden können. Diese werden ähnlich der Trassenstudie angenommen und sind aufbauend auf die Grundregeln der Trassierungsrichtlinie der ÖBB, Regelwerk 01.03, Kapitel 5.2.4.2 Neubau Sonstige Strecke [5].

2.2.1.1 Lage

- I Minimaler Bogenradius 250 m (Ausnahme 190 m)
- I Mindestelementlänge: $l_{\min} = 0,5 \cdot v[\text{km/h}] \geq 20 \text{ m}$
- I Maximale Überhöhung: 160 mm
- I Übergangsbogenlängen laut Regelwerk
- I Begrenzung des Überhöhungsfehlbetrags auf 100 AGmm
- I Paralleler Rettungstollen oder Querschläge zu zweiter Tunnelachse bei Tunneln alle 500m
- I Haltestellenlänge: 160 m, wenn möglich in Gerade
- I Abstand zwischen der Achse und Gebäude: 8 m

2.2.1.2 Höhe

- I Maximale Längsneigung 25‰ (Ausnahmegrenzwert 33‰)
- I Im Tunnel Reduktion der Längsneigung um 2,5‰ wegen des Luftwiderstands und um Güterverkehr zu ermöglichen
- I Ausrundungsradius für Wannen und Kuppen an die Geschwindigkeit angepasst:
 $R_v[\text{m}] = v_{\max[\text{km/h}]}^2 / 0,972$, $R_{v,\min} = 2000 \text{ m}$
- I Keine Ausrundungen in Überhöhungsrampen/Übergangsbögen

2.2.2 Betriebliche Randbedingungen

Zur Berechnung der Fahrzeiten wird das Fahrplanprogramm FBS - FUL eingesetzt, welches die Fahrzeiten über Modellberechnungen ermittelt. Als Referenzfahrzeug wird ein gängiges Fahrzeug verwendet, bei dem über Modifikation verschiedener Parameter versucht wird die verschiedenen Antriebstechnologien nachzubilden. Als Bezugsfahrzeug wurde ein Desiro Mainline (ÖBB Cityjet) verwendet, welcher bereits im Netz der ÖBB eingesetzt wird. Wei-

ters gibt es bereits eine Akkuhybridversion des Fahrzeuges. Um diese und das Wasserstofffahrzeug nachzubilden, wurden jeweils Gewicht und das Beschleunigungsverhalten verändert.

Aufgrund der Berechnung mit dem Programm FBS - FUL konnten zudem Streckenwiderstände, Luft- und Tunnelwiderstände berücksichtigt werden. Dafür sind die Eingabe von Streckenlänge, Haltestellenabständen, Längsneigungen, Tunnellängen, VZG als auch Fahrzeugkennwerte erforderlich. Bei der Neubaustrecke werden diese Daten aus der Trassierung übernommen. Bei der bestehenden Vorarlbergbahn wurden diese Daten aus dem VZG der ÖBB Infrastruktur AG [6] entnommen.

Als allgemeine betriebliche Kennwerte wurden gewählt:

- ⌚ Fahrzeitreserve: 10 %
- ⌚ Regelhaltezeit: 30 sek.
- ⌚ Gewählter Tunnelquerschnitt für die Berechnung 60 m²
- ⌚ Wendezeit bei der Endhaltestelle: 5 min
- ⌚ Flügeln bzw. Koppeln der Triebwagen: 3 min (Vergleich S-Bahn Hamburg: Linie S1 Ohlsdorf [7])
- ⌚ Fahrgastwechsel / Umsteigen: 60 sek.
- ⌚ Anwendung der 30 Sekunden Regel
- ⌚ Zugfolgezeiten von 2min
- ⌚ Betriebszeiten 5:00-24:00
- ⌚ HVZ von 05:00-9:00 und 12:00-20:00

3 Trassierung

Die Trassierung baut auf der Trasse 3C der vorhandenen Trassenstudie [1] auf. Diese wird ab der Abzweigung Wallenmahd bis in den Bregenzerwald nochmals geprüft, um eventuelle Problemstellen, wie neue Bebauungen oder ähnliches, festzustellen. Weiters wird geprüft, wo sinnvollerweise eine Geschwindigkeitserhöhung bis 100km/h möglich ist, um die Fahrzeit zu verkürzen und einen stabileren Betrieb zu ermöglichen. In Abbildung 3-1 ist die optimierte Variante (rot Achse) sowie die Trasse 3C (schwarze Achse) abgebildet.

Die Trasse verläuft von Dornbirn aus auf den bestehenden Gleisen der Vorarlbergbahn, in Wallenmahd zweigt diese dann ab und führt ungefähr auf dem bestehenden Anschlussgleis Richtung Haltestelle Wallenmahd. Anschließend verläuft die Trasse in den Tunnel Karren, am Ende von diesem ist die Haltestelle Gütle. Direkt nach der Haltestelle verläuft die Trasse dann zweigleisig im Tunnel Hochälpele Richtung Bersbuch. In Bersbuch teilt sich die Trasse dann in zwei eingleisige Äste, der erste Ast verläuft dabei an der Südseite des Stausees Andelsbuch Richtung Haltestelle Andelsbuch. In Andelsbuch verläuft die Trasse unterirdisch unter der L200. Nach der Unterflurtrasse führt der Ast in Richtung des Zielbahnhofs Egg. Der zweite Ast führt nach dem Bahnhof Bersbuch zuerst parallel zum Ast Egg, bis zur Kreuzung mit der L200.

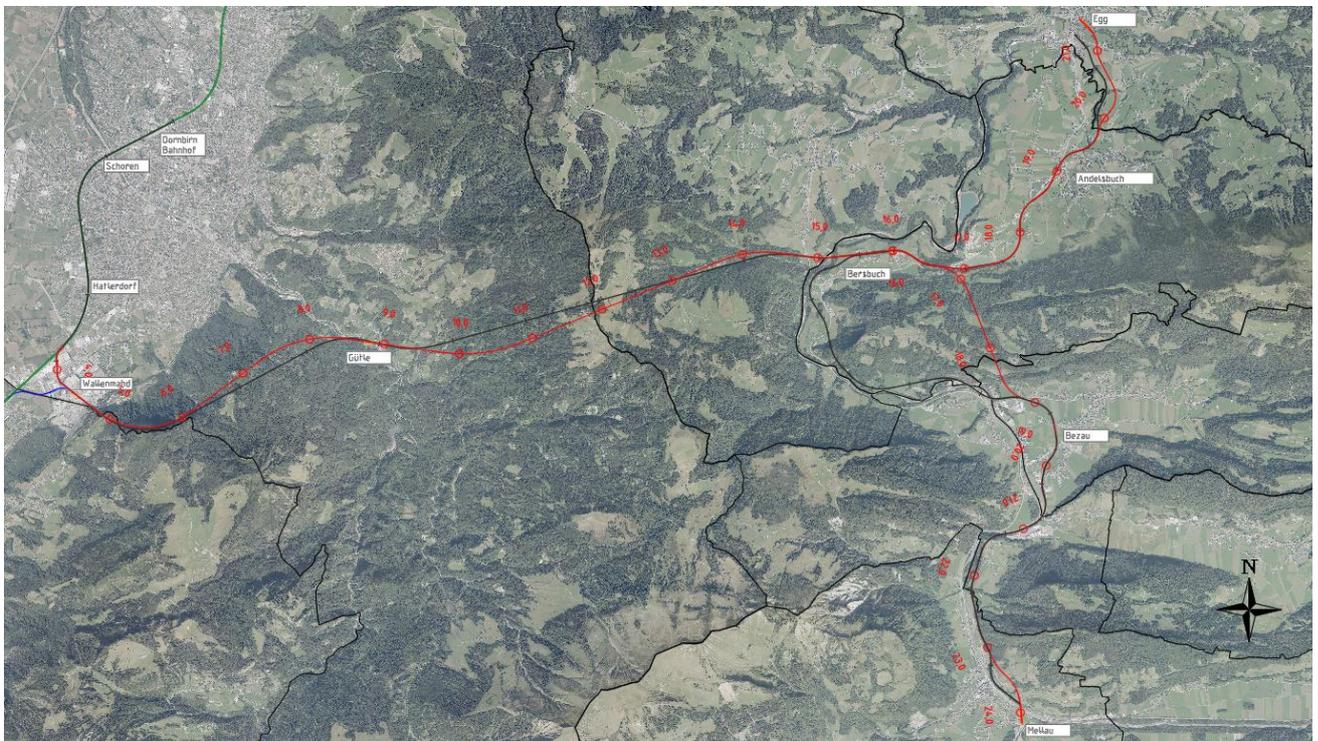


Abbildung 3-1 Übersicht Trasse

Dabei stellt die rote Linie den optimierten beziehungsweise empfohlenen Trassenvorschlag dar. Im weiteren Verlauf wird von der Variante 3C insofern großräumig abgewichen, als in

Richtung Mellau die Variante D (Tunnel Bezegg) untersucht wird, um eine Hangtrassierung, welche mit teuren Sicherungsmaßnahmen zusammenhängt, zu vermeiden. Weiters kann dadurch eine Fahrzeiterparnis ohne Haltestellenverlust erzielt werden, was sich wiederum positiv auf den Betrieb auswirkt. In Richtung Egg wird Variante A weiterverfolgt, um näher Richtung Gemeindezentrum zu rücken. Eine genauere Beschreibung des Trassenverlaufs erfolgt in den nächsten Kapiteln. Im Anhang finden sich die Pläne, aus welchen die in den nächsten Abschnitten diskutierten Abbildungen entnommen wurden.

3.1 Abzweigung Wallenmahd bis Bersbuch

3.1.1 Wallenmahd

Abbildung 3-2 stellt die Trasse (rote Achse) im Bereich der Abzweigung Wallenmahd dar. Dabei ist es aufgrund der vorhanden dichten Bebauung nötig, den Mindestradius auszureizen. Hierbei soll eine Weiche mit Abweigradius von 190 m eingesetzt werden, welcher anschließend weitergeführt wird bis die Strecke mit einem kurzen Gegenbogen zwischen den Betriebshallen zur L190 geführt wird. Aufgrund der engen Bogenverhältnisse ist hier die Geschwindigkeit mit 40 km/h begrenzt. Bei der Kreuzung mit der L190 ist eine Unterführung für den Straßenverkehr notwendig. Weiters verläuft die Trasse zwischen den Werkhallen ungefähr dem Verlauf der bestehenden Anschlussbahn entlang, bis sie im Bereich der neu zu errichtenden Haltestelle Wallenmahd gerade Richtung Tunnelportal des Tunnel Karren verläuft. Vor und nach der Haltestelle besteht die Möglichkeit, Betriebsgleise für die anliegenden Betriebe einzubinden. Weiters besteht die Möglichkeit, einen Südanschluss (blaue Achse) an die Vorarlbergbahn noch vor der Haltestelle einzubinden, was Fahrten aus und in Richtung Feldkirch ermöglichen würde und eine verbesserte Anbindung des Betriebsgebietes in dieselbe Richtung ist.

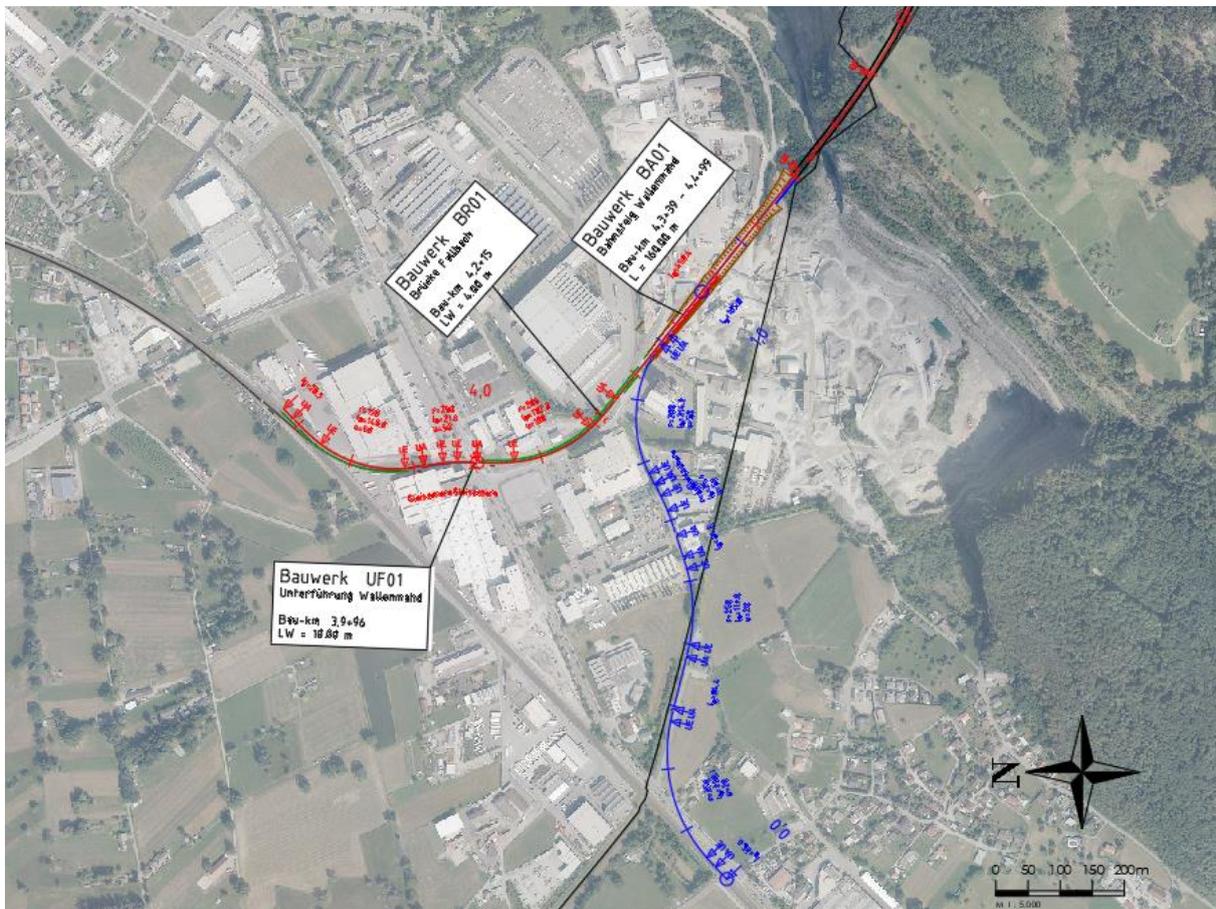


Abbildung 3-2: Trassierung Bereich Wallenmahd

3.1.2 Gütle

In Abbildung 3-3 ist die Haltestelle Gütle mit beiden Tunnelportalen zu sehen. Die Trasse kommt im Westen vom Tunnelportal Karren und führt direkt nach der Haltestelle Gütle in das Portal des Tunnels Hochälpele. Um eine bessere Anpassung der Haltestelle Gütle zu gewährleisten, ist die Achse der Haltestellengerade, im Vergleich zur Trassenstudie[1], etwas im Uhrzeigersinn gedreht. Dies ist vor allem notwendig, um Platz für das zweite Gleis zu schaffen, welches nötig ist, um Zugbegegnungen zu ermöglichen. Direkt nach dem Tunnelportal Karren führt die Trasse bis kurz vor die Querung mit der Dornbirner Ach parallel mit der Ebniter Straße, welche noch vor der Dornbirner Ach unter der Trasse hindurchführt. Die Haltestelle Gütle soll aufgrund der engen Platzverhältnisse als Brückentragwerk ausgeführt werden.

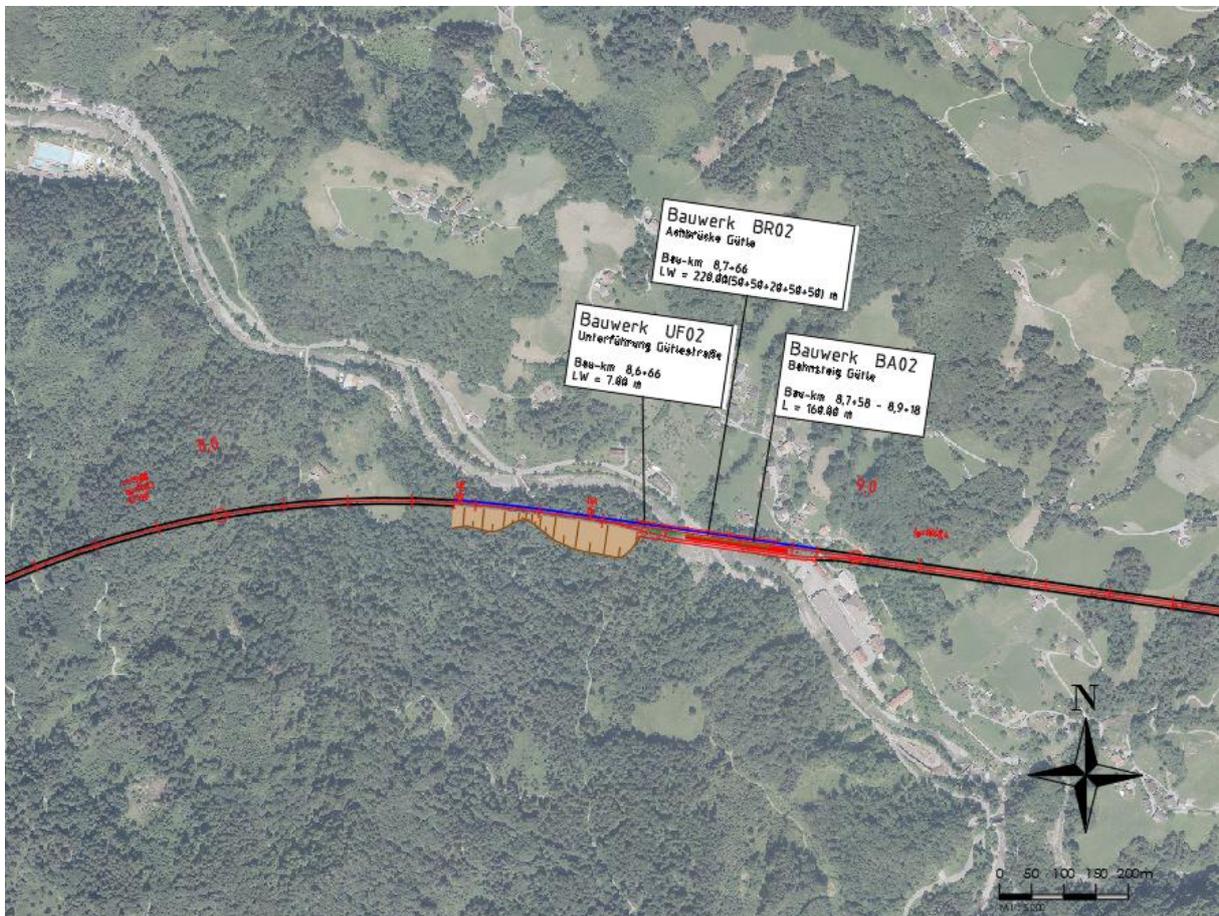


Abbildung 3-3 Haltestelle Gütle

3.1.3 Bersbuch

Der Bahnhof Bersbuch wurde im Vergleich zur Trassenstudie[1] etwas in Richtung Westen verschoben, um Platz für die Überleitstelle zu gewinnen und näher Richtung Schwarzenberg zu rücken. Im Bahnhofsbereich führt eine Ortsstraße unter der im Damm geführten

Trassierung

Trasse hindurch. Diese kann gleichzeitig als Zugang zum Bahnsteig genutzt werden. Um eine Hangtrassierung zu vermeiden und eine Fahrzeitverkürzung zu erzielen, wurde die Trassierung in Richtung Mellau im Bereich Bersbuch-Bezau im Vergleich zur Trassenstudie [1] stark abgeändert. Die Trasse verläuft hier ab dem Bahnhof Bersbuch zuerst parallel zum Ast nach Egg. Hier ist eine Überleitstelle vorgesehen, um bei möglichen Behinderungen im Bahnhofsbereich ausweichen zu können. Kurz vor der Überführung der L200 trennen sich die zwei Strecken auf. Das in Kilometrierungsrichtung linke Gleis führt über Andelsbuch nach Egg. Das rechte Gleis verläuft nach der Überführung der L200 in den Tunnel Bezegg und dann weiter über Bezau nach Mellau. In Abbildung 3-4 ist der Bahnhof Bersbuch mit dem zweigleisigem Streckenstück bis zur Aufteilung der Trasse in zwei Äste abgebildet.

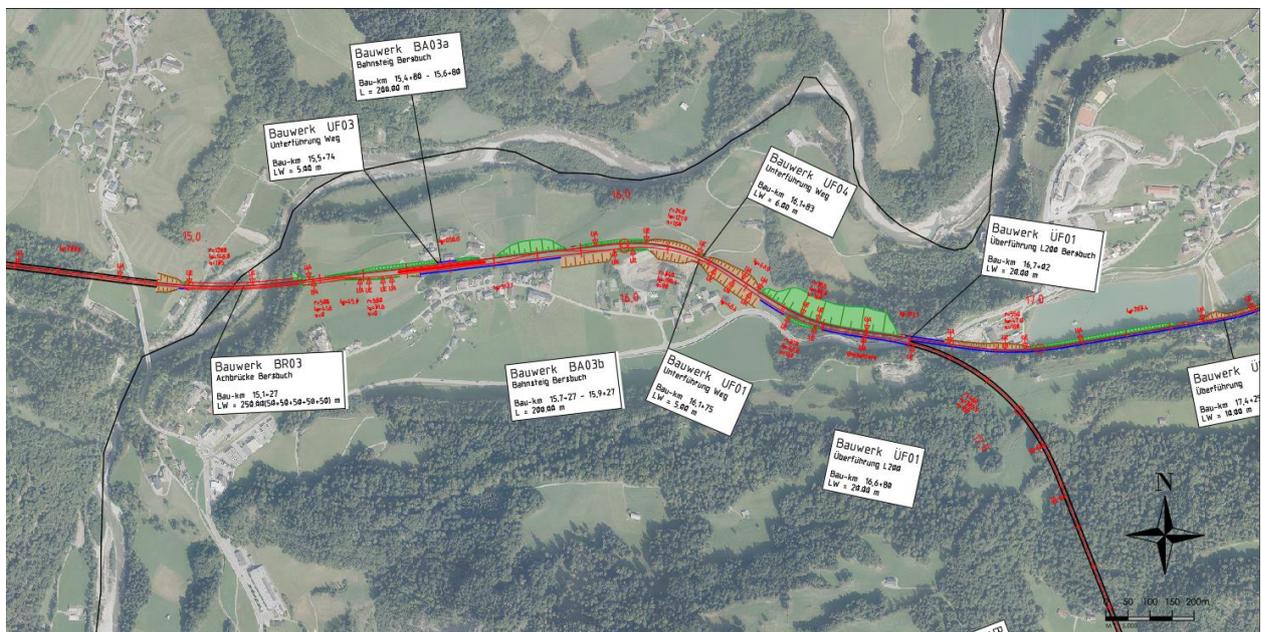


Abbildung 3-4 Bahnhof Bersbuch

Trassierung

3.2 Ast Mellau

3.2.1 Bezau

In Bezau kommt die Strecke nördlich vom Tunnelportal Bezegg, führt dann über eine Ortsstraße nach Osten über ein Feld, dann verläuft die Trasse in Richtung Süden zur Haltestelle Bezau. Vor der Haltestelle überquert die Trasse dabei noch eine Ortsstraße sowie den örtlichen Bach. Nach der Haltestelle verläuft die Trasse mit zwei Gegenbögen wieder Richtung Norden. Im Bereich vor und nach der Haltestelle Bezau (siehe Abbildung 3-5) wurde der Trassenverlauf der Trassenstudie Großteils beibehalten. Es wurden lediglich, wo möglich, die Radien vergrößert, um höhere Geschwindigkeiten fahren zu können. Des Weiteren wurde die Trasse angehoben. Im Bereich des Ortes wurde die Höhe ungefähr auf Geländehöhe angepasst, sodass ein leichter Damm verbleibt.

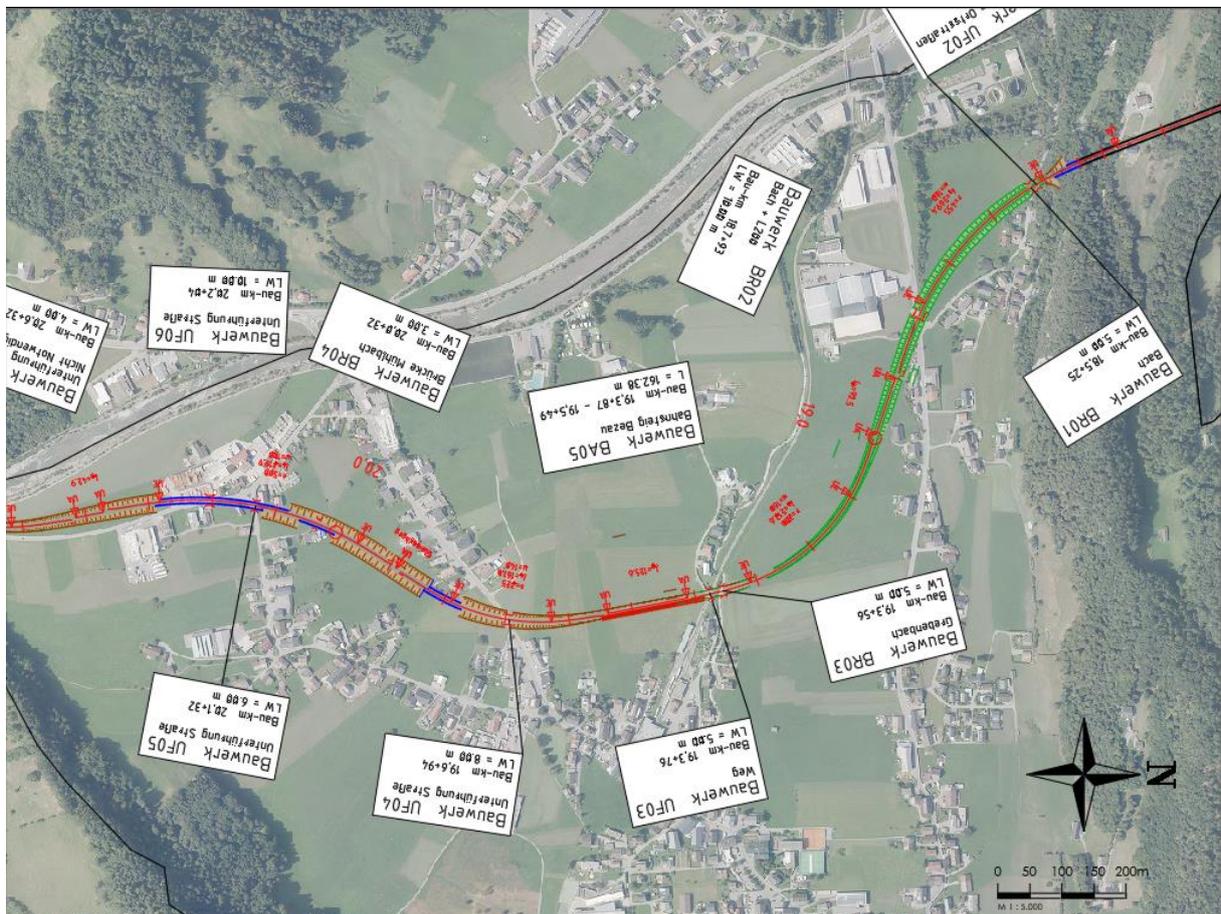


Abbildung 3-5 Haltestelle Bezau

3.2.2 Mellau

In Abbildung 3-6 ist die Strecke vor dem Endbahnhof Mellau zu sehen. Die Strecke verläuft hier vom Norden kommend zwischen der Bebauung im Westen und dem beginnenden Berg im Osten. Im Weiteren führt die Strecke dann in den Einfahrtstunnel Mellau, welcher in einem Bogen Richtung Süden führt. Anschließend überquert die Trasse die Ache und die L200 mit einer Brücke und endet im Zielbahnhof Mellau. Im Gegensatz zur vorgeschlagenen Trasse der Trassenstudie, führt die Trasse nun durch einen Tunnel vor der Achquerung. Dies hat den Vorteil, dass im sehr engen Bereich zwischen Ach und Hang keine weitere Trasse hineingebaut werden muss. Des Weiteren ist es so leichter möglich, den Bahnhof Richtung Talstation der Mellenbahn auszurichten. Somit ist eine sehr gute Erschließung des Skigebiets Mellau-Damüls möglich, was vor allem im Winter ein hohes Verkehrsaufkommen erzeugt.

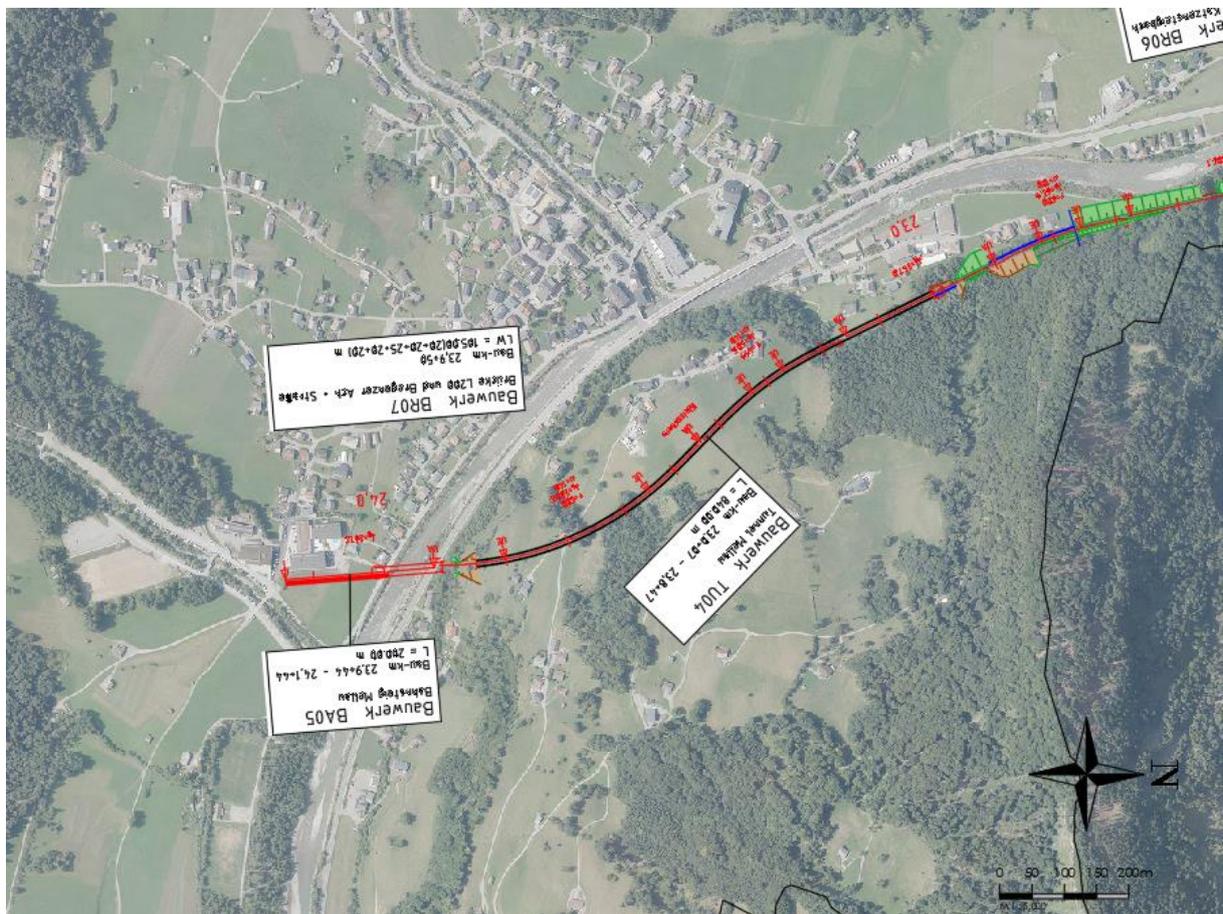


Abbildung 3-6: Bahnhof Mellau

3.3 Ast Egg

3.3.1 Andelsbuch

Richtung Andelsbuch führt die Strecke zuerst entlang der Südseite des Stausees des Kraftwerks Andelsbuch und im weiteren Verlauf führt diese Richtung Norden zur L200. Kurz bevor die Trasse Richtung Osten ausschwenkt und die L200 kreuzt, verläuft die Strecke in einer Unterflurtrasse parallel zur L200. Vor dem Ortszentrum liegt die Strecke dann wieder unter der L200, wo auch die Haltestelle Andelsbuch situiert ist. Die Haltestelle Andelsbuch ist ebenfalls unterirdisch. Nach der Kirche verläuft die Trasse dann Richtung Osten und verläuft in mehreren Kurven zwischen verschiedenen Gebäuden hindurch. Währenddessen unterquert sie noch zwei kleinere Bäche. Auf einer Wiese im Nord-Osten ist das Nordportal der Unterflurtrasse.

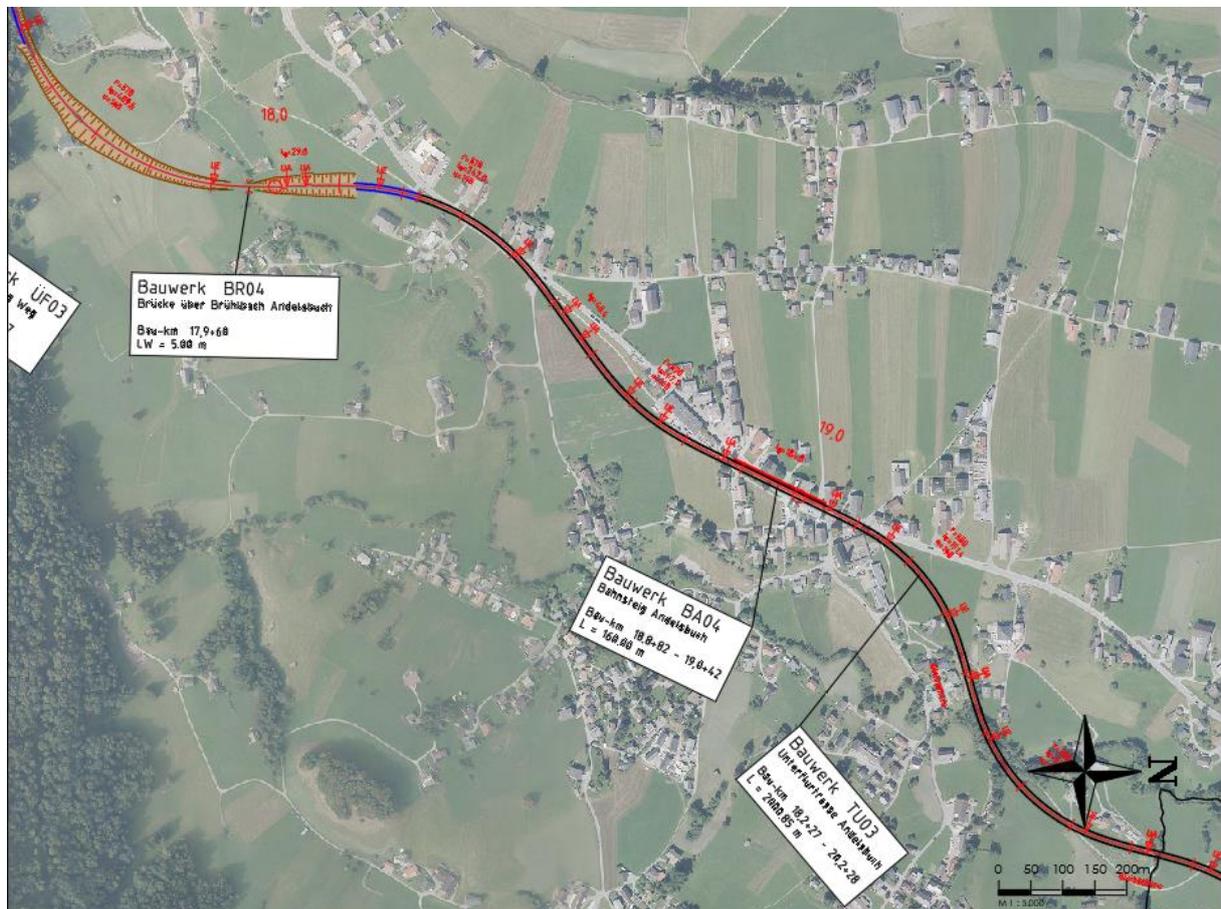


Abbildung 3-7: Übersicht Andelsbuch

Trassierung

3.3.2 Egg

In Abbildung 3-8: Bahnhof Egg ist der Endbahnhof Egg dargestellt. Dieser liegt nun näher im Zentrum als in der Trassenstudie vorgeschlagenen Variante. Aufgrund der Lage ist eine gute Vernetzung ins Zentrum gegeben.

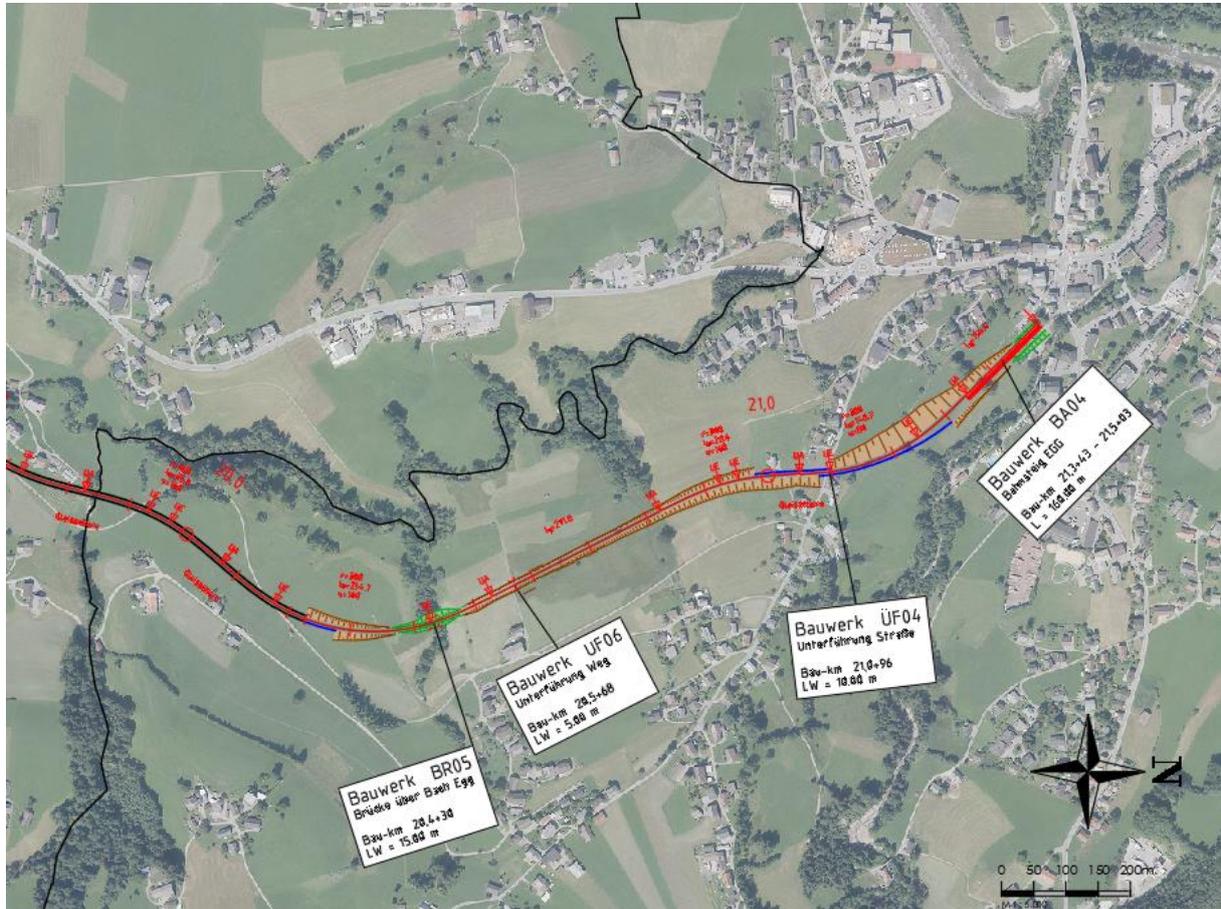


Abbildung 3-8: Bahnhof Egg

4 Randparameter Antriebsarten

In diesem Kapitel werden die Randparameter der alternativen Antriebe Wasserstoff und Batteriehybrid diskutiert, welche Eigenschaften diese haben und welche Anforderungen diese an die Infrastruktur stellen. Weiters wird ein Vergleich mit der in Zukunft wasserstoffbetriebenen Zillertalbahn gemacht.

4.1 Wasserstoffbetrieb bei Schienenfahrzeugen

Es gibt bereits mehrere Hersteller, welche Triebwagen mit Wasserstoffantrieb in Serie anbieten. Beispiele dafür sind Stadler Rail (Flirt H2), Alstom (Coradia iLint), Siemens (Mireo + H). [10][12][15][16] Die Fahrzeuge funktionieren meist mit dem Prinzip einer oder mehrerer Brennstoffzellen, welche die benötigte Energie erzeugen. Sie besitzen meist einen oder mehrere Akkus, meist Lithium-Polymer, welche Energie zwischenspeichern können. Beim Beschleunigungsvorgang kann Energie aus der Brennstoffzelle und dem Akku gleichzeitig entnommen werden, um die maximale Leistung zu erreichen. Im Rollbetrieb reicht allein die Brennstoffzelle, beziehungsweise kann überschüssige Energie in die Akkus eingespeist werden. Beim Bremsen wird die gewonnene Energie ebenfalls rückgewonnen und in die Akkus eingespeist. Dadurch ist ein möglichst ressourcenschonender Betrieb möglich. Die Reichweite der Wasserstofffahrzeuge liegt aktuell bei etwa 800-1000km pro Tankfüllung[10] [21][16], was für die Wälderbahn ausreichend wäre. Die Beschleunigungswerte von Wasserstofffahrzeugen entsprechen in etwa denen von Dieselfahrzeugen, die Höchstgeschwindigkeit beträgt je nach Hersteller bis zu 140 km/h[21][10]. Dabei ist zu beachten, dass die Fahrzeuge auch anders ausgestattet werden können. So kann durch zusätzliche Brennstoffzellen mehr Leistung erzeugt werden, was in besseren Beschleunigungswerten resultiert. Umgekehrt können auch mehr Tanks angebracht werden, was die Reichweite erhöht. Die hier angebenen Werte sind reine Richtwerte auf Basis aktueller Entwicklungen. Bei Wasserstofffahrzeugen ist zu beachten, dass diese speziell ausgerüsteten Werkstätten benötigen, welche vor allem Sicherheitsmaßnahmen wie Wasserstoffsensoren und spezielle Lüftungsanlagen beinhalten. [37]

4.2 Vergleich Zillertalbahn

Die Zillertalbahn ist eine Schmalspurbahn in Tirol, welche von Jenbach entlang der Ziller nach Mayrhofen führt. Aktuell wird diese mit Dieseltriebwagen bedient. Ab 2022[22] soll sie jedoch mit Wasserstoff betrieben werden und wäre damit die erste wasserstoffbetriebene Bahn in Österreich. Die Strecke der Zillertalbahn ist etwa 32 km lang und überwindet einen Höhenunterschied von etwa 100 m. Anlass für den Wechsel zu Wasserstoff ist die

Anschaffung von neuen Fahrzeugen. Dabei wurde Diesel aus Umweltgründen ausgeschlossen. Die weitere Entscheidung zwischen Wasserstoff und Elektrifizierung der Strecke wurde durch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelt. Dabei schnitt der Wasserstoff um 6% besser ab als die Elektrifizierung der Strecke[23][24]. Weitere Gründe für den Wasserstoffbetrieb sind die Vielzahl an Wasserkraftwerken, welche sich im Zillertal befinden und somit grünen Wasserstoff herstellen können[23]. Ein weiterer Vorteil des Wasserstoffantriebs ist der Entfall der Oberleitung, welche herkömmliche E-Triebwagen benötigen. Dies ist vor allem aus ästhetischer Sicht relevant, da insbesondere Tourismusverbände dem Bau neuer Oberleitungen aus Gründen des Landschaftsschutzes skeptisch gegenüber stehen [25]. Da das Gebiet stark vom Tourismus geprägt ist, würden diese Argumente auch bei der Wälderbahn gelten. Weitere Parallelen können auch bei den Taktzeiten gefunden werden, welche bei beiden Bahnen zumindest in der HVZ bei einer halben Stunde liegen soll. Der größte Unterschied neben der Spurweite liegt jedoch in der Höhenüberwindung. Während die Zillertalbahn lediglich gut 100 m Höhendifferenz zu überwinden hat, sind es bei der Wälderbahn auf halber Streckenlänge ca. 200 m Höhendifferenz. Wasserstoffantriebe eignen sich aufgrund ihrer Wirkungsweise in Kombination mit Akkus besser für flaches Gelände, da die Akkus nur eine gewisse Energiemenge speichern können. Jedoch fällt gerade bei längeren Abwärtsfahrten, wie Bergstrecken es öfters haben, mehr Energie an als gespeichert werden kann.[24]

4.3 Akkuhybrid bei Schienenfahrzeugen

Neben dem herkömmlichen Elektroantrieb mit Oberleitung und dem Antrieb mit Wasserstoff wird als dritte mögliche Antriebsform eine Akkuhybrid Variante analysiert. Das Fahrzeug kann herkömmlich Strom aus der Oberleitung beziehen. Sobald keine Oberleitung mehr vorhanden ist, schaltet das Fahrzeug in den Akkumodus um. Es gibt bereits mehrere namhafte Hersteller welche Akkuhybridfahrzeuge anbieten. Beispiele sind hier Stadler Rail (Flirt Akku), Bombardier (Talent 3 BEMU), Alstom (Coradia Continental BEMU) und Siemens (Mireo+ B / City Jet Eco (siehe Abbildung 4-1)) [16][12][13][24]. Diese fahren bisher jedoch erst in Testbetrieb.



Abbildung 4-1: ÖBB City Jet Eco im Betrieb ohne Oberleitung Quelle: ÖBB[14]

Die Reichweiten, welche ohne Oberleitung befahren werden können, liegen zwischen 40 und 100 km [16]. Die Höchstgeschwindigkeiten liegen dabei bei bis zu 160 km/h, bei den meisten jedoch bei 140 km/h. Für die Wälder Bahn wäre es sinnvoll, ausschließlich die Tunnelabschnitte sowie den Bereich Wallenmahd mit Oberleitungen auszurüsten. Der Bereich Wallenmahd müsste jedenfalls ausgerüstet werden, da hier die bestehende Anschlussbahn ersetzt wird, welche elektrifiziert ist. Dies hätte den Vorteil, dass vor allem in den ersten beiden Tunneln, in denen ein Großteil der Steigung zurückgelegt wird, die volle Leistung aus der Oberleitung entnommen werden könnte. Die restliche Strecke könnte dann im Akkumodus befahren werden.

5 Autonomes Fahren

In diesem Kapitel wird auf das Thema des autonomen Eisenbahnbetriebes eingegangen. Zuerst werden die benötigte Streckeninfrastruktur und die Fahrzeugausstattung untersucht. Es wird ein Vergleich mit der S-Bahn-Hamburg (siehe Kapitel 5.2) gezogen. Im nächsten Schritt wird die Einbindung zur Vorarlbergbahn besprochen. Zum Schluss werden Vor- und Nachteile des autonomen Fahrens beschrieben.

Es gibt im Allgemeinen vier verschiedene Automatisierungsgrade (siehe Abbildung 5-1). In der ersten Stufe wird der Zug manuell gesteuert. Es gibt jedoch auch eine Zugüberwachung, welche bei Übertritt (z.B. Überfahren eines roten Signals) in den Betrieb eingreift und den Zug anhält, was eine reine Schutzfunktion ist. Dies ist der aktuelle Standard der Zugsicherung. In der zweiten Ebene fährt der Zug bereits automatisiert, dies wird jedoch von Fahrpersonal überwacht. Die Züge benötigen hier keine Ausrüstung zur Streckenüberwachung. Die Türschließung kann bereits automatisch erfolgen, muss jedoch nicht. Bei Störungen greift das Fahrpersonal ein. In der dritten Stufe fährt der Zug autonom und überwacht dabei die Strecke. Es ist jedoch immer noch Personal im Fahrzeug, welches bei Störungen eingreifen kann und notfalls die Steuerung übernimmt. Im Normalbetrieb ist es jedoch für Kundenbetreuung frei und muss nicht eingreifen. Bei der vierten und letzten Stufe fährt der Zug vollautonom, es ist kein Personal mehr an Bord und selbst das Störungsmanagement kann teilweise automatisch erfolgen. Bei größeren Störungen kann dies über Fernsteuerung aus der Zentrale oder durch Notpersonal behoben werden.

| Grade of Automation (GoA) | Fahrt | Abfahrt | Halt am Bahnhof | Türschliessung | Störungsmanagement |
|--|--|----------------------------------|-------------------|---|--|
|  GoA 1 | Lokführer mit Zugsicherungssystem (ZUB, ETCS, etc.) | Lokführer | Lokführer | Lokführer | Lokführer |
|  GoA 2 | Lokführer mit Automatic Train Operation (ATO) Zugsicherungssystem (ETCS) | Lokführer oder Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) oder durch Lokführer | Lokführer |
|  GoA 3 | ATO, ohne Lokführer, mit Begleitpersonal auf dem Zug | Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) oder durch Zugbegleiter | Nach Bedarf: Zugbegleiter |
|  GoA 4 | ATO, komplett autonome Zugfahrt ohne Personal | Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) | Automatisch (ATO) | Nach Bedarf: Automatisch, ferngesteuert oder mit Interventionspersonal |

Abbildung 5-1: Stufen der Automation (Quelle: Smartrail [27])

5.1 Benötigte Infrastruktur

Um autonom fahren zu können, ist eine gewisse Ausrüstung am Fahrzeug und eine Streckeninfrastruktur erforderlich. Prinzipiell besteht diese aus den zwei Teilen der streckenseitigen ATO-Infrastruktur (ATO-Trackside) und der Ausrüstung für das Fahrzeug (ATO-Onboard). Diese werden durch eine zentrale Kontrollstelle und Infrastrukturdaten ergänzt. Dabei steuert die Fahrzeugkomponente den Zug, während die streckenseitige Komponente den Zustand der Strecke überwacht. Beide Systeme kommunizieren dauerhaft untereinander und geben die Daten an die Zentrale sowie die Datenbank weiter. Beispielhaft ist dieser Prozess in Abbildung 5-2 zu sehen.

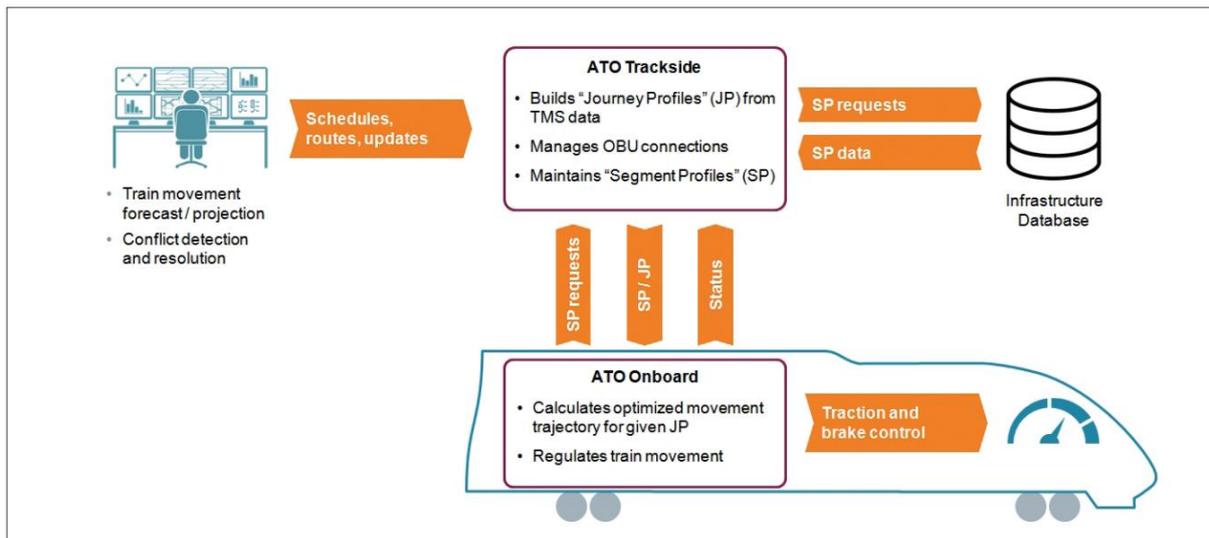


Abbildung 5-2: ATO-Schema (Quelle: eurailpress [30])

5.1.1 Streckeninfrastruktur

Aufgrund der Informationen, die autonom fahrende Züge benötigen, sind streckenseitig eine Vielzahl an Sensoren nötig, welche den aktuellen Zustand der Strecke überwachen. Weiters sollten keine Eisenbahnkreuzungen auf der Strecke vorhanden sein. Im Falle der Wälderbahn würde es in Bezau eine niveaugleiche Kreuzung mit der Museumsbahn (Wälderbähnle) geben. Diese Kreuzung müsste beispielsweise zusätzlich mit Toren gesichert werden, welche die Kreuzung freihalten. Diese könnten dann, wenn die Strecke freigegeben ist, für die Wälderbahn geöffnet werden, sodass diese kreuzen kann. Da die Museumsbahn vor allem an den Wochenenden fährt, laut aktuellem Fahrplan 4x täglich [38], wären die Kreuzungsereignisse überschaubar. Die gesamte Strecke sollte gegen unbefugtes Betreten gesichert sein. Dabei muss beachtet werden, dass auch ein dauernder Begleitweg vorhanden sein muss, welcher bei Störungen das sichere Aus- und Einsteigen gewährleistet. Ein solcher Begleitweg ist jedoch auch bei manuell gesteuertem Betrieb notwendig.

Der Weg sollte über genügend Notausstiege verfügen. Des Weiteren muss ständig die Information vorhanden sein, wo auf der Strecke sich Züge befinden. Wenn Strecken mit dem europäischen Zugsicherungssystem ETCS2 und GSMR ausgerüstet sind, sind diese Anforderungen prinzipiell erfüllt. Es muss jedoch beachtet werden, dass an den Bahnsteigen ebenfalls eine Überwachung vorhanden sein muss. Dies kann zum Beispiel durch Bahnsteigtüren oder ein Radar geschehen. Bahnsteigtüren sind dabei sicherer als Überwachungen mit Radar, diese haben jedoch den Vorteil, dass Züge mit verschiedenen Türabständen auf diesen verkehren können. Falls ein Zugbegleitpersonal das Öffnen und Schließen der Türen übernimmt, kann diese Überwachung entfallen. [26][27][28][29]

5.1.2 Fahrzeugausrüstung

Auf der Fahrzeugseite müssen die Züge mit Überwachungssystemen ausgerüstet werden, welche mittels Sensoren die Umgebung und das Innere des Zuges überwachen. Diese zugseitige Ausrüstung (ATO-Onboard) besteht aus der automatischen Zugsicherung und einer automatischen Zugsteuerung, welche den eigentlichen Fahrbetrieb steuert. Des Weiteren muss ein ständiger Austausch zwischen den Zügen auf der Strecke und der Leitstelle herrschen, um einen reibungslosen Ablauf sicherzustellen. Es gibt bereits Fahrzeug-Hersteller die ATO Fahrzeuge beziehungsweise Aufrüstungen anbieten. Es gibt verschiedene Möglichkeiten ATO umzusetzen. Eines dieser Systeme ist „ATO over ETCS“, dieses verfolgt den Ansatz, dass ATO System auf ETCS Level 2 aufzubauen. Mit diesem Ansatz können zusätzliche Adaptierungen von Strecken minimiert und ein europaweit einheitliches Netz aufgebaut werden. [26][27][28]

5.2 Vergleich mit der S-Bahn Hamburg

Die S-Bahn Hamburg wurde als Vergleich gewählt da diese, wie es bei der Wälderbahn sein könnte, im ersten Schritt nur auf einem Teilstück autonom betrieben wird. Weiters wird das System „ATO over ETCS“ verwendet, welches ebenfalls interessant für die Wälderbahn sein könnte. Dabei soll die S-Bahn Linie 21 in Hamburg auf dem 23km langen Streckenabschnitt zwischen den Haltestellen Berliner Tor und Bergedorf/Aumühle autonom betrieben werden. Dies soll als Pilotprojekt dienen, um später das gesamte Netz der S-Bahn Hamburg autonom zu betreiben. Für die Automatisierung wird das System „ATO over ETCS“ angewandt. Dies hat den Vorteil, dass Technologien verwendet werden können, welche auf europäischer Ebene standardisiert sind. Die Deutsche Bahn erhofft sich dadurch eine höhere Kapazität, einen niedrigeren Energieverbrauch und weniger Kosten für den Betrieb sowie eine gesteigerte Pünktlichkeit. [31] Im Vergleich zur Wälderbahn ist hier vor allem die Technologie „ATO over ETCS“ interessant, welche, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, auf dem europäischen Sicherheitskonzept ETCS aufbaut. Dies ist vor allem interessant, weil es

sich um einheitliches System handelt, welches auf lange Zeit gesehen im gesamten europäischen Kernnetz verbaut werden sollte. Dadurch könnte ein Umrüsten auf ATO mit deutlich weniger Aufwand und vor allem mit einem standardisierten System verbunden sein.

5.3 Einbindung in Vorarlbergbahn-Dornbirn Wallenmahd bis Dornbirn HBF

Aufgrund der Tatsache, dass die Wälderbahn nicht ausschließlich auf einem getrennten Gleisnetz verkehrt, stellt sich die Frage der Integration dieser in das bestehende Netz. Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, besteht die Möglichkeit autonomen Eisenbahnbetrieb auf Strecken, welche mit ETCS Level 2 und GSMR ausgerüstet sind, zu betreiben. Das bedeutet jedoch, dass die bestehende Strecke auf ETCS umgerüstet werden müsste. Der Streckenfunk GSM-R ist bereits vorhanden [32], daher müsste nur noch das Sicherungssystem selbst umgerüstet werden. Dies würde jedoch bedeuten, dass alle Fahrzeuge, welche auf dieser Strecke verkehren, ETCS-fähig sein müssen. Daher müssten alle bestehenden Fahrzeuge aufgerüstet werden. Der Ausbau der bestehenden Strecke hätte auch Vorteile für den restlichen Nahverkehr in Vorarlberg, insbesondere für den grenzüberschreitenden Nahverkehr, da zum Beispiel die anliegende Schweiz bereit komplett auf ETCS Level 1 umgerüstet hat und ab dem Jahr 2025 gesamt auf ETCS Level 2 umrüstet [39]. Weiters ist zu beachten, dass der Mischverkehr zwischen autonomen und personengesteuerten Fahrzeugen eine technische Herausforderung ist. [30]

Eine weitere Möglichkeit der Einbindung wäre daher ein teilautonomer Betrieb. Hier könnte ein/e Zugführer/in die Strecke auf der Vorarlbergbahn bis zur Haltestelle Wallenmahd fahren und anschließend würde der Zug vollautonom weiterfahren. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass eine Garnitur in Doppeltraktion bis Bersbuch fährt. Nach dem Trennen fährt ein Triebwagen mit Fahrpersonal nach Mellau und der zweite Triebwagen fährt autonom nach Egg. Dies wäre umgekehrt auch denkbar. Dabei könnte zumindest das Fahrpersonal eingespart werden.

5.4 Vor- und Nachteile autonomes Fahren

Einer der größten Vorteile des autonomen Fahrens ist die gesteigerte Pünktlichkeit und die flexible Anpassbarkeit an die Nachfrage. Durch die zentrale Überwachung und Steuerung ist immer bekannt, wo auf der Strecke mit welcher Geschwindigkeit sich ein Fahrzeug befindet. Dies ermöglicht wesentlich dichtere Zugfolgezeiten und damit mehr Kapazität auf derselben Infrastruktur. Weiters können zusätzliche Fahrzeuge flexibel angefordert werden, welche bei kurzen Nachfragespitzen für Entlastung sorgen [28]. Auch sind betriebliche

Abläufe, wie das Wenden, Koppeln oder Flügeln deutlich schneller umzusetzen [30]. Dies hätte bei der Wälderbahn den Vorteil, dass der Flügelbetrieb in Bersbuch mit weniger Zeitverlust stattfinden könnte, da die Fahrzeuge in kürzeren Zeitabständen fahren können. Ein weiterer Vorteil wäre die gesteigerte Energieeffizienz. Da automatisierte Züge ohnehin eine Vielzahl von Sensordaten und Streckeninformationen sammeln, können diese Informationen verwendet werden, um optimale Brems- und Beschleunigungskurven zu berechnen. Dabei sind mit der Rückgewinnung der Energie beim Bremsen Energieeinsparungen bis zu 30% möglich [28]. Ein weiterer positiver Aspekt ist eine gute Planbarkeit der Wartungen, da das Rollmaterial über Sensoren Mängel bereits frühzeitig erkennen kann. Als Nachteil muss mit höheren Investitionskosten bei Strecke und Fahrzeug gerechnet werden. Dies ist auf den deutlichen Mehraufwand am Überwachungssystem zurückzuführen. Ein weiterer Aspekt ist die Kompatibilität mit anderen Systemen. Bisher sind autonome Systeme meist auf getrennten Netzen verkehrende Inselsysteme. Daher ist bei ihrer Einbindung in größere Netze mit vermehrten Kosten und technischen Schwierigkeiten zu rechnen. Diese könnten gerade am Anfang vermehrt zu Problemen und Störungen führen. Einen Überblick über die Vor- und Nachteile zeigt Tabelle 5-1.

Tabelle 5-1: Vor und Nachteile autonomes Fahren

| Vorteile | Nachteile |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Gesteigerte Pünktlichkeit | Höherer Investitionskosten |
| Flexible Anpassungen | Kompatibilität mit anderen Strecken |
| Dichter Zugfolgezeiten/mehr Kapazität | Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen |
| Optimierte Energieverbrauch | |
| Wartungen besser planbar | |

6 Betrieb/Fahrplan

In diesem Teil der Arbeit werden Betriebskonzepte behandelt, welche mit den daraus entstehenden Fahrplänen, Umlaufplänen, und Netzplänen dargestellt werden. Auch wird eine Energiebedarfsberechnung am Triebrod durchgeführt. Dabei wird die Energie ohne die Verluste der Antriebe berechnet.

6.1 Basisbetriebskonzepte

Um Betriebskonzepte erstellen zu können, werden im ersten Schritt Kantenzeiten zwischen den einzelnen Relationen ermittelt. Mögliche Verbindungen nach St. Margrethen und Lindau werden ebenfalls dargestellt. In Richtung Lindau ist bereits der neue Knoten Lindau Reutin hinterlegt, welcher in Zukunft als Umsteigeknoten zum Fernverkehr dient [34]. Weiters ist der zweigleisige Abschnitt Lauterach-Hard hinterlegt, welcher im Jahr 2021 in Betrieb geht [35]. In Abbildung 6-1 werden die angenommenen Kantenzeiten und in Klammer die berechneten Fahrzeiten dargestellt. Bei den Fahrzeiten wird im Bereich der Vorarlbergbahn und der Strecke Lauterach bis St. Margrethen der in Vorarlberg im Nahverkehr eingesetzte Talent 1 angesetzt. Dieser Zug wird jedoch in naher Zukunft durch den neuen und leistungstärkeren Talent 3 ersetzt werden. Das führt künftig zu zusätzlichen Reserven. Auf der Strecke der neuen Wälderbahn wird der Desiro Mainline II „ÖBB-Cityjet“ zur Fahrzeitberechnung herangezogen, da dies aktuell die neueste Generation von Nahverkehrszügen im ÖBB-Netz ist.

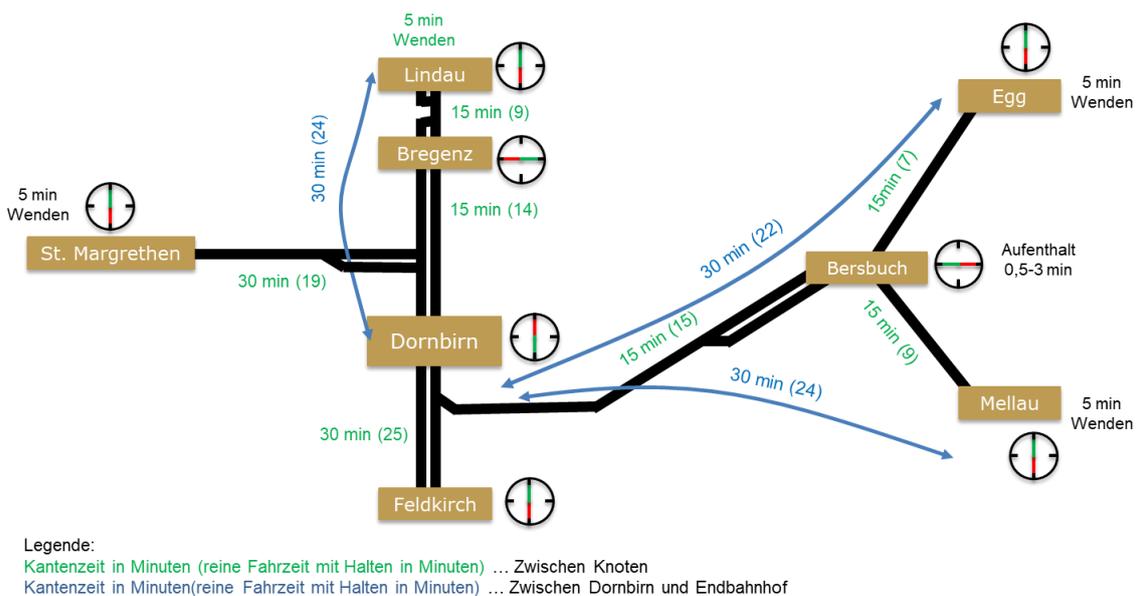


Abbildung 6-1: Kantenzeiten

Als Ausgangspunkt für das Liniennetz wird Dornbirn als regionales Zentrum gewählt. Dabei sollen die Züge immer zur Taktzeit 00 beziehungsweise 30 ankommen, was in Anlehnung des aktuellen Fahrplans [33] geschieht. Die Taktzeit ist in Abbildung 6-1 mit den Taktuhren dargestellt. Weiters wird die Anzahl der Gleise zwischen den Knoten durch schwarze Linien symbolisiert. Dabei ist ein zweigleisiges Streckenstuck zwischen Gütle und Bersbuch zu erkennen. Dies ist erforderlich, da ab einem halbstündlichen Intervall in diesem Bereich eine Zugkreuzung erforderlich ist. Diese kann aufgrund der Fahrzeitreserven und den der benötigten Wendezeit beim Ast Mellau nicht zur Haltestelle Gütle verschoben werden. Im Weiteren werden die erarbeiteten Basisbetriebskonzepte vorgestellt. Die vollständige Bildfahrpläne sowie Umlaufpläne befinden sich im Anhang.

6.1.1 Betriebskonzept 1.1 „Wechselnde Direktzüge“

Das erste Betriebskonzept basiert auf wechselnden Direktzugen, wobei in Dornbirn jede halbe Stunde ein Zug Richtung Bregenzer Wald abfährt. Es wird angenommen, dass der Zug zur vollen Stunde Richtung Egg fährt, während der Zug zu Minute 30 Richtung Mellau fährt. Es wäre genauso möglich den Zug zur Minute 30 nach Egg und den Zug zur Vollen Stunde nach Mellau zu führen, da die Anschlüsse in Dornbirn überwiegend halbstündlich sind. Ein Schema des Betriebskonzeptes ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Somit ist zwischen Dornbirn und Bersbuch ein Halbstundentakt vorhanden, an den Ästen in Mellau und Egg jeweils ein 1 h Takt. Wie in Abbildung 6-3 zu entnehmen ist, sind für diese Betriebskonzepte zwei in Betrieb befindliche Fahrzeuge notwendig. Dabei pendelt ein Fahrzeug zwischen Dornbirn und Mellau und das Zweite zwischen Dornbirn und Egg. Dabei legen die Fahrzeuge zwischen 770 und 870 km zurück.

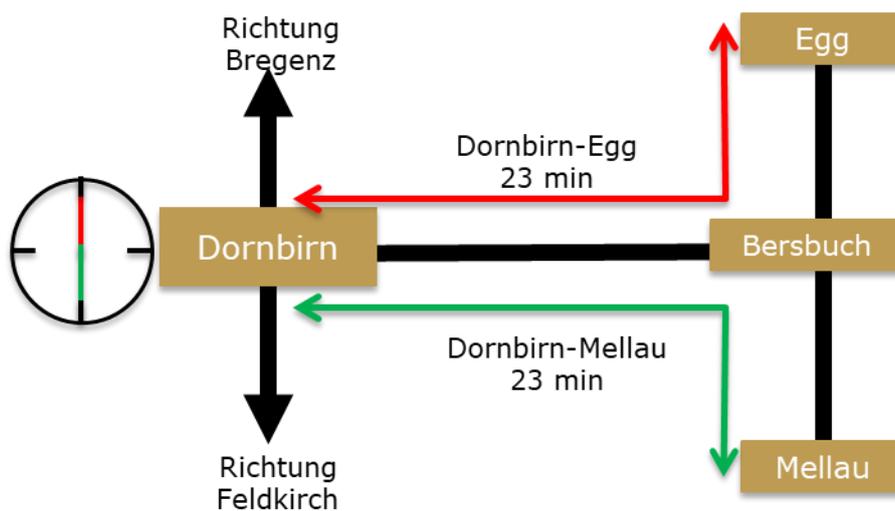


Abbildung 6-2: Schema Betriebskonzept 1

Vergleich der Betriebskonzepte

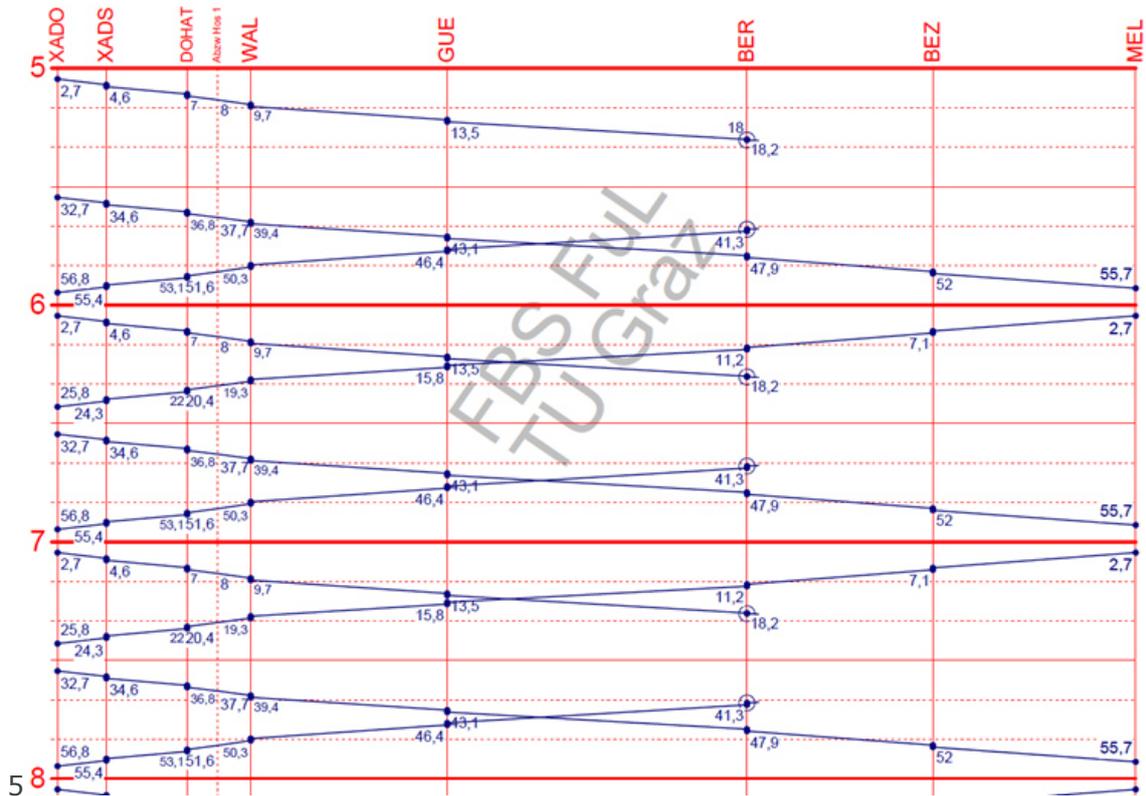


Abbildung 6-5: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 1

6.1.2 Betriebskonzept 2.1: Pendelzug Dornbirn-Mellau / Bersbuch-Egg

Das zweite Betriebskonzept basiert auf einem Pendelzug zwischen Dornbirn und Mellau und einem Pendelzug zwischen Bersbuch und Egg. Das Konzept ist in Abbildung 6-6 dargestellt. Die Relation Dornbirn Mellau wurde aufgrund der längeren Fahrzeit gewählt, da hier eine angespanntere Situation bezuglich der Kantenzzeit herrscht und somit das Durchfahren nach Mellau einen Vorteil bringt, da die Umsteigezeiten entfallen. Bei diesem Betriebskonzept werden alle Relationen aus Dornbirn in den Bregenzer Wald um die Minute 00 und 30 bedient. Dafur müssen Personen, welche vom Rheintal nach Egg oder von Egg ins Rheintal wollen, umsteigen. Für dieses Betriebskonzept werden drei Fahrzeuge benötigt, welche Laufleistungen zwischen 350 km und 920 km haben. Dabei ist zu beachten, dass diese Schwankungen auf Taktverdichtungen zuruckzufuhren sind. Diese können in Abbildung 6-7 erkannt werden. Bei diesem Konzept kann relativ flexibel auf eine gesteigerte Nachfrage eingegangen werden. Es kann somit am Anfang ein verdichteter Stundentakt angeboten werden, welcher bei Bedarf auf einen durchgehenden Halbstundentakt verdichtet werden kann.

Vergleich der Betriebskonzepte

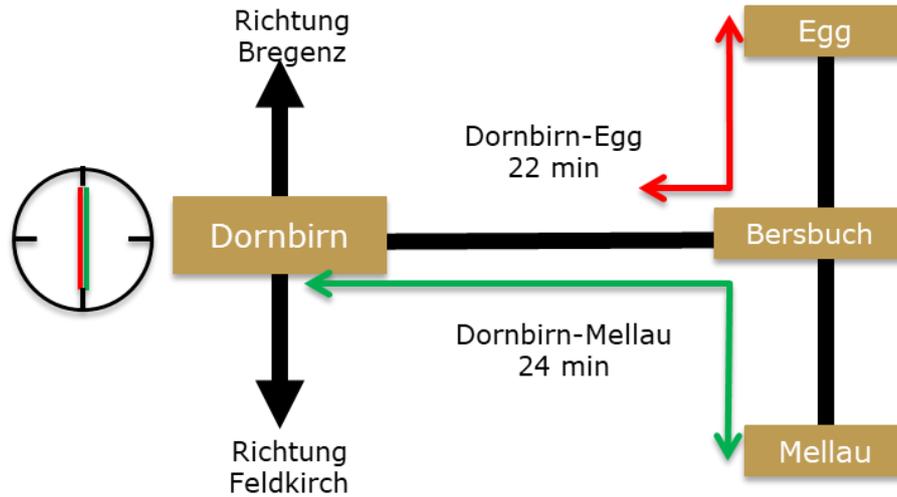


Abbildung 6-6: Schema BK 2

| Mo | FBS-FuL lizenziert für TU Graz TU Graz Bw: Est: | | | Umlaufplan Tfz. BR SiVT.CityjetÖBB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Stand: 17.08.2020 Fahrzeugbedarf: 3 Tfz. Laufleistung aller Fzg. pro Woche: 12.643,1 km mittl. Laufleistung pro Fzg. und Tag: 602,1 km | | |
|----------|--|---|---|---------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| 1 | | | | | | 7100 | 7104 | 7108 | 7112 | 7116 | 7118 | 7120 | 7122 | 7126 | 7130 | 7134 | 7138 | 7142 | 7146 | 7150 | 7152 | 7154 | 7156 | 7158 | 1 |
| So 1 | | | | | | XADO | MEL | XADO | Di 1 |
| XADO | | | | | | 2 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | XADO |
| 921,7 km | | | | | | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 921,7 km |
| 2 | | | | | | 7102 | 7106 | 7110 | 7114 | | | | 7124 | 7128 | 7132 | 7136 | 7140 | 7144 | 7148 | | | | | | 2 |
| So 2 | | | | | | XADO | MEL | XADO | Di 2 |
| XADO | | | | | | 32 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 32 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | 26 | 56 | XADO |
| 533,6 km | | | | | | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 533,6 km |
| 3 | | | | | | 7107 | 7107 | 7107 | 7107 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 7111 | 3 |
| So 3 | | | | | | XADO | MEL | XADO | Di 3 |
| XADO | | | | | | 18 | 2435 | 549 | 2435 | 549 | 2435 | 549 | 2439 | 18 | 2439 | 18 | 2439 | 18 | 2439 | 18 | 2439 | 18 | 2439 | 18 | XADO |
| 350,9 km | | | | | | 348 | 1163 | 348 | 1163 | 348 | 1163 | 33 | 348 | 1163 | 348 | 1163 | 348 | 1163 | 348 | 1163 | 33 | 348 | 1163 | 33 | 350,9 km |

Abbildung 6-7: Umlaufplan BK 2

In Abbildung 6-8 und Abbildung 6-9 sind die Bildfahrpläne zwischen Dornbirn und Egg beziehungsweise Dornbirn und Mellau abgebildet. Egg kann dabei nur durch Umsteigen erreicht werden. Die Fahrzeiten bei diesem Konzept inklusive Umsteigen betragen dabei 22 Minuten zwischen Dornbirn und Egg und 24 Minuten zwischen Dornbirn und Mellau.

Vergleich der Betriebskonzepte

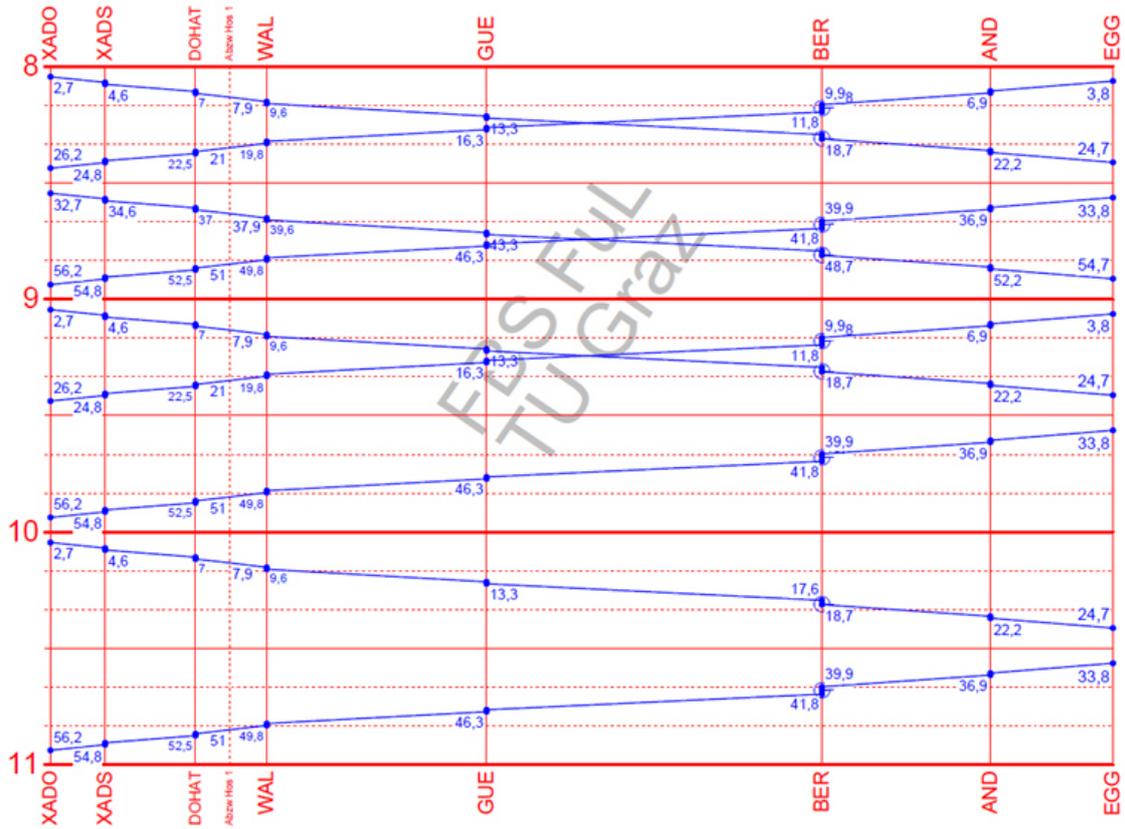


Abbildung 6-8: Dornbirn-Egg Bildfahrplan BK 2.1

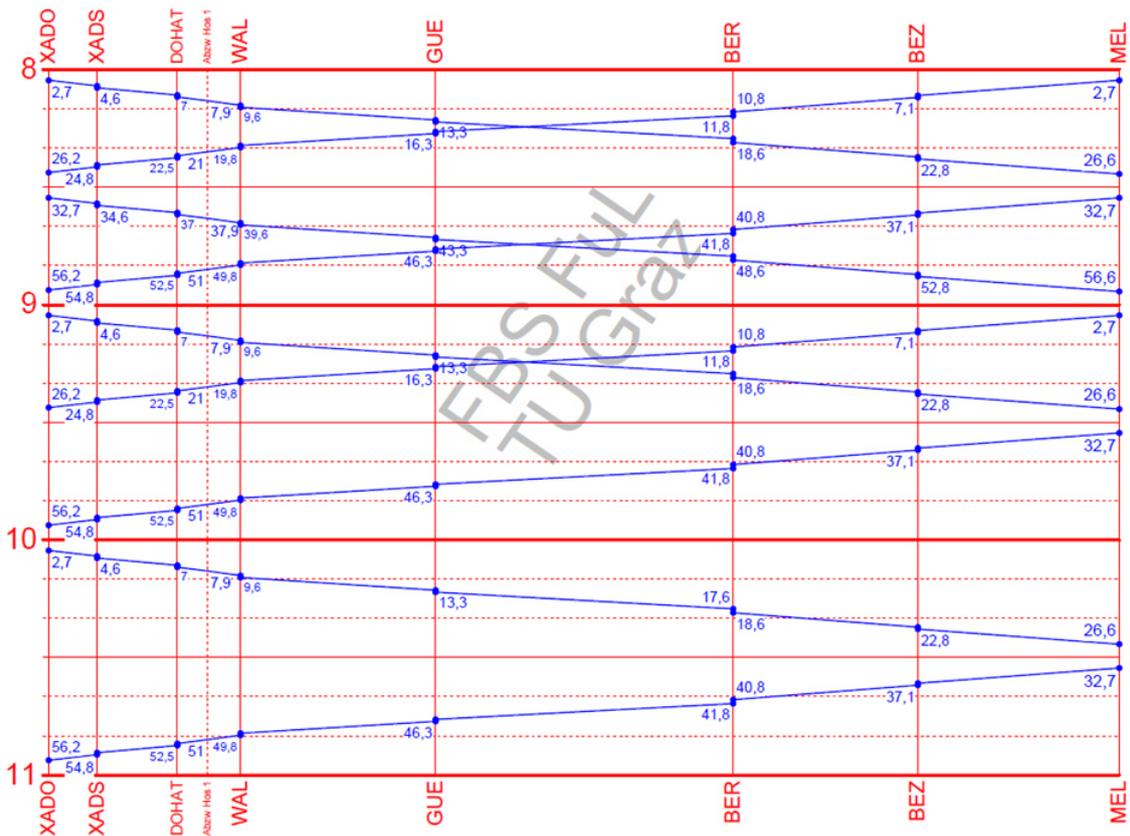


Abbildung 6-9: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 2.1

6.1.3 Betriebskonzept 2.2: Zugteilung in Bersbuch

Das dritte Betriebskonzept basiert auf einer Zugteilung beziehungsweise Flügelung in Bersbuch. Es ist prinzipiell wie das Betriebskonzept 2.1 aufgebaut, nur das bei diesem Konzept jeder Zug jeden Halt bedient. Zwischen Dornbirn und Bersbuch verkehrt eine Doppeltraktion, welche sich in Fahrtrichtung Bregenzer Wald in Bersbuch teilt und in Fahrtrichtung Dornbirn in Bersbuch wieder vereint wird. Das Schema ist in Abbildung 6-9 dargestellt, dabei stellt die rot/grün strichlierte Linie die Doppeltraktion dar. Wie auch im vorherigen Betriebskonzept kann hier jede halbe Stunde eine Fahrt zu allen Halten angeboten werden. Es kann auch bei diesem Konzept wiederum Anfangs ein verdichteter Stundentakt und im Weiteren ein durchgehender Halbstundentakt angeboten werden. Ein Vorteil dieses Konzeptes besteht darin, dass die Fahrgäste nie umsteigen müssen. Des Weiteren wird die Kapazität im Bereich zwischen Bersbuch und Dornbirn verdoppelt. Wie im Umlaufplan (siehe Abbildung 6-11) ersichtlich, werden für dieses Konzept vier Fahrzeuge benötigt, die Laufleistungen zwischen 470 und 920 km aufweisen. Auch bei diesem Betriebskonzept erklärt sich die Streuung der Laufleistung durch die Verstärker.

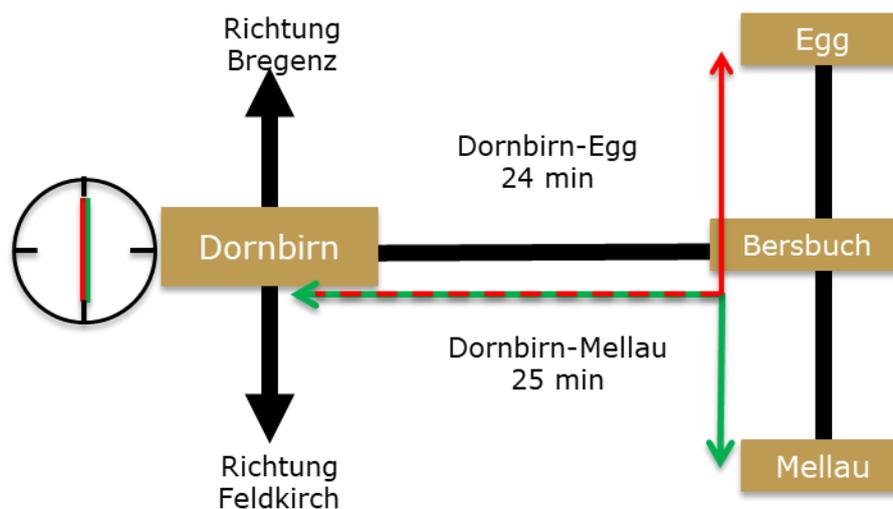


Abbildung 6-10: Schema BK 2.2

Vergleich der Betriebskonzepte

| Mo | FBS-FuL lizenziert für TU Graz TU Graz Bw: Est: | | Umlaufplan Tfz. BR SiVT.EMU-ML3 | | | | | | | | | | | | | | | | Stand: 17.08.2020 Fahrzeugbedarf: 4 Tfz. Laufleistung aller Fzg. pro Woche: 19.156,8 km mittl. Laufleistung pro Fzg. und Tag: 684,2 km | | | | | | |
|--------------|--|---|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| So 1 XADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 921,7 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| So 2 XADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 533,6 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| So 3 XADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 811,6 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| So 4 XADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 469,9 km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 6-11: Umlaufplan BK 2.1

In den Abbildung 6-12 und Abbildung 6-13 sind die Bildfahrpläne des Betriebskonzeptes dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die Fahrzeuge in Bersbuch einen längeren Aufenthalt haben. Dieser wird benötigt, um die Fahrzeuge zu flügel, d.h. diese zu trennen bzw. wieder zu verbinden. Bei der Fahrt von Dornbirn Richtung Bregenzer Wald fährt dabei das vordere Fahrzeug nach ca. 2 Minuten und 30 Sekunden in Richtung Mellau, um auf der längeren Strecke einen Zeitvorteil zu schaffen. Das zweite Fahrzeug fährt ca. 30 Sekunden nach dem ersten (nach ca. 3 Minuten) in Richtung Egg ab. Diese Zugfolgezeit wird ermöglicht in dem der erste Zug nach dem Ausfahren direkt auf den Ast Mellau fährt, und somit nach dem Umstellen der Weichen der Ast Egg frei ist. Bei der Fahrt aus dem Bregenzerwald Richtung Dornbirn fährt zuerst das Fahrzeug aus Egg in Bersbuch ein, das Fahrzeug aus Mellau fährt anschließend hinten auf dieses auf und wird angekoppelt. Durch die Koppel- und Trennvorgänge ist die Fahrzeit bei diesem Betriebskonzept am längsten und beträgt zwischen Egg und Dornbirn 24 Minuten und zwischen Mellau und Dornbirn 25 Minuten. Bei einer Automation dieses Betriebes könnte im Bereich des Koppeln und Trennens noch Zeit eingespart werden, wodurch wiederum kürzere Fahrzeiten erreicht werden können, siehe Kapitel 5.

Vergleich der Betriebskonzepte

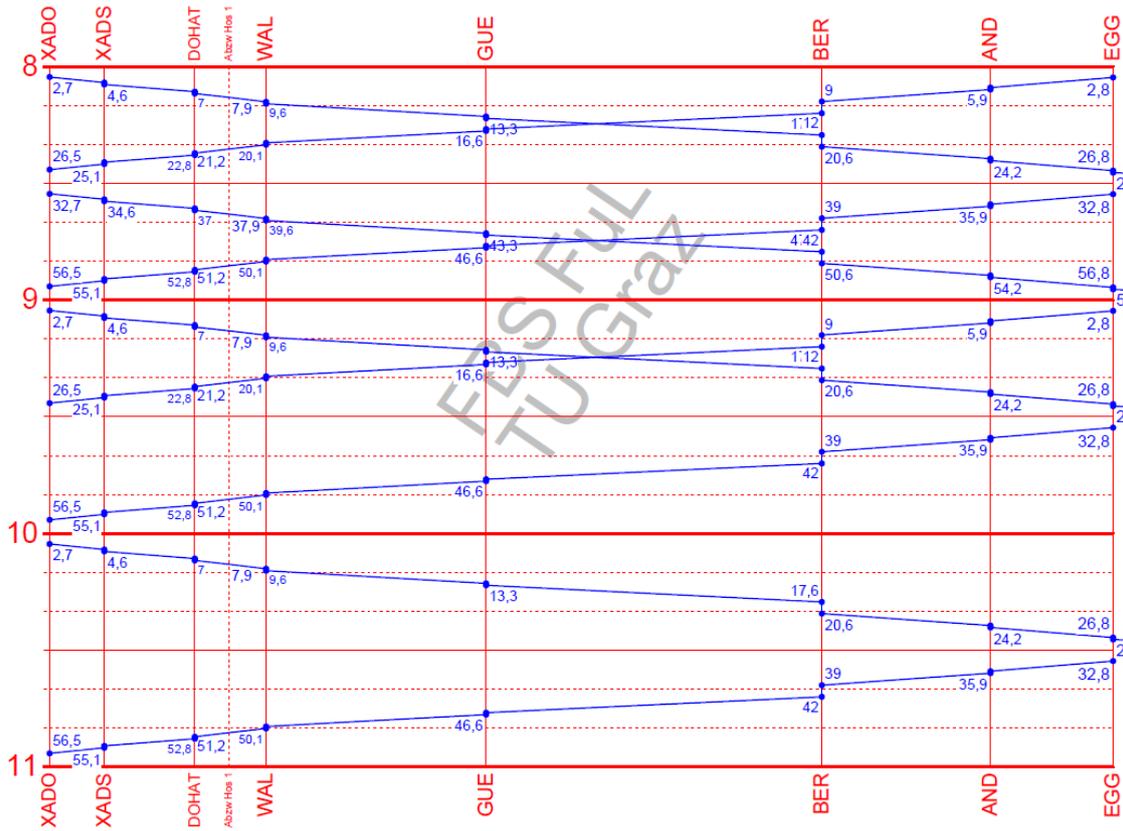


Abbildung 6-12: Dornbirn-Egg Bildfahrplan BK 2.2

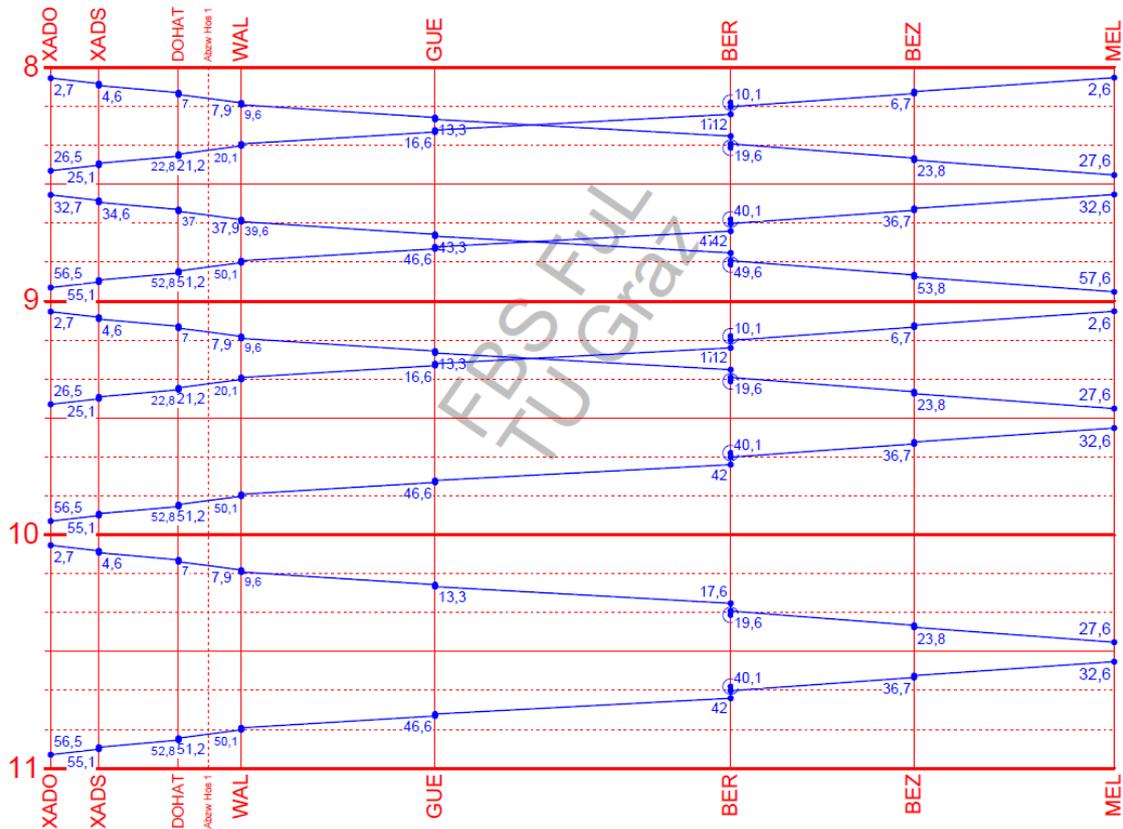


Abbildung 6-13: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 2.2

Abbildung 6-14: Umlaufplan BK4 in Kombination BK2

Bei diesem Betriebskonzept ist zu beachten, dass auf der Vorarlbergbahn und der ÖBB-Strecke Lauterach-St. Margrethen bereits S-Bahnbetrieb herrscht und es somit teilweise zu Konflikten mit dem bestehenden Zugverkehr kommen kann.

6.2.2 Betriebskonzept 4: Integration S-Bahn Vorarlberg

Dieses Betriebskonzept stellt die bestmögliche Vernetzung mit dem Vorarlberger S-Bahnnetz dar. Statt die Wälderbahn als isoliertes System zu sehen wird diese in das S-Bahnkonzept eingebunden. Da die klare Hauptrelation in Vorarlberg die S1 (Lindau-Bludenz) ist, bleibt diese als Linie bestehend. Die Wälderbahn könnte jedoch in ihrer Verlängerung nach St. Margrethen führen und somit die S3, welche aktuell zwischen St. Margrethen und Bregenz verkehrt, ersetzen. In diesem Fall wäre Bregenz von St. Margrethen nur noch über Dornbirn erreichbar. Bei diesem Konzept soll der Bahnhof Dornbirn als zentraler Umsteigebahnhof fungieren. Wie in der Einführung beschrieben, sollen auch hier die Taktzeiten zur vollen und zur halben Stunde sein, jedoch mit dem Unterschied, dass die bestehende S1 ebenfalls angepasst wird. Dies ist aufgrund ausreichender Reserven und der Tatsache, dass die Züge aktuell bereits annähernd zu dieser Zeit ankommen (Abfahrten um 29 und 30 (Fahrplan S1 2020[33])), ohne größere Schwierigkeiten möglich. Baulich wäre dafür ein neuer Bahnsteig in Dornbirn zu errichten (siehe Übersicht Bahnhof Dornbirn in Abbildung 6-15). Dabei stellen die blauen Balken die bestehenden Bahnsteige dar, der grüne Balken den neu zu errichtenden Bahnsteig, die schwarzen Linien die bestehende Gleisinfrastruktur und die orangenen Balken die Fahrzeuge mit ihren Start- und Zielbahnhöfen.

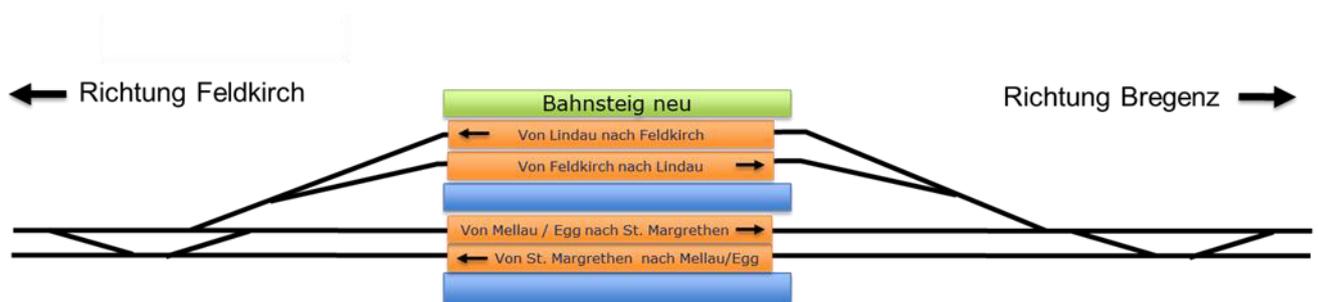


Abbildung 6-15: Übersicht Bahnhof Dornbirn bestehende Gleisanlagen

Dieses Betriebskonzept geht dabei von Paralleleinfahrten von beiden Richtungen aus, somit müsste je ein Zug auf dem Gegengleis einfahren. Dafür ist die Befahrbarkeit des Gegengleises Voraussetzung, diese ist jedoch laut VZG [6] möglich. Aus Richtung Feldkirch/Bregenzwald ist dies ohne größere Schwierigkeiten umzusetzen. Aus Richtung St. Margrethen/Bregenz müssen sich die Züge einmal kreuzen. Dies ist möglich, da auf der Kante Dornbirn St. Margrethen genügend Reservezeit vorhanden ist (siehe Abbildung 6-1). Somit

kann der Zug aus St. Margrethen kommend früher einfahren und in Richtung St. Margrethen fahrend dem Zug Richtung Bregenz Vorrang geben. Für dieses Betriebskonzept wird ein durchgehender Halbstundentakt angenommen, da dieser auf der S3 bereits vorhanden ist und es sonst zu einer Verschlechterung des Angebots führen würde. In Abbildung 6-16 ist die Linientaktkarte mit den Ankunfts- und Abfahrtszeiten dargestellt.

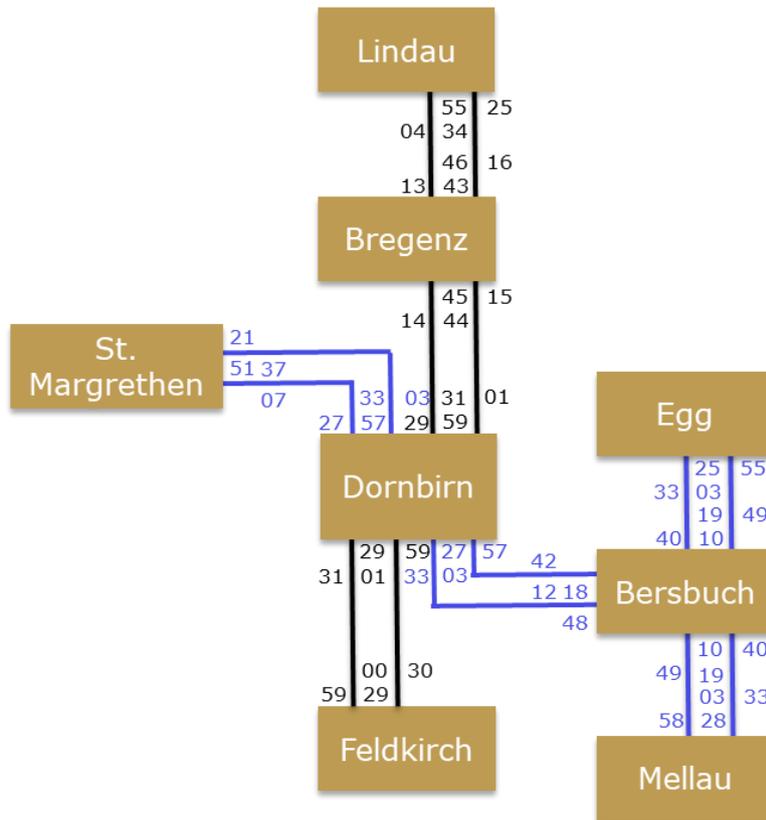


Abbildung 6-16: Linientaktkarte

Dabei ist die Wälderbahn in blau und die Linie S1 in schwarz dargestellt. Es ist zu sehen, dass in Dornbirn immer 4 Minuten vorhanden sind, um umzusteigen. Weiters kann die Kreuzung im Bahnhof Dornbirn erkannt werden. Diese Kreuzung und der Versuch die Linie S1 möglichst wenig zu verändern ist auch der Grund für die verschiedenen Ankunfts- und Abfahrtszeiten der beiden Linien.

6.3 Energiebedarf

Die Berechnung des Energiebedarfs erfolgt am Triebrod, somit hat der Wirkungsgrad des gewählten Antriebs keinen Einfluss auf die vorgenommenen Energieberechnungen. Aufgrund der Annahme, dass die Fahrzeuge in ihrem Luftwiderstand sowie mechanischen Widerständen ähnlich sind, wird der Energiebedarf vereinfacht einmal für OL-Triebwagen und einmal für Wasserstoff- und Akkutriebwagen gerechnet. Dabei wird die Annahme getroffen,

dass letztere 14 Tonnen schwerer sind als der OL-Triebwagen [11]. Das wird dadurch begründet, dass diese zusätzliche Akkus oder ein Paket aus Akkus, Brennstoffzelle und Wasserstofftank mit sich führen. Der Energiebedarf wird für die Betriebskonzepte 1-2.2 errechnet, da es sich bei den andern Betriebskonzepten um Erweiterungen dieser handelt. In einem ersten Schritt wird der Energiebedarf für die einzelnen Teilabschnitte berechnet. Anschließend werden diese Abschnitte passend zu den Betriebskonzepten zusammengesetzt. Eine Einteilung der Abschnitte sowie dem Energiebedarf, der von jedem Fahrzeug in diesem Abschnitt benötigt wird, ist in Tabelle 6-1 abgebildet. Das Einteilen in Abschnitte erfolgt aus dem Programm FBS - FUL heraus, welches die Energierechnung nur abschnittsweise durchführt. Weiters werden diese so gewählt, dass mit diesen einzelnen Abschnitten jedes Betriebskonzept nachgebildet werden kann. Bei den Werten mit Schrägstrich handelt es sich um Werte mit und ohne Doppeltraktion, welche für das Betriebskonzept 2.2 benötigt wurden.

Tabelle 6-1: Energiebedarf Abschnittsweise

| Werte in [kWh] | Oberleitung | Akku | Wasserstoff |
|---------------------------------|-------------|---------|-------------|
| Dornbirn - Wallenmahd | 62/125 | 65/130 | 65/130 |
| Wallenmahd - Dornbirn | 37/74 | 39/77 | 39/77 |
| Wallenmahd - Bersbuch | 225/436 | 234/445 | 234/445 |
| Bersbuch - Wallenmahd | 102/190 | 105/197 | 105/197 |
| Bersbuch - Egg | 37 | 40 | 40 |
| Egg - Bersbuch | 79 | 85 | 85 |
| Bersbuch - Mellau | 106 | 112 | 112 |
| Mellau - Bersbuch | 51 | 53 | 53 |
| Gesamtsummen je Relation | | | |
| Dornbirn - Bersbuch | 426/825 | 443/849 | 443/849 |
| Bersbuch - Egg | 116 | 125 | 125 |
| Bersbuch - Mellau | 157 | 165 | 165 |

Um eine Übersicht über den Energiebedarf der einzelnen Konzepte zu erhalten, werden diese in Tabelle 6-2 für die Oberleitung und in Tabelle 6-3 für die alternativen Antriebe dargestellt. In den Tabellen ist der Energiebedarf für die Nebenverkehrszeit pro Stunde sowie für die Hauptverkehrszeit pro Stunde für jedes Betriebskonzept zu sehen. Im Weiteren ist der Tagesbedarf an Energie je Betriebskonzept zu sehen.

Formel 6-1: Tagesenergiemenge

$$P_{Gesamt}[kWh] = P_{HVZ} \left[\frac{kWh}{h} \right] * t_{HVZ}[h] + P_{NVZ} \left[\frac{kWh}{h} \right] * t_{NVZ}[h]$$

P ... Energie

t ... Zeit

Dieser wurde durch die Energiemenge (siehe Formel 6-1), welche für eine Stunde Nebenverkehrszeit benötigt wird, mal den Stunden der Nebenverkehrszeit, plus der Energie für die Hauptverkehrszeit pro Stunde, mal den Stunden für die Hauptverkehrszeit. Bei der Wälderbahn wären dies 12 Stunden in der Hauptverkehrszeit und 7 Stunden in der Nebenverkehrszeit. Zur Berechnung der einzelnen Stunden für die Hauptverkehrszeit oder die

Nebenverkehrszeit werden die Werte aus Tabelle 6-1 passend zu der Anzahl an Zugfahrten addiert.

Tabelle 6-2: Energiebedarf Oberleitung

| Energiebedarf in [kWh] | BK 1.1 | BK 2.1 | BK 2.2 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| NVZ/h | 1.125 | 699 | 1.098 |
| HVZ/h | 1.125 | 1.398 | 2.196 |
| Tag | 21.375 | 21.669 | 34.038 |

Aufgrund der Annahme, dass bei Akkuhybrid und Wasserstofffahrzeugen ein ähnlicher Energiebedarf entsteht, haben diese auch die gleichen Ergebnisse und wurden somit in Tabelle 6-3 zusammengefasst. Hier soll betont werden, dass die Energiemenge für diese auf Annahmen von reduzierter Beschleunigung und erhöhtem Gewicht der Fahrzeuge entstehen und nicht wie das Oberleitungsfahrzeug auf einem konkreten Fahrzeug gerechnet wurde, es handelt sich also um Annäherungen. Als Annahme für das Vergleichsfahrzeug, wurde das Fahrzeuggewicht dabei um 14 t erhöht, dies entspricht in etwa dem Batteriegewicht des Cityjet Eco [11]. Diese Annahme kann in etwa auch für die Brennstoffzellenfahrzeuge verwendet werden, da diese etwa gleich schwer sind wie die Batterievariante [16]. Auch die Antriebsleistung ist ungefähr gleich und wurde mit der Hälfte des E-Triebwagen angenommen[23][16].

Tabelle 6-3: Energiebedarf Akku / Wasserstoff

| Energiebedarf | BK 1.1 | BK 2.1 | BK 2.2 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| NVZ/h [kWh] | 1.176 | 733 | 1.139 |
| HVZ/h [kWh] | 1.176 | 1.466 | 2.278 |
| Tag [kWh] | 22.344 | 22.723 | 35.309 |
| Gesamtleistung pro Tag [km] | 1642 | 1806 | 2736 |
| Energiebedarf pro Kilometer [kWh/km] | 13,6 | 12,6 | 12,9 |

Beim Vergleich der Antriebe ist erkennbar, dass die alternativen Antriebe aufgrund des erhöhten Gewichts einen minimal erhöhten Energiebedarf aufweisen. Die Verluste durch die anschließend eingebauten Antriebe fallen dabei deutlich höher aus. Während diese Verluste beim Oberleitungsfahrzeug rein aus denen des Elektromotors sind, kommen beim Akkuhybrid und beim Wasserstofffahrzeug zusätzliche Verluste durch Energiespeicherung in einem Akku, sowie beim Wasserstofffahrzeug noch zusätzlich die Umwandlungsverluste

von Wasserstoff in Elektrizität. Bei den Betriebskonzepten ist ein deutlicher Unterschied zwischen den ersten beiden (BK 1.1 und 2.1) und dem dritten Betriebskonzept (BK 2.2) zu sehen. Dies erklärt sich durch den Einsatz der Doppeltraktion, welche fast die doppelte Energiemenge benötigt, um von Dornbirn nach Bersbuch zu fahren. Beim Betriebskonzept 1 ist zu sehen, dass sich Hauptverkehrszeit und Nebenverkehrszeit in der Energiemenge nicht unterscheiden. Dies liegt an der Besonderheit bei diesem Konzept, dass die Fahrzeuge jeweils abwechselnd im Halbstundentakt nach Mellau beziehungsweise Egg fahren und es somit keine Verdichtung gibt.

7 Vergleich der Betriebskonzepte

Im folgenden Abschnitt werden die erarbeiteten Betriebskonzepte miteinander verglichen. Dies geschieht in zwei Schritten. Zuerst wird die Wälderbahn als isoliertes System betrachtet und die drei Basisbetriebskonzepte werden miteinander verglichen. Im zweiten Schritt werden dann die regional erweiterten Betriebssysteme verglichen. Auch wird ein Vergleich der Reisezeiten mit dem bestehenden ÖV dargestellt.

7.1 Vergleich der Basiskonzepte

In Tabelle 7-1 ist der Vergleich der Basisbetriebskonzepte dargestellt. Dabei wurde die Häufigkeit der Anbindungen, die Qualität der Verbindungen, die Sitzplatzkapazität sowie der Energiebedarf verglichen. Auf einen Vergleich der Fahrzeiten wurde verzichtet, da diese vor allem durch die Kantenzzeit geprägt sind, welche alle Betriebskonzepte erreichen. Zwischen den Betriebskonzepten ist der Unterschied der Fahrzeit nicht ausschlaggebend.

Tabelle 7-1: Vergleich Basiskonzepte

| | BK 1 Pendelbetrieb DO-Mel/Egg | BK 2.1 Pendelbetrieb DO-Mel; Bersbuch - Egg | BK 2.2 Flügeln in Bersbuch |
|---|--|--|---------------------------------------|
| Anzahl Triebwagen | 2 | 3 | 4 |
| Anbindung Bersbuch | Durchgängig 1/2h | 1h in HVZ 1/2h | 1h in HVZ 1/2h |
| Anbindung Egg/Mellau | Durchgängig 1h | 1h in HVZ 1/2h | 1h in HVZ 1/2h |
| Umsteigen in Bersbuch | Nein | Ja | Nein |
| Energiebedarf (im Vergleich der Konzepte) | Mittel | Mittel | Hoch |
| Kapazität (im Vergleich der Konzepte) | Mittel | Mittel | Hoch (zwischen Bersbuch-Egg) |

Die Anzahl der Triebwagen wurde aus den Umlaufplänen aus Kapitel 6 ermittelt. Es ist zu sehen, dass je Betriebskonzept unterschiedlich viele Fahrzeuge benötigt werden. Beim Betriebskonzept 1 wird mit zwei Wagen die geringste Anzahl an Fahrzeugen benötigt, beim Betriebskonzept 2.2 mit vier Fahrzeugen am meisten. Bei den Anbindungen sind Variante 2.1 und 2.2 gleichwertig, da diese in der Hauptverkehrszeit beide halbstündliche Verbindungen nach Egg und Mellau schaffen, in der Nebenverkehrszeit jeweils jede Stunde. Das Betriebskonzept 1 bietet durchgängig eine halbstündliche Verbindung nach Bersbuch und

Vergleich der Betriebskonzepte

eine stündliche nach Mellau beziehungsweise Egg. Bei den Betriebskonzepten 2.1 und 2.2 ist mit einer Wartezeit von circa 10 Minuten auch eine Verbindung zwischen Mellau und Egg möglich. Bei den Betriebskonzepten 1 und 2.2 muss nicht umgestiegen werden, beim Betriebskonzept 2.1 ist ein einmaliges Umsteigen in Bersbuch nötig, wenn man von oder nach Egg oder Andelsbuch möchte. Der Energiebedarf ist beim Betriebskonzept 2.2 deutlich höher als bei Betriebskonzept 1 und 2.1. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch bei der Kapazität, diese ist bei Betriebskonzept 2.2 durch die Doppeltraktion zwischen Bersbuch und Dornbirn erhöht.

Tabelle 7-2: Vergleich mit bestehendem ÖV und MIV

| Fahrzeit [min] | Intervall | Bahn | Bedienung | Bus | Bedienung | MIV |
|--|-----------|------|--------------------|-------|----------------|-----|
| BK 1 - Wechselnde Direktzüge | | | | | | |
| Bersbuch-Dornbirn | | 15 | 0,5 h | 38-41 | 0,5 h | 29 |
| Egg-Dornbirn | | 23 | 1 h | 27-29 | 0,5 h + Zusatz | 25 |
| Mellau-Dornbirn | | 23 | 1 h | 54-56 | 0,5 h | 36 |
| BK 2.1 - Pendelzug Dornbirn-Mellau / Bersbuch-Egg | | | | | | |
| Bersbuch-Dornbirn | | 15 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 38-41 | 0,5 h | 29 |
| Egg-Dornbirn | | 22 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 27-29 | 0,5 h + Zusatz | 25 |
| Mellau-Dornbirn | | 24 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 54-56 | 0,5 h | 36 |
| BK 2.2 - Zugteilung in Bersbuch | | | | | | |
| Bersbuch-Dornbirn | | 15 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 38-41 | 0,5 h | 29 |
| Egg-Dornbirn | | 24 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 27-29 | 0,5 h + Zusatz | 25 |
| Mellau-Dornbirn | | 25 | 0,5 h HVZ / 1h NVZ | 54-56 | 0,5 h | 36 |

In Tabelle 7-2 ist der Vergleich der Fahrzeit und Bedienhäufigkeiten der Wälderbahn mit dem bestehenden Busnetz beziehungsweise mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) zu sehen. Die Fahrzeiten und Intervalle für die Busse wurden aus dem Routenplaner des VVV [40] (Werktag 07:00) entnommen. Die Fahrzeiten für die PKW wurden aus dem Routenplaner von Google Maps [41] (Werktag 07:00) entnommen. Als Startort und wurde bei den PKW die ungefähre Lage der zukünftigen Haltestelle angenommen, bei den Bussen wurde jeweils eine Bushaltestelle in der Nähe der zukünftigen Haltestellen angenommen (Bersbuch Kreisverkehr / Egg Kirche / Mellau Zentrum). Als Ziel wurde der Bahnhof Dornbirn gewählt.

Bei den Fahrzeiten kann erkannt werden, dass die Wälderbahn auf allen Relationen schneller ist als die bestehenden Busse. Auch kann sie zumindest zur Stoßzeit am Morgen schnellere Verbindungen als der MIV bieten. Bei den Bedienhäufigkeiten ist mit den aktuellen Busverbindungen ein halbstündliches Intervall realisiert. In Egg ergibt sich eine Unregelmäßiger zusätzliche Bedienung, welche um ca. 20 Minuten versetzt kommt. Weiter kann

daraus geschlossen werden, dass das Betriebskonzept 1 zu einer verschlechterten Bedienungshäufigkeit führt, beziehungsweise von Bussen unterstützt werden müsste, da es an den Ästen Egg und Mellau nur eine stündliche Bedienung bietet. Bei den Betriebskonzepten 2.1 und 2.2 kann zumindest in der HVZ ein gleichwertiges Intervall angeboten werden.

Fazit ist, dass alle Betriebskonzepte Vor- und Nachteile haben. Es kann jedoch der Trend vom Betriebskonzept 1 über 2.1 bis 2.2 gesehen werden, da generell die Kosten steigen und dabei die Anschlusshäufigkeit und die Qualität der Reise (Umsteigen) steigt. Es kann festgehalten werden, dass alle Betriebskonzepte deutliche Verbesserungen der Reisezeit gegenüber Bus und PKW mit sich bringen. Bei den Anbindungshäufigkeiten könnte das Betriebskonzept 2.1 und 2.2 in der HVZ eine ähnliche Qualität liefern, das Betriebskonzept 1 jedoch eine schlechtere. Somit kann die Aussage getroffen werden, dass es sich beim Betriebskonzept 1 um eine „light“ Version der Wälderbahn handelt, das Betriebskonzept 2.1 bereits eine gute Anbindung bei verträglicher Aufwandsteigerung bieten und das Betriebskonzept 2.2 als Ausbaustufe für eine Nachfragesteigerung angesehen werden kann. Aufgrund der regelmäßigeren Verbindungen nach Egg und Mellau, wird Betriebskonzept 2.1 als Grundlage für die weiteren Analysen herangezogen.

7.2 Vergleich erweitert Betriebskonzepte

Dieses Kapitel vergleicht die erweiterten Betriebskonzepte mit dem in 7.1 ermittelten Basiskonzept. In Tabelle 7-3 ist der Vergleich abgebildet. Dabei wurde vorwiegend auf die Erreichbarkeiten und Verbindungshufigkeit der einzelnen Regionen geachtet.

Tabelle 7-3: Vergleich erweiterte Betriebskonzepte

| | BK 2.1 Nur Wälderbahn | BK3 Wochenendverkehr Nach Lindau/St. Margrethen | BK4 Verknüpfen mit S-Bahn |
|------------------------------------|----------------------------------|--|---|
| Triebwagen | 3 | 5 (3+2) | 5 (3+2) |
| Angebot | MO-SO | SA-SO | MO-SO |
| Anbindung Bersbuch | 1h in HVZ ½ h | Durchgängig ½ h | Durchgängig ½ h |
| Anbindung Egg/Mellau | 1h in HVZ ½ h | Durchgängig ½ h | Durchgängig ½ h |
| Anbindung St. Margrethen | - | Durchgängig 1 h | Durchgängig ½ h |
| Anbindung Lindau | (1h in HVZ ½ h) | Durchgängig 1 h | Durchgängig ½ h |
| Anbindung Feldkirch/Bludenz | (1h in HVZ ½ h) | - | Durchgängig ½ h |

Der erste Vergleichspunkt ist die Anzahl der benötigten Triebwagen. Dabei benötigt das Basiskonzept am wenigsten Fahrzeuge. Die Betriebskonzepte 4 und 5 benötigen jeweils fünf Fahrzeuge, wobei der in Klammer stehende Wert andeuten soll, dass zwei zusätzliche Fahrzeuge zum Basisbetriebskonzept benötigt werden. Dies ist vor allem beim Betreiben der Bahn mit alternativen Antrieben interessant, denn dann werden fünf Fahrzeuge benötigt. Im Fall, dass die Wälderbahn gesamt mit Oberleitung ausgestattet wird, könnten diese zusätzlichen Fahrzeuge des Betriebskonzeptes 5 auch von der bestehenden S3 (Bregenz-St. Margrethen) übernommen werden. Das Angebot zeigt die Wochentage, an denen diese Betriebskonzepte angeboten werden sollen. Dies ist bei Betriebskonzept 2.1 sowie Betriebskonzept 4 jeweils Montag bis Sonntag. Nur beim Betriebskonzept 3, welches vor allem als touristische Ergänzung für den Ski- und Wanderverkehr gedacht ist, ist dies nicht der Fall. Dieses soll nur am Wochenende gefahren werden und als Ergänzung des Basiskonzeptes, welches unter der Woche gefahren wird, dienen. Bei den Anbindungen kann erkannt werden, dass nur das Betriebskonzept 4 eine vollständige Anbindung aller relevanten Richtungen bietet. Bei dem Basisbetriebskonzept stehen die Anbindungen Richtung Lindau und Feldkirch beziehungsweise Bludenz in Klammer, da auch wenn die Wälderbahn

bestmöglich angepasst wird, ein Umstieg nicht sichergestellt werden kann, sofern nicht auch die S1 angepasst wird.

Als Ergebnis kann gesagt werden, dass eine Integration in die S-Bahn Vorarlberg viele Vorteile mit sich bringt und eine allgemein gute Vernetzung herstellt. Außerdem könnte diese Vernetzung in einem ersten Schritt auch nur soweit geschehen, dass die Fahrzeiten der S1 im Bereich um Dornbirn angepasst werden und so zumindest die Umsteigerelationen von und nach Lindau beziehungsweise Feldkirch/Bludenz sichergestellt werden. Dies ist auch ohne größere Kostenstellen, wie zusätzliche Fahrzeuge oder Bahnsteigumbau möglich und ist somit auf jeden Fall als Favorit zu sehen. Eine mögliche Liniennetzkarte ist in Abbildung 7-1 zu sehen. Dabei entsprechen alle Zeiten denen des Betriebskonzeptes 4, nur dass die Verbindung nach St. Margrethen fehlt. Somit könnte der vierte Bahnsteig eingespart werden. In Abbildung 7-1 ist ein verdichteter Stundentakt dargestellt, der verdichtete Takt ist strichliert dargestellt. Natürlich könnte genauso ein durchgehender Halbstundentakt gefahren werden.

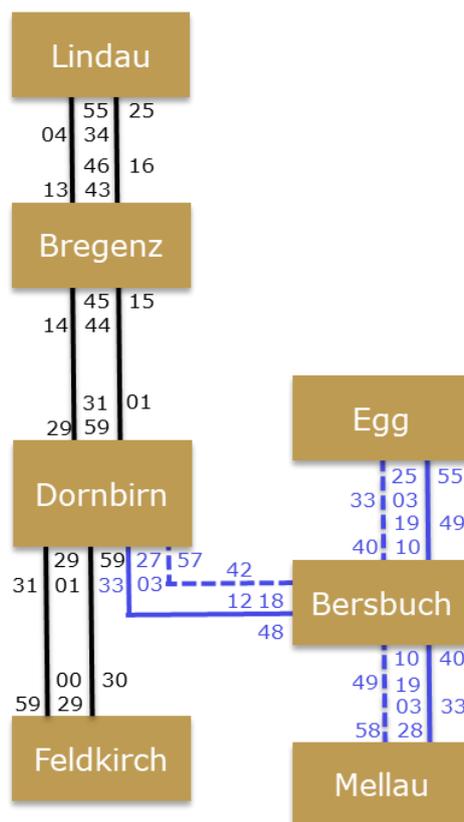


Abbildung 7-1: Liniennetzkarte BK 5 ohne St. Margrethen

Im Falle einer Elektrifizierung der Wälderbahn ist die Integration bis St. Margrethen jedenfalls gleichzusetzen, da dann ohne zusätzlich notwendige Fahrzeuge eine verbesserte Vernetzung hergestellt werden kann. Dies wäre möglich, da Fahrzeuge, welche aktuell auf der Linie S3 eingesetzt werden, dann auf der Wälderbahn eingesetzt werden können.

8 Synergien Infrastruktur

Im folgenden Kapitel werden mögliche Synergien beschrieben, welche mit dem Bau der Wälderbahn einhergehen könnten.

8.1.1 Entlastung des bestehenden Straßennetzes

Beim Bau der Wälderbahn kann durch Umlagerungen des MIV auf den gleisgebundenen ÖV damit gerechnet werden, dass dies die Straßen im Bregenzer Wald entlastet. Kapazitäten von Buslinien, die durch die Wälderbahn nicht mehr benötigt werden, können dann als zusätzliche Zubringer zur Wälderbahn eingesetzt werden. Somit verbessert sich der ÖV im Bregenzer Wald.

8.1.2 Ersparnis Umfahrungsstraßen

Durch den Bau der Wälderbahn besteht die Möglichkeit, Umfahrungsstraßen der einzelnen Gemeinden zu sparen, welche durch die meist schwierigen Verhältnisse technisch aufwändigen Bauwerke beinhalten. Aktuell sind dabei die Umfahrung für Orte Egg und Alberschwende im Mobilitätskonzept Vorarlberg 2019 [36] vorgesehen.

8.1.3 Anschluss Güterverkehr

Aufgrund der Trassierung ist es auch möglich, Güterzüge auf der Trasse der Wälderbahn zu führen. Dies führt zum Effekt, dass für Firmen, welche hohe Transportvolumen haben, die Möglichkeit besteht einen Bahnanschluss zu haben. Weiters können Bahnanschlüsse in der Zukunft auch die Ansiedlung größerer Betriebe fördern, und somit den Wirtschaftsstandort stärken. Mögliche Betriebe an der Strecke, welche dafür in Frage kommen wären:

- Kaufmann Bausysteme in Reuthe (Holzsystembau)
- Mayer-Melnhof Holz in Reuthe (Holzverarbeitung)
- Natter Rudolf GmbH&Co KG in Bezau (Holzverarbeitung)
- Kieswerk Andelsbuch GmbH & Co KG in Andelsbuch (Kieswerk)

Diese Betriebe liegen alle direkt an der Strecke und könnten mit kurzen Anschlussgleisen eine Anbindung erhalten

8.1.4 Wasserstoffherstellung

Beim Betrieb der Wälderbahn mit Wasserstoff stellt sich die Frage der Wasserstoffherzeugung, welche möglichst nahe der geplanten Trasse durchzuführen ist. Wasserstoff kann auf verschiedene Weisen hergestellt werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen,

dass der sogenannte grüne Wasserstoff [8] zum Einsatz kommt. Dieser wird mittels Elektrolyse aus Wasser produziert, dabei dürfen nur erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Dies ist die Voraussetzung, um als umweltgerechte Variante zu gelten. Beim Wasserstoffantrieb muss auch beachtet werden, dass sich die Herstellung entlang der Strecke oder sehr nahe zu dieser befindet, da sich ansonsten durch den Transport die Emissionen deutlich erhöhen. Weiters ist durch den Transport mit erhöhtem Verkehrsaufkommen zu rechnen, welches ebenfalls negativ zu beurteilen ist. Entlang der geplanten Trasse gibt es das Ausleitungskraftwerk Andelsbuch, welches eine sehr günstige Lage aufweist. Das Kraftwerk besitzt eine Engpassleitung von 15,1 MW [9] und ist im Besitz der Vorarlberger Kraftwerke AG. Somit könnte der Wasserstoff ohne lange Transportwege und Umbauten im Energieversorgungsnetz hergestellt werden. Weiters wird eine Fläche für die Wasserstoffherstellung und Speicherung benötigt. Der Wirkungsgrad bei der Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse ist mit den sogenannten Hochleistungs-Elektrolyseur bis zu ca. 90% Wirkungsgrad [8][18] möglich, der Schnitt liegt jedoch bei ca. 60%[18][17]. Für die Speicherung des Wasserstoffes muss dieser zuerst verdichtet werden, dabei ist mit einem weiteren Verlust von ca. 12%[19], also im Umkehrschluss einem Wirkungsgrad von ca. 88%, zu rechnen. Bei der Speicherung des Wasserstoffes ist der Verlust heutzutage vernachlässigbar[19]. Im Gesamten kann somit von einem Wirkungsgrad von ca. 53% ($=60\% \cdot 88\%$) ausgegangen werden.

8.1.5 Radtunnel

Für den Tunnel Staufen (zwischen Gütle und Bersbuch) wird ein Rettungsstollen benötigt. Dieser Rettungsstollen könnte zu einem Radtunnel ausgebaut werden. Aufgrund der für Eisenbahn üblichen Längsneigungen wäre dieser für Radfahrer attraktiv nutzbar. Aufgrund der langen Tunnellänge müsste dieser jedoch möglichst hell und attraktiv gestaltet werden. Auch muss beachtet werden, dass diese zweite Röhre auch zur Unterbringung der Signaltechnik verwendet und diese neben der Verringerung des Platzbedarfs auch gegen Vandalismus geschützt werden müsste. Weiters ist dieser Streckenabschnitt aufgrund des Kreuzungspunktes zweigleisig ausgeführt. Daher müsste entweder ein zweigleisiger Bahntunnel oder eine 3. Tunnelröhre errichtet werden, was vor allem im Fall der 3. Röhre zu erheblichen Kosten führt und daher als unwahrscheinlich einzustufen ist.

9 Vergleich der Antriebe

In diesem Abschnitt werden die Antriebskonzepte verglichen und eine Empfehlung für ein Antriebssystem für die Wälderbahn gegeben. Ähnlich wie bei den Betriebskonzepten wird dies auch bei den Antrieben in zwei Schritten ausgeführt. Zuerst werden die Antriebe systematisch verglichen, um eine generelle Eignung festzuhalten. Im zweiten Schritt wird ein Reihungsvergleich mit verschiedenen gewichteten Kriterien durchgeführt.

9.1 Grundlegender Vergleich

In Tabelle 9-1 ist der systematische Vergleich zwischen den Antriebssystemen dargestellt. Der Vergleich wurde in für die Wälderbahn bedeutsamen Aspekten gewählt. Dabei wurde auf umweltbedingte und betriebliche Aspekte geachtet. Beim Vergleich soll ein grüner Haken wiedergeben, dass der Aspekt gut erfüllt werden kann. Ein gelber Kreis bedeutet, es kann unter Bedingungen erfüllt werden und ein rotes Kreuz wiederum bedeutet, der Aspekt kann nur ungenügend bis kaum erfüllt werden.

Tabelle 9-1: Aufbau des systematischen Vergleichs am Beispiel der Antriebe

| | Oberleitung | Akku | H2 |
|-----------------------|-------------|------|-----|
| Reichweite | ✓ | ✓ | ✓ ○ |
| Topografie | ✓ | ✓ ○ | ✗ |
| Fahrzeit | ✓ | ✓ | ✓ |
| Landschaftsbild | ✗ | ✓ | ✓ |
| Fahrzeuge Integration | ✓ | ✓ | ✗ ○ |

I Reichweite:

Die erforderliche Reichweite kann bei allen Antriebssystemen abgedeckt werden. Beim Oberleitungsfahrzeug ist diese aufgrund der Oberleitung unbegrenzt. Die Akkutriebwagen haben ebenfalls eine ausreichende Reichweite, wenn diese nur auf der freien Strecke im Bregenzerwald im Akkumodus fahren. Die Wasserstofffahrzeuge kommen je nach Betriebszyklus an ihre Grenze ihrer Lauflängen, jedoch reichen auch hier die Reichweiten aus.

I Topografie:

Das Oberleitungsfahrzeug hat aufgrund der Versorgung über die Oberleitung keine Probleme mit den umfangreichen Abschnitten mit hoher Längsneigung der Wälderbahn. Beim Akkuhybrid ist zu berücksichtigen, dass die steilsten und längsten

Passagen im Tunnel mit Oberleitung ausgestattet wären und somit genügend Leistung vorhanden ist. Dennoch sind auch auf der freien Strecke Teilstücke mit größeren Neigungen, in welchen sich die geringe Leistungsfähigkeit des Akkufahrzeugs bemerkbar macht. Beim Wasserstofffahrzeug gilt, dass diese nur begrenzte Energiemengen aus Batterie und Brennstoffzelle ziehen kann und somit nicht auf die gleichen Leistungskennwerte kommt, wie in flachen Streckenabschnitten. Weiters sind die Batteriekapazitäten bei Wasserstofffahrzeugen deutlich geringer als bei Akkufahrzeugen. Somit kann bei längerer Abwärtsfahrt durch die Tunnel eventuell nicht die ganze zurückgewonnene Energie gespeichert werden.

I Fahrzeit:

Alle drei Fahrzeuge können die geforderte Kantenzzeit einhalten. Dabei ist zu beachten, dass dies beim Wasserstofffahrzeug eventuell nur mit zusätzlichen Brennstoffzellen möglich ist, um genügend Leistung zu erbringen.

I Landschaftsbild:

Da für den Wasserstoffantrieb keine Oberleitung erforderlich ist und auch beim Akkutrriebwagen diese nicht störend im Tunnel und Steinbruchgelände vorhanden ist, erfüllen beide den Punkt Landschaftsschutz gänzlich. Bei der Variante mit Oberleitung ist dies nicht gegeben.

I Fahrzeugintegration:

Ein großer Vorteil von Oberleitungsfahrzeugen ist die Austauschbarkeit derer, da solche bereits zu einer Vielzahl im Netz in Vorarlberg und Österreich im Einsatz sind. Somit ist ein Austausch von defekten Fahrzeugen aus dem benachbarten Netz leicht möglich. Damit müssen nicht so viel Ersatzfahrzeuge bereitgestellt werden. Akkuhybridfahrzeugen können zwar ohne Probleme im restlichen Netz verkehren, jedoch ist es nicht möglich, dass Fahrzeuge aus dem restlichen Netz auf der Wälderbahn fahren können. Somit müssen auf jeden Fall Reservefahrzeuge bereitgehalten werden. Diese können jedoch auch im restlichen Netz eingesetzt werden. Die Wasserstofffahrzeuge können ebenfalls im gesamten Netz eingesetzt werden, da sie keine Oberleitung benötigen, jedoch sind sie bei der Reichweite begrenzt und benötigen eine entsprechende Tankstelleninfrastruktur. Darüber hinaus ist ein Einsatz der Wasserstofffahrzeuge aufgrund des schlechteren Wirkungsgrades gegenüber der Oberleitungsfahrzeuge lediglich auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten sinnvoll. Weiters können auch bei diesem Antriebssystem keine fremden Züge auf der Strecke der Wälderbahn eingesetzt werden.

Aus diesem ersten Vergleich ist ersichtlich, dass Akkuhybridantriebe und der klassische E-Antrieb mit Oberleitung wesentliche Punkte auf der Strecke der Wälderbahn erfüllen. Im Bereich des Wasserstoffantriebs zeichnen sich Schwierigkeiten ab, welche jedoch technisch lösbar wären. In einem weiteren Vergleich soll nun eine Reihung erstellt werden, um eine Empfehlung des Antriebssystems geben zu können.

9.2 Reihungsvergleich

Beim Reihungsvergleich wird eine relative Reihung der Antriebsarten ermittelt, es werden keine absoluten Werte, wie zum Beispiel Fahrzeugkosten in Euro, verglichen. Weiters werden vier Kategorien (Kosten, Betrieb, Umwelt, Sonstige) mit dementsprechenden Unterkategorien verglichen. Dabei werden die Kategorien und Unterkategorien verschieden gewichtet. Beim Vergleich wird jeweils eine Reihung der Antriebsmöglichkeiten von eins bis drei durchgeführt, wobei eins den besten und drei den schlechtesten Rang darstellt. Bei ähnlichem Abschneiden wurden gleiche Ränge vergeben. In den Tabelle 9-2 bis Tabelle 9-5 sind nun die einzelnen Kategorien mit deren Unterkategorien als auch den entsprechenden Gewichtungen dargestellt.

Tabelle 9-2: Reihungsvergleich Kategorie Kosten

| | Kosten | Oberleitung | Wasserstoff | Akku |
|------------|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 20% | Infrastruktur Anschaffung | 3 | 2 | 1 |
| 30% | Infrastruktur laufend | 2 | 1 | 2 |
| 20% | Fahrzeug Anschaffung | 1 | 2 | 2 |
| 30% | Fahrzeug laufend (Wartung) | 1 | 3 | 2 |
| | ZW | 1,7 | 2 | 1,8 |

Tabelle 9-2 stellt den Vergleich der Kategorie Kosten dar. Dabei wurden die Anschaffungskosten als auch die laufenden Kosten von Infrastruktur und Antrieb verglichen. So ist bei der Anschaffung das Akkufahrzeug am günstigsten, da es nur in den Tunneln und im Bereich Wallenmahd eine Oberleitung benötigt. Das Wasserstofffahrzeug ist auf dem zweiten Platz, da eine Tankstelle errichtet werden muss. An dritter Stelle liegt die Oberleitung, da hier auf der gesamten Strecke eine Oberleitung errichtet werden muss, was mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Bei den laufenden Infrastrukturkosten ergibt sich ein ähnliches Bild. Da bei den Antrieben mit Akkuhybrid und Oberleitung erhöhter Wartungsaufwand besteht, belegen diese den zweiten Rang, der Wasserstoffantrieb den ersten Rang. Bei den Fahrzeugkosten dreht sich die Reihung. Da die Oberleitungsfahrzeuge in großer Anzahl und Serie verkauft werden, sind diese bei der Anschaffung deutlich günstiger als die Pendants mit alternativen Antrieben [21]. Auch haben die Oberleitungsfahrzeuge keine zusätzliche Technik, wie Batterien, Brennstoffzelle oder Wasserstofftank, an Bord. Zusätzlich sind bei den laufenden Fahrzeugkosten die Oberleitungsfahrzeuge günstiger, da diese bereits erprobt sind und weniger störungsanfällige Technik aufweisen. Der Akkuhybridantrieb belegt hier den zweiten Platz, da der Aufbau grundlegend einem Oberleitungszug entspricht, jedoch noch ein Akku zusätzlich vorhanden ist, was erhöhten Wartungsaufwand mit sich bringen kann. Der Wasserstoffantrieb belegt den dritten Platz. Dies ist damit begründet, dass es sich um eine relativ neue Technik handelt, bei der es mit großer Wahr-

Vergleich der Antriebe

scheinlichkeit anfangs noch vermehrt zu Störungen kommt, welche sich in den Wartungskosten niederschlagen. Die Gewichtung der einzelnen Unterkategorien erfolgt aufgrund der Überlegung, dass laufende Kosten höher zu bewerten sind als Anschaffungskosten, welche Einmalkosten sind. Somit ist die Aufteilung mit je 20% Anschaffungskosten und je 30% bei den laufenden Kosten festgelegt. In dieser Kategorie wird die Variante Oberleitung geringfügig besser bewertet als die Variante mit Akku, dies kann jedoch als gleichwertig gedeutet werden. Der Wasserstoff liegt hier leicht hinten.

In Tabelle 9-3 ist der Vergleich der betrieblichen Eigenschaften dargestellt. Wie auch bei den Kosten werden die Antriebe in verschiedene Unterkategorien miteinander verglichen. Die erste Unterkategorie sind die Ausfallzeiten, welche durch verschiedene Ursachen wie Tanken, Wartungen oder Störungen zu Stande kommen. Bei dieser Unterkategorie liegt das Oberleitungssystem vor den alternativen Antrieben. Dies ist damit begründet, dass das Wasserstofffahrzeug zusätzliche Zeit zum Tanken benötigt. Weiters sind Wasserstoff und Akkuantrieb neue Antriebskonzepte, welche damit gerade anfangs störungsanfälliger sind. Der nächste Punkt ist die Personenkapazität, welche beschreibt, wieviel Fahrgäste in einem Fahrzeug Platz finden. Dabei schnitten alle Antriebe gleich ab [10], da bei allen Antriebsvarianten die Technik unterhalb und oberhalb des Fahrgastraumes installiert wird. Weiters wird noch die Fahrplanstabilität bewertet, bei welcher verglichen wird, wie viel Reserven in den einzelnen Antriebssystemen noch vorhanden sind. Dabei liegt der Wasserstoff hinter dem Akkuantrieb und der Oberleitung. Dies ist damit begründet, dass der Wasserstoffantrieb bei der Wälderbahn im Vergleich zu den beiden anderen Systemen an die Grenzen (Reichweite/Beschleunigung) kommt. Als letztes wird noch die Fahrzeit verglichen, bei welcher als Kriterium gilt, ob die Kantenzzeit auf den jeweiligen Ästen eingehalten und somit in den bewerteten Betriebskonzepten gefahren werden kann. Da dies bei allen Antrieben möglich ist werden alle gleich bewertet.

Tabelle 9-3: Vergleich Kategorie Betrieb

| Betrieb | | Oberleitung | Wasserstoff | Akku |
|------------|---------------------------------------|-------------|-------------|------------|
| 30% | Ausfallzeiten (Tanken Warten Störung) | 1 | 3 | 2 |
| 20% | Kapazität (Fahrgastvolumen) | 1 | 1 | 1 |
| 20% | Fahrplanstabilität | 1 | 3 | 2 |
| 30% | Fahrzeit (Dornbirn- Mellau/Egg) | 2 | 2 | 2 |
| | ZW | 1,3 | 2,3 | 1,8 |

Die Gewichtung der einzelnen Unterkategorien beruht darauf, dass die Fahrzeit sowie die Ausfallzeiten wichtige Bestandteile einer erfolgreichen Betriebsführung sind, daher wurden diese mit je 30% gewichtet. Die Kapazität spielt im Fall der Wälderbahn eine untergeordnete Rolle, zudem kann dies mit Doppeltraktion leichter behoben werden. Die Fahrplanstabilität ist ebenfalls ein essentieller Bestandteil, jedoch nicht so wichtig wie die ersten beiden

Vergleich der Antriebe

Kategorien. Daher wird die Fahrplanstabilität und die Kapazität mit je 20% gewichtet. Beim Betrieb zeigt sich eine deutliche Reihung zwischen den Antrieben mit der Oberleitungsvariante an erster Stelle, gefolgt von Akku und Wasserstoff.

Die nächste Kategorie, die verglichen wird, ist die Umwelt, welche in Tabelle 9-4 aufgelistet ist. Dabei wird als erstes der emittierte Lärm bewertet, bei welchem alle Antriebssysteme sehr gut abschneiden, da sie keine wesentlichen Motorgeräusche haben [21]. Im Weiteren wird der Flächenverbrauch bewertet, der durch die Infrastruktur benötigt wird. Dabei liegt der Akkuantrieb vor der Oberleitung und dem Wasserstoff. Dies ist damit begründet, dass beim Wasserstoff ein geeigneter Standort gefunden werden muss, um diesen herzustellen. Bei der Elektrifizierung der gesamten Wälderbahn wiederum müssen zusätzliche Unterwerke errichtet werden, um genügend Energie zu Versorgung sicherzustellen. Als nächstes wird der Landschaftsschutz verglichen. Dabei schneiden Akkuantrieb und Wasserstoff gleich gut ab, da sie keine beziehungsweise nur in den Tunneln Oberleitung benötigen. Die Oberleitungsvariante wirkt deutlich stärker auf das Landschaftsbild ein, daher belegt diese den dritten Platz. Im letzten Schritt werden noch die Ressourcen verglichen, welche zum Herstellen des Fahrzeuges, beziehungsweise als Verbrauchsmittel benötigt werden. Bei den Fahrzeugen liegt hier die Oberleitung vor dem Wasserstoff und dem Akkuantrieb. Dies wird damit begründet das zusätzlich zu den Elektromotoren beim Akkufahrzeug zusätzlich Akkus und beim Wasserstofffahrzeug zusätzlich Brennstoffzellen und Akkus benötigt werden. Dabei benötigen Akkus und Brennstoffzellen deutlich mehr Ressourcen als ein Elektromotor. Bei den betrieblichen Ressourcen wird der Wirkungsgrad verglichen, welcher vorliegt bis die Energie beim Antrieb vorliegt. Dabei liegt die Variante mit der Oberleitung ganz vorne, gefolgt vom Akkuantrieb, welcher aufgrund der Zwischenspeicherung beim Wirkungsgrad etwas einbüßt. Auf dem letzten Rang liegt hier der Wasserstoffantrieb, der auf Basis heutiger Technologien einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad als die erst genannten Antriebe besitzt. Hier ist nochmals zu verdeutlichen, dass von grünem Wasserstoff ausgegangen wird, welcher durch Elektrolyse von Wasser gewonnen wird. Bei allen Antrieben wird davon ausgegangen, dass Strom aus erneuerbarer Energie verwendet wird. [21]

Tabelle 9-4: Reihungsvergleich Kategorie Umwelt

| Umwelt | | Oberleitung | Wasserstoff | Akku |
|------------|--|-------------|-------------|------------|
| 10% | Lärm | 1 | 1 | 1 |
| 10% | Flächenverbrauch | 2 | 3 | 1 |
| 30% | Landschaftsschutz | 3 | 1 | 1 |
| 20% | Ressourcen Fahrzeug (Herstellung Fahrzeug) | 1 | 2 | 2 |
| 30% | Ressourcen Betrieb (Betriebsmittel) (Wirkungsgrad) | 1 | 3 | 2 |
| | ZW | 1,7 | 2 | 1,5 |

Vergleich der Antriebe

In der Kategorie Umwelt liegt die Gewichtung vor allem auf den Themen betriebliche Ressourcen und Landschaftsschutz mit je 30 Prozentpunkten und dem Ressourcenverbrauch der Fahrzeugherstellung mit 20 %. Die Unterkategorien Lärm und Flächenverbrauch fließen mit je 10 % ein. Die Reihung stellt den Akkuantrieb hier an erster Stelle gefolgt vom Oberleitungsantrieb und Wasserstoff.

Als letzter Vergleichsfaktor wird noch die Kategorie Sonstiges miteinbezogen, welche Themen abbildet, die nicht zu den vorherigen Kategorien passen, dennoch erwähnenswert sind. Der Vergleich ist in Tabelle 9-5 dargestellt. Das erste dieser Themen ist die Akzeptanz in der Bevölkerung beziehungsweise das Image. Dabei wurde verglichen, wie gut die Antriebe von der Bevölkerung angenommen werden. Hier liegt der Akkuantrieb vor dem Wasserstoff und der Oberleitung. Dies ist damit zu begründen, dass sich ein Teil der Bevölkerung von Oberleitungen gestört fühlt. Beim Wasserstoff ist bei einem Teil der Bevölkerung die Befürchtung vorhanden, dass diese Technik hochexplosiv und gefährlich ist [20]. Als nächstes wird das Thema der Umsetzbarkeit bewertet. Dabei liegen die Oberleitung und der Akkutriebwagen vor dem Wasserstoff. Dies wird dadurch begründet, dass die Umsetzung und der Bau einer Elektrolysestation im Bregenzerwald nur beim Kraftwerk Andelsbuch umzusetzen wäre. Somit könnte das Kraftwerk weniger Energie in das Netz einspeisen. Als nächstes werden die Wiederverwertbarkeit, beziehungsweise Recyclingfähigkeit bewertet. Dabei liegt die Oberleitung vor dem Akkuantrieb und dem Wasserstoffantrieb [21]. Dies ist damit begründet, dass beim Akkuantrieb die Akkus und beim Wasserstoff noch zusätzlich die Brennstoffzelle enthalten sind, welche teilweise Probleme beim Recyceln ergeben könnten. Als letztes wurde die Förderbarkeit verglichen. Diese beschreibt wie gut ein einzelnes Antriebssystem durch Zuschüsse von Staat, der EU oder sonstigen Programmen gefördert werden kann. Dabei liegt der Wasserstoff vor Oberleitung und Akkuantrieb, wobei bei allen Förderungsmöglichkeiten bestehen.

Tabelle 9-5: Reihungsvergleich Kategorie Sonstige

| Sonstige | | Oberleitung | Wasserstoff | Akku |
|------------|-----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| 25% | Annehmbarkeit Bevölkerung (Image) | 2 | 2 | 1 |
| 25% | Umsetzbarkeit (Machbarkeit) | 1 | 3 | 1 |
| 25% | Life Cycle (Wiederverwertbarkeit) | 1 | 3 | 2 |
| 25% | Förderbarkeit | 2 | 1 | 2 |
| ZW | | 1,5 | 2,25 | 1,5 |

Die Gewichtung wurde bei diesem Themenblock gleichmäßig mit je 25% gewählt. Die Reihung ist in diesem Fall nicht eindeutig, dabei liegen die Variante mit Oberleitung und die Variante mit Akku gleichauf. Der Wasserstoffantrieb liegt deutlich dahinter.

Im letzten Schritt werden nun die Ergebnisse der vier beschriebenen Kategorien mit verschiedenen Gewichtungen zu einem Endergebnis zusammengefasst. Dies ist die Grundlage für die Empfehlung eines Antriebssystems für die Wälderbahn. Dabei wird hier nochmals darauf aufmerksam gemacht, dass dieser Vergleich zum jetzigen Stand der Technik durchgeführt wurde. Durch Entwicklungen können sich Reihungen in den einzelnen Kategorien in Zukunft auch ändern, was jedoch kaum erfassbar ist. Vor allem im Bereich des Wasserstoffantriebes und der Akkutechnologie ist in näherer Zukunft noch mit weitreichenden Entwicklungen und Fortschritten zu rechnen. In Tabelle 9-6 ist das Endergebnis des Vergleiches erkennbar.

Tabelle 9-6: Reihungsvergleich Ergebnisse

| Kategorie | Gewichtung | Oberleitung | Wasserstoff | Akku |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Kosten | 40% | 1,7 | 2 | 1,8 |
| Betrieb | 30% | 1,3 | 2,3 | 1,8 |
| Umwelt | 20% | 1,7 | 2 | 1,5 |
| Sonstige | 10% | 1,5 | 2,25 | 1,5 |
| Gesamtwertung: | | 1,6 | 2,1 | 1,7 |

Beim Vergleich der vier Kategorien wird die Gewichtung wie folgt gewählt. Der Kategorie Kosten wird 40 % und der Kategorie Betrieb wird 30% zugeteilt, da dies die zwei wichtigsten Punkte sind, um eine Umsetzung überhaupt zu ermöglichen. Der Kategorie Umwelt wird 20 % zugeteilt und der Kategorie Sonstige 10%, da diese Themen jedenfalls zu beachten sind, jedoch in der Wichtigkeit nicht die oberste Priorität haben. Somit ergibt sich eine Reihung mit Oberleitung an erster Stelle, gefolgt von der Akkuvariante und an letzter Stelle der Wasserstoffantrieb. Jedoch liegen die Varianten mit Oberleitung und Akku sehr dicht beieinander. Dies ist auch fast durchgehend in den einzelnen Unterkategorien zu beobachten. Eindeutig hingegen ist der Abstand des Wasserstoffantriebes, welcher meist den letzten Rang belegt, und daher ausgeschieden werden kann.

Die Empfehlung der Antriebssysteme kann daher nicht eindeutig erfolgen, jedoch liegt bei aktuellem Stand die Elektrifizierung mit Oberleitung an erster Stelle. Würde das Thema Umwelt mehr gewichtet werden würde könnte sich die Reihung zwischen Akkuhybrid und Oberleitungsfahrzeug jedoch wieder ändern. Weiter kann jedoch auch festgehalten werden, dass ab einem Halbstundenintervall eine Elektrifizierung als sinnvoll erachtet werden kann.[21]

10 Zusammenfassung

10.1 Erkenntnisse

In dieser Arbeit wurde die bestehende Trasse aus der bestehenden Trassenstudie [1] überarbeitet und an die aktuellen Gegebenheiten, durch Bebauung und Betrieb angepasst. Dabei wurde die Trasse vor allem im Bereich Bersbuch-Bezau (Tunnel) angepasst, sowie die Haltestellenlagen in Egg und Mellau. Im Bereich Gütle-Bersbuch wurde ein zweites Gleis eingefügt, um Zugkreuzungen zu ermöglichen. Weiters wurde wo möglich die zulässige Geschwindigkeit auf 100 km/h erhöht, um die Fahrzeiten zu verkürzen. In einem nächsten Schritt wurden drei Basisbetriebskonzepte zur Erschließung des Bregenzerwaldes aus Dornbirn entwickelt (siehe Abbildung 10-1). Diese wurden verglichen und eine Empfehlung erarbeitet, welche eine Entwicklung dieser Betriebskonzepte vorsieht. Bei diesen Basisbetriebskonzepten wurde ebenfalls der Energiebedarf an den Antriebsrädern ermittelt, welcher benötigt wird, um diese zu betreiben.

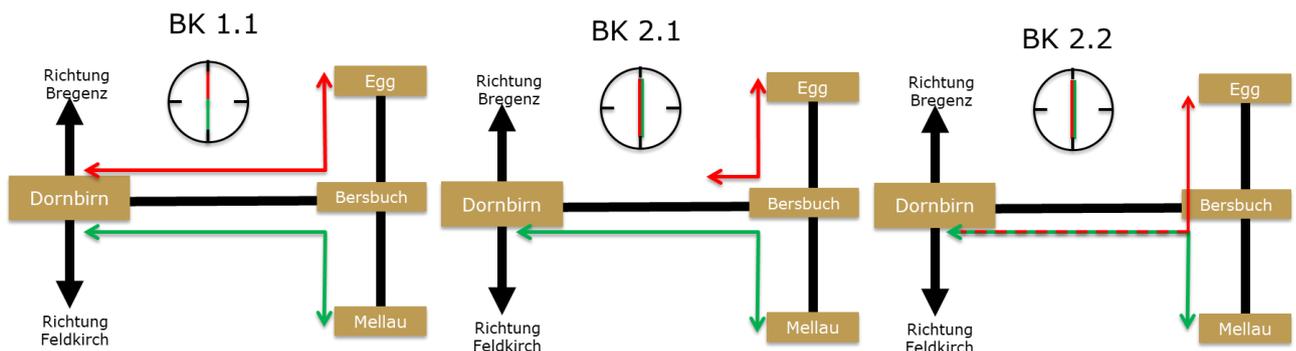


Abbildung 10-1: Basisbetriebskonzepte

In einem weiteren Schritt wurden noch regionale Betriebskonzepte entwickelt und verglichen, welche bessere Verbindungen ins Rheintal und das grenznahe Ausland (St. Margrethen und Lindau) schaffen. Dabei wird empfohlen die Integration in die S-Bahn Vorarlberg umzusetzen, um bestmögliche Verbindungen zu schaffen.

Neben der Erstellung der Betriebskonzepte wurden auch die Voraussetzungen für autonomes Fahren untersucht und dargestellt. Dabei wurden Vor- und Nachteile einer möglichen Automatisierung, beziehungsweise Teilautomatisierung genannt. Weiters wurden die alternativen Antriebstechnologien Wasserstoff und Akkuhybrid beschrieben, unter den spezifischen Randbedingungen analysiert und anschließend mit einem herkömmlichen Elektroantrieb mit Oberleitung gegenübergestellt. Daraus wurde eine Reihung der Antriebe für die Wälderbahn erarbeitet, und somit eine Empfehlung eines Antriebssystems gegeben. Welche vorsieht die Wälderbahn mit Oberleitungsfahrzeugen oder Akkuhybridfahrzeugen zu betreiben (Siehe Kapitel 9.2).

10.2 Ausblick

Im Weiteren ist zu überlegen, wie eine Ausführung, als auch eine Finanzierung der Wälderbahn realisiert werden könnte. Es ist empfehlenswert, dass eine passende Betreiber-gesellschaft gefunden wird, welche Bau sowie Betrieb der Wälderbahn leitet. Im Zuge der nächsten Überarbeitung des Flächenwidmungsplans sollte das Trassenband reserviert werden, um einen Verbau der aktuellen Trasse zu verhindern. Weiters sollte geprüft werden, inwiefern ein Ausbau des bestehenden Bahnnetzes auf ETCS Level 2 möglich ist, um eine mögliche Automatisierung zu vereinfachen. Dies ist insbesondere interessant, da dies auf längere Sicht auch generell für grenzüberschreitende Verkehre Vorteile mit sich bringen würde.

Auf jeden Fall sollten die Entwicklungen im Bereich der alternativen Antriebe weiterverfolgt werden, da bei diesen noch weiteres Potential besteht.

Aus trassierungstechnischer Sicht wäre weiter zu untersuchen, wie eine Trasse Richtung Bizau, Schnepfau, Schoppernau, bis nach Mittelberg ins Kleinwalsertal geplant werden könnte. Ein grober Vorschlag für eine mögliche Trassenführung ist in Abbildung 10-2 ersichtlich. Dabei stellt der in Magenta eingefärbte Bereich einen möglichen Korridor und die schwarze Linie einen groben möglichen Verlauf für diese Trasse dar. Auch kann eine weitere Verbindung ins deutsche Oberstdorf angedacht werden. Bei der Verwirklichung dieser Trasse wäre das Kleine Walsertal erstmalig ganzjährig über eine Verkehrsverbindung direkt an die Republik Österreich angeschlossen.

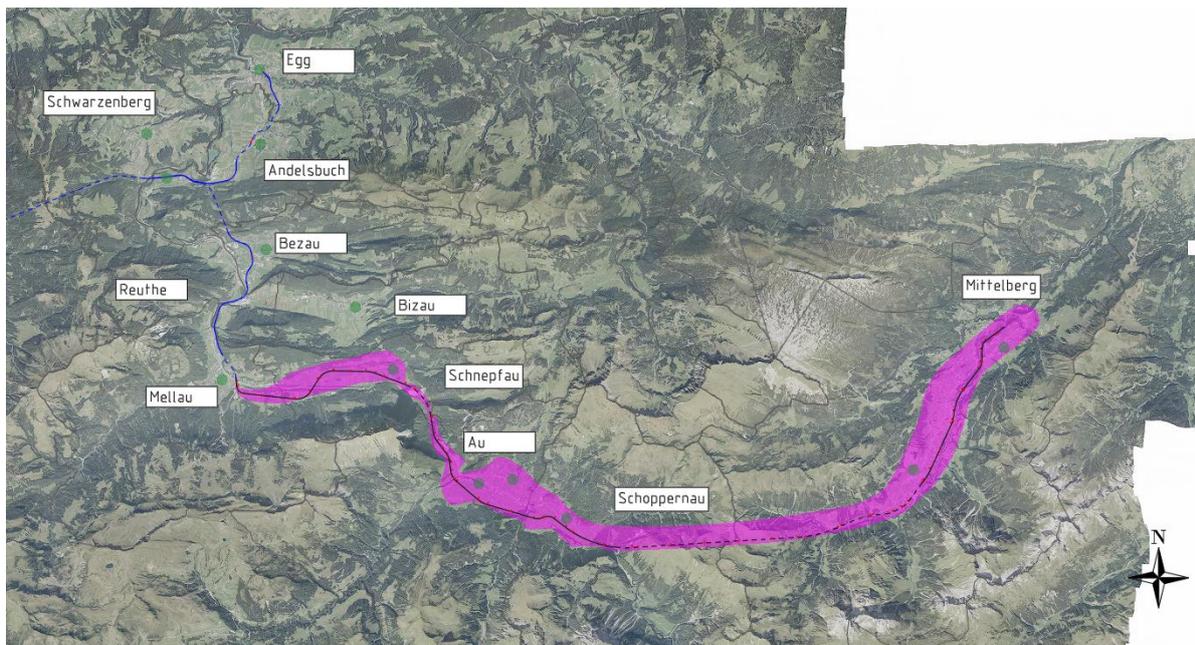


Abbildung 10-2: Korridor Trasse Mittelberg

Zusammenfassung

Weiters könnten durch eine Südschleife im Bereich Wallenmahd, (siehe Abbildung 10-3) auch Verbindungen Richtung Feldkirch, beziehungsweise Richtung Arlbergbahn oder Lichtenstein angeboten werden.

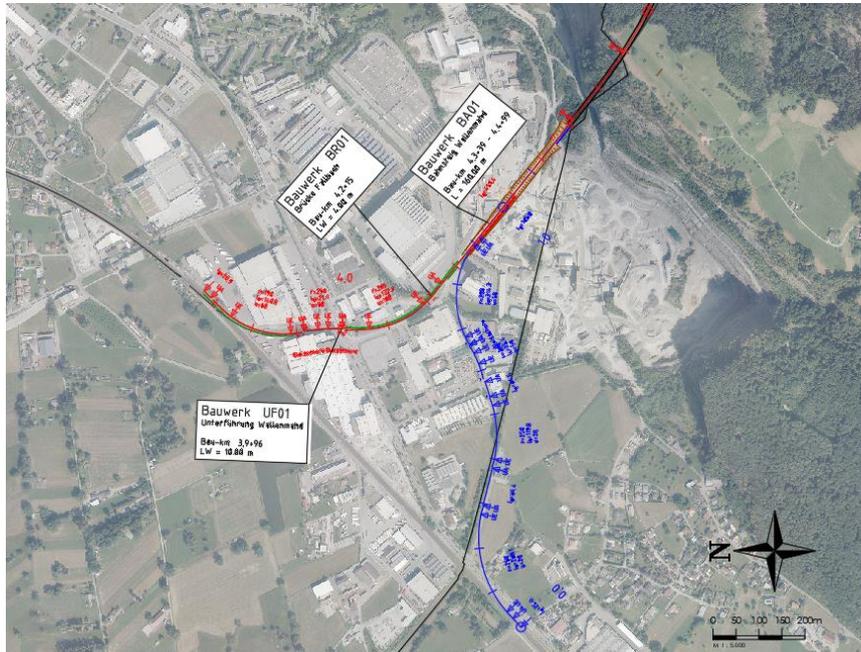


Abbildung 10-3: Südschluss Wallenmahd

Insgesamt könnte die Wälderbahn eine erhebliche Verbesserung im Nahverkehr des Brengener Wald herbeiführen und eine Verkehrsverlagerung im von diesem bis ins Unteren Rheintal ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Martin Wakolbinger: Trassenstudie Dornbirn-Bregenser Wald, Masterarbeit, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft TU Graz, 13.03.2018*
- [2] *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: DGM Höhenschichtlinien 5m Äquidistanz*
- [3] *Vorarlberg-Geodaten-Luftbilder-Luftbild2018, <https://vogis.cnv.at/geodaten/>, entnommen 20.12.2019*
- [4] *Vorarlberg-Geodaten, <https://vogis.cnv.at/geodaten/>, entnommen 20.12.2019*
- [5] *ÖBB Infrastruktur AG: Linienführung von Gleisen Regelwerk 01 03 Entwerfen von Bahnanlagen, Stand 02.09.2016*
- [6] *ÖBB Infrastruktur AG: VzG-Grafik-Ausdrucke aller VzG-Strecken der ÖBB-Infrastruktur für den Zwischenfahrplan ab 09.12.2018*
- [7] *Hamburg: HVV Fahrplan, <https://www.hamburg.de/hvv-fahrplan/>, entnommen am 01.08.2020*
- [8] *BMBF: Meldungen, <https://www.bmbf.de/de/wissenswertes-zu-gruenem-wasserstoff-11763.html>, entnommen am 26.07.2020*
- [9] *Illwerke/VKW: Kraftwerke - Andelsbuch, <https://www.illwerkekvw.at/kw-andelsbuch.html>, entnommen am 26.07.2020*
- [10] *Siemens Mobility: Fahrzeuge - Mireo, <https://www.vde.com/resource/blob/1852598/c2571af79d83e8e395d99a9fd89d2da9/3-3-steinbauer--siemens-mobility-brennstoffzelle-data.pdf>, entnommen am 26.07.2020*
- [11] *Futurezone: B2B, <https://futurezone.at/b2b/14-tonnen-akku-statt-diesel-oebb-testen-oeko-zug-ab-2019/400114013>, entnommen am 26.07.2020*
- [12] *Stadler Rail: Fahrzeuge - Flirt, <https://www.stadlerrail.com/de/produkte/detail-all/flirt160/13/>, entnommen am 24.08.2020*
- [13] *Handelsblatt: Bahnindustrie, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/bahnindustrie-batterie-elektro-wasserstoff-alstom-bietet-jetzt-das-komplette-zugsortiment/25507866.html?ticket=ST-1558504-XFprmj7Tqzu-zhYtPpWM-ap4>, entnommen am 24.08.2020*

- [14] ÖBB: Neuigkeiten, <https://www.oebb.at/de/neuigkeiten/cityjet-eco>, entnommen am 24.08.2020
- [15] EVB: Fahrzeuge, https://www.evb-elbe-weser.de/fileadmin/user/Bahn_Bus/PDF/Fahrzeuge/info_ilint-alstom.pdf, entnommen am 26.07.2020
- [16] Dr. Wolfgang Klebsch / Patrick Heiningler / Jonas Martin: Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV Einschätzung der systemischen Potenziale, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.24. Mai 2019
- [17] Hydrogeit: Wissen, <http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.html>, entnommen am 26.07.2020
- [18] Pro Physik: Nachrichten, <https://www.pro-physik.de/nachrichten/strom-zu-wasserstoff-und-wieder-zurueck>, entnommen am 26.07.2020
- [19] Peter Kurzweil/ Otto K. Dietlmeier: Elektrochemische Speicher, Springer Vieweg, Amberg, Juli 2018
- [20] Gerd Stegmaier: Die Wahrheit über die Brennstoffzelle, Motor Presse, Stuttgart GmbH & Co.KG ,30.06.2020
- [21] Dr. Wolfgang Klebsch/Nina Guckes/Patrick Heiningler: Studie Bewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Praxis-Beispiel >Netz Düren<, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V, Juni 2020
- [22] Zillertalbahn: Aktuelles, <https://www.zillertalbahn.at/page.cfm?vpath=aktuell/aktuelles&genericpageid=2456>, entnommen am 29.07.2020
- [23] *Standard: Wirtschaft - Verkehr und Kosten*, <https://www.derstandard.at/story/2000109792438/zillertalbahn-will-als-wasserstoff-pionier-durchstarten>, entnommen am 29.07.2020
- [24] *Kurier: Wirtschaft*, <https://kurier.at/wirtschaft/wasserstoff-statt-diesel-lokalbahnen-steigen-um/400612208>, entnommen am 29.07.2020
- [25] *Zillertalbahn: News Archiv*, <https://www.zillertalbahn.at/data.cfm?vpath=wartbare-inhalte/ma-downloadfiles/quelle-etr-juni-2018-nr-6-wwweureilpresse-etr>, entnommen am 29.07.2020
- [26] Smart Rail 4.0: Downloadcenter, <https://www.smartrail40.ch/download/ATOPiloteJanuar.pdf>, entnommen am 03.08.2020

- [27] Smart Rail 4.0: Downloadcenter, <https://www.smartrail40.ch/download/ATOBasis.pdf>, entnommen am 03.08.2020
- [28] Allianz pro Schiene: Themen, <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/autonomes-fahren-auf-der-schiene/>, entnommen am 03.08.2020
- [29] Siemens Mobility: Portfolio, https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/bahnautomatisierung/zugbeeinflussung/european-train-control-system.html?stc=wwmo205530&s_kwid=AL!462!3!372653282598!p!!g!!etcs&ef_id=EAJaIQobChMI_7rZxI2J6wIVUztCh022QTFEAYASAAEgKF7fD_BwE:G:s, entnommen am 07.08.2020
- [30] Eurailpress: Automatisierung, https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/SD_6-2018_Tasler_Knollmann.pdf, entnommen am 08.08.2020
- [31] DB: Presseinformation Zentral, https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Deutsche-Bahn-und-Siemens-entwickeln-digitalisierten-Betrieb-bei-der-S-Bahn-Hamburg--3183666, S-Bahn Hamburg
- [32] ÖBBInfrastruktur: Schienennetz, <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/gsm-r-funk/dokument?datei=Ausbauplan.pdf>, entnommen am 07.08.2020
- [33] V-Mobil: Fahrplan, <https://www.vmobil.at/sites/default/files/2019-12/s1.pdf>, entnommen am 10.08.2020
- [34] DB: Bauprojekte, <https://bauprojekte.deutschebahn.com/p/knoten-lindau>, entnommen am 05.08.2020
- [35] ÖBB Infrastruktur: Projekte, <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/arlbergstrecke-innsbruck-bregenz/ausbau-st-margrethen-lauterach/rund-um-den-bau>, entnommen am 05.08.2020
- [36] Rosinak&Partner ZT GmbH, Mobilitätskonzept Vorarlberg 2019, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Juli 2019
- [37] EMCEL: Frage des Monats, <https://emcel.com/de/werkstatt-fuer-brennstoffzellenfahrzeug/>, entnommen am 22.08.2020
- [38] Wälderbähnle: Fahrplan und preise, <https://waelderbaehnle.at/fahrplanbetriebspreise-2020>, entnommen 22.08.2020

- [39] Bundesamt für Verkehr Schweiz: Themen A-Z- ETCS, <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/themen-a-z/zugbeeinflussung/etcs.html>, entnommen am 22.08.2020
- [40] VVV: Routen, <https://www.vmobil.at/routen>, entnommen am 26.08.2020
- [41] Google: Maps – Route, <https://www.google.at/maps/dir///@47.4059612,9.7723089,12.53z>, entnommen am 26.08.2020

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1-1 Konzeptablauf | 4 |
| Abbildung 3-1 Übersicht Trasse | 8 |
| Abbildung 3-2: Trassierung Bereich Wallenmahd | 10 |
| Abbildung 3-3 Haltestelle Gütle | 11 |
| Abbildung 3-4 Bahnhof Bersbuch | 12 |
| Abbildung 3-5 Haltestelle Bezau | 13 |
| Abbildung 3-6: Bahnhof Mellau..... | 14 |
| Abbildung 3-7: Übersicht Andelsbuch | 15 |
| Abbildung 3-8: Bahnhof Egg | 16 |
| Abbildung 4-1: ÖBB City Jet Eco im Betrieb ohne Oberleitung Quelle: ÖBB[14] | 19 |
| Abbildung 5-1: Stufen der Automation (Quelle: Smartrail [27])..... | 20 |
| Abbildung 5-2: ATO-Schema (Quelle: eurailpress [30]) | 21 |
| Abbildung 6-1: Kantenzeiten..... | 25 |
| Abbildung 6-2: Schema Betriebskonzept 1..... | 26 |
| Abbildung 6-3: Umlaufplan BK 1..... | 27 |
| Abbildung 6-4: Bildfahrplan Dornbirn-Egg BK 1 | 27 |
| Abbildung 6-5: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 1 | 28 |
| Abbildung 6-6: Schema BK 2 | 29 |
| Abbildung 6-7: Umlaufplan BK 2..... | 29 |
| Abbildung 6-8: Dornbirn-Egg Bildfahrplan BK 2.1 | 30 |
| Abbildung 6-9: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 2.1..... | 30 |
| Abbildung 6-10: Schema BK 2.2..... | 31 |
| Abbildung 6-11: Umlaufplan BK 2.1 | 32 |
| Abbildung 6-12: Dornbirn-Egg Bildfahrplan BK 2.2..... | 33 |
| Abbildung 6-13: Dornbirn-Mellau Bildfahrplan BK 2.2 | 33 |
| Abbildung 6-14: Umlaufplan BK4 in Kombination BK2 | 35 |
| Abbildung 6-15: Übersicht Bahnhof Dornbirn bestehende Gleisanlagen..... | 35 |
| Abbildung 6-16: Linientaktkarte | 36 |
| Abbildung 7-1: Liniennetzkarte BK 5 ohne St. Margrethen | 45 |
| Abbildung 10-1: Basisbetriebskonzepte | 55 |
| Abbildung 10-2: Korridor Trasse Mittelberg | 56 |
| Abbildung 10-3: Südanchluss Wallenmahd | 57 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 5-1: Vor und Nachteile autonomes Fahren | 24 |
| Tabelle 6-1: Energiebedarf Abschnittsweise | 38 |
| Tabelle 6-2: Energiebedarf Oberleitung | 39 |
| Tabelle 6-3: Energiebedarf Akku / Wasserstoff | 39 |
| Tabelle 7-1: Vergleich Basiskonzepte | 41 |
| Tabelle 7-2: Vergleich mit bestehendem ÖV und MIV | 42 |
| Tabelle 7-3: Vergleich erweiterte Betriebskonzepte | 44 |
| Tabelle 9-1: Aufbau des systematischen Vergleichs am Beispiel der Antriebe | 48 |
| Tabelle 9-2: Reihungsvergleich Kategorie Kosten..... | 50 |
| Tabelle 9-3: Vergleich Kategorie Betrieb..... | 51 |
| Tabelle 9-4: Reihungsvergleich Kategorie Umwelt..... | 52 |
| Tabelle 9-5: Reihungsvergleich Kategorie Sonstige | 53 |
| Tabelle 9-6: Reihungsvergleich Ergebnisse | 54 |

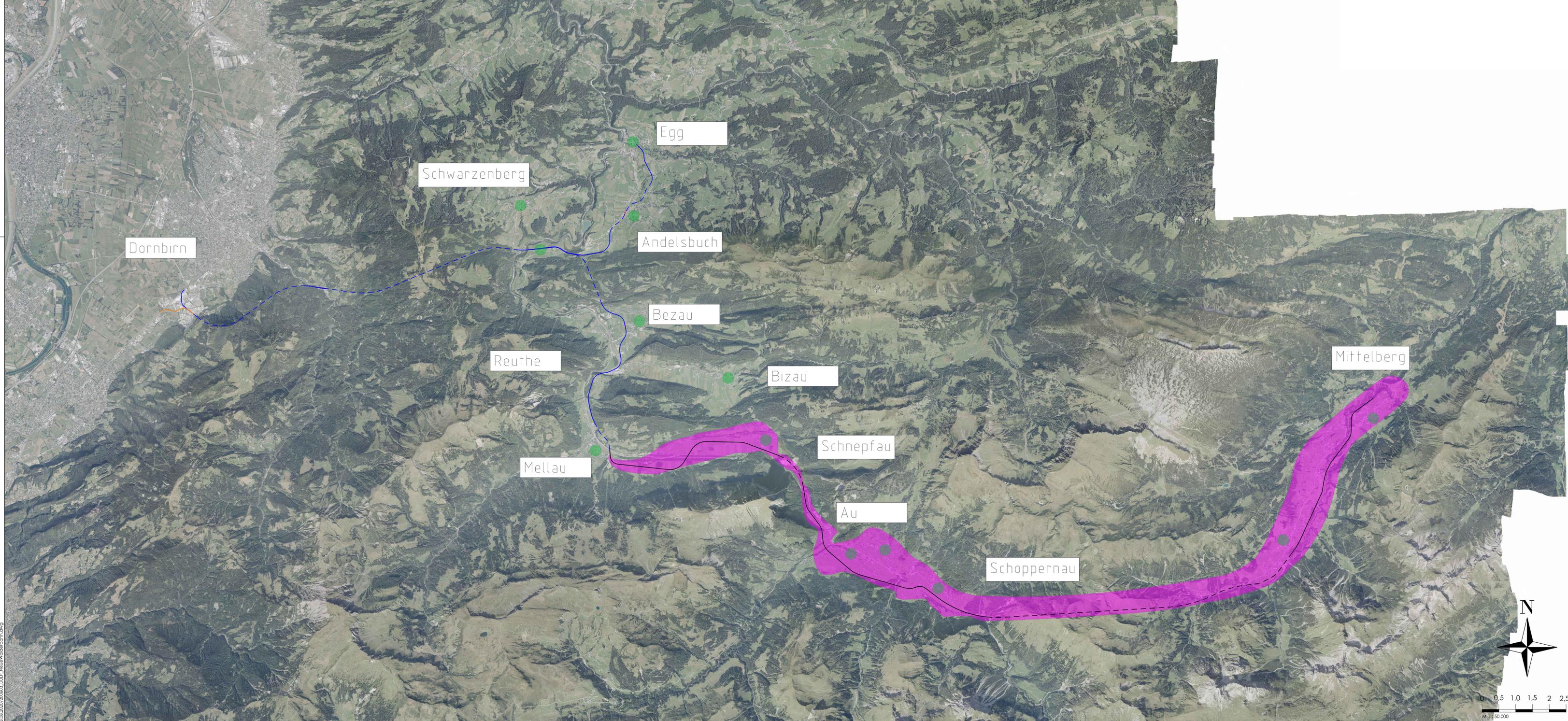
Anhang

| Einlage | Inhalt | Plannummer | Maßstab | Datei |
|-----------|--------------------------------|------------|---------|-----------------------------------|
| 1 | Übersichtlageplan | 1 | 1:50000 | 200828_UULP_NeueWalderbahn.dwg |
| 2 | Lageplan | 2 | 1:25000 | 200828_ULP_NeueWalderbahn.dwg |
| 3 | Lageplan Dornbirn-Bersbuch | 3.1 | 1:10000 | 200828_LP_LS_NeueWalderbahn.dwg |
| 4 | Lageplan Egg-Bersbuch-Mellau | 3.2 | 1:10000 | 200828_LP_LS_NeueWalderbahn.dwg |
| 5 | Langenschnitt Dornbirn-Egg | 4.1 | 1:10000 | 200828_LP_LS_NeueWalderbahn.dwg |
| 6 | Langenschnitt Bersbuch-Mellau | 4.2 | 1:10000 | 200828_LP_LS_NeueWalderbahn.dwg |
| 7 | Detaillageplan Bhf. Wallenmahd | 5.1 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 8 | Detaillageplan Bhf. Gütle | 5.2 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 9 | Detaillageplan Bhf. Bersbuch | 5.3 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 10 | Detaillageplan Bhf. Andelsbuch | 5.4 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 11 | Detaillageplan Bhf. Egg | 5.5 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 12 | Detaillageplan Bhf. Bezau | 5.6 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 13 | Detaillageplan Bhf. Mellau | 5.7 | 1:5000 | 200828_DLP_NeueWalderbahn.dwg |
| 14 | Bildfahrplan-DO-MEL-BK1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 15 | Bildfahrplan-DO-EGG-BK1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 16 | Umlaufplan-BK1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 17 | Bildfahrplan-DO-MEL-BK 2.1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 18 | Bildfahrplan-DO-EGG-BK 2.1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 19 | Umlaufplan-BK2.1 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 20 | Bildfahrplan-DO-MEL-BK 2.2 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 21 | Bildfahrplan-DO-EGG-BK 2.2 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 22 | Umlaufplan-BK2.2 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 23 | Bildfahrplan-ST.M-MEL-BK3 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 24 | Bildfahrplan-LI-EGG-BK3 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 25 | Umlaufplan-BK3 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 26 | Bildfahrplan-ST.M-EGG-BK4 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 27 | Bildfahrplan-ST.M-MEL-BK4 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |
| 28 | Umlaufplan-BK4 | | | 200810_Dornbirn-Bregenzerwald.ntz |

WISSEN ▪ TECHNIK ▪ LEIDENSCHAFT



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



LEGENDE

- ORTSKERNE / VERDICHTE BESIEDLUNG
- MÖGLICHER KORRIDOR ERSCHLIEBUNG KLEINES WALSER TAL

| | | |
|--------------|---|------------------------|
| MASTERARBEIT | | |
| SEMESTER : | SS 2020 | BLATTFORM : 445x1160MM |
| 10. VARIANTE | | |
| 9. VARIANTE | | |
| 8. VARIANTE | | |
| 7. VARIANTE | | |
| 6. VARIANTE | | |
| 5. VARIANTE | | |
| 4. VARIANTE | | |
| 3. VARIANTE | ORANGE - SÜDANSCHLUSS VORARLBERGBAHN | |
| 2. VARIANTE | VIOLETT - MÖGLICHE VARIANTE ERSCHLIEBUNG KLEINES WALSER TAL | |
| 1. VARIANTE | BLAU - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN | |
| GEZ. AM | 28.08.2020 | |

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

| | |
|-----------------|--|
| PROJEKTANTEN : | UNIVERSITÄT : |
| HOFFER NICHOLAS | TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN |
| | BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

ÜBERSICHTLAGEPLAN ERSCHLIEBUNG

GEZ.: HN MAZST.: M 1:50000

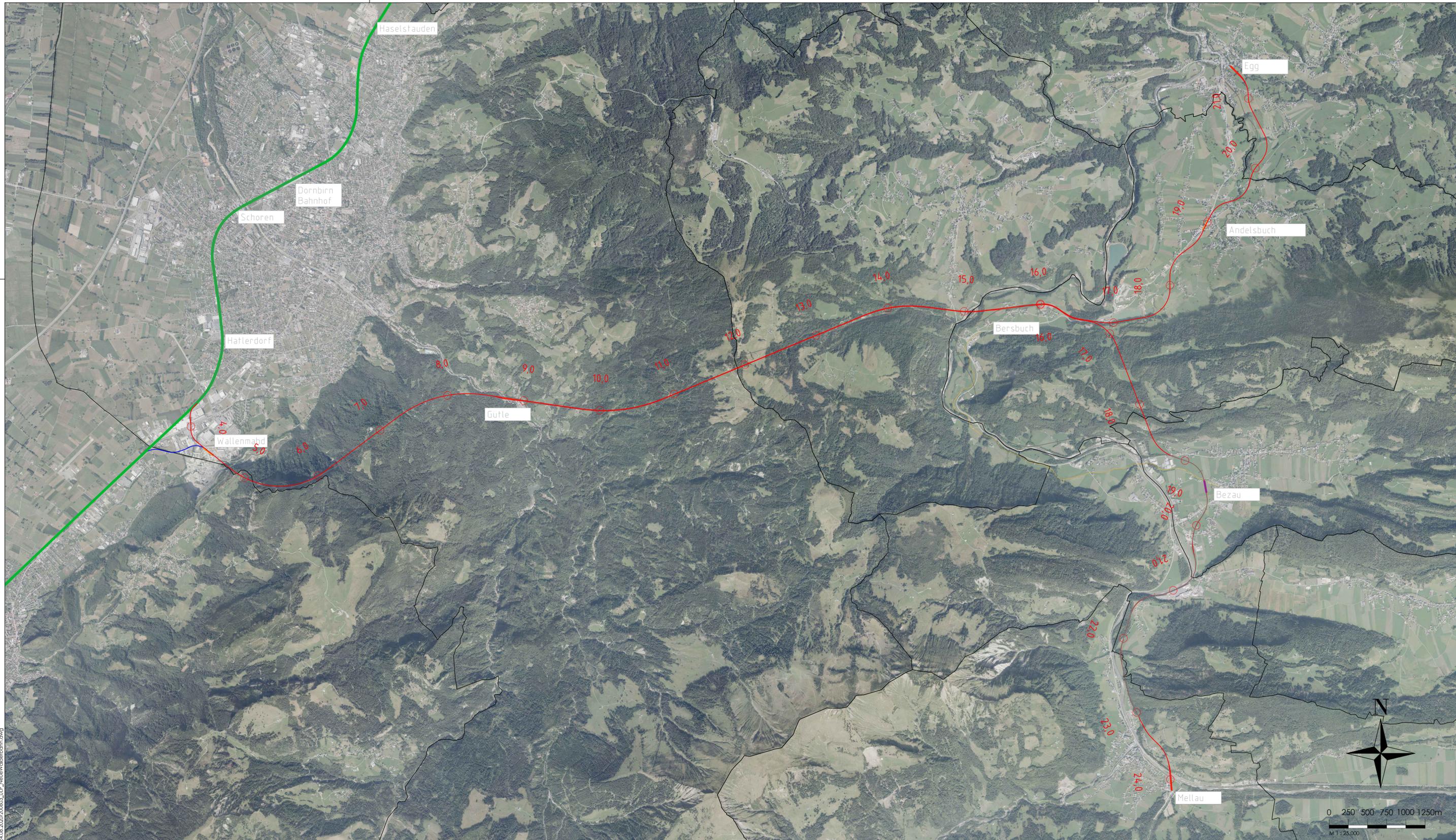
PLANNR.

1

ERSETZT

18.08.2020 12:00:03 LU1P_NeuWaldBahn.dwg

0,5m²



24.08.2020 20:06:05_UJP_ViewWaldersbach.dwg

MASTERARBEIT

SEMESTER : SS 2020 BLATTFORM : 450x970MM

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | OCKER - MUSEUMSBahn WÄLDERBÄHNLE |
| 4. VARIANTE | GRÜN - BESTEHENDE VORARLBERGBahn |
| 3. VARIANTE | BLAU - SÜDANSCHLUSS VORARLBERGBahn |
| 2. VARIANTE | GRAU - TRASSE 3C DA-WAKOLBINGER |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBahn |
| GEZ. AM | 27.08.2020 |


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

| | |
|-----------------------------------|---|
| PROJEKTANTEN : HOFFER NICHOLAS | UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |
|-----------------------------------|---|

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBahn

| | |
|-------------------|---------------------|
| ÜBERSICHTLAGEPLAN | PLANNR. 2 |
| GEZ.: HN | MAZST.: M 1:25000 |



LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- ⌋ TUNNELPORTAL
- ⌋ BRÜCKE

| | |
|--------------|---|
| MASTERARBEIT | |
| SEMESTER: | SS 2020 |
| BLATTFORM: | 446x1540MM |
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | OCKER - MUSEUMSBahn WÄLDERBÄHNLE |
| 3. VARIANTE | GRÜN - VORARLBERGBAHN |
| 2. VARIANTE | BLAU - SÜDANSCHLUSS VORARLBERGBAHN |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBÄHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

PROJEKTANTEN:
HOFFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT:
TUGRAZ -
BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
BETREUER:
MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBÄHN

LAGEPLAN DORNBIEN-BERSBUCH

PLANNR.
3.1

GEZ.: HN

MAZST.: M 1:10000

ERSETZT

24.08.2020 07:00:52 JF_NeuwegWälderbahn.dwg

0,7m²



LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- ⌈ TUNNELPORTAL
- ⌋ BRÜCKE

| | | |
|--------------|------------|---|
| MASTERARBEIT | | |
| SEMESTER : | SS 2020 | BLATTFORM. : 446x1350MM |
| 10. VARIANTE | | |
| 9. VARIANTE | | |
| 8. VARIANTE | | |
| 7. VARIANTE | | |
| 6. VARIANTE | | |
| 5. VARIANTE | | |
| 4. VARIANTE | | OCKER - MUSEUMSBahn WÄLDERBÄHNLE |
| 3. VARIANTE | | GRÜN - VORARLBERGBahn |
| 2. VARIANTE | | BLAU - SÜDANSCHLUSS VORARLBERGBahn |
| 1. VARIANTE | | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBahn |
| GEZ. AM | 28.08.2020 | |

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

PROJEKTANTEN :
HOFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT :
TUGRAZ -
BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
BETREUER:
MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBahn

LAGEPLAN EGG-MELLAU

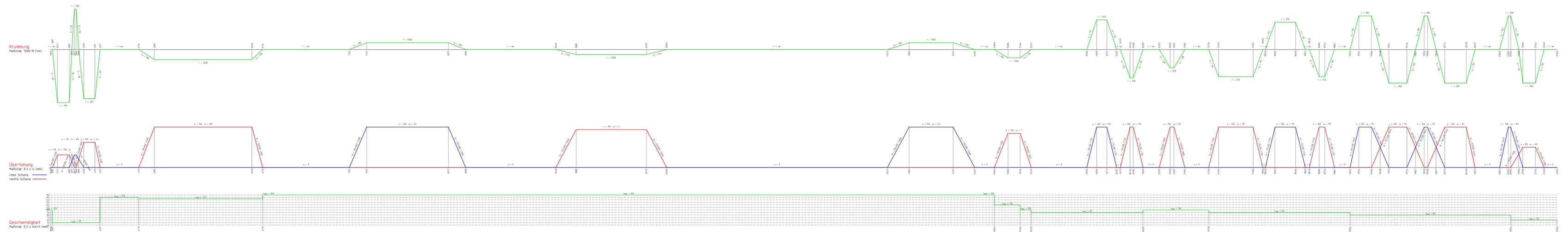
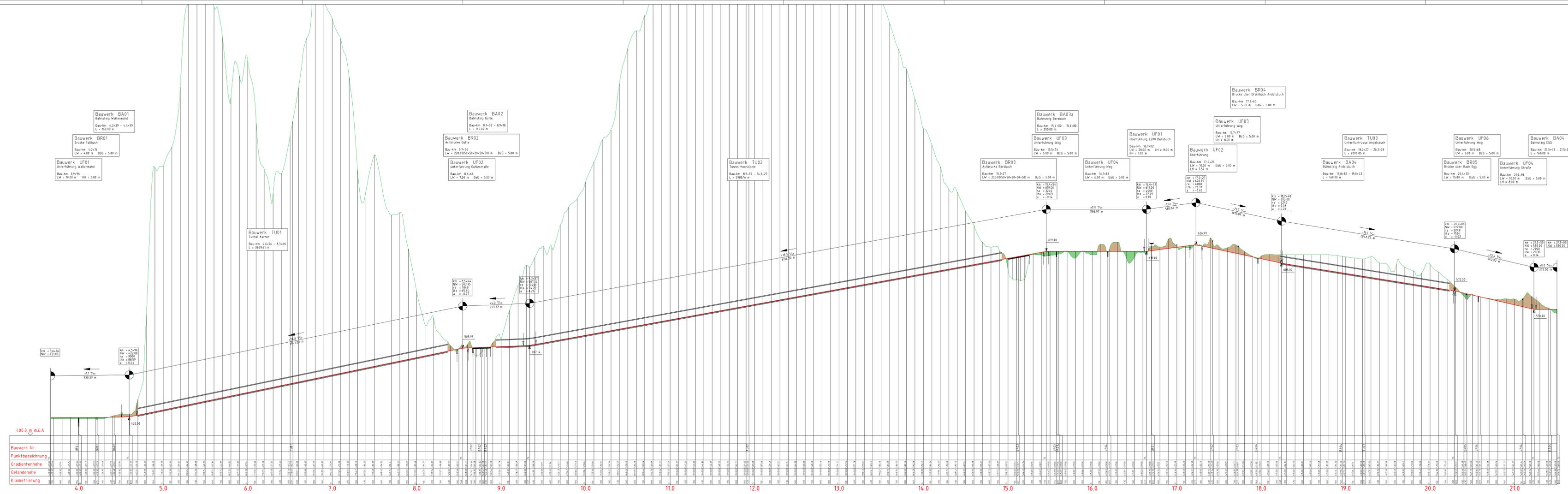
GEZ.: HN

MAZST.: M 1:10000

PLANNR. **3.2**

ERSETZT

24.08.2020/200820_LF_AerialViewWalderbahn.dwg



LEGENDE

- DAPN
- BISCHANG

| | | | |
|--------------|---|------------|------------|
| SEMESTER: | SS 2020 | PLATTFORM: | 891x2110mm |
| 10. VARIANTE | | | |
| 9. VARIANTE | | | |
| 8. VARIANTE | | | |
| 7. VARIANTE | | | |
| 6. VARIANTE | | | |
| 5. VARIANTE | | | |
| 4. VARIANTE | | | |
| 3. VARIANTE | | | |
| 2. VARIANTE | | | |
| 1. VARIANTE | B01 - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN | | |
| VERFASST AM: | 28.08.2020 | | |

TU Graz Technische Universität Graz
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DR.-ING. DI. TECH. PETER HOFER
A-8010 GRAZ - ROEBNERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-873-6215

PROFESSORIN:
HOFFER NICHOLAS

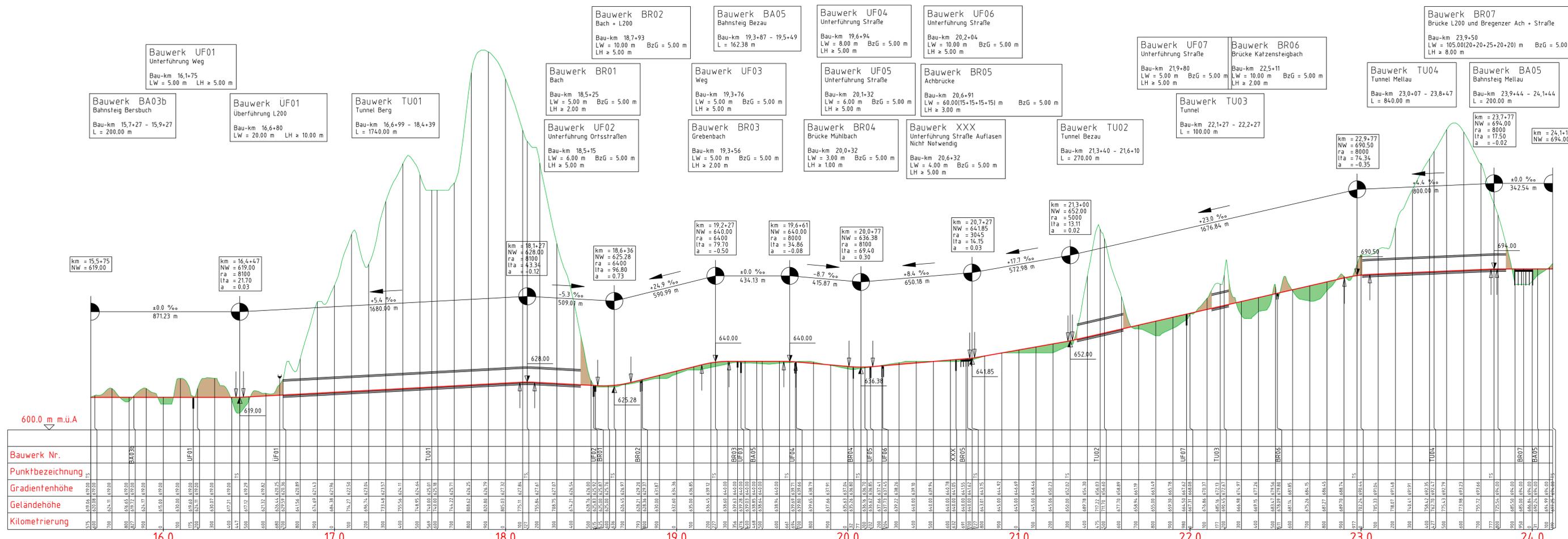
UNIVERSITÄT:
TU GRAZ -
BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
LEHRGEBIET:
MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SCHLÖRER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

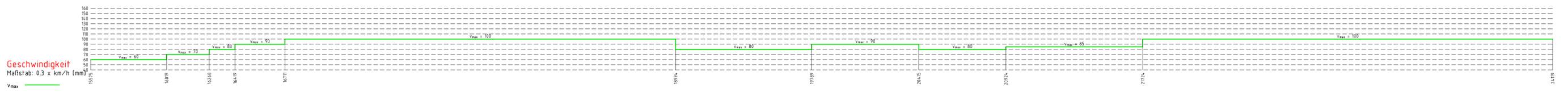
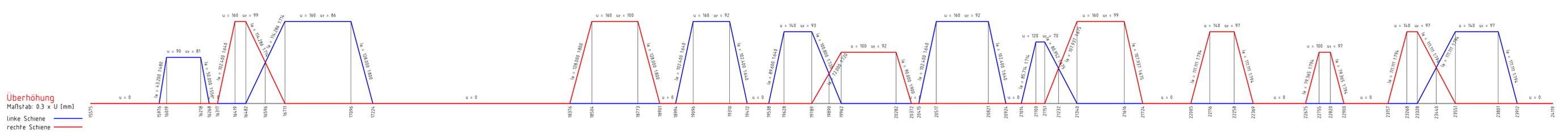
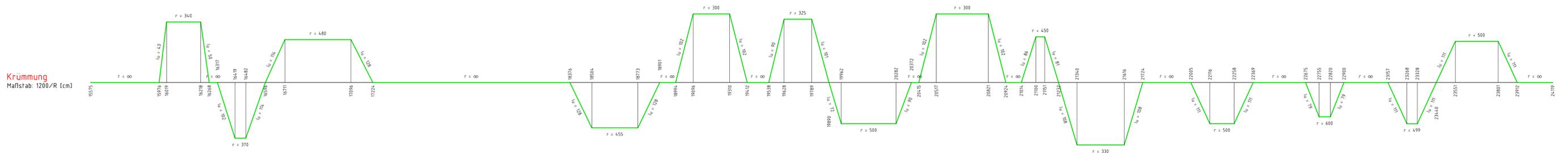
LÄNGENSCHNITT DORNBIERN-EGG

PLAUSCH: **4.1**

BRG: HN Maßstab: M 1:10000/100



| Bauwerk Nr. | Punktbezeichnung | Gradientenhöhe | Geländehöhe | Kilometrierung |
|-------------|--|----------------|-------------|----------------|
| BA03b | Bahnsteig Bersbuch | 619.00 | 619.00 | 15.5+75 |
| UF01 | Überführung L200 | 619.00 | 619.00 | 16.0+00 |
| TU01 | Tunnel Berg | 619.00 | 619.00 | 16.6+80 |
| UF02 | Unterführung Ortsstraßen | 625.28 | 625.28 | 18.5+15 |
| BR01 | Bach | 625.28 | 625.28 | 18.5+25 |
| BR02 | Bach + L200 | 625.28 | 625.28 | 18.5+25 |
| BR03 | Griebenbach | 625.28 | 625.28 | 18.5+25 |
| BR04 | Brücke Mühlbach | 640.00 | 640.00 | 19.3+76 |
| BR05 | Achbrücke | 640.00 | 640.00 | 20.6+91 |
| BR06 | Brücke Katzenleibgach | 640.00 | 640.00 | 22.5+11 |
| TU02 | Tunnel Bezau | 640.00 | 640.00 | 21.3+00 |
| TU03 | Tunnel | 640.00 | 640.00 | 22.1+27 |
| TU04 | Tunnel Mellau | 640.00 | 640.00 | 23.0+07 |
| BR07 | Brücke L200 und Bregenzer Ach + Straße | 640.00 | 640.00 | 23.9+50 |
| BA05 | Bahnsteig Mellau | 640.00 | 640.00 | 23.9+44 |



LEGENDE
■ DAMM
■ BÖSCHUNG

| | |
|--------------|---|
| MASTERARBEIT | |
| SEMESTER : | SS 2020 |
| BLATTFORM. : | 446x1540MM |
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

TU Graz Technische Universität Graz
 Institut für Eisenbahnenwesen
 und Verkehrswirtschaft

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER VEIT
 A-8010 GRAZ - RECHBAUERSTRASSE 12 - TEL.: +43-(0)316-673-6215

PROJEKTANTEN :
 HÖFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT :
 TU GRAZ -
 BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
 BETREUER
 MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

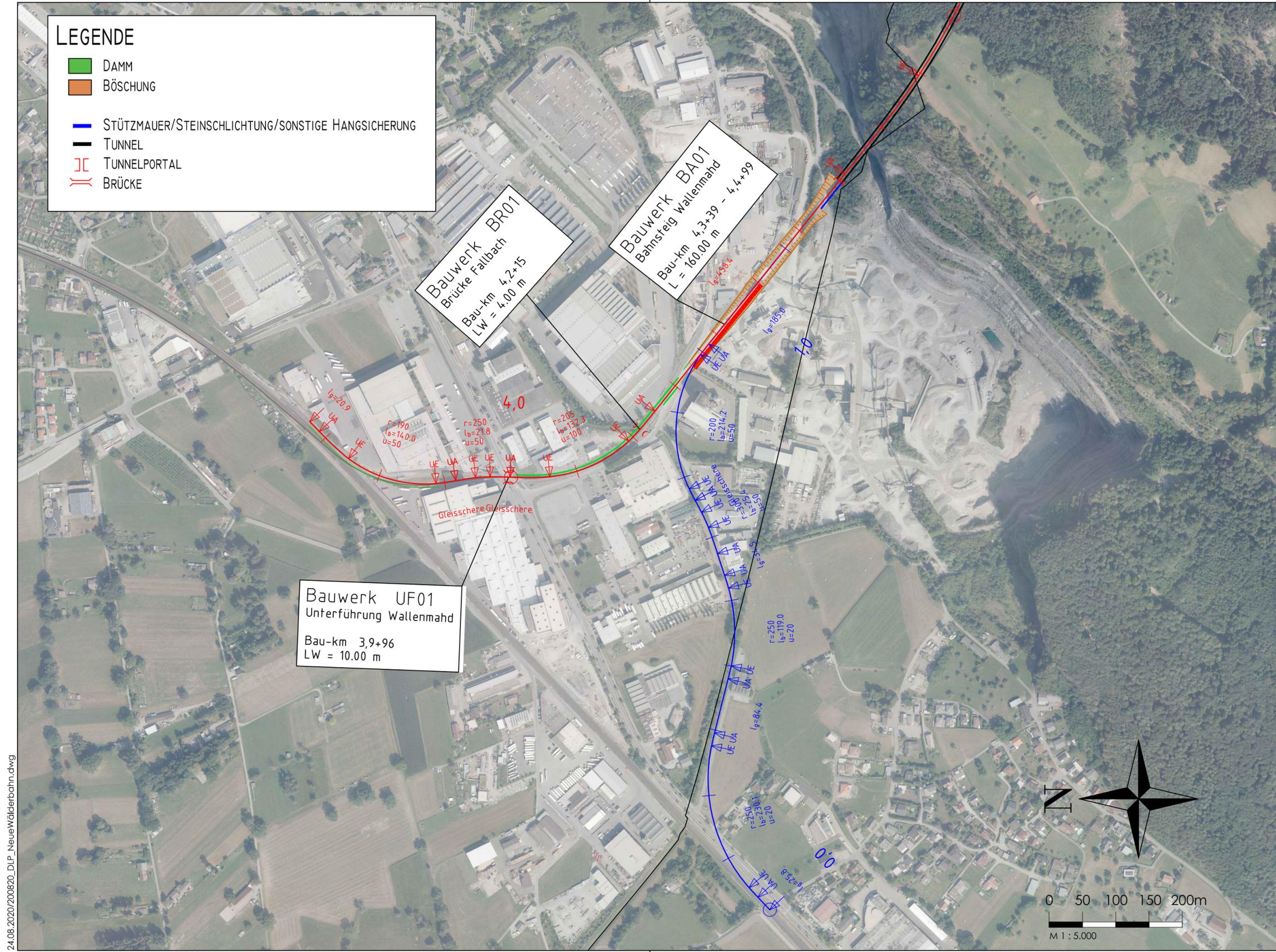
LÄNGENSCHNITT BERSBUCH-MELLAU

PLANNR. **4.2**

ERSETZT

GEZ.: HN MAZST.: M 1:10000

Z:\7162\2020\7162051_LF_Neuwälderbahn.dwg



24.08.2020/200820_DLP_NeueWalderbahn.dwg

LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- TUNNELPORTAL
- BRÜCKE

MASTERARBEIT

SEMESTER : SS 2020 BLATTFORM. : 297x590MM

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | BLAU - SÜDANSCHLUSS VORARLBERGBAHN |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

PROJEKTANTEN :
HOFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT :
TUGRAZ -
BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
BETREUER
MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

LAGEPLAN - WALLENMAHD

PLANNR.
5.1

ERSETZT

GEZ.: HN MAZST.: M 1:5000

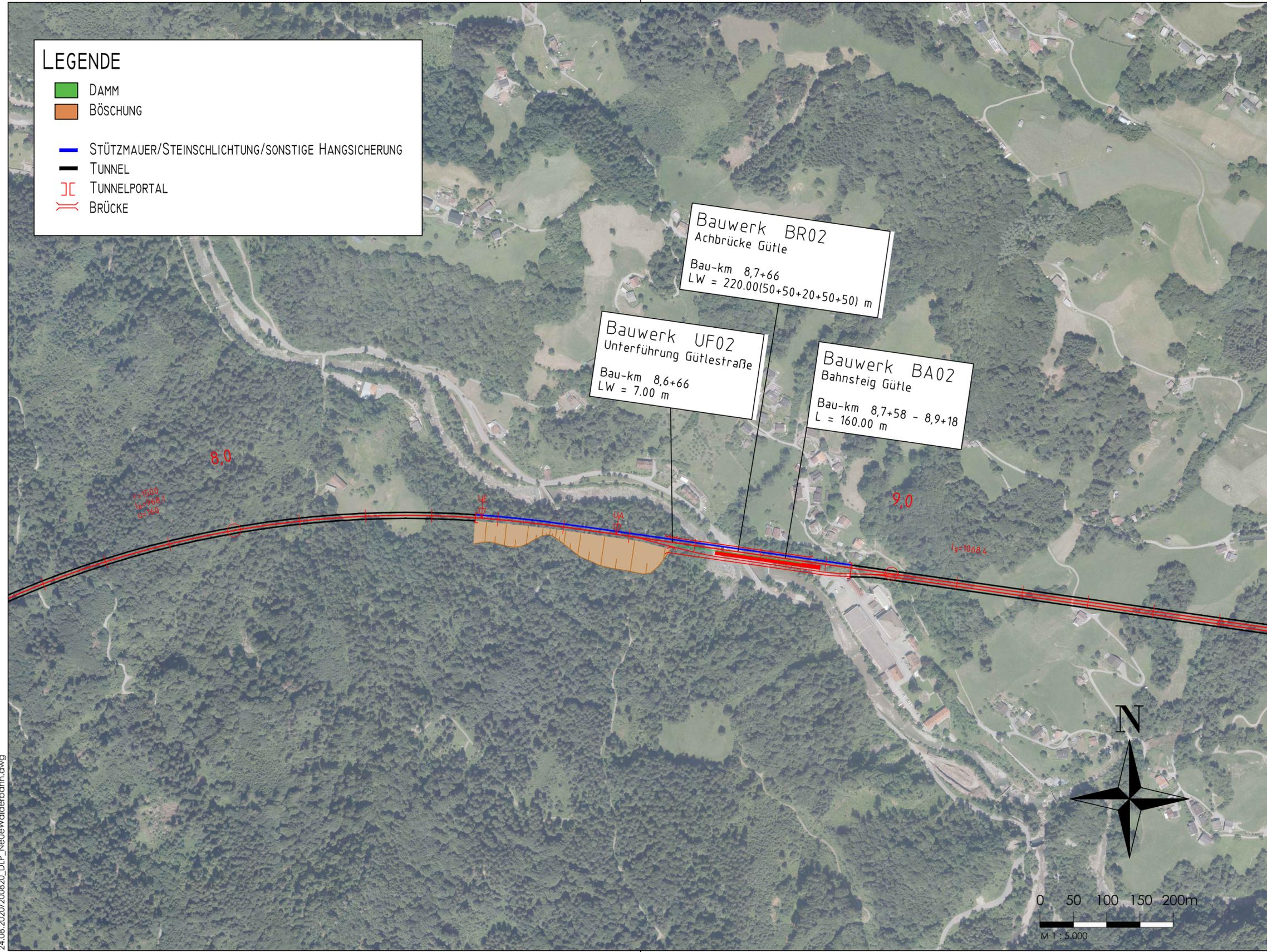
LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- TUNNELPORTAL
- BRÜCKE

Bauwerk BR02
Achbrücke Güttele
Bau-km 8,7+66
LW = 220.00(50+50+20+50+50) m

Bauwerk UF02
Unterführung Güttelestraße
Bau-km 8,6+66
LW = 7.00 m

Bauwerk BA02
Bahnsteig Güttele
Bau-km 8,7+58 - 8,9+18
L = 160.00 m



24.08.2020/200820_DLP_NeueWälderbahn.dwg

MASTERARBEIT

SEMESTER : SS 2020 BLATTFORM. : 297x590MM

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

| | |
|--|--|
| PROJEKTANTEN : HOFFER NICHOLAS | UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |
|--|--|

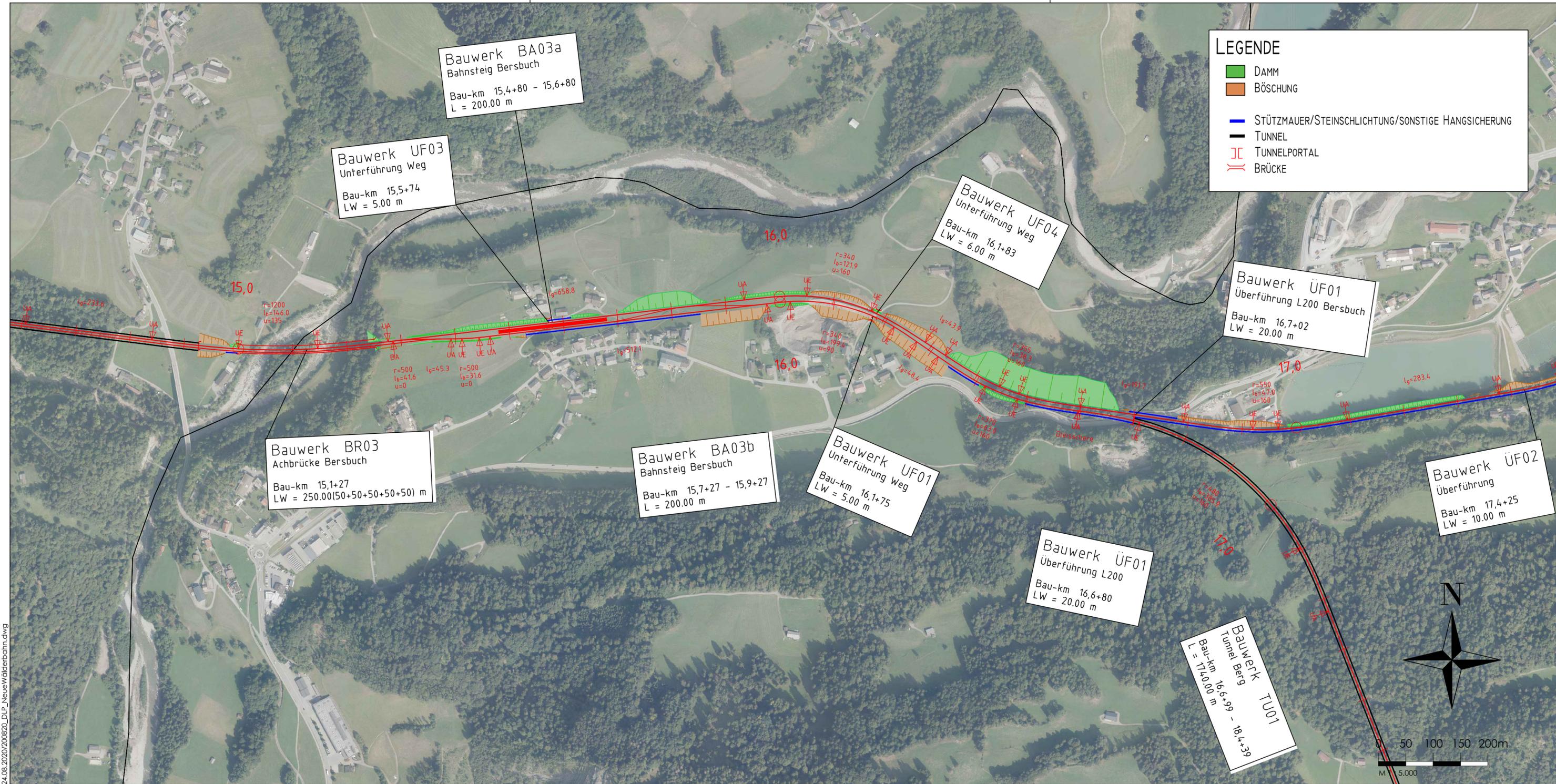
MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

LAGEPLAN - GÜTLE

PLANNR.
5.2

GEZ.: HN MAZST.: M 1:5000

ERSETZT



MASTERARBEIT

SEMESTER : SS 2020 BLATTFORM. : 297x780MM

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

PROJEKTANTEN :
HOFFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT :
TUGRAZ -
BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
BETREUER
MATTHIAS LANDGRAF / MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

LAGEPLAN - BERSBUCH

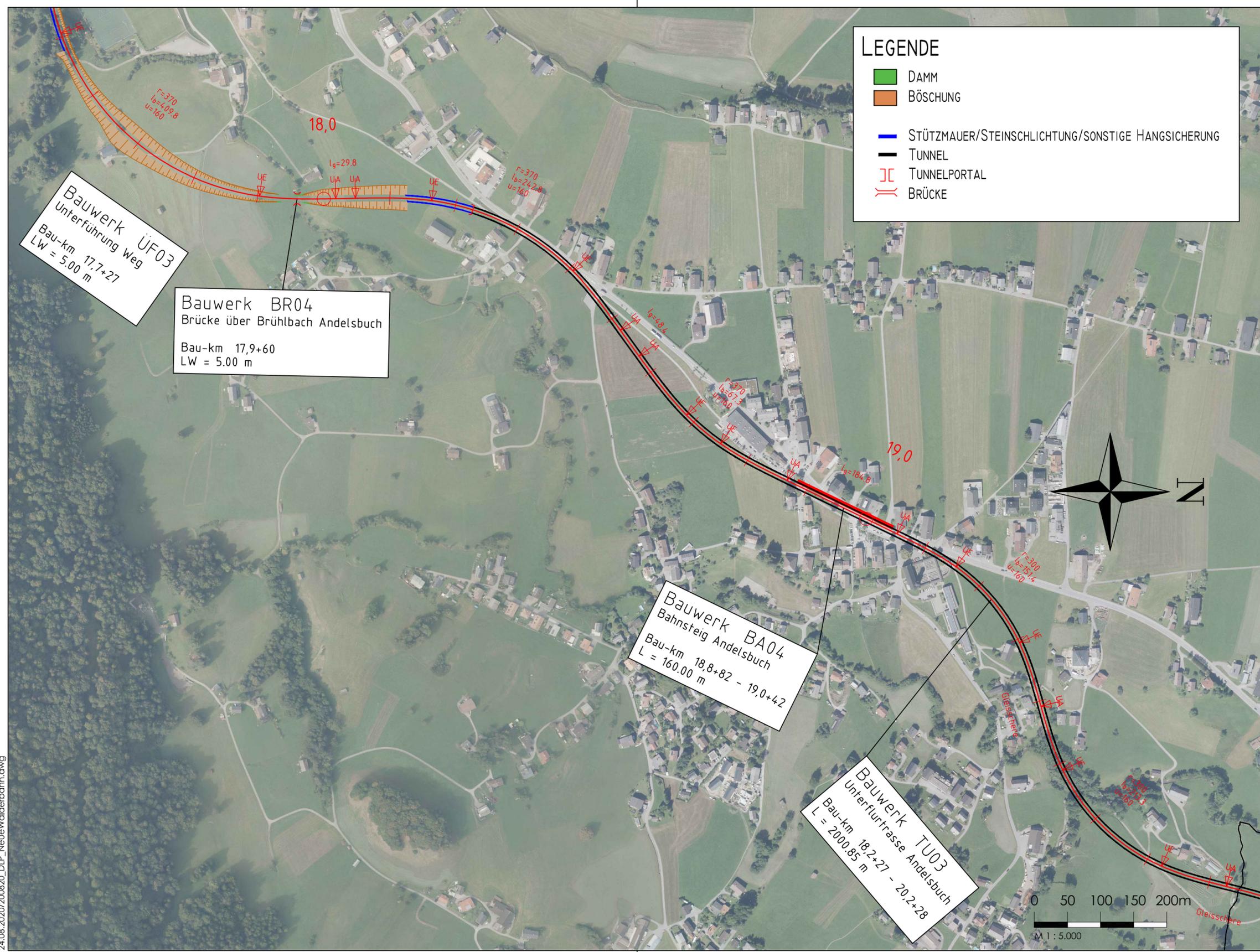
PLANNR. **5.3**

ERSETZT

GEZ.: HN MAZST.: M 1:5000

24.08.2020/200820_DIP_NeueWälderbahn.dwg

24.08.2020/200820_DLP_NeueWälderbahn.dwg



LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- ⌋ TUNNELPORTAL
- ⌋ BRÜCKE

MASTERARBEIT

SEMESTER : SS 2020 BLATTFORM. : 297x590MM

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

PROJEKTANTEN :
 HOFER NICHOLAS

UNIVERSITÄT :
TUGRAZ -
 BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN
 BETREUER
 MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

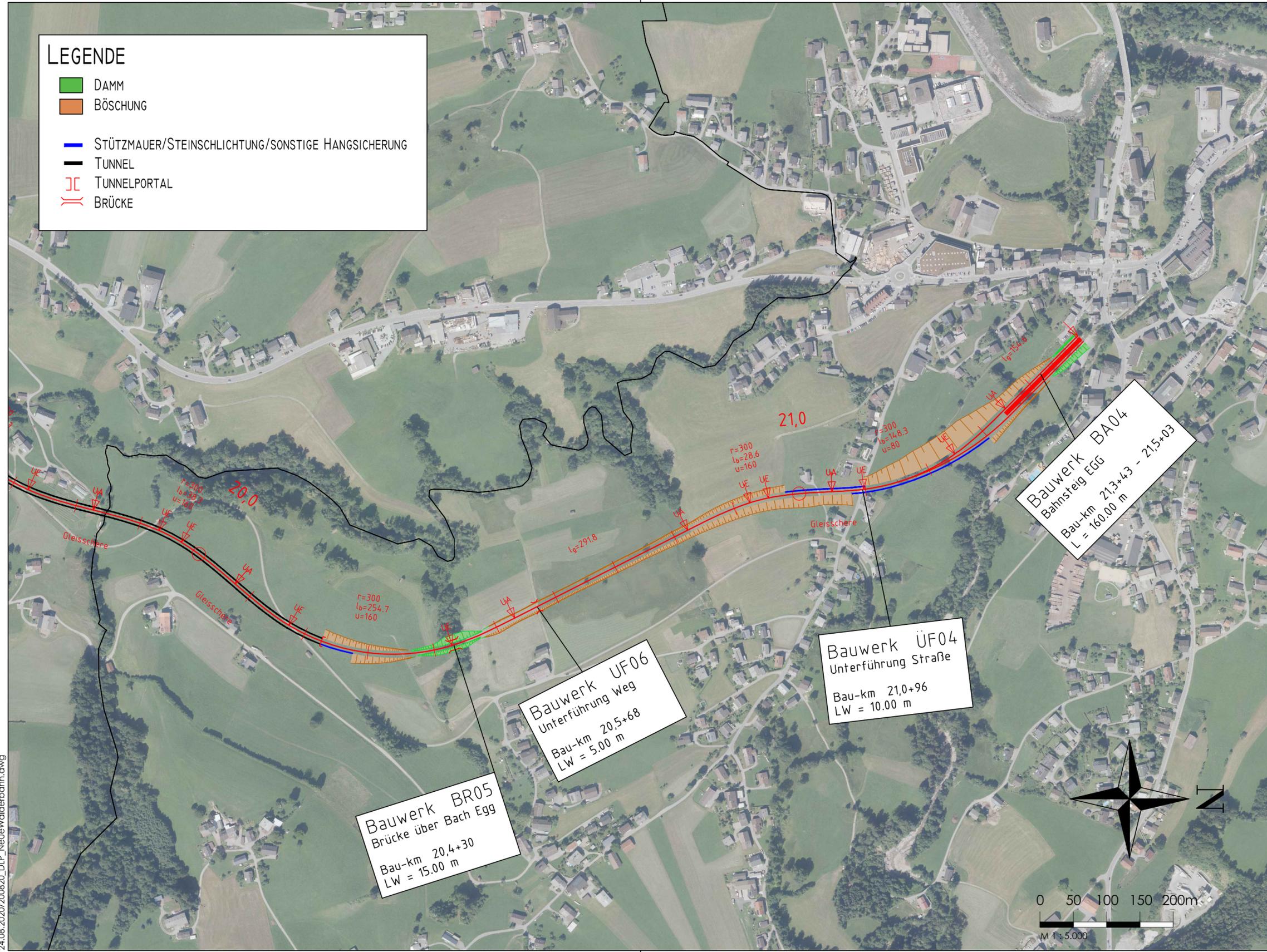
LAGEPLAN - ANDELSBUCH

PLANNR.
5.4
 ERSETZT

GEZ.: HN MAZST.: M 1:5000

LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- TUNNELPORTAL
- BRÜCKE



24.08.2020/200820_DLP_NeueWälderbahn.dwg

MASTERARBEIT

| | | | |
|------------|---------|--------------|-----------|
| SEMESTER : | SS 2020 | BLATTFORM. : | 297x590MM |
|------------|---------|--------------|-----------|

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

| | |
|----------------------------------|--|
| PROJEKTANTEN : HOFER NICHOLAS | UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |
|----------------------------------|--|

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

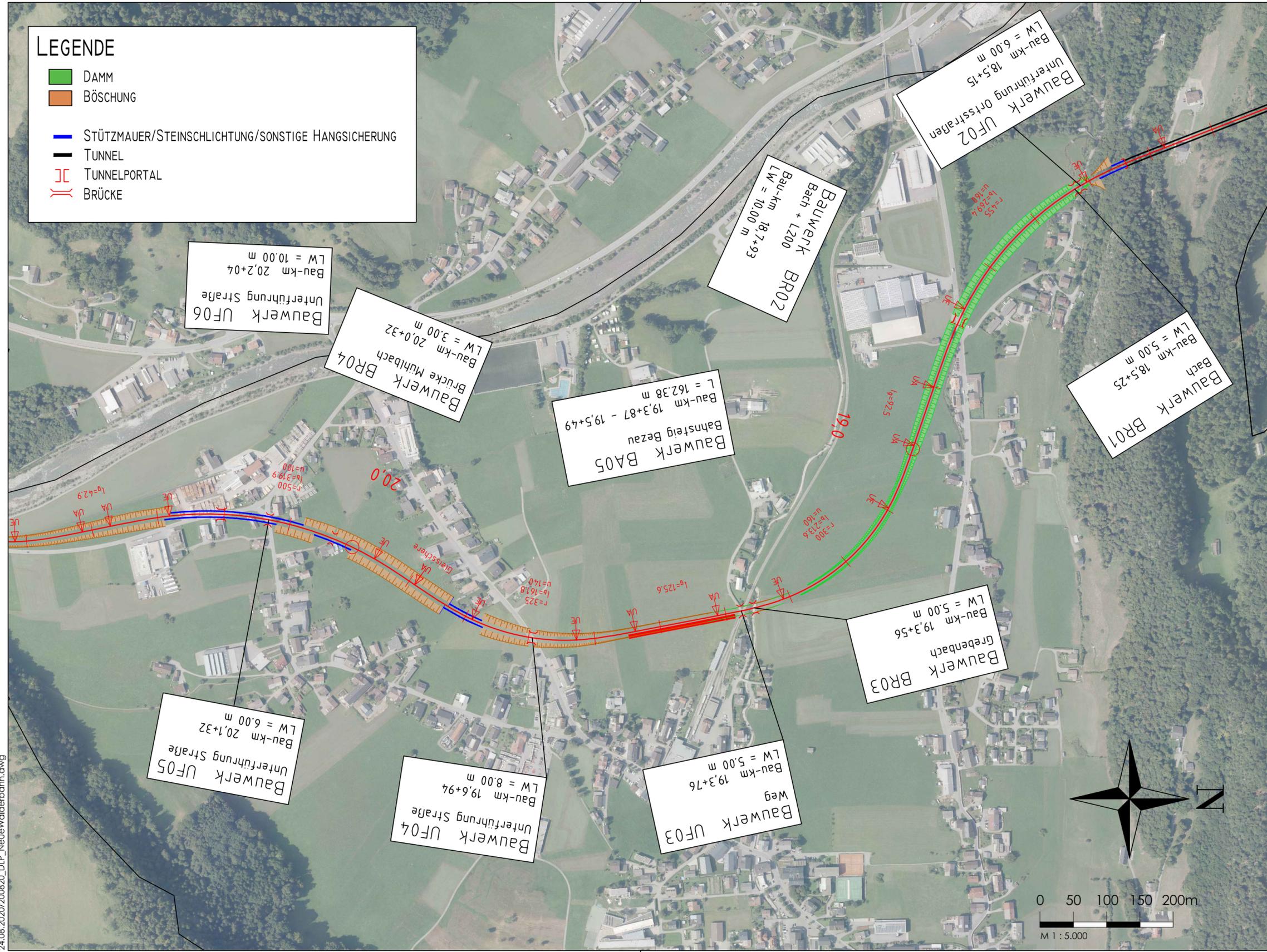
LAGEPLAN - EGG

PLANNR.
5.5
 ERSETZT

| | |
|----------|------------------|
| GEZ.: HN | MAZST.: M 1:5000 |
|----------|------------------|

LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- TUNNELPORTAL
- BRÜCKE



24.08.2020/200820_DLP_NeueWälderbahn.dwg

MASTERARBEIT

| | | | |
|------------|---------|--------------|-----------|
| SEMESTER : | SS 2020 | BLATTFORM. : | 297x590MM |
|------------|---------|--------------|-----------|

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

| | |
|---|--|
| PROJEKTANTEN : HOFER NICHOLAS | UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |
|---|--|

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

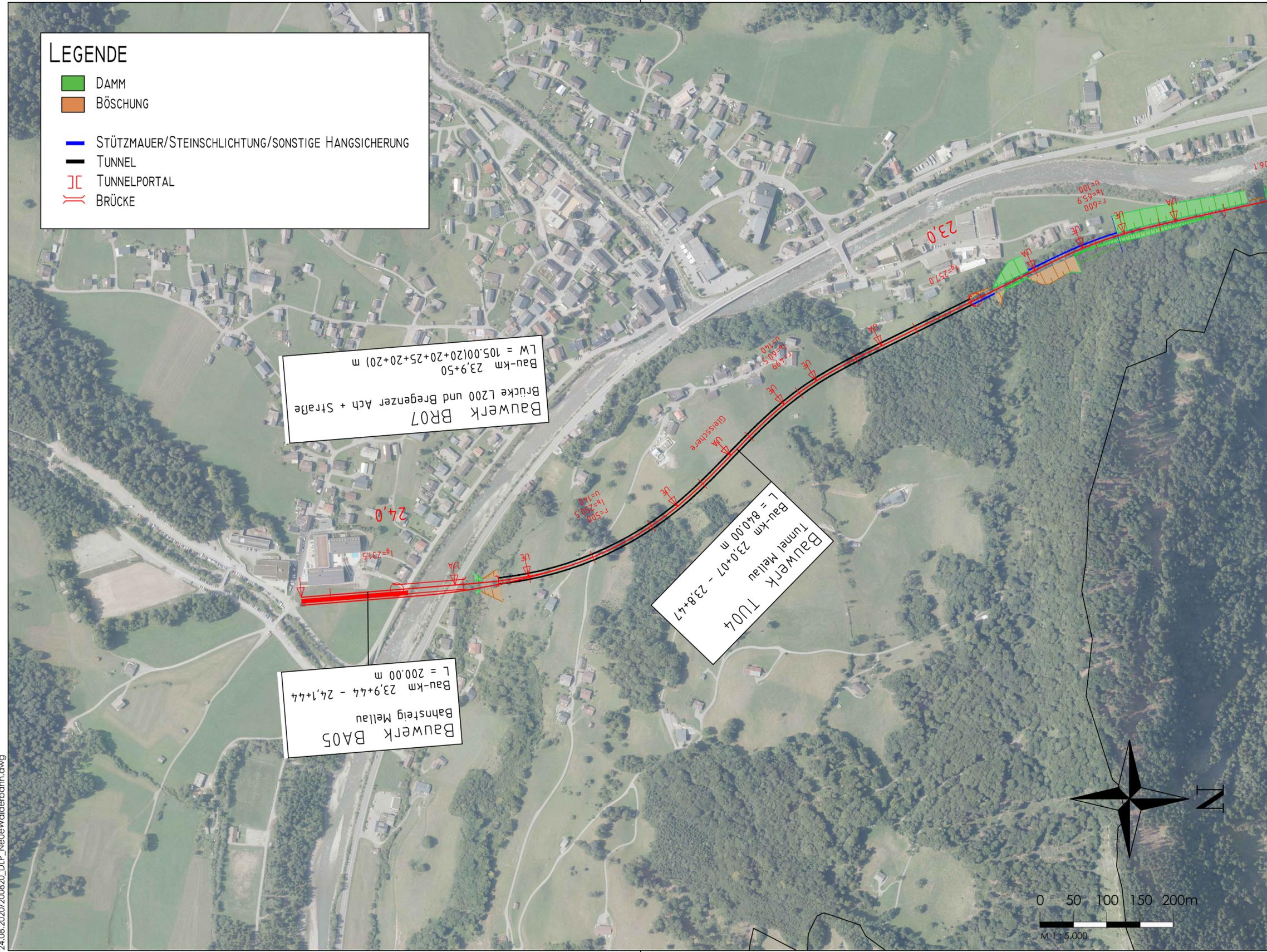
LAGEPLAN - BEZAU

PLANNR.
5.6
ERSETZT

| | |
|----------|------------------|
| GEZ.: HN | MAZST.: M 1:5000 |
|----------|------------------|

LEGENDE

- DAMM
- BÖSCHUNG
- STÜTZMAUER/STEINSCHLICHTUNG/SONSTIGE HANGSICHERUNG
- TUNNEL
- TUNNELPORTAL
- BRÜCKE



24.08.2020/200820_DLP_NeueWälderbahn.dwg

MASTERARBEIT

| | | | |
|------------|---------|--------------|-----------|
| SEMESTER : | SS 2020 | BLATTFORM. : | 297x590MM |
|------------|---------|--------------|-----------|

| | |
|--------------|---|
| 10. VARIANTE | |
| 9. VARIANTE | |
| 8. VARIANTE | |
| 7. VARIANTE | |
| 6. VARIANTE | |
| 5. VARIANTE | |
| 4. VARIANTE | |
| 3. VARIANTE | |
| 2. VARIANTE | |
| 1. VARIANTE | ROT - OPTIMIERTE TRASSE NEUE WÄLDERBAHN |
| GEZ. AM | 28.08.2020 |

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

| | |
|----------------------------------|--|
| PROJEKTANTEN : HOFER NICHOLAS | UNIVERSITÄT : TUGRAZ - BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN BETREUER MATTHIAS LANDGRAF/ MARTIN SMOLINER |
|----------------------------------|--|

MASTERARBEIT-NEUE WÄLDERBAHN

LAGEPLAN - MELLAU

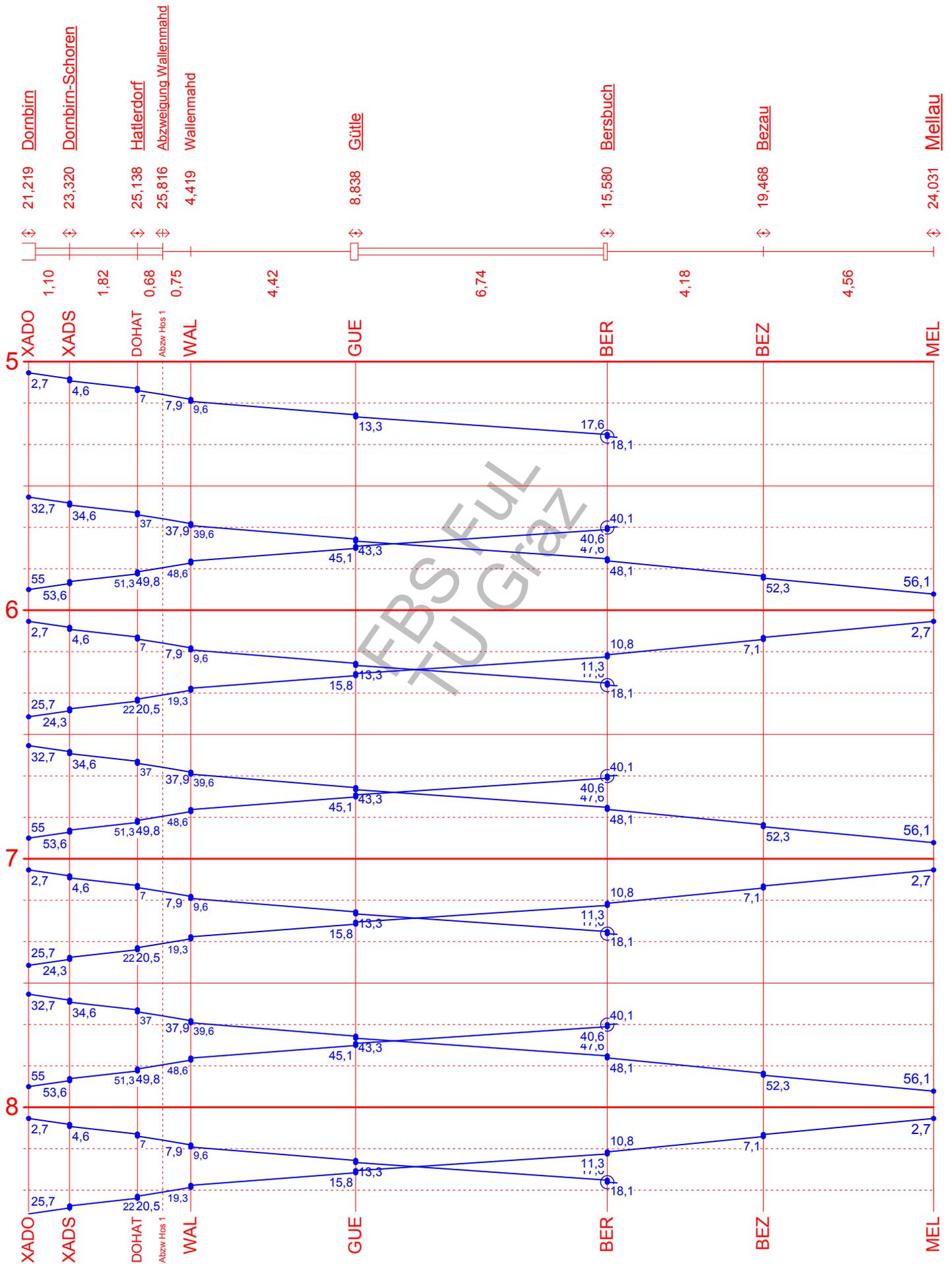
5.7

ERSETZT

| | | |
|----------|------------------|--|
| GEZ.: HN | MAZST.: M 1:5000 | |
|----------|------------------|--|

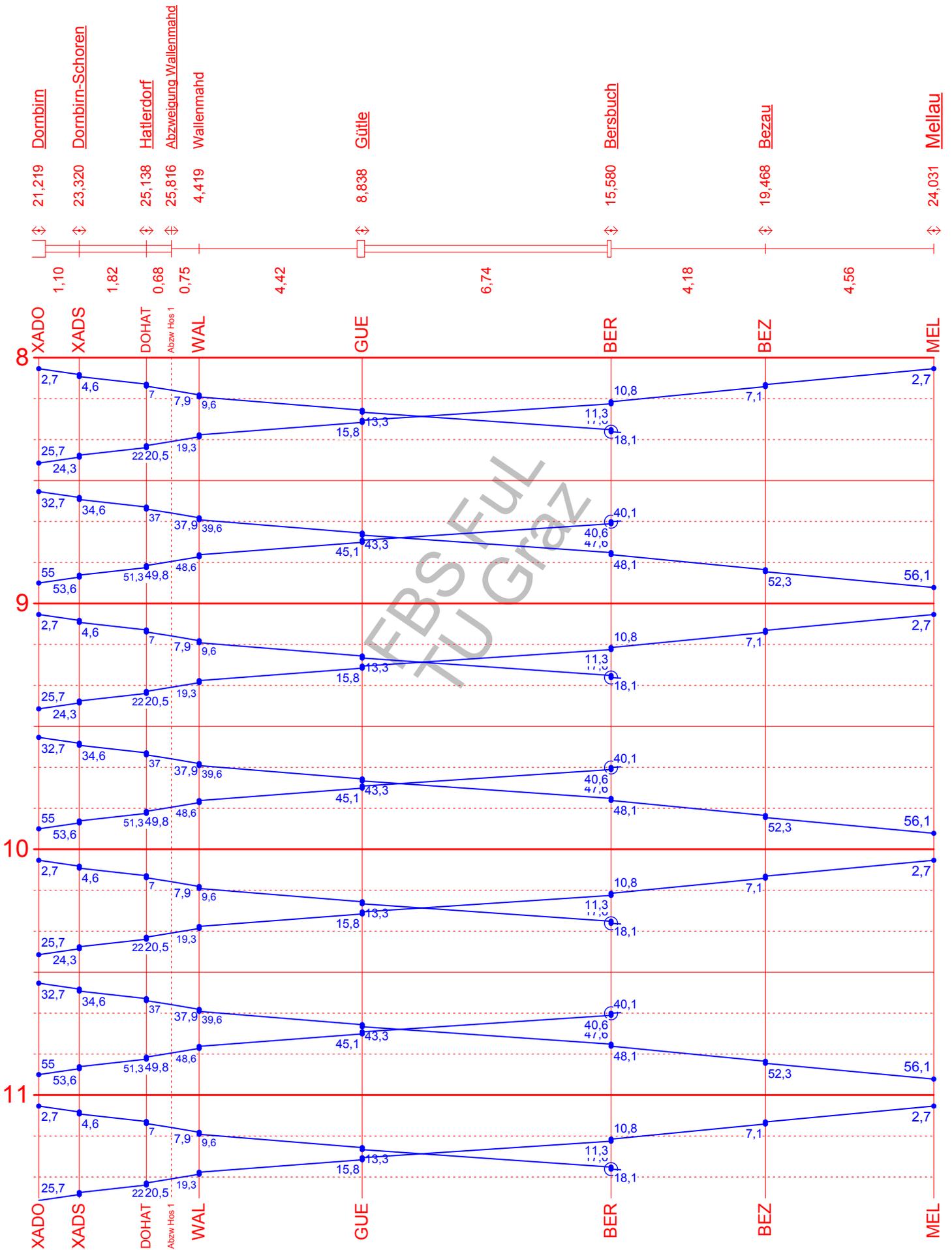
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



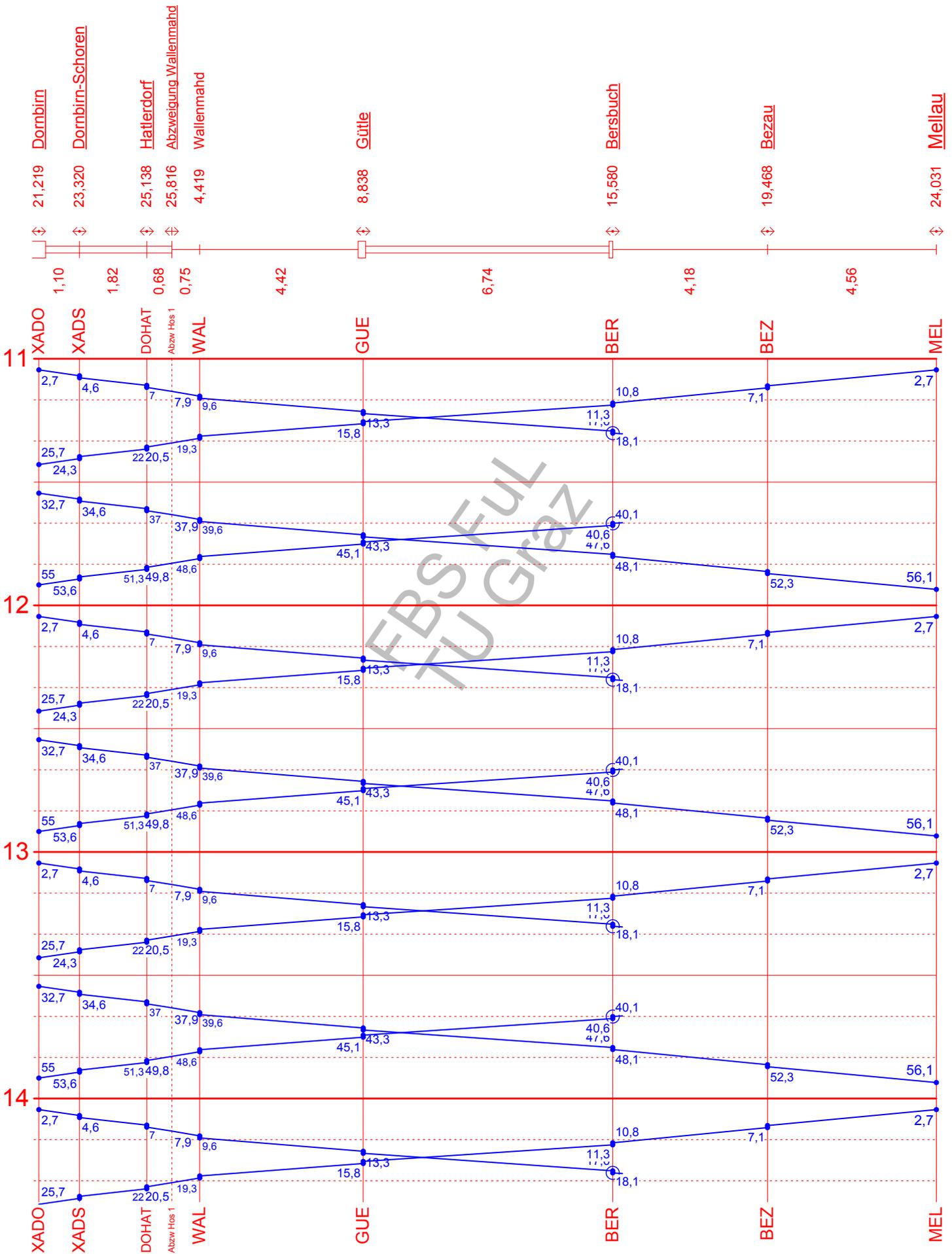
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

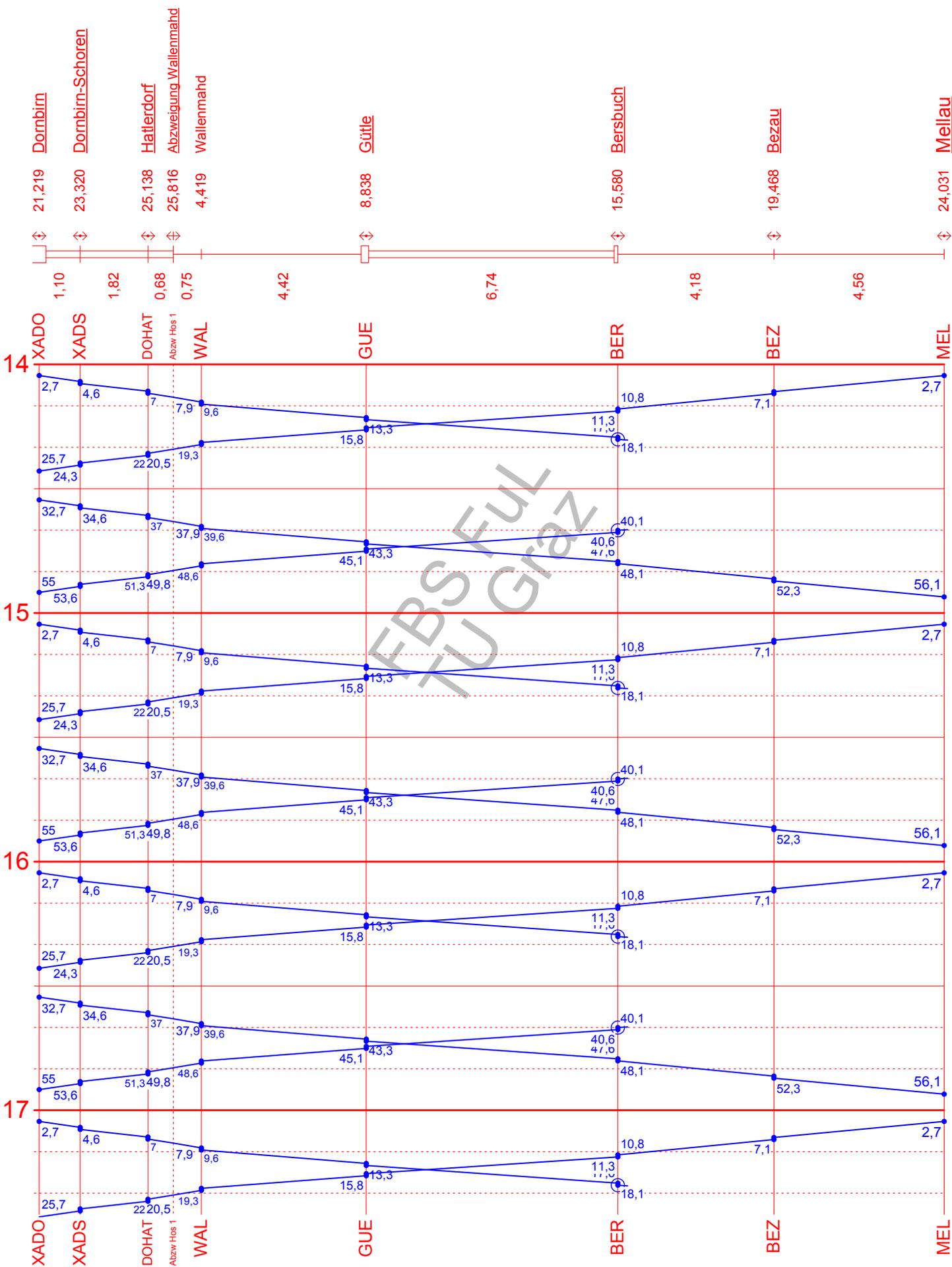
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

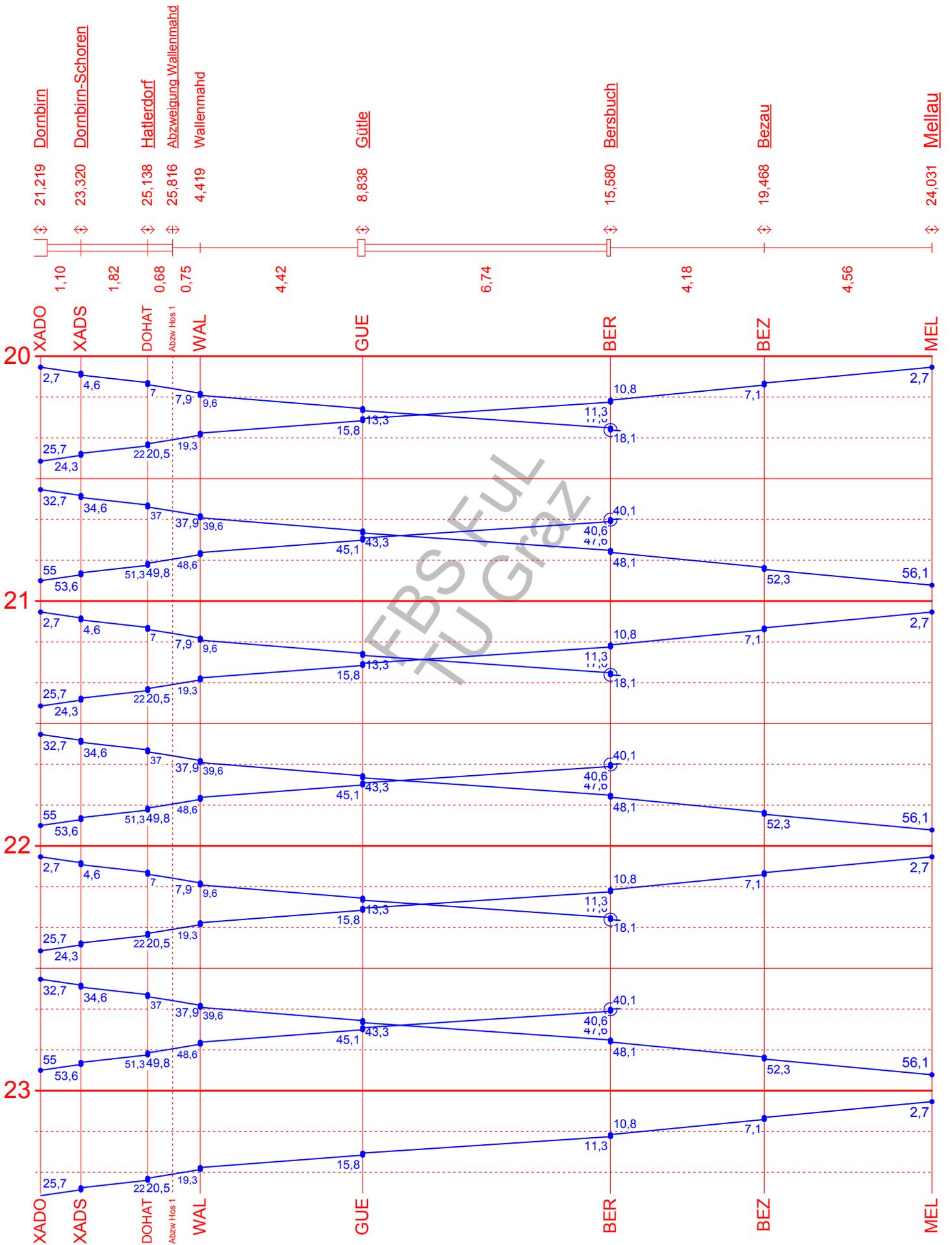
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



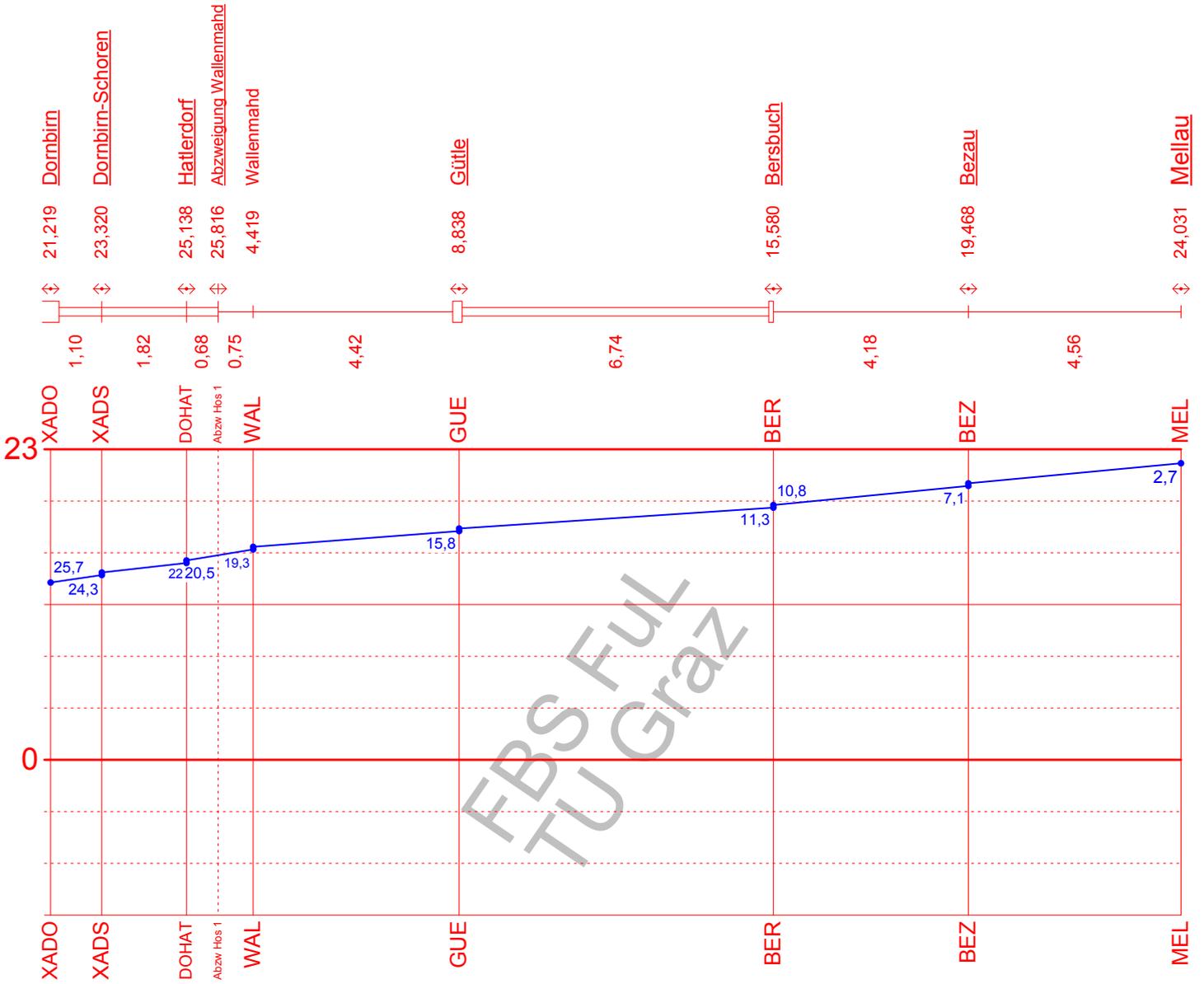
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

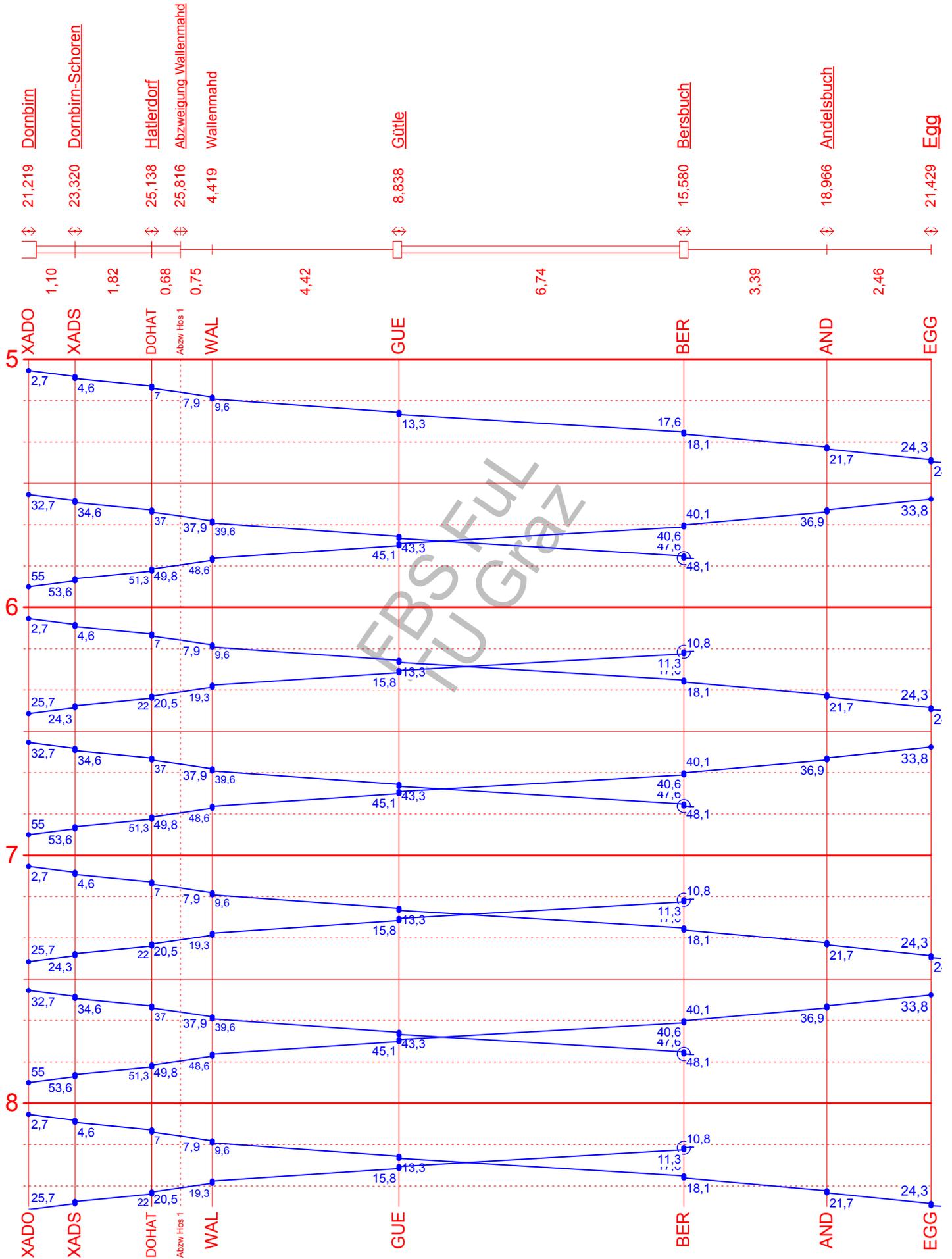
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



FBS FuL
TU Graz

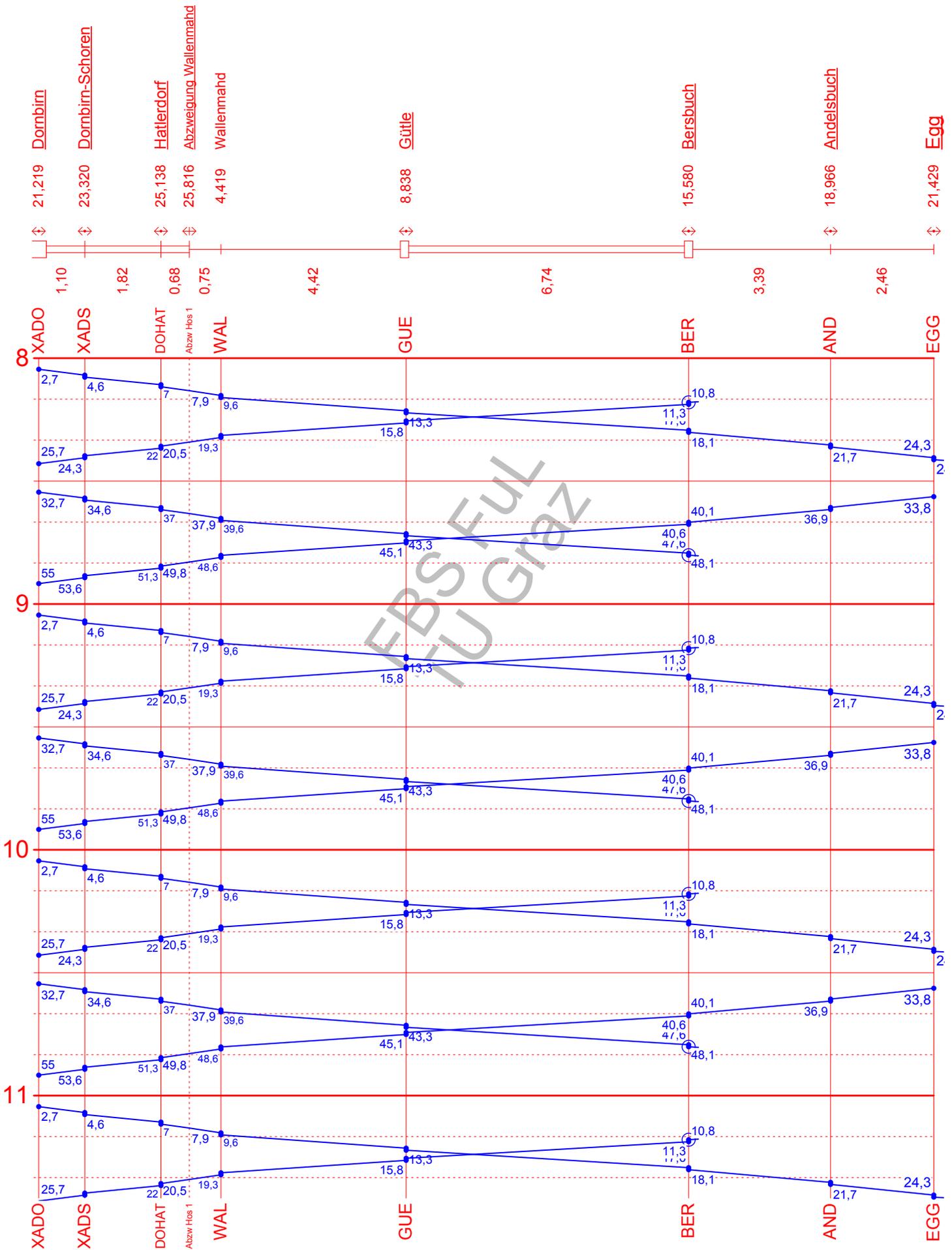
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

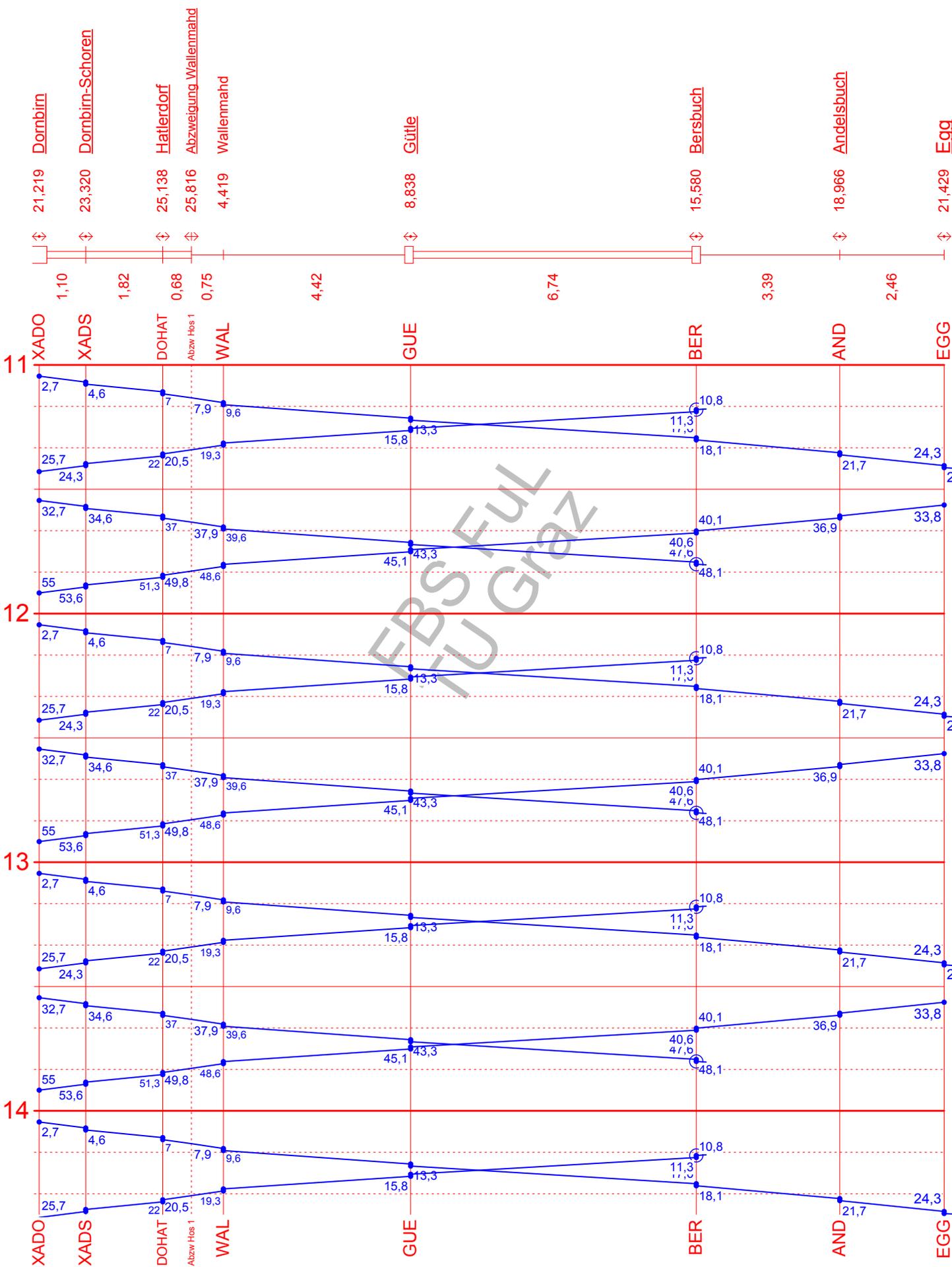
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

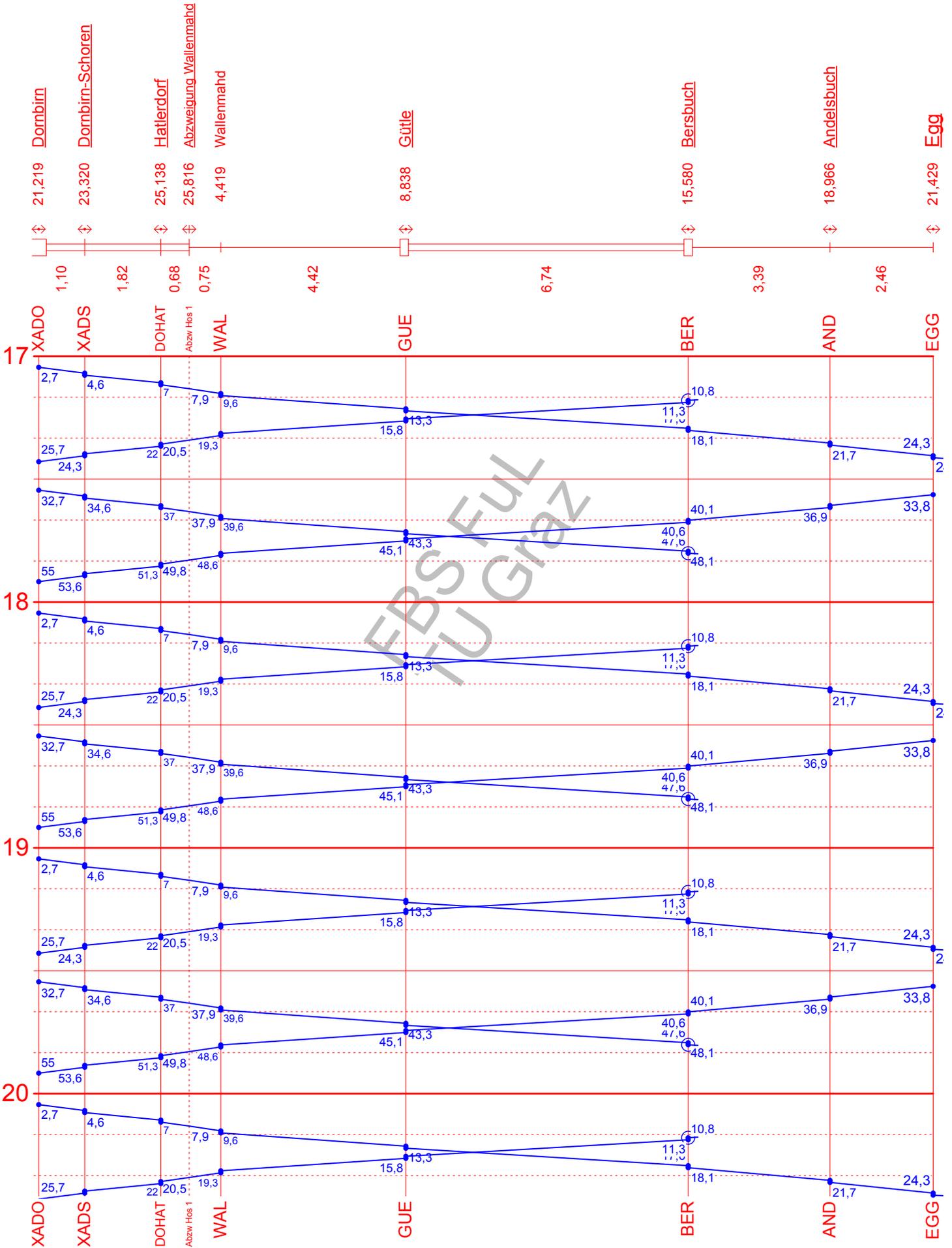
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



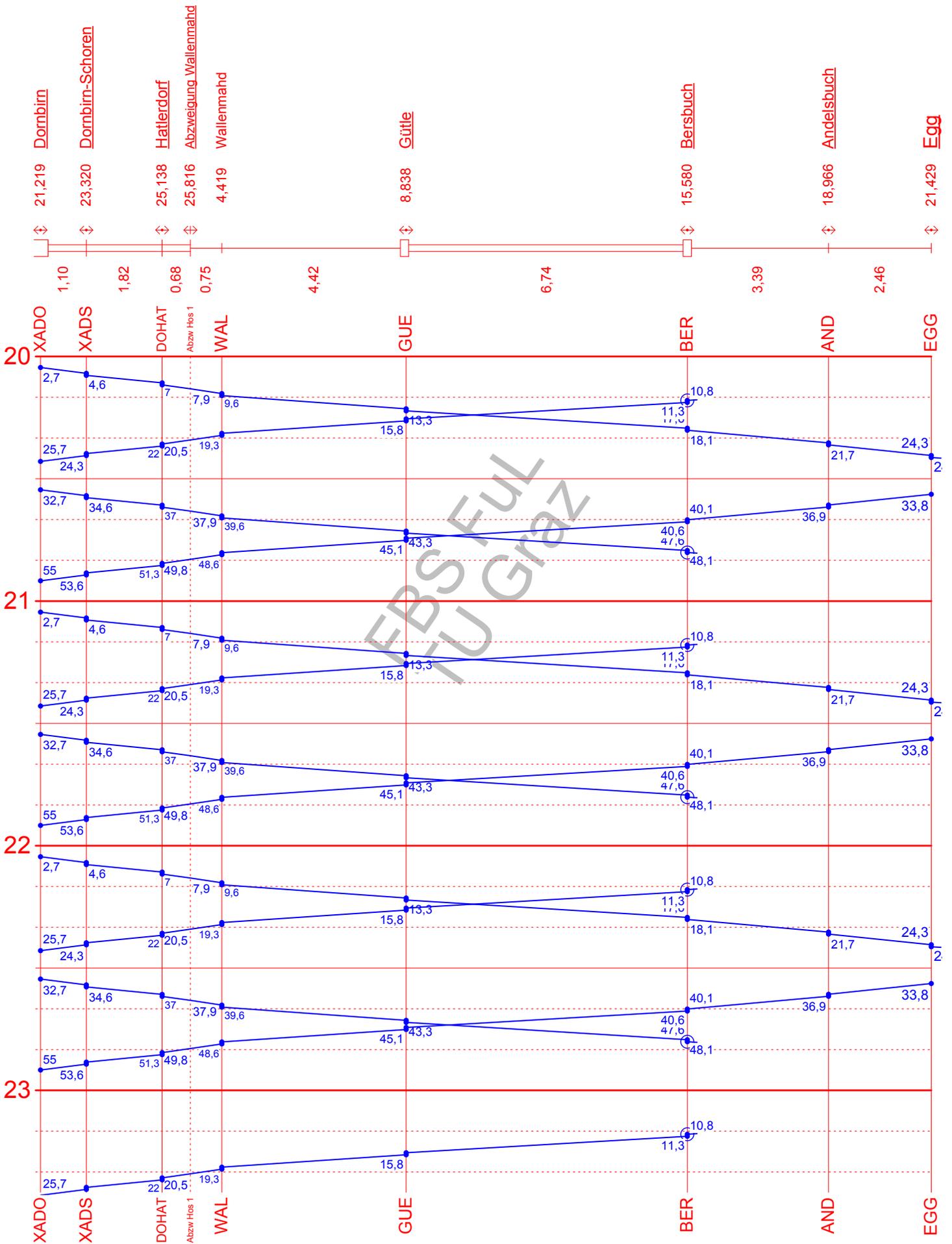
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



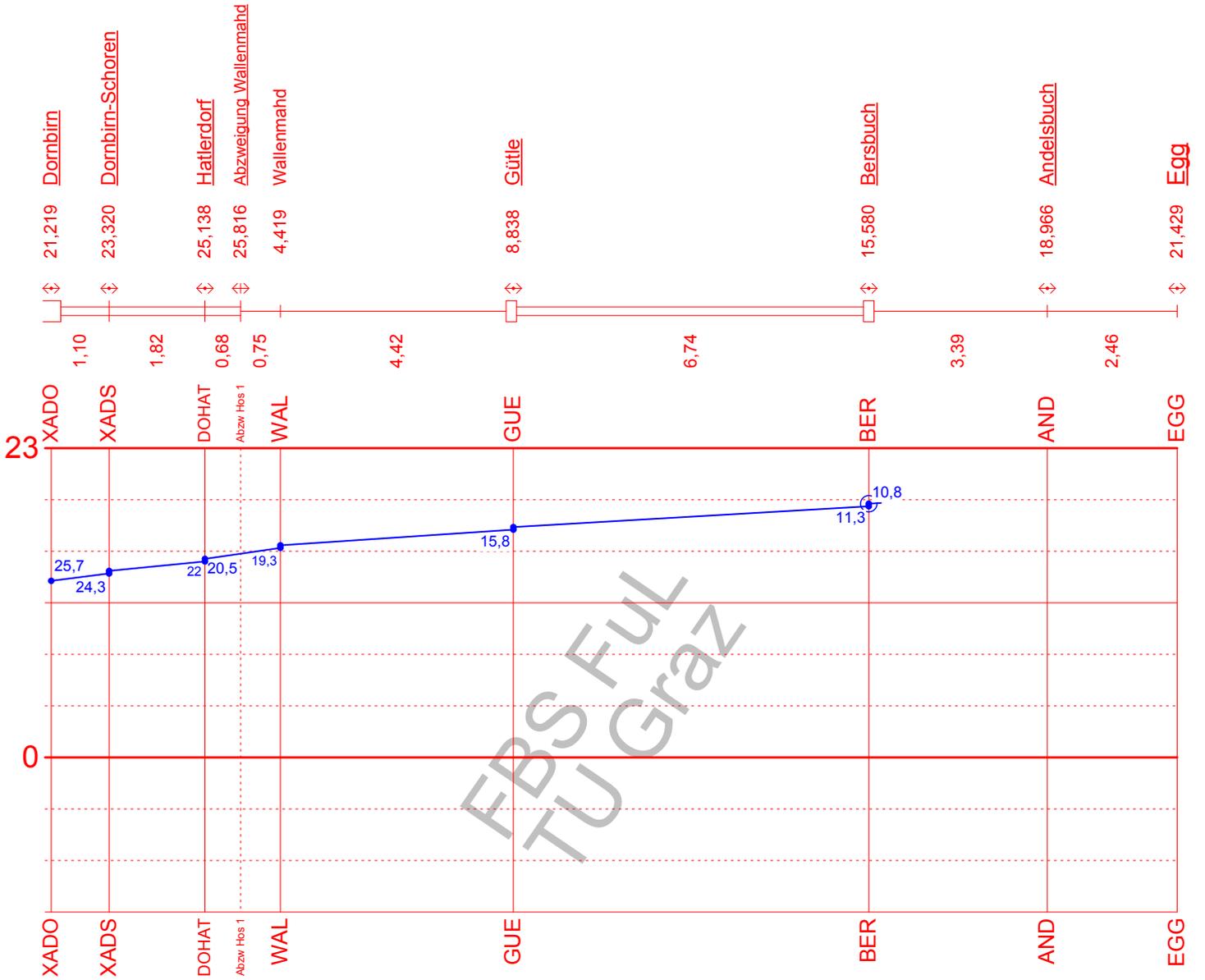
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



FBS FuL
TU Graz

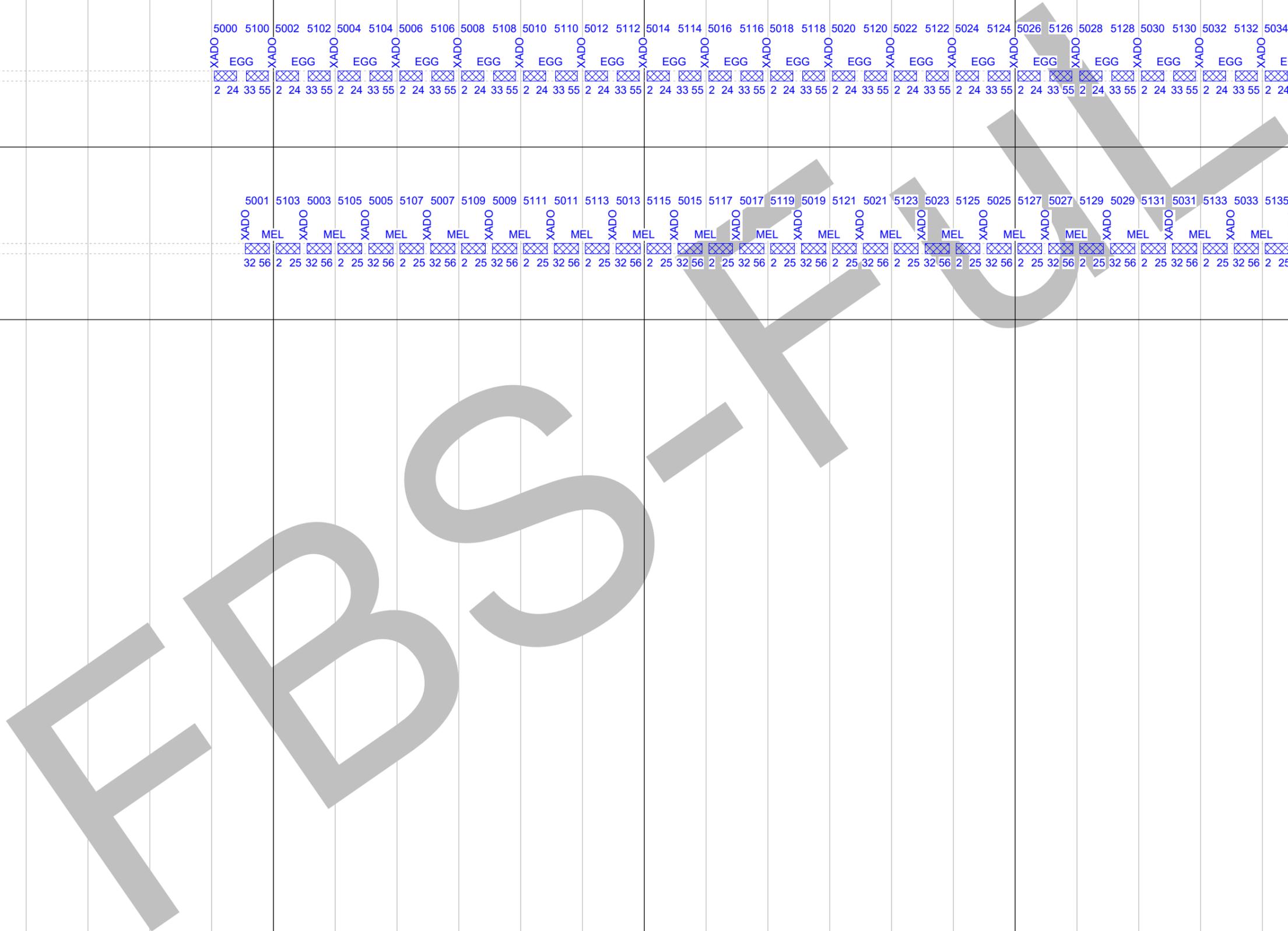
Mo

FBS-FuL | lizenziert für TU Graz
TU Graz
Bw:
Est:

Umlaufplan Tfz. BR SiVT.CityjetÖBB

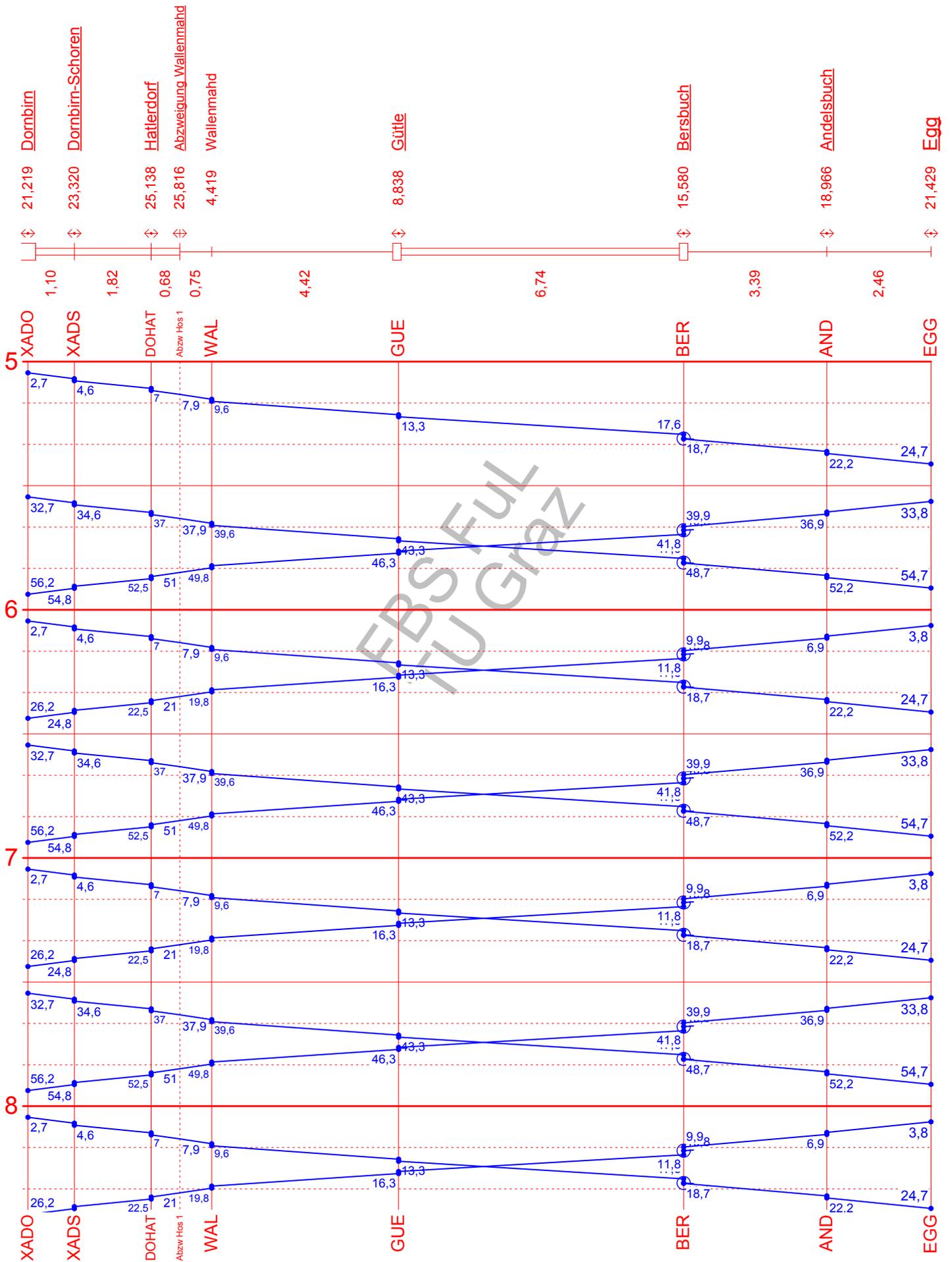
Stand: 30.08.2020 | Fahrzeugbedarf: 2 Tfz.
Laufleistung aller Fzg. pro Woche: 11.494,0 km
mittl. Laufleistung pro Fzg. und Tag: 821,0 km

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
|--------------|---|---|---|---|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| So 2 XADO | | | | | | XADO | Di 1 XADO |
| 768,9 km | | | | | | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 2 24 33 55 | 768,9 km |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| So 1 XADO | | | | | | XADO | Di 2 XADO |
| 873,1 km | | | | | | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 2 25 32 56 | 873,1 km |



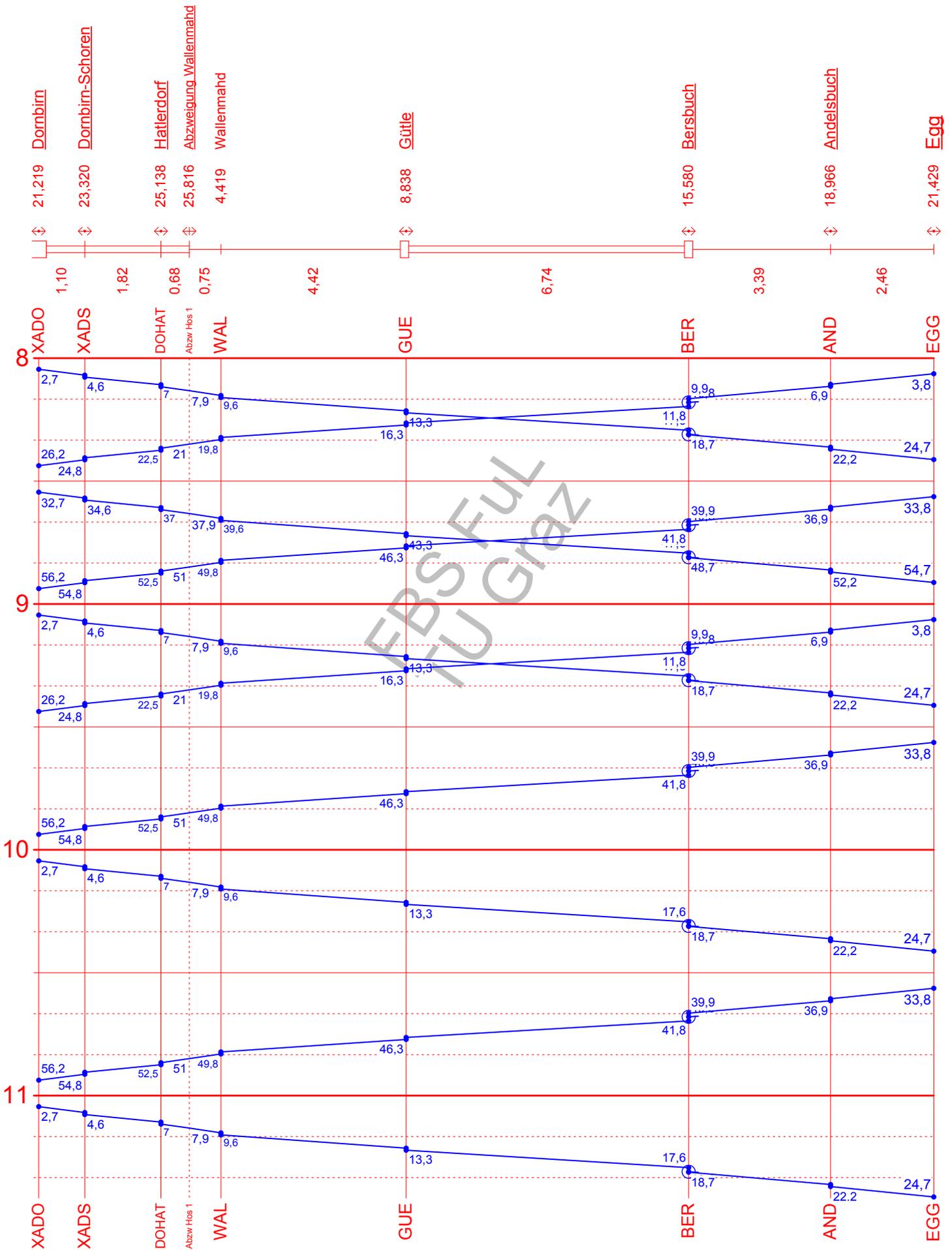
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



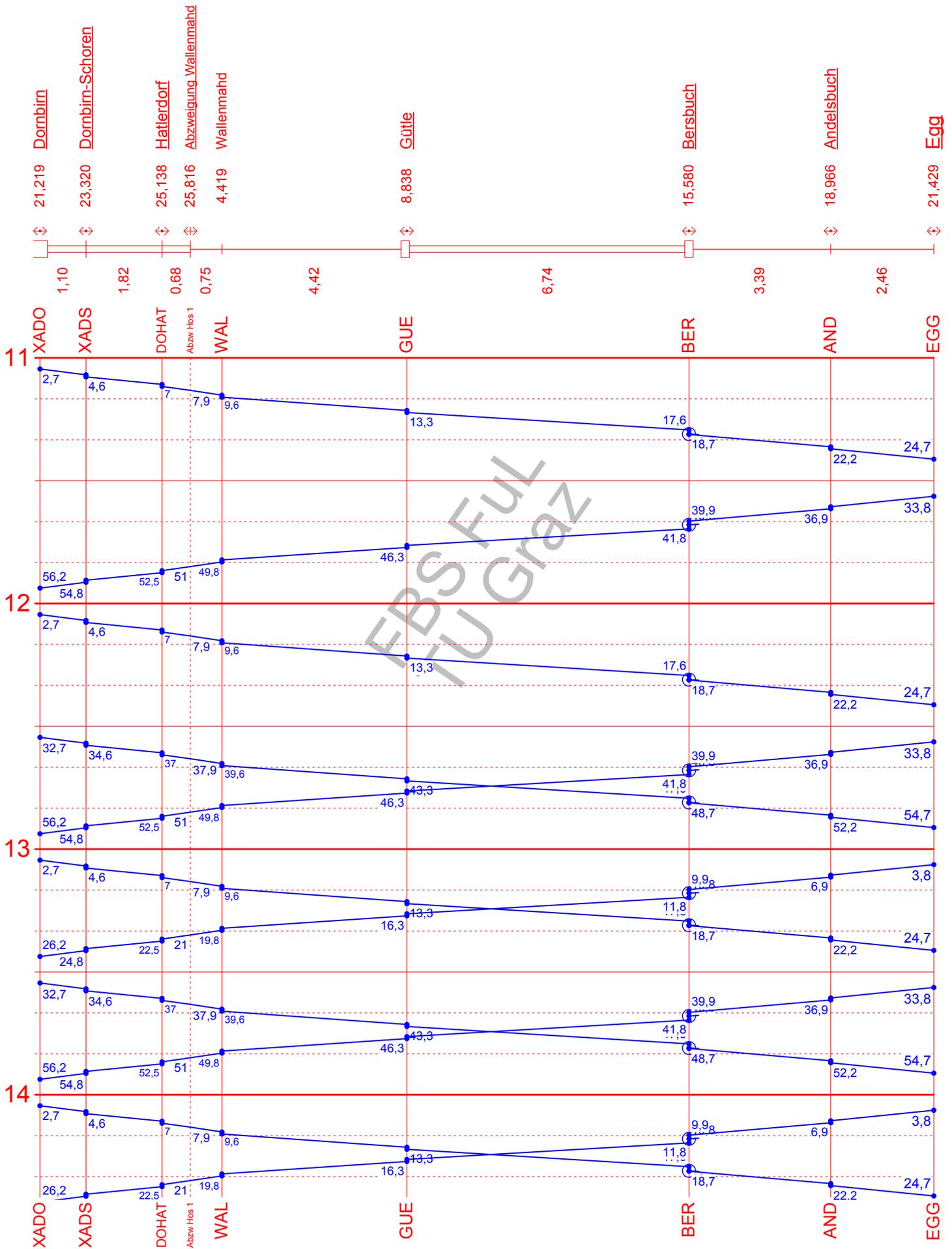
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

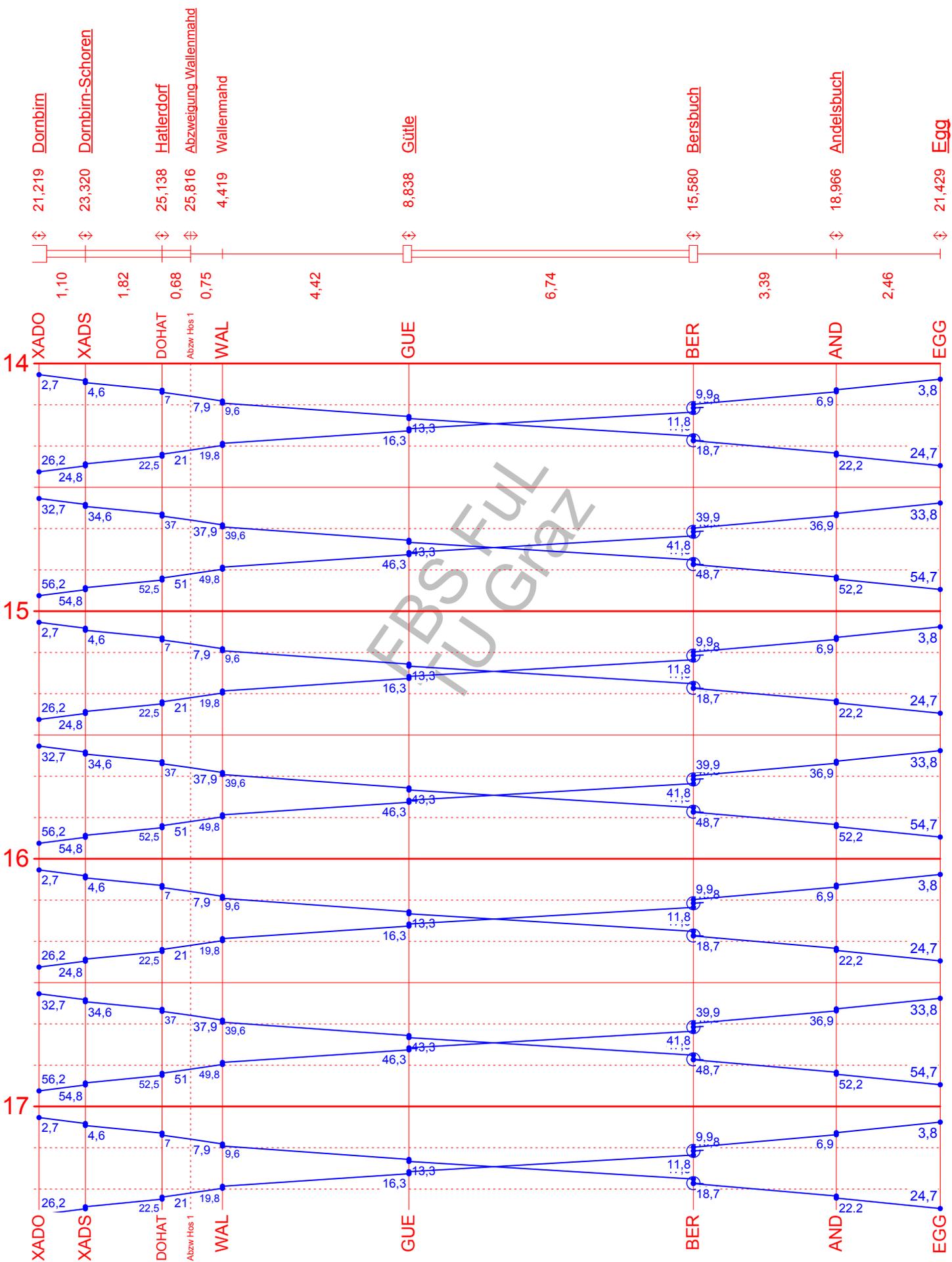
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

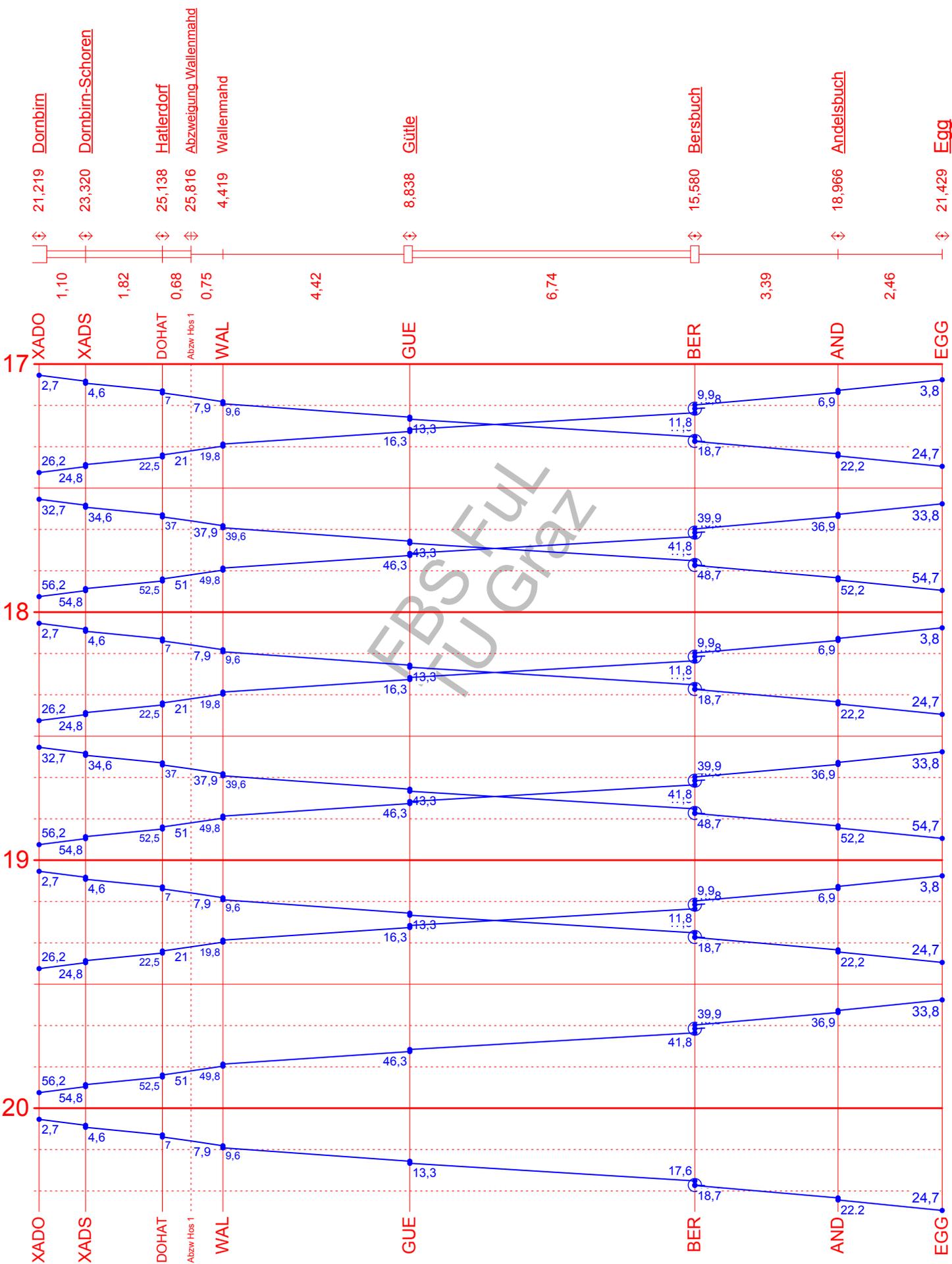
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

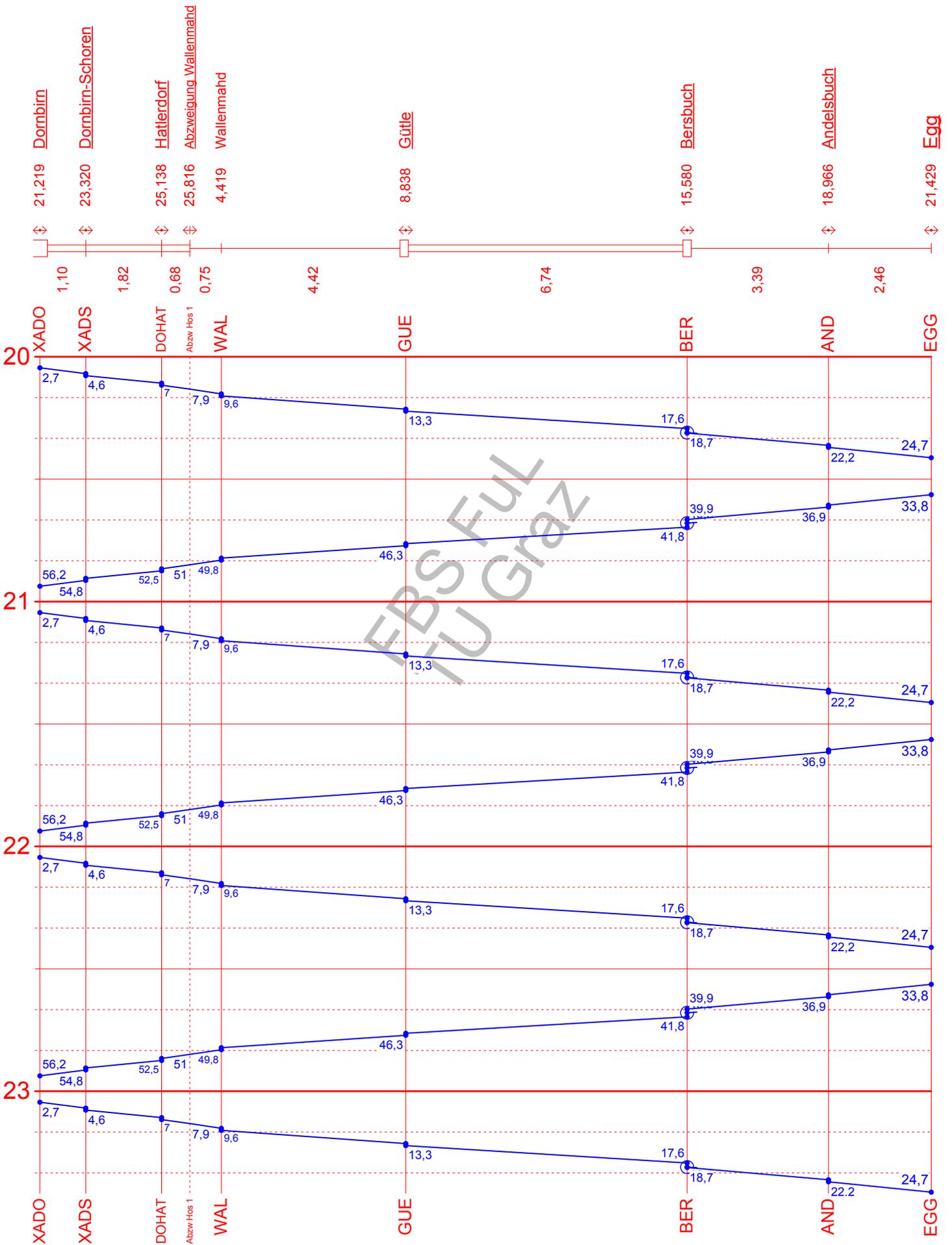
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



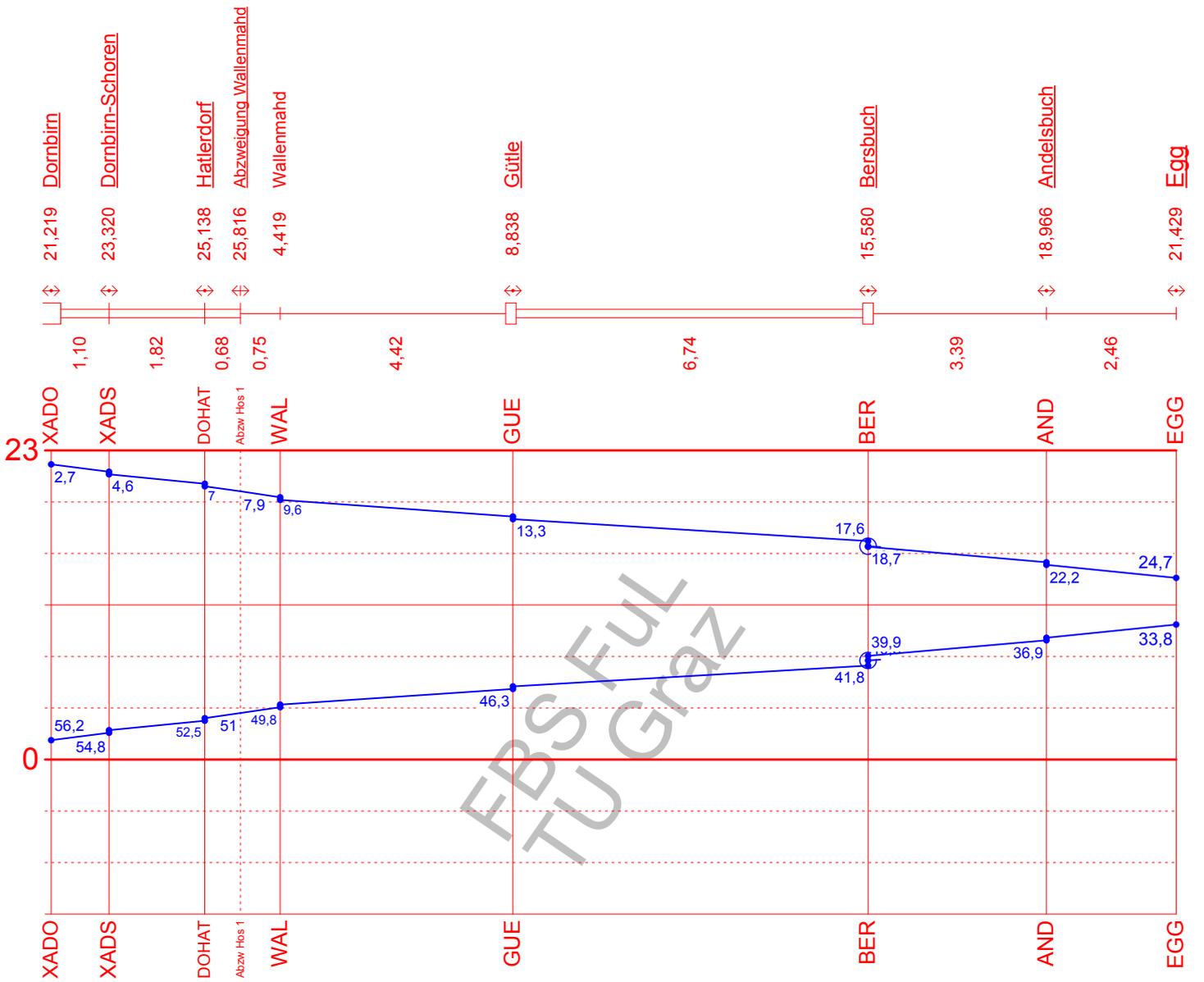
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



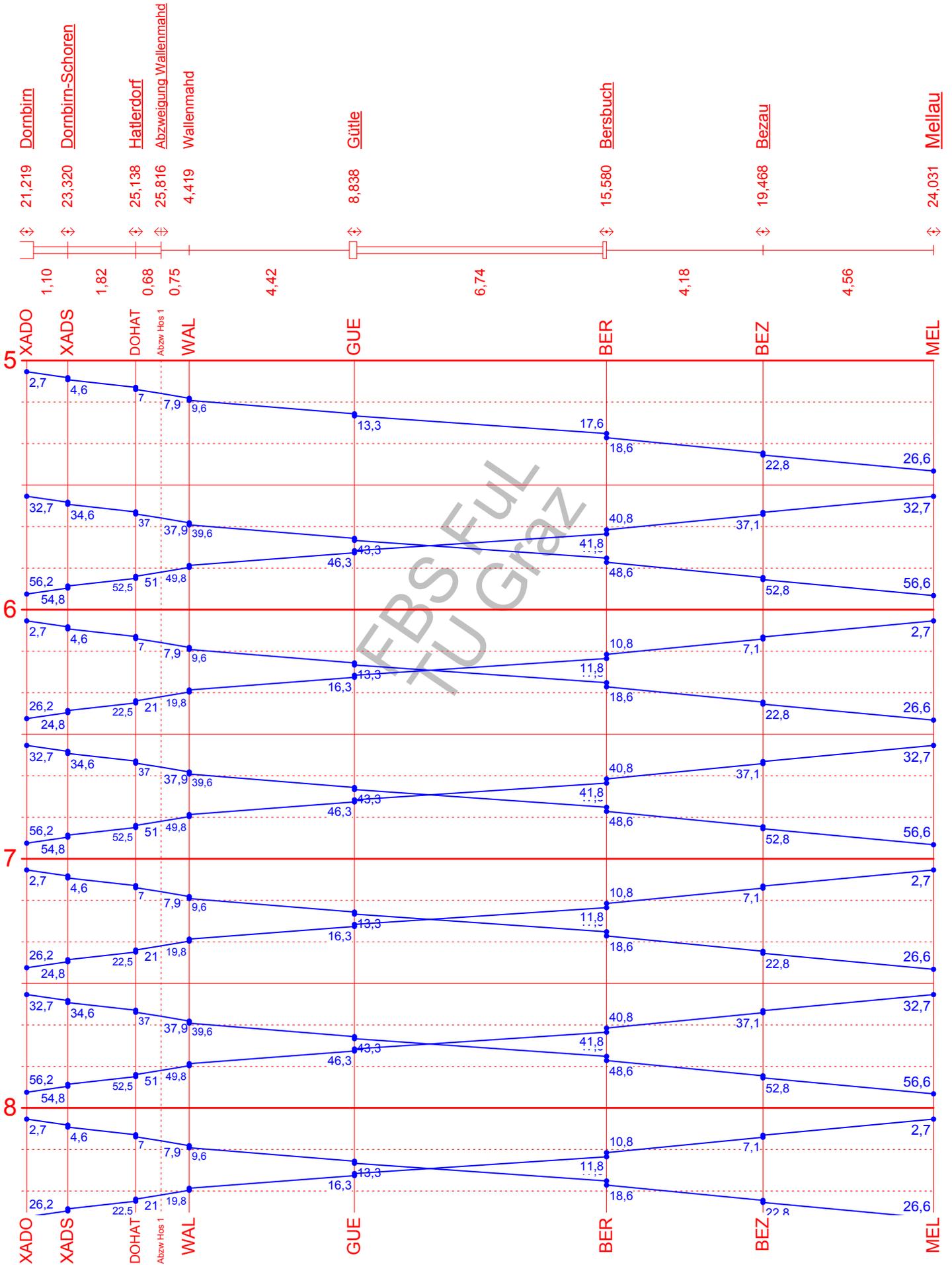
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



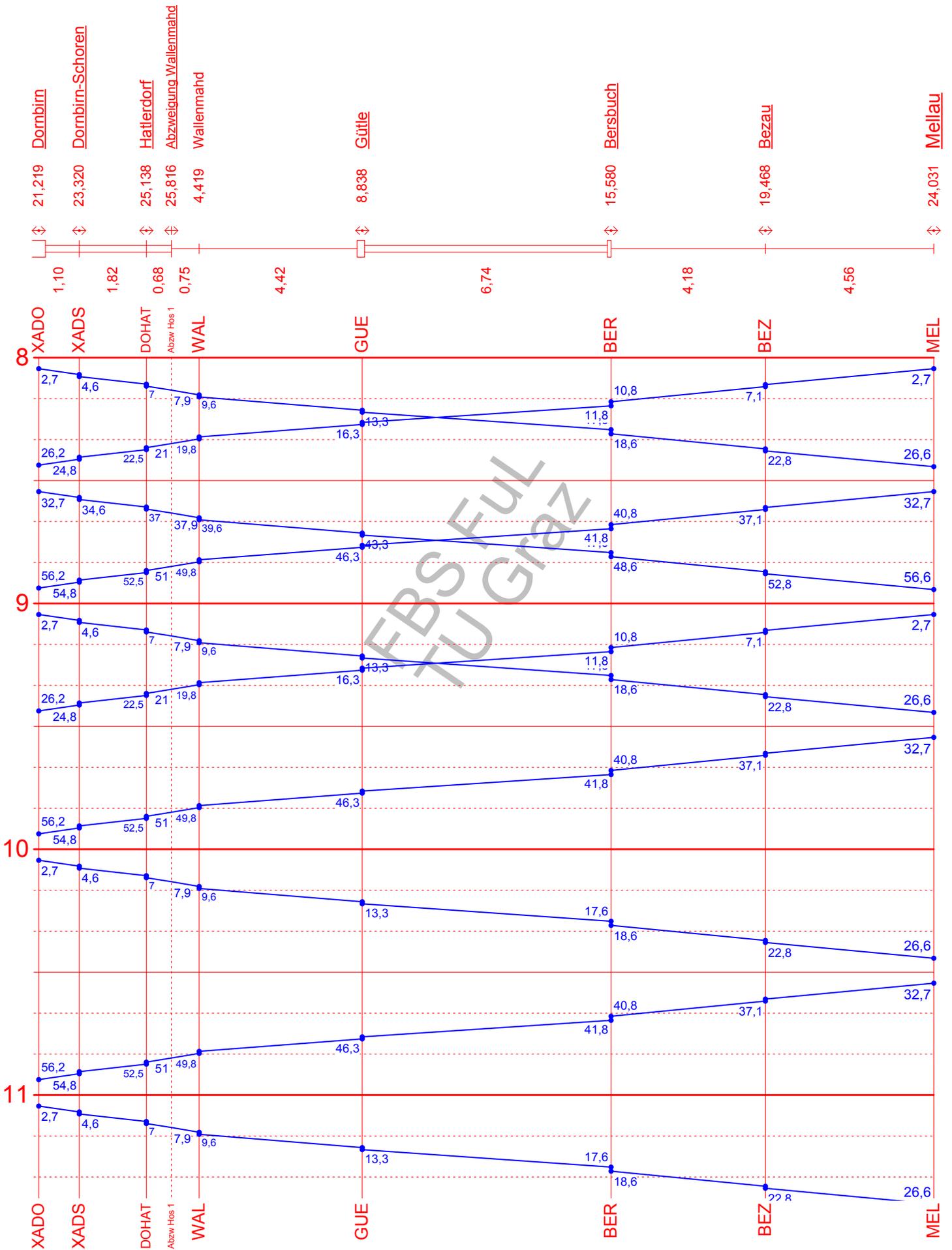
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



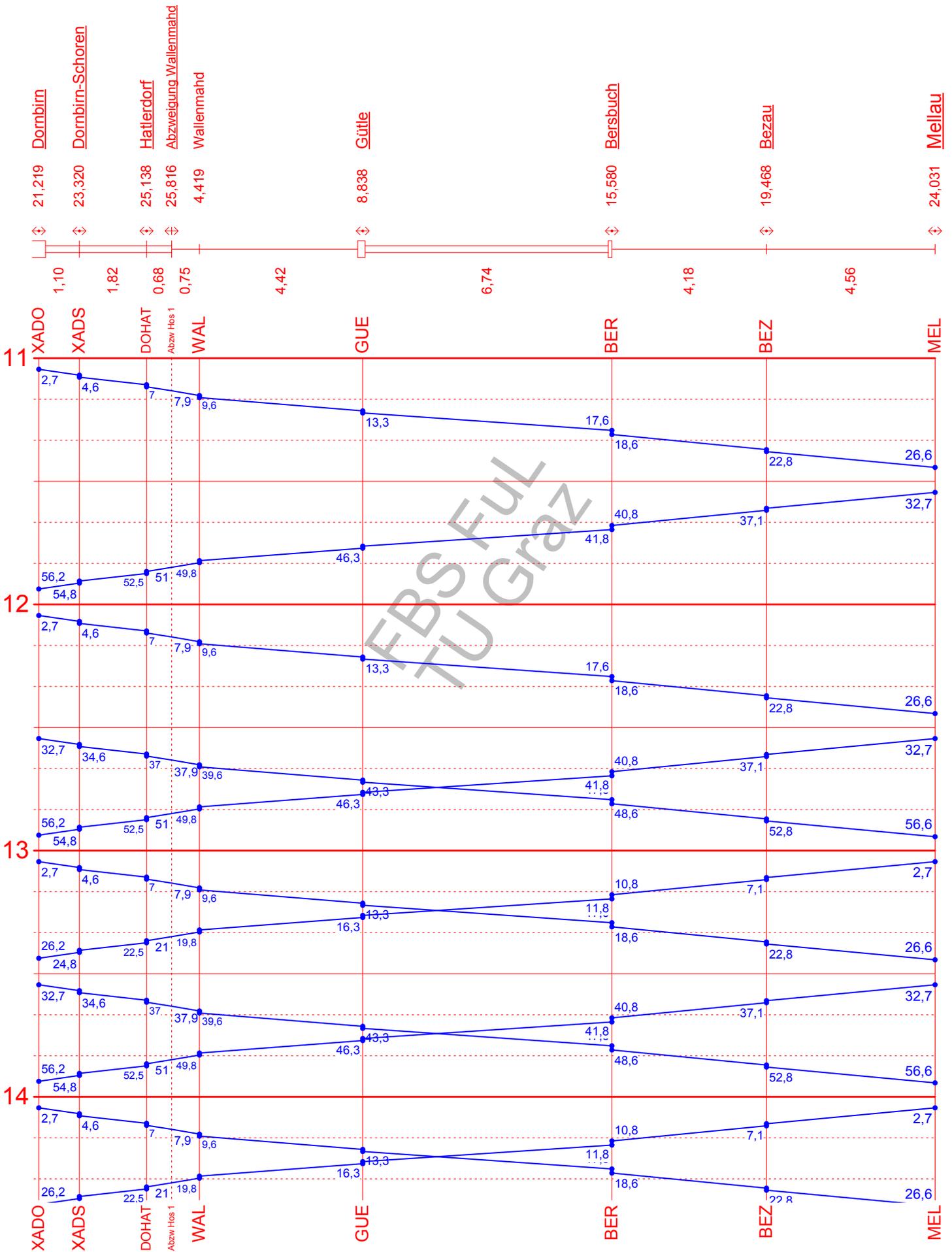
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



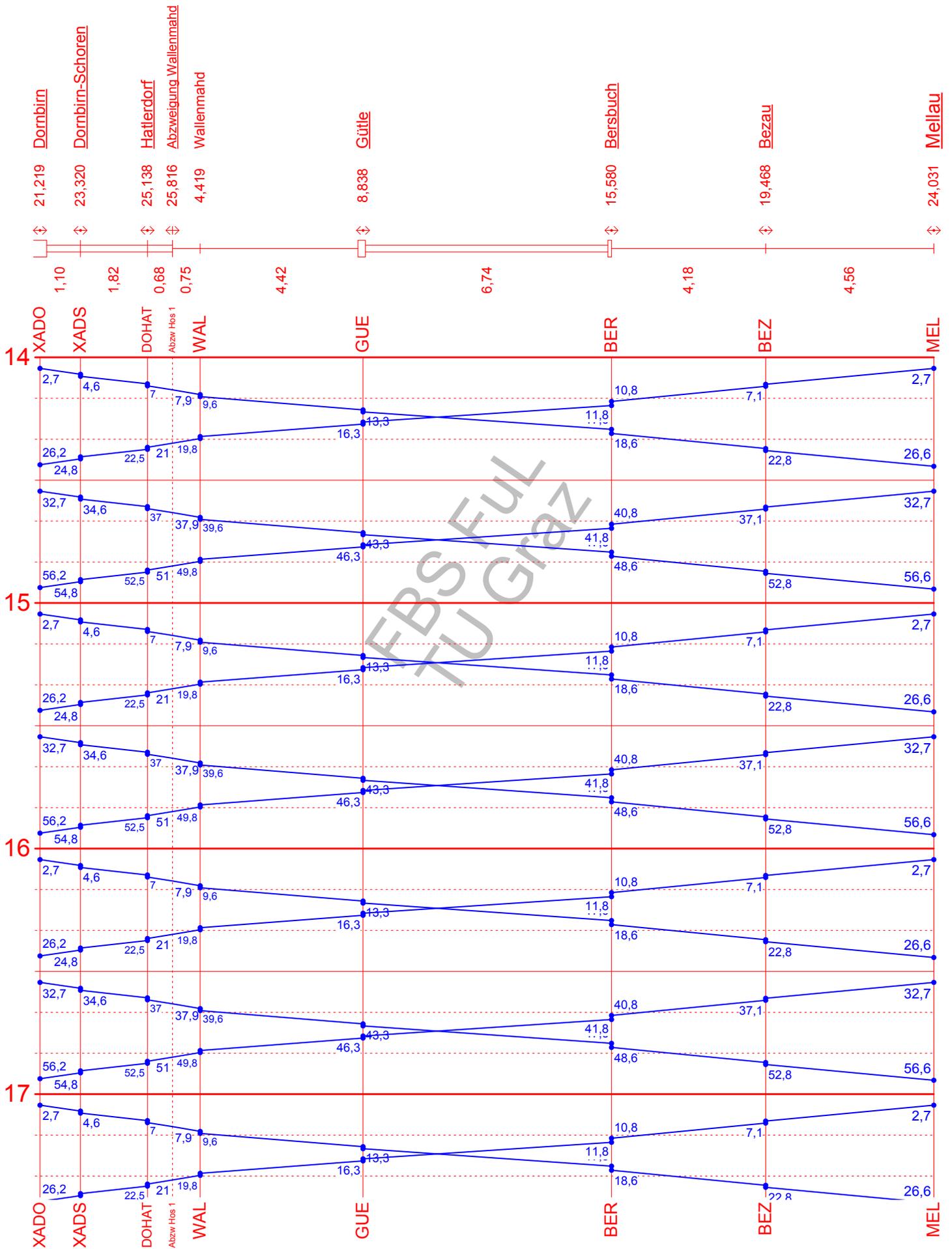
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



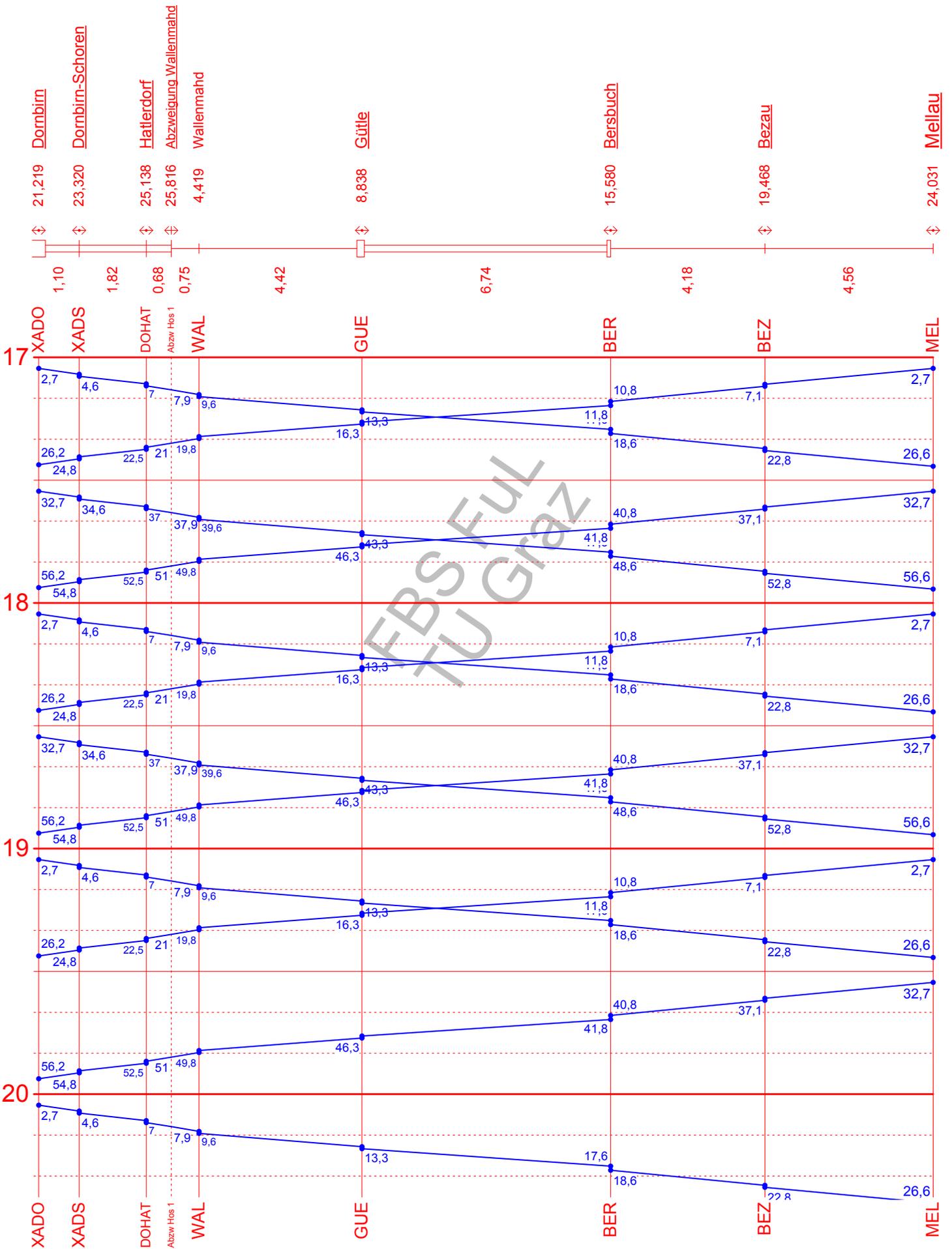
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



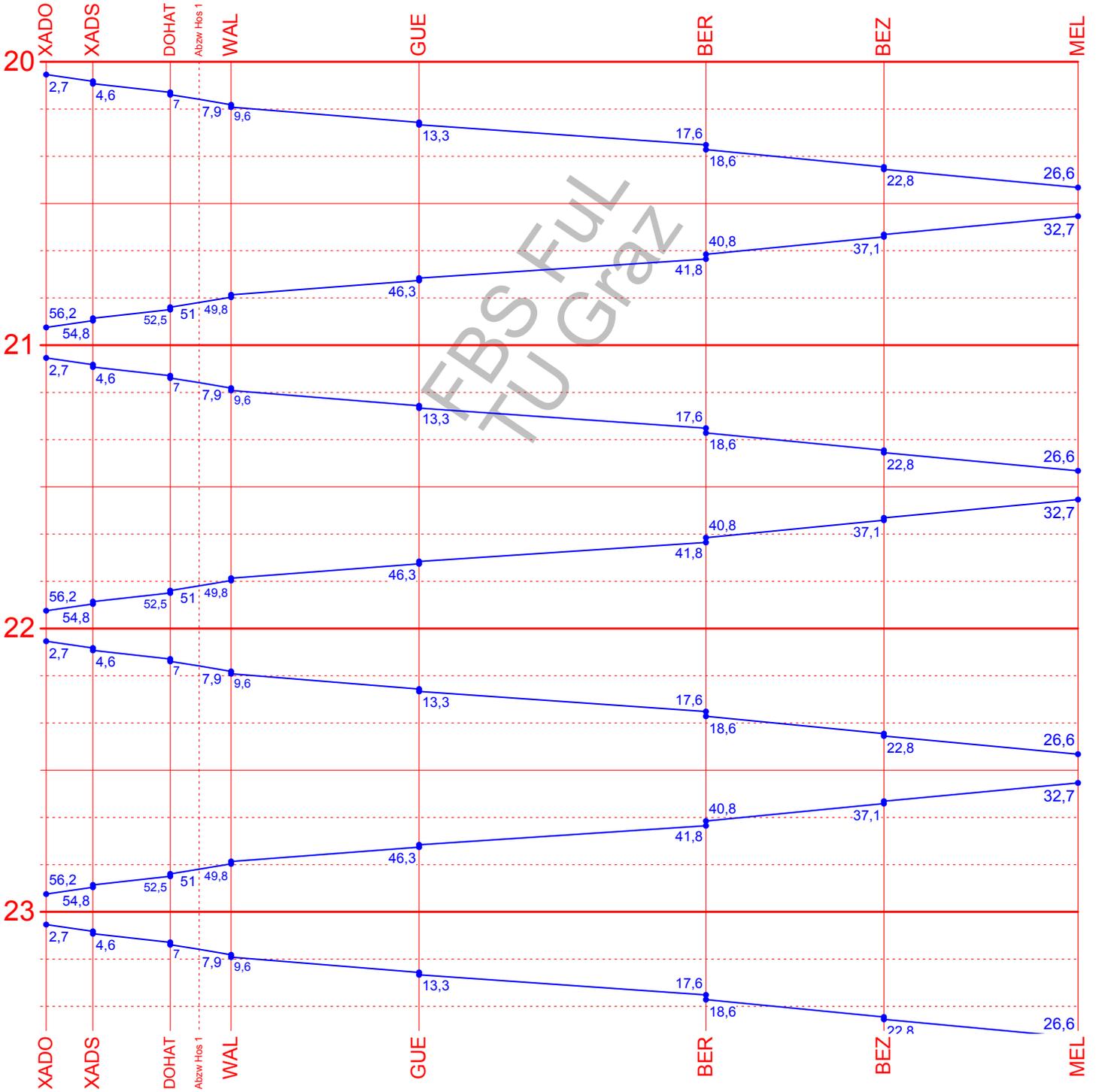
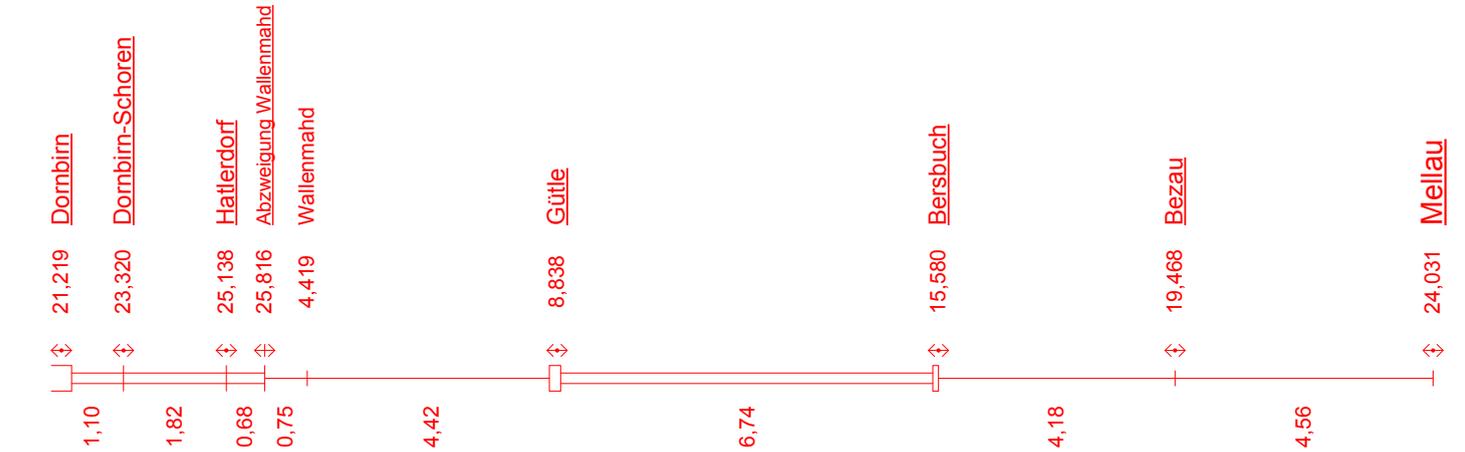
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



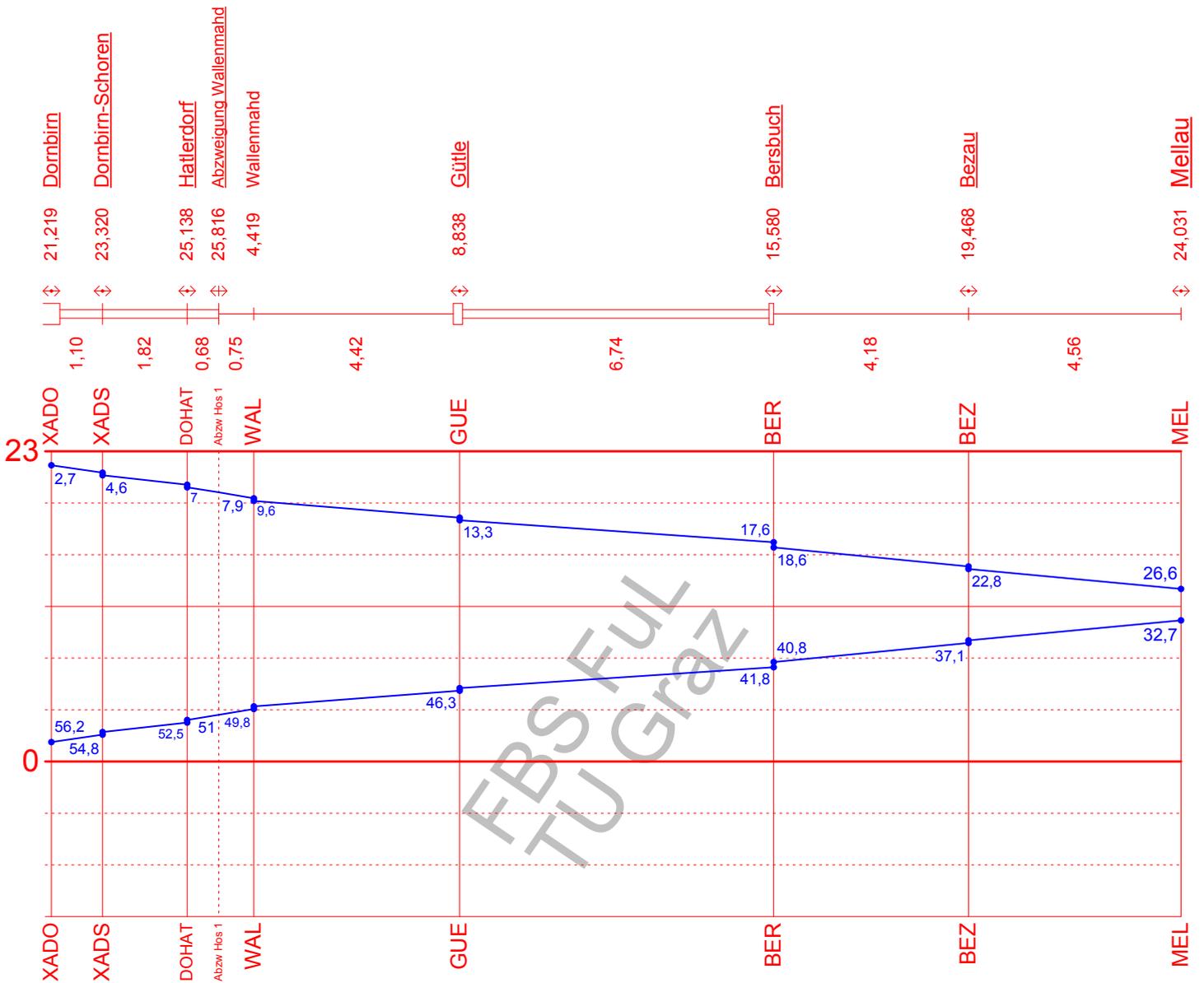
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
 Informationen unter www.irfp.de



Mo

FBS-FuL | lizenziert für TU Graz
TU Graz
Bw:
Est:

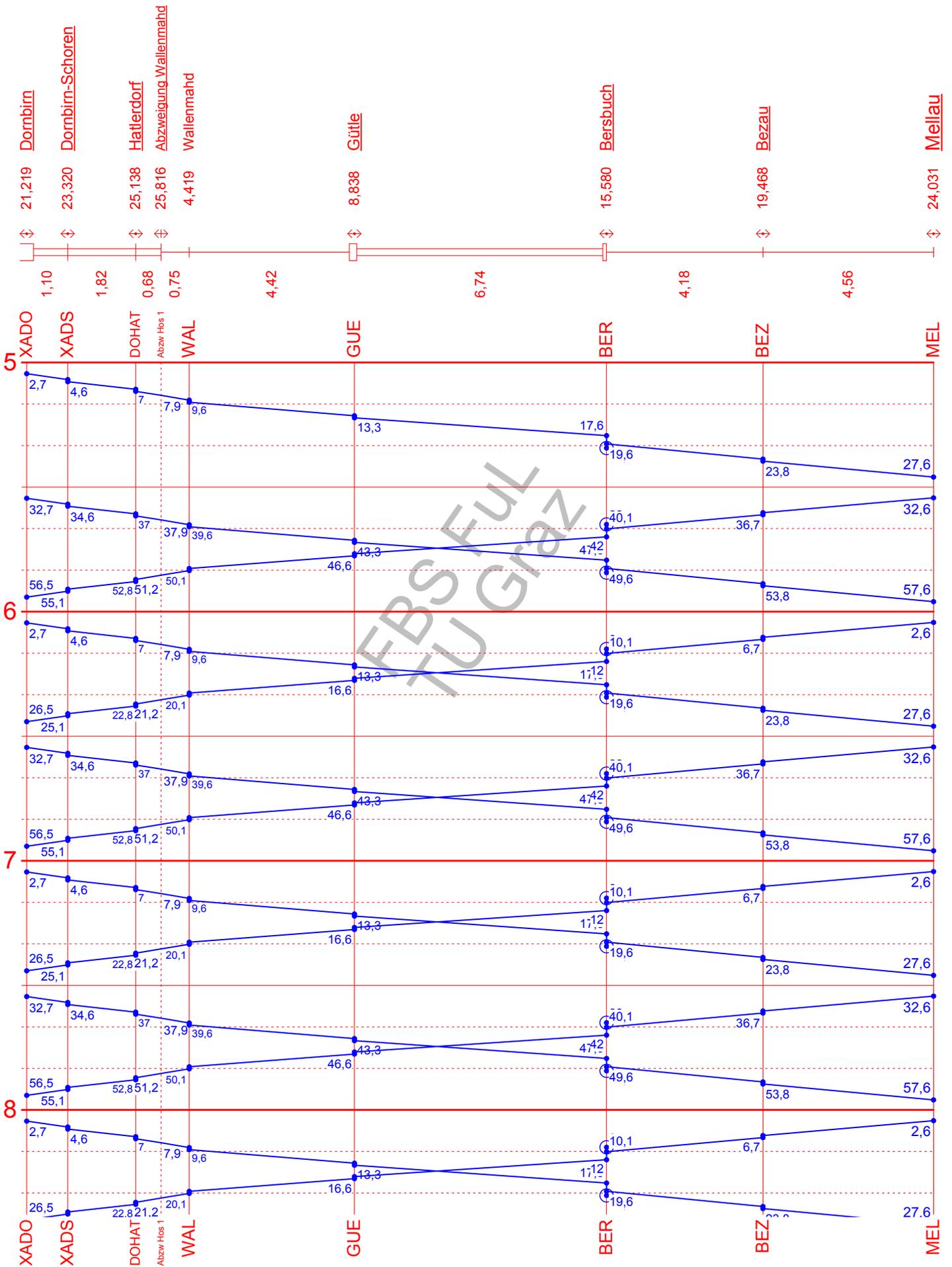
Umlaufplan Tfz. BR SiVT.CityjetÖBB

Stand: 17.08.2020 | Fahrzeugbedarf: 3 Tfz.
Laufleistung aller Fzg. pro Woche: 12.643,1 km
mittl. Laufleistung pro Fzg. und Tag: 602,1 km

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| So 1 XADO | | | | | | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | Di 1 XADO | |
| 921,7 km | | | | | | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 921,7 km | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | |
| So 2 XADO | | | | | | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | XADO | MEL | Di 2 XADO | |
| 533,6 km | | | | | | 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 2 26 32 56 | 533,6 km | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | | |
| So 3 BER | | | | | | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | BER | EGG | Di 3 BER | |
| 350,9 km | | | | | | 18 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 24 39 54 9 | 18 24 39 54 9 | 350,9 km |

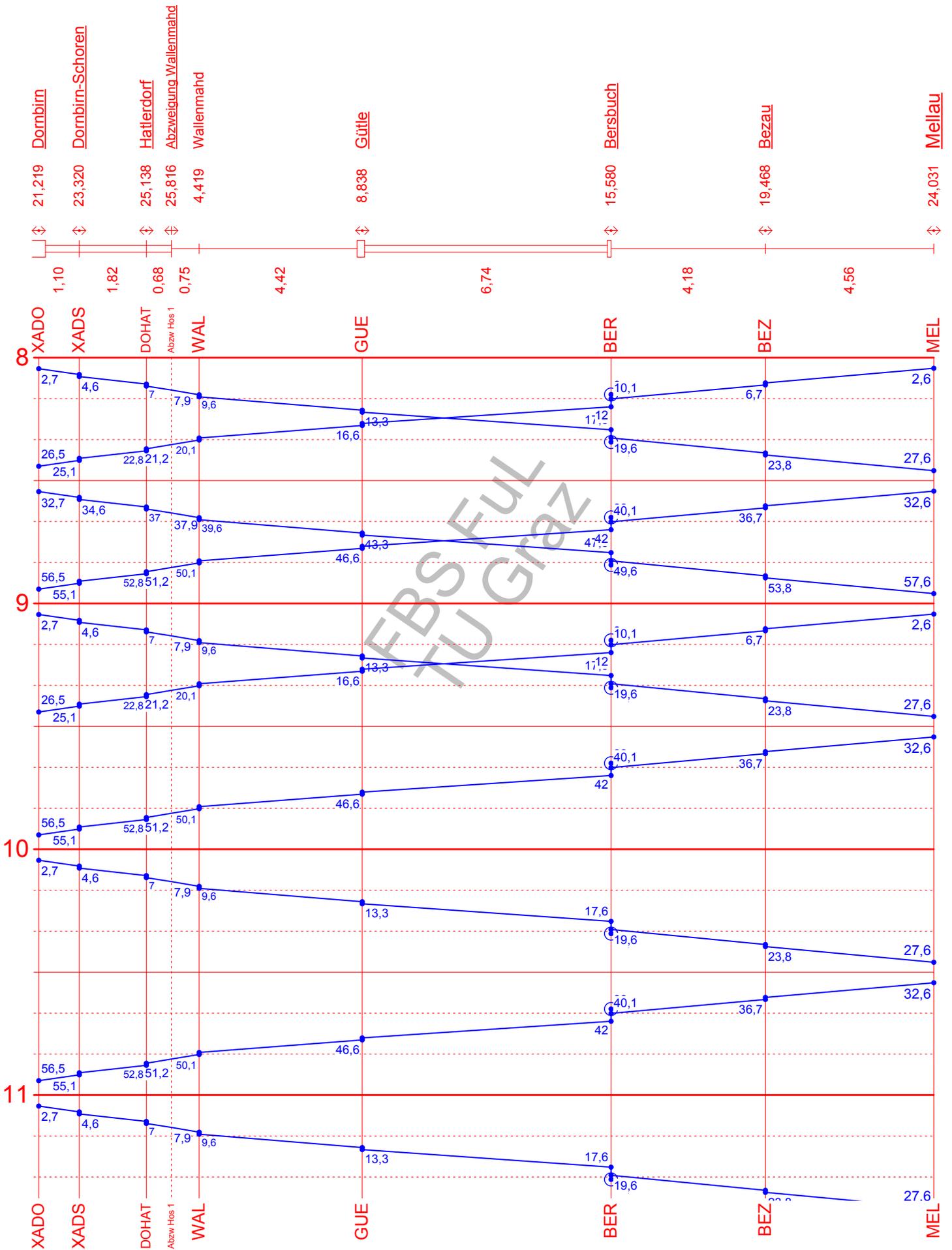
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



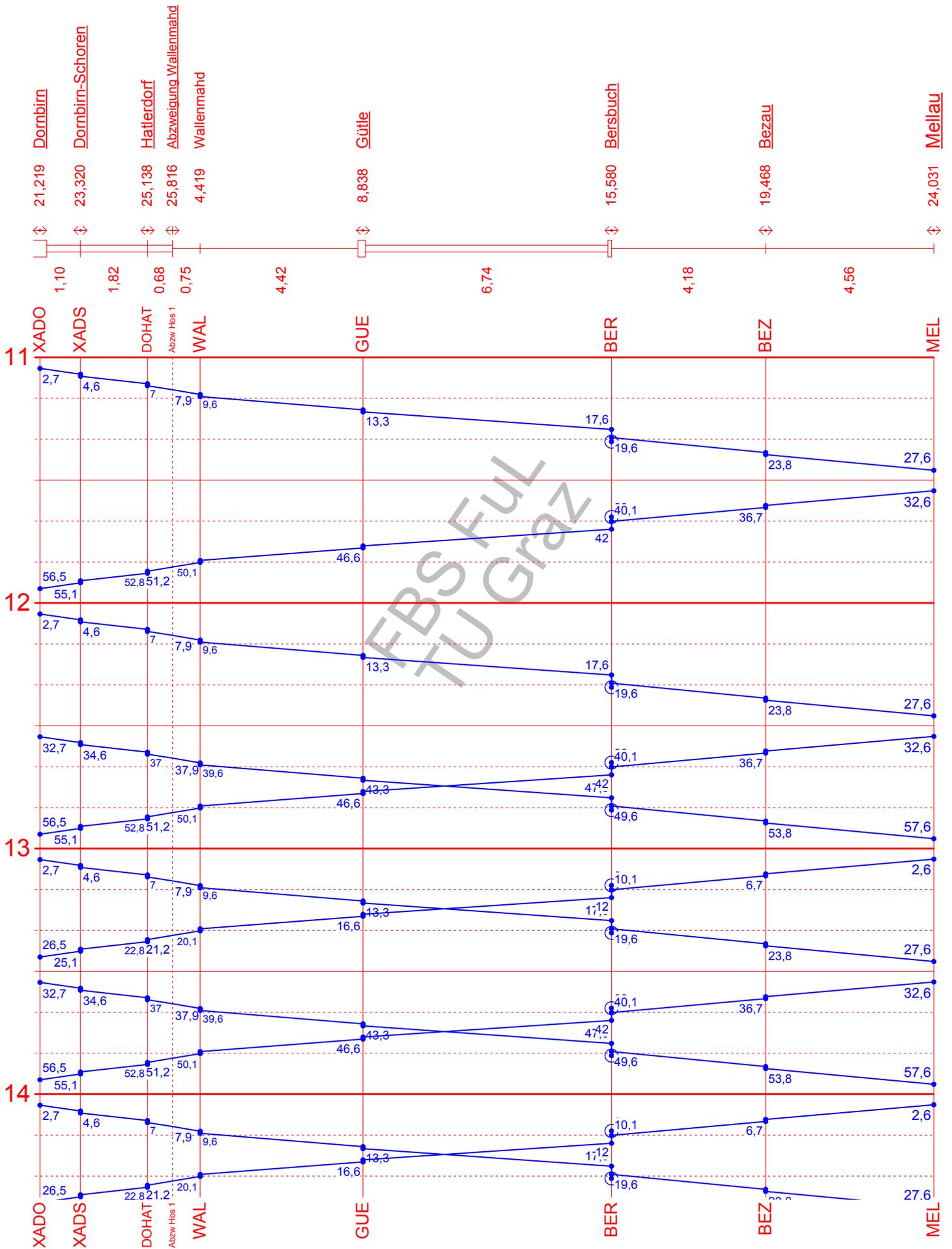
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

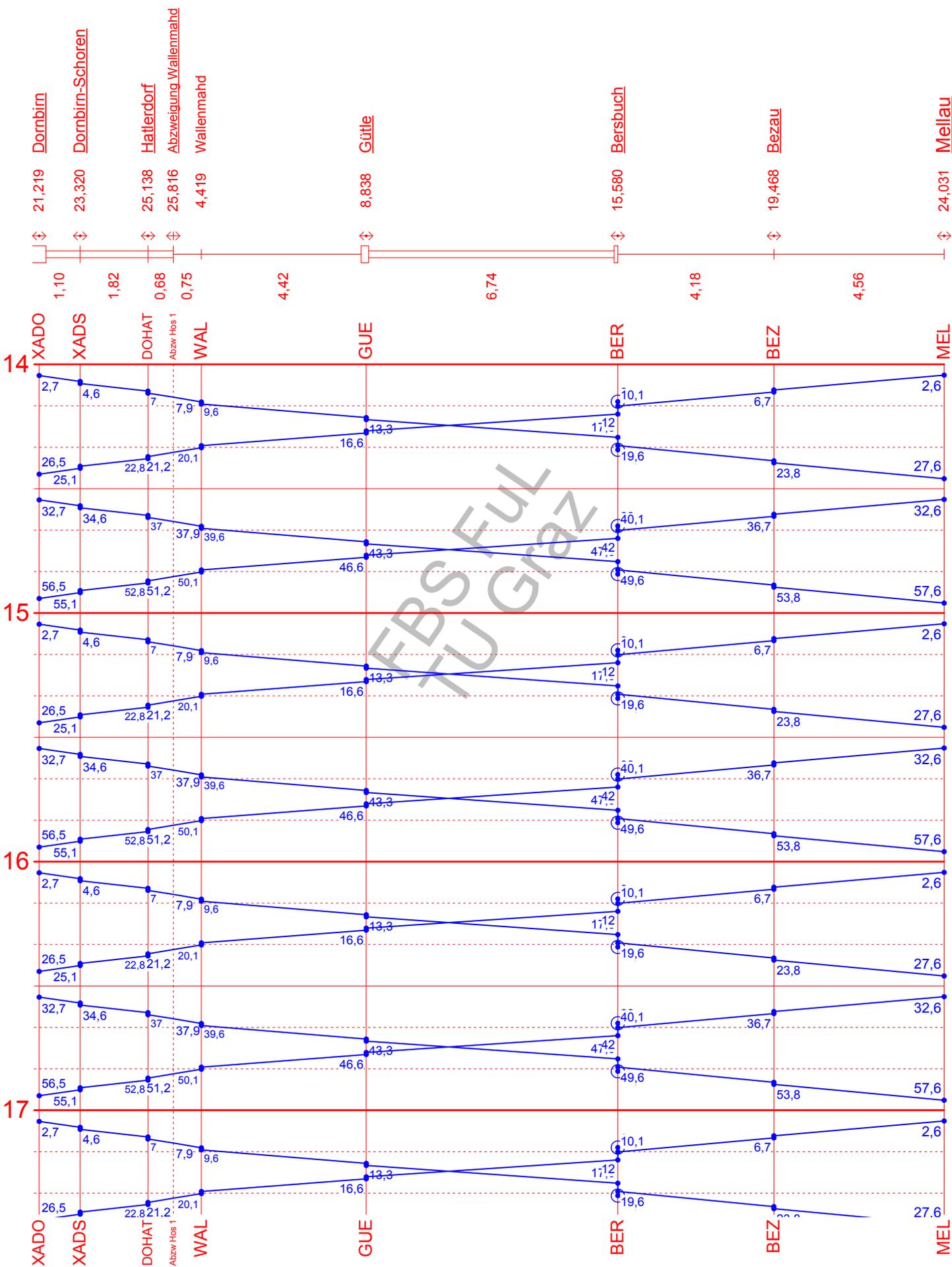
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



24,254 km

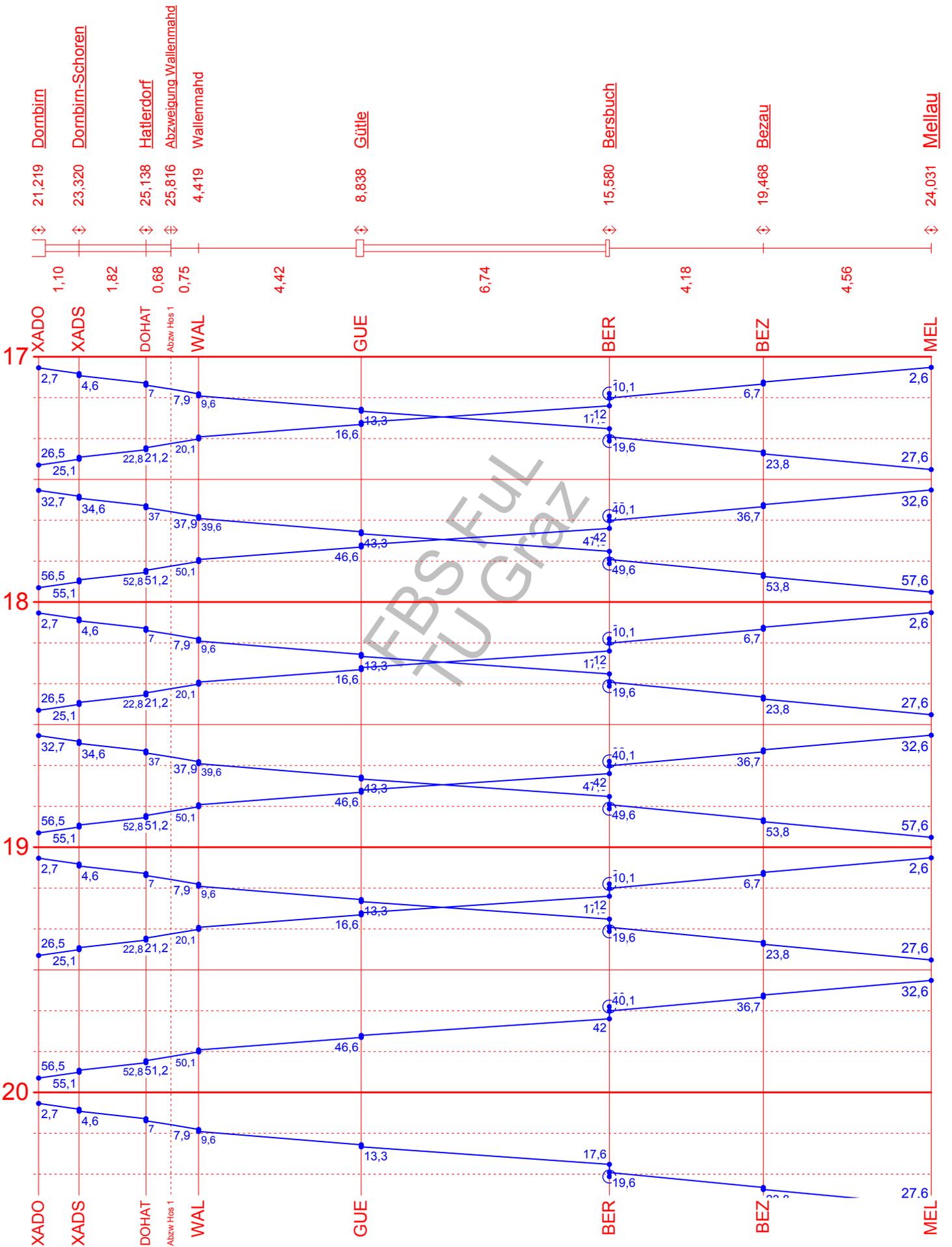
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



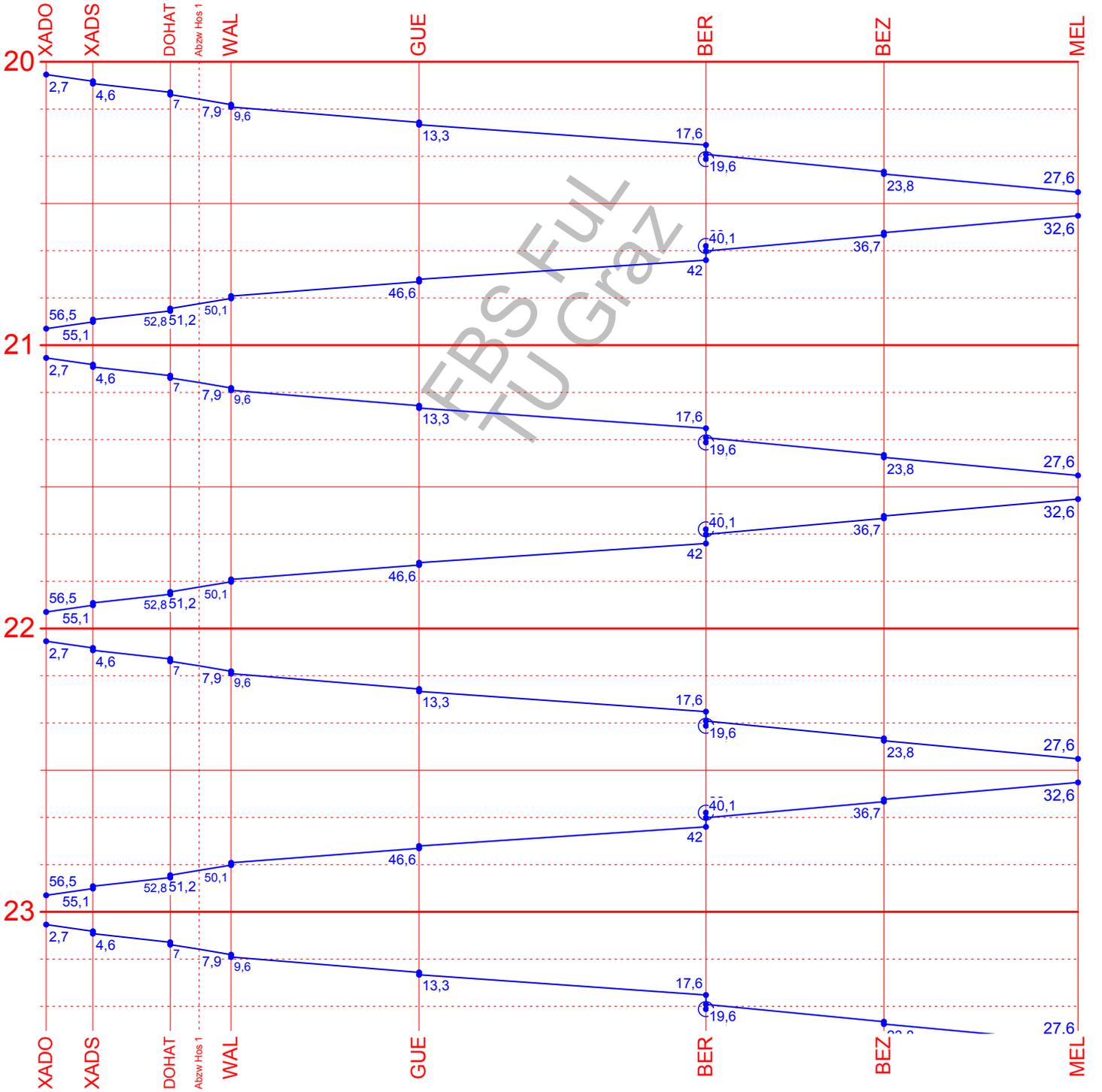
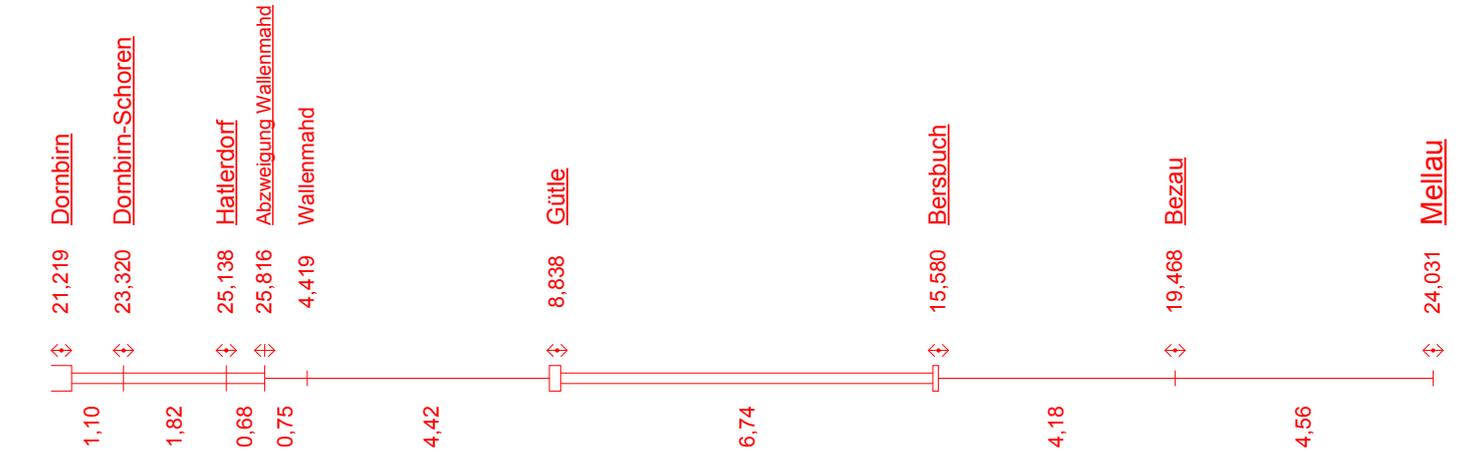
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



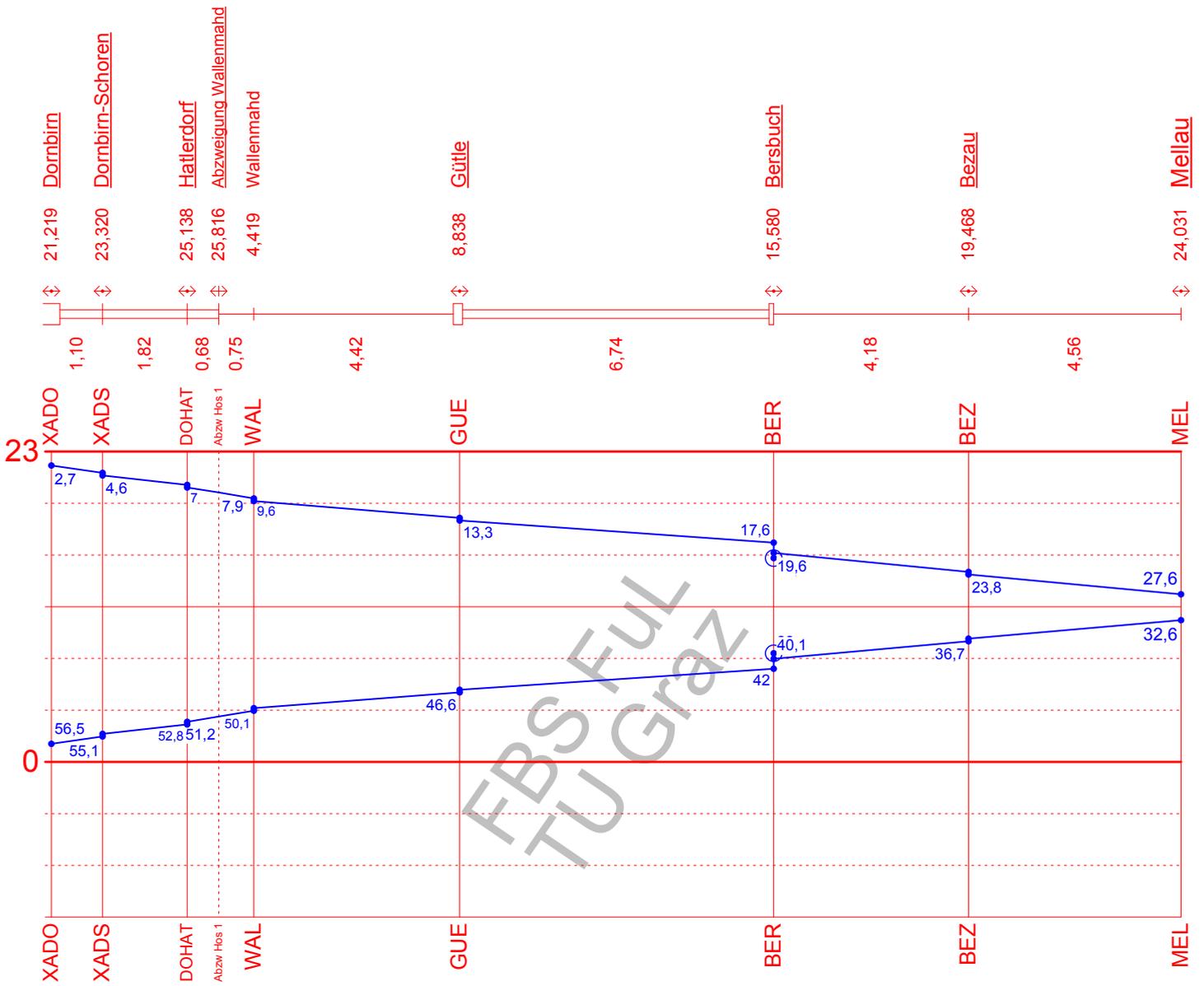
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



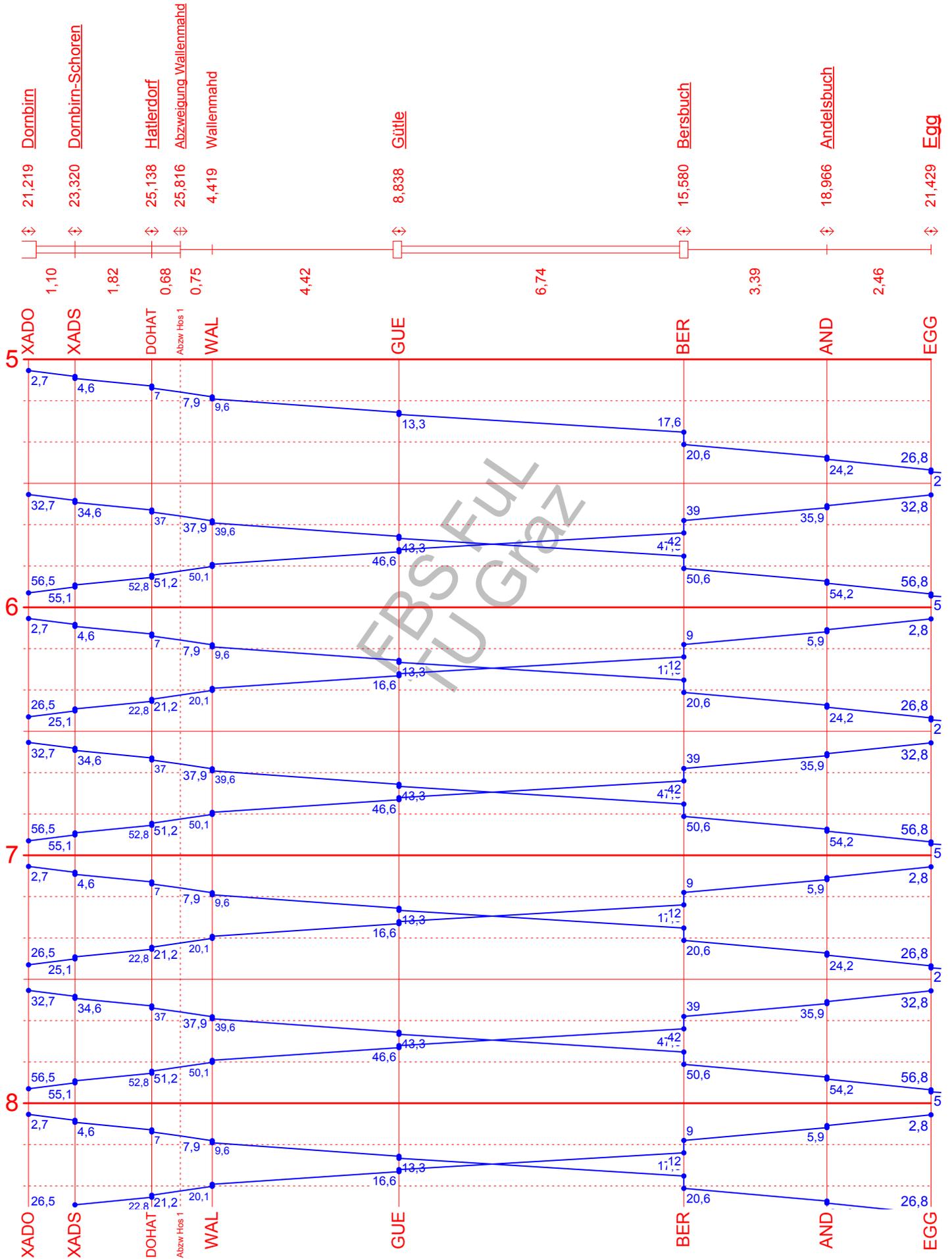
24,254 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



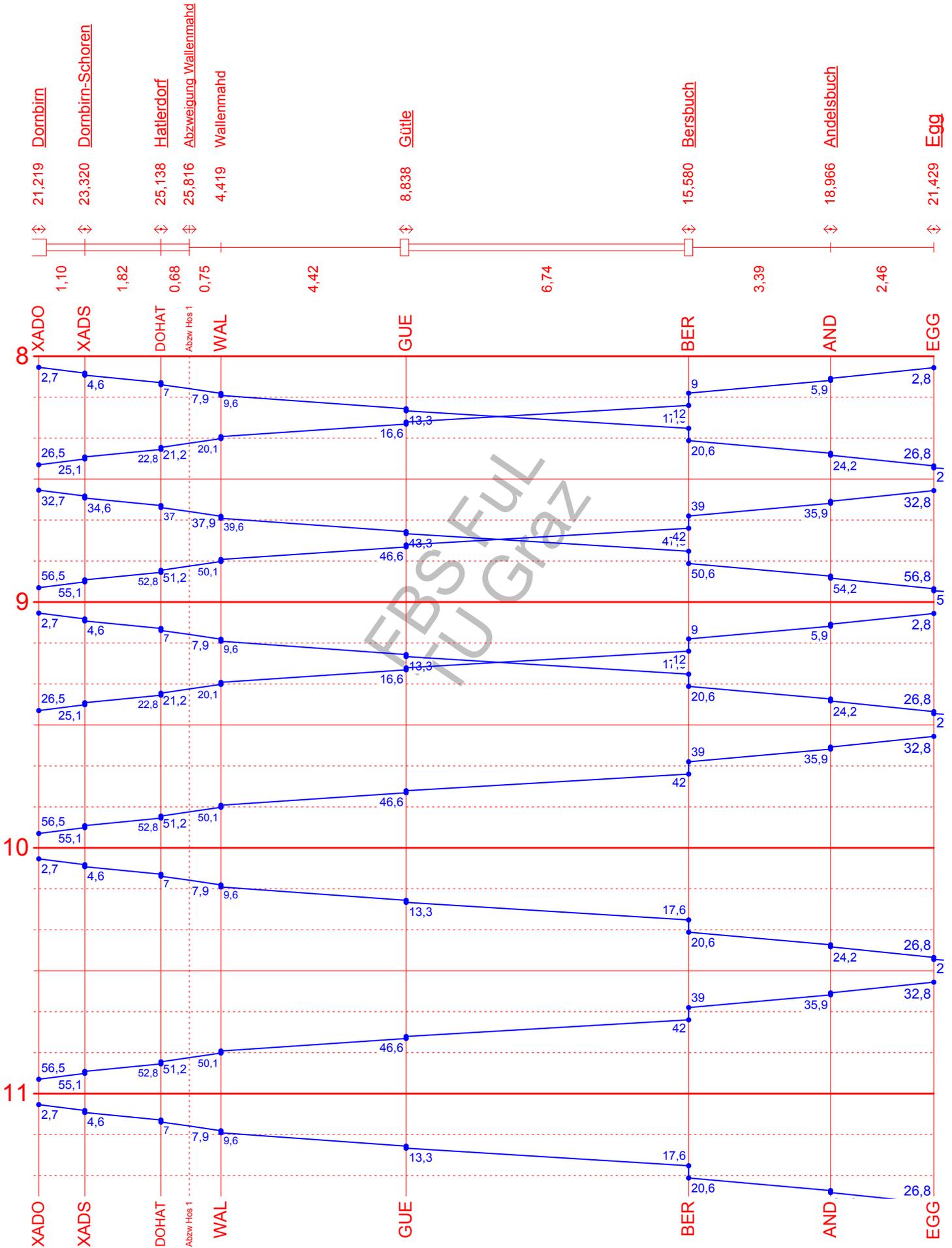
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



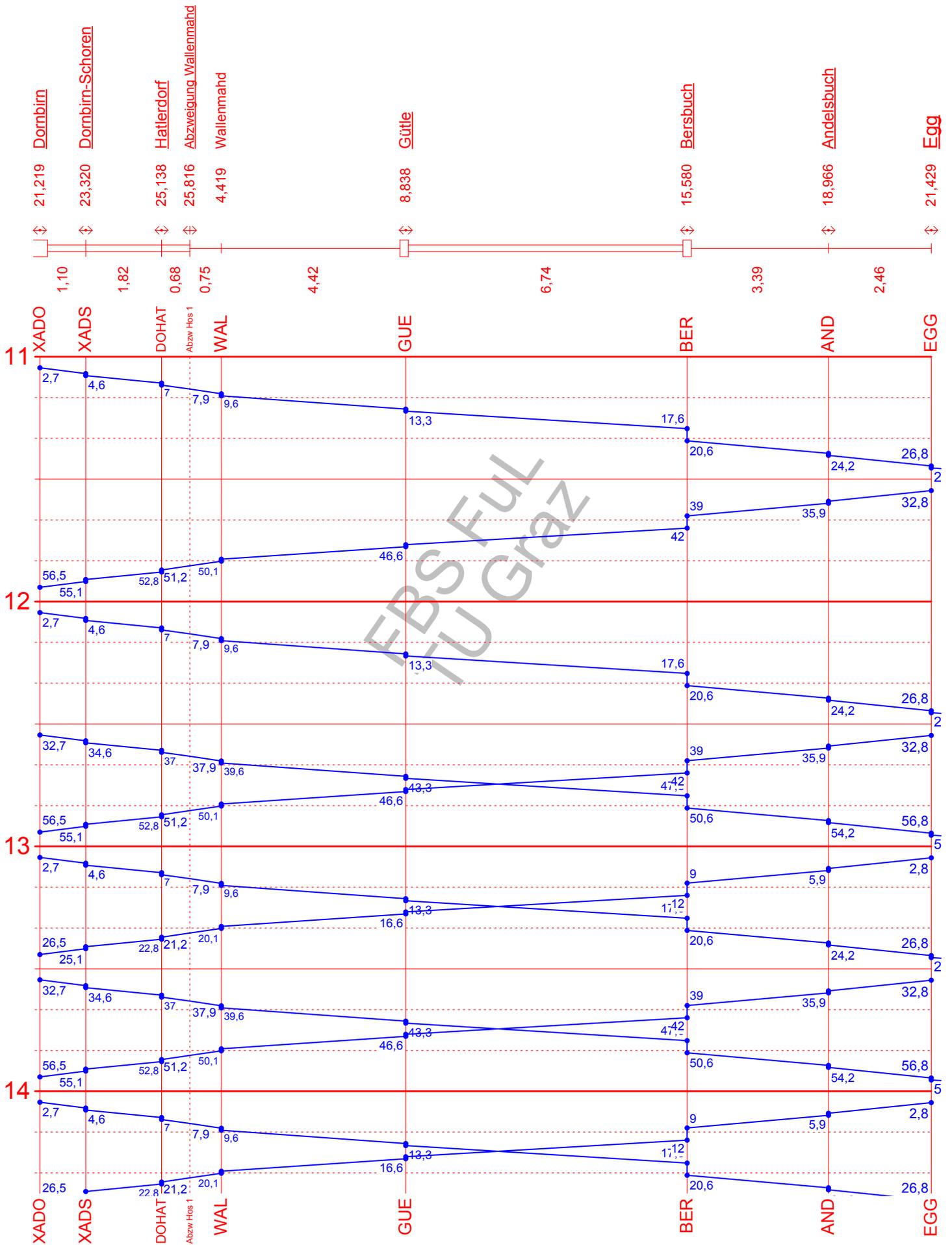
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

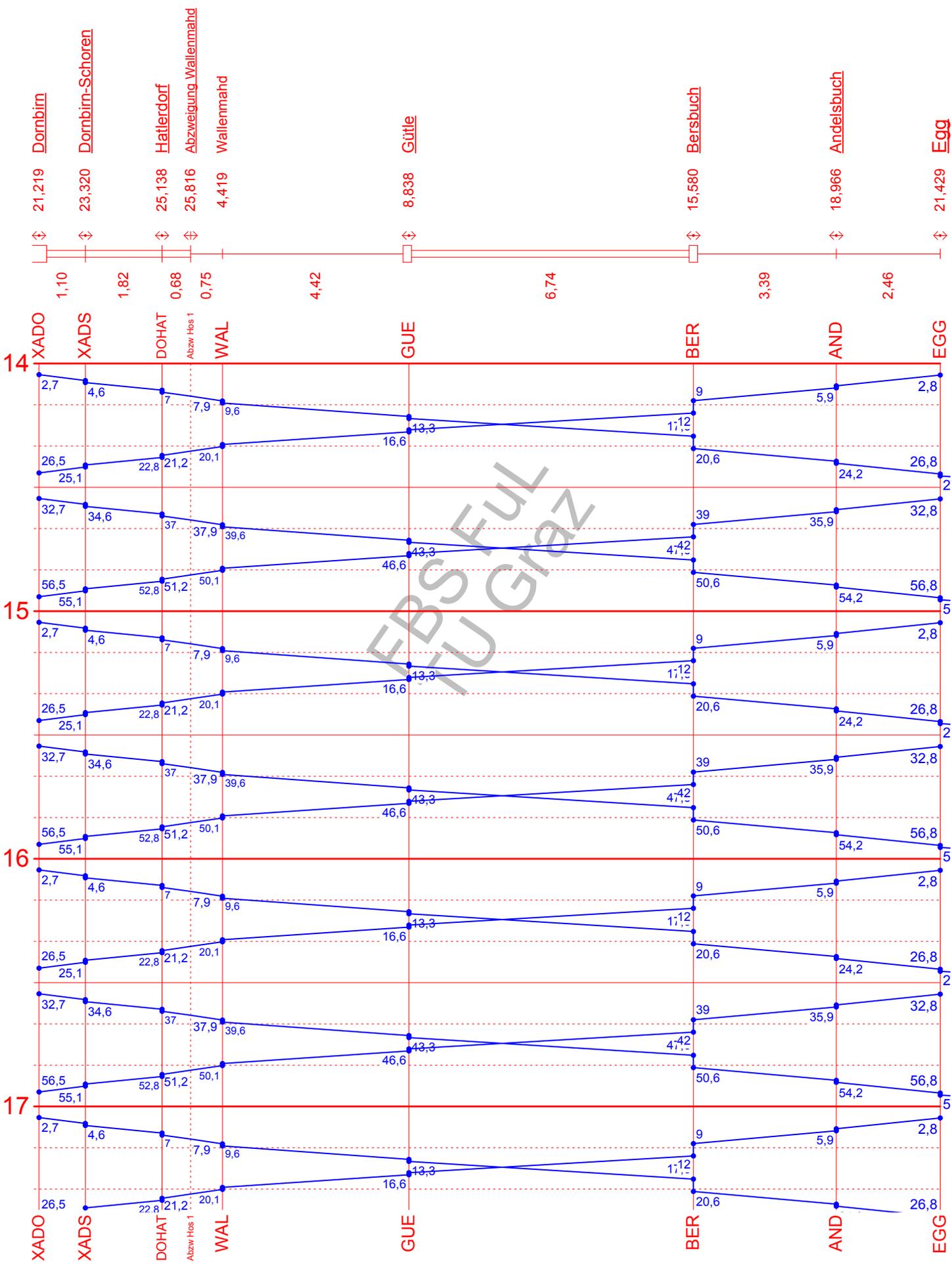
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



21,357 km

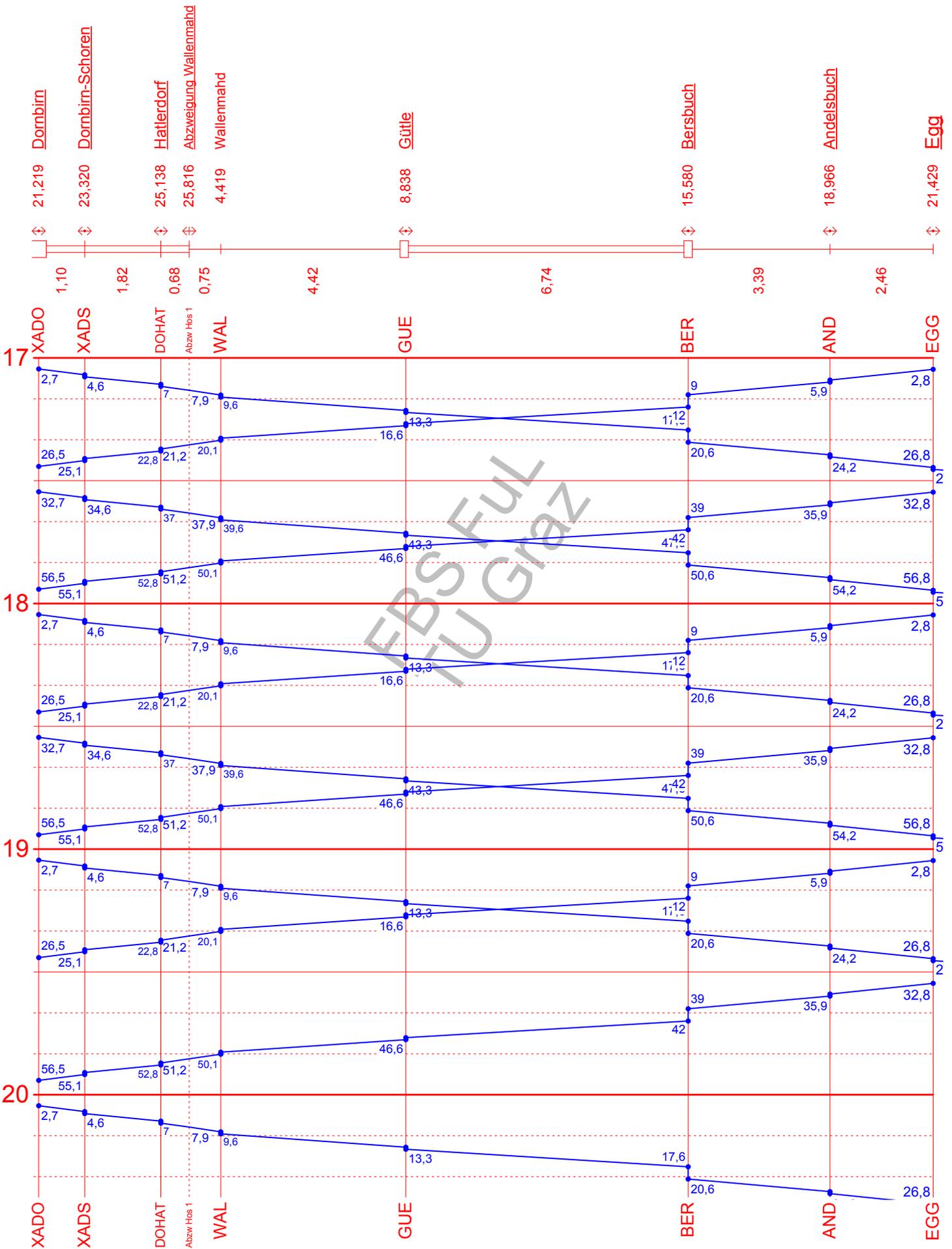
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



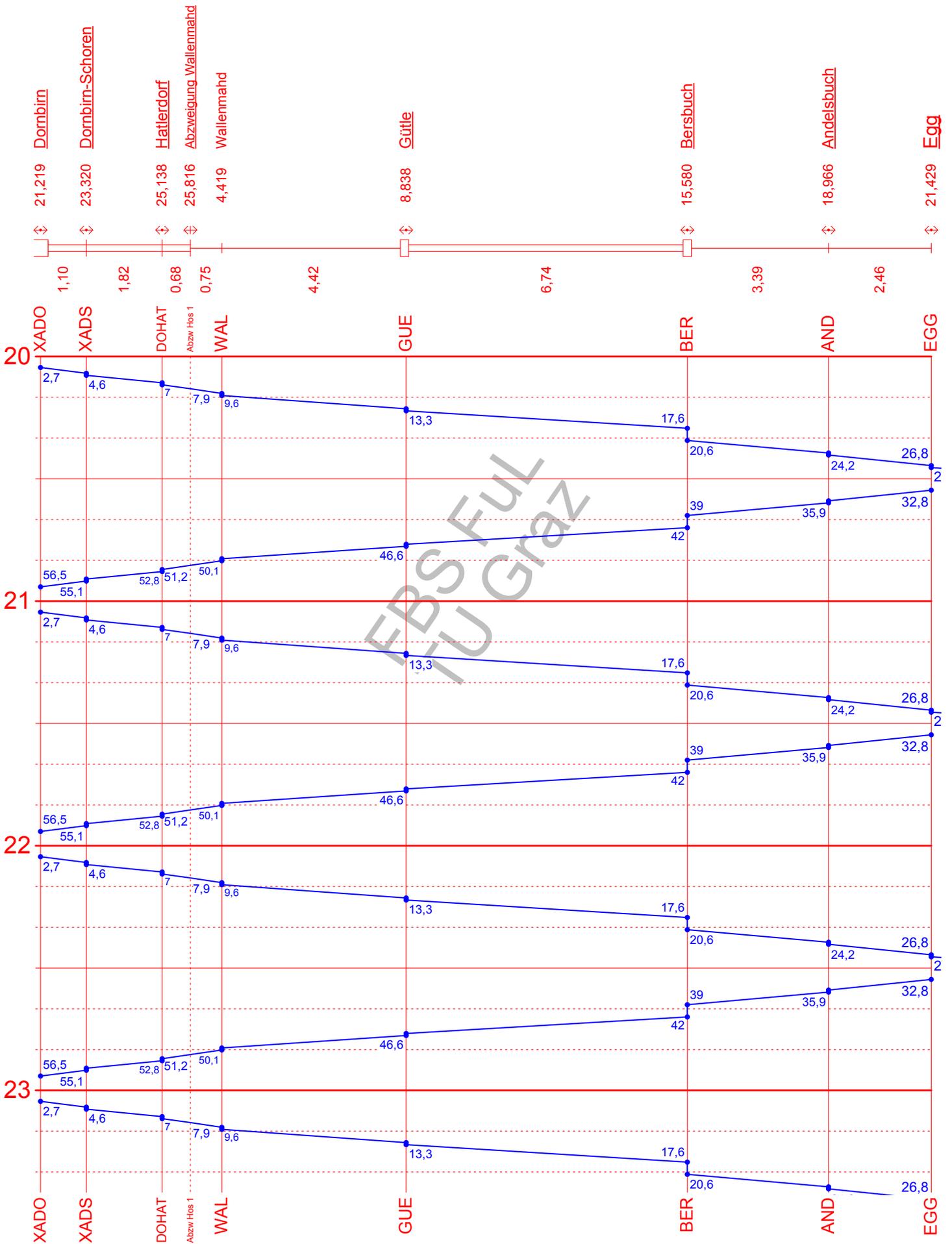
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



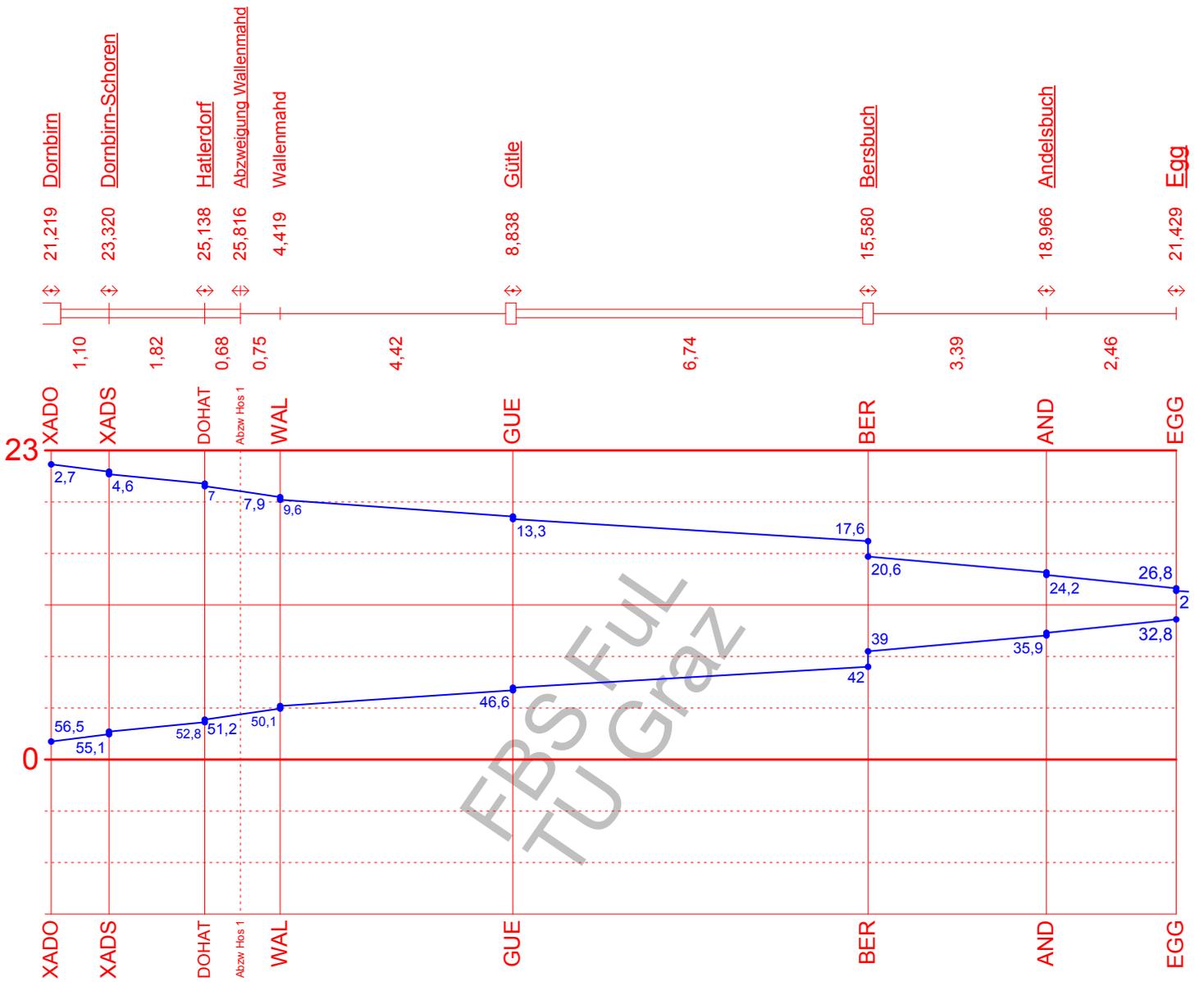
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



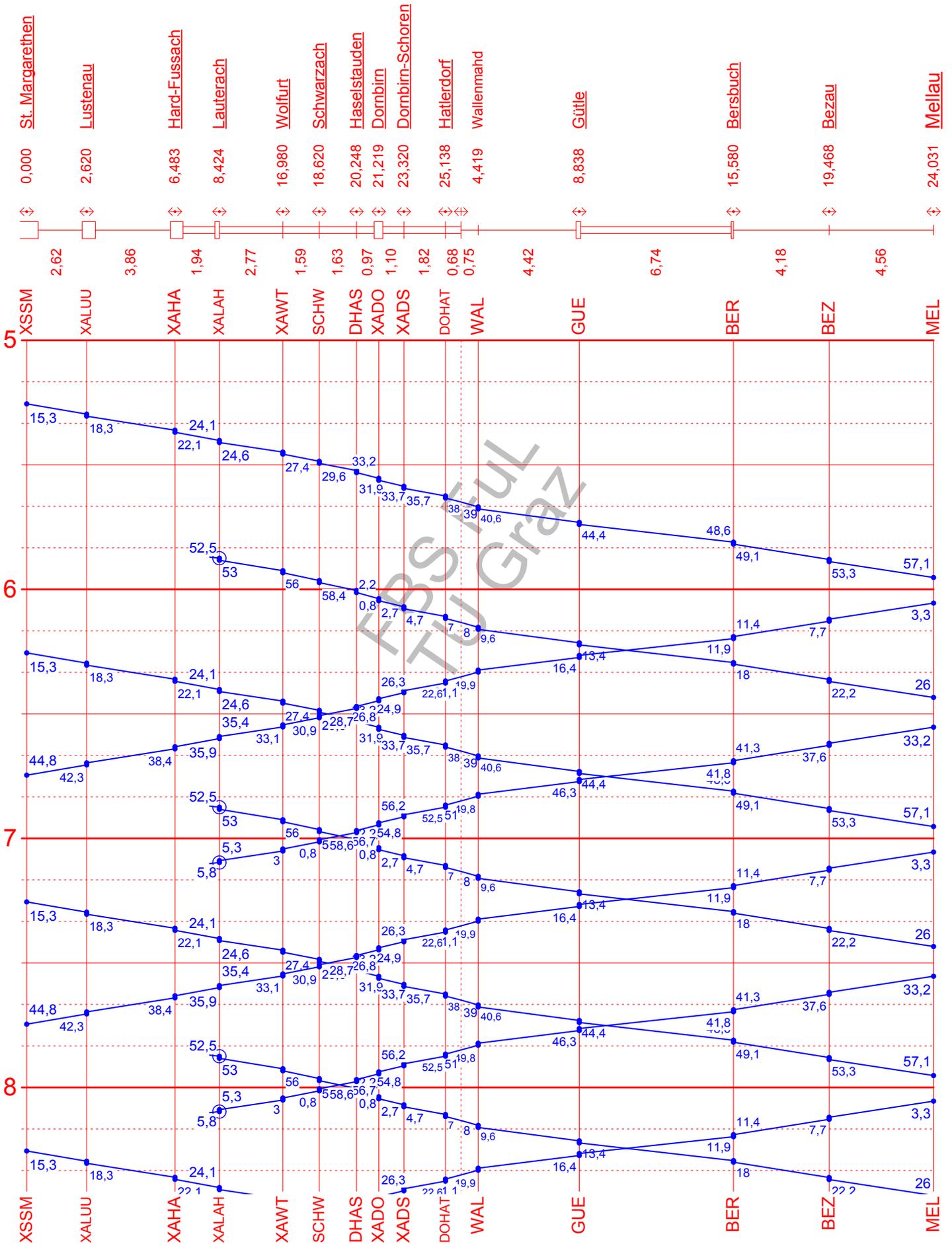
21,357 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



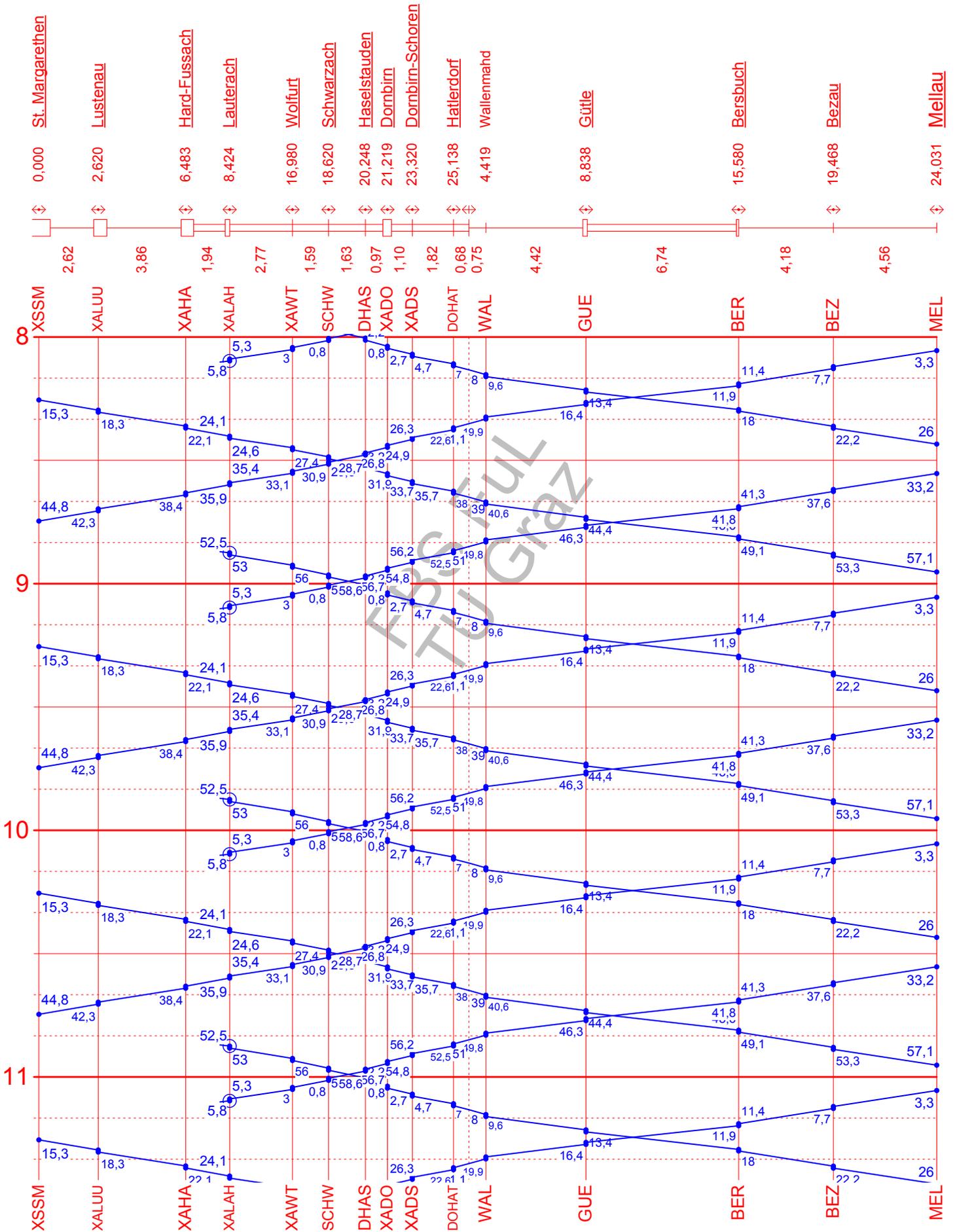
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



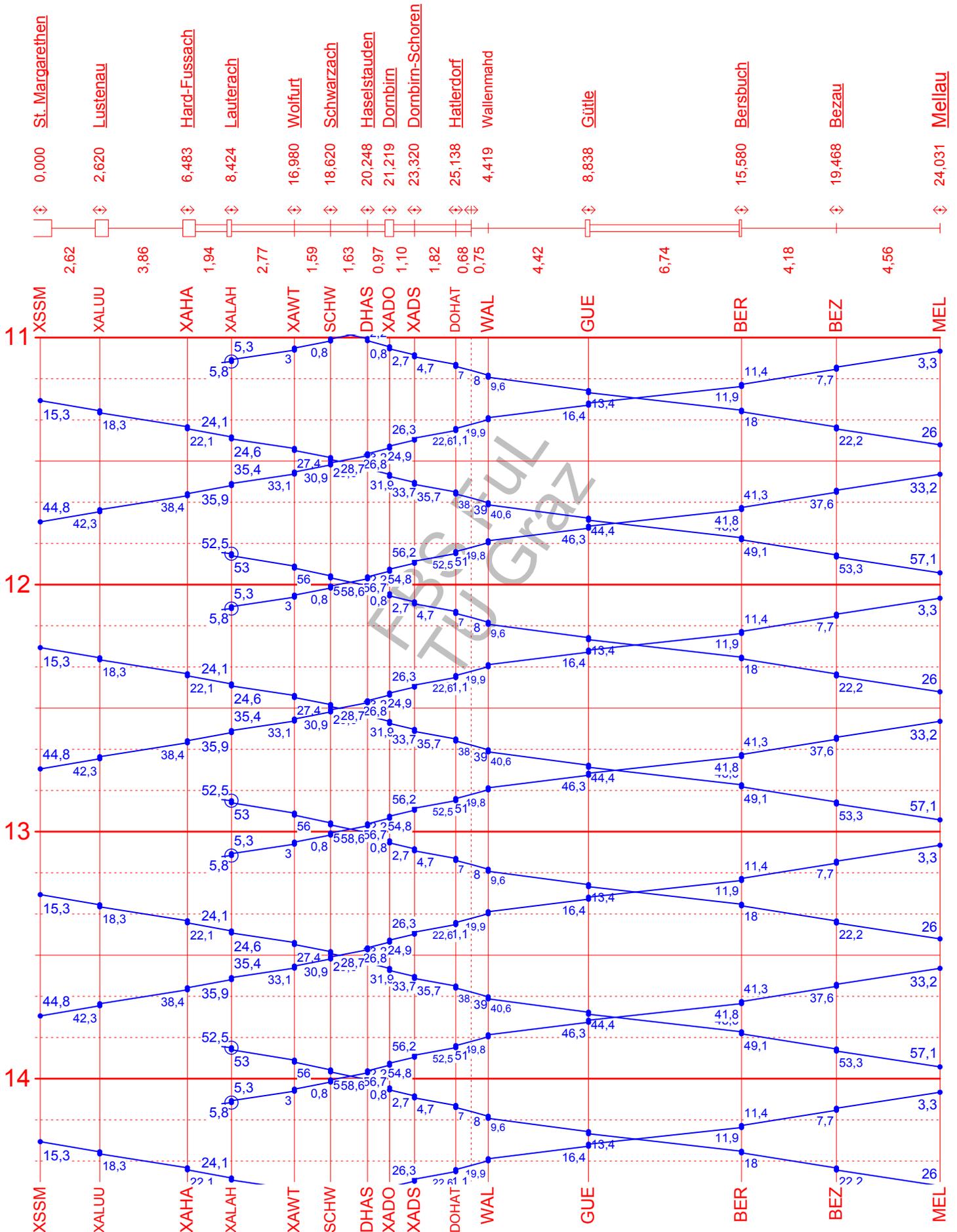
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



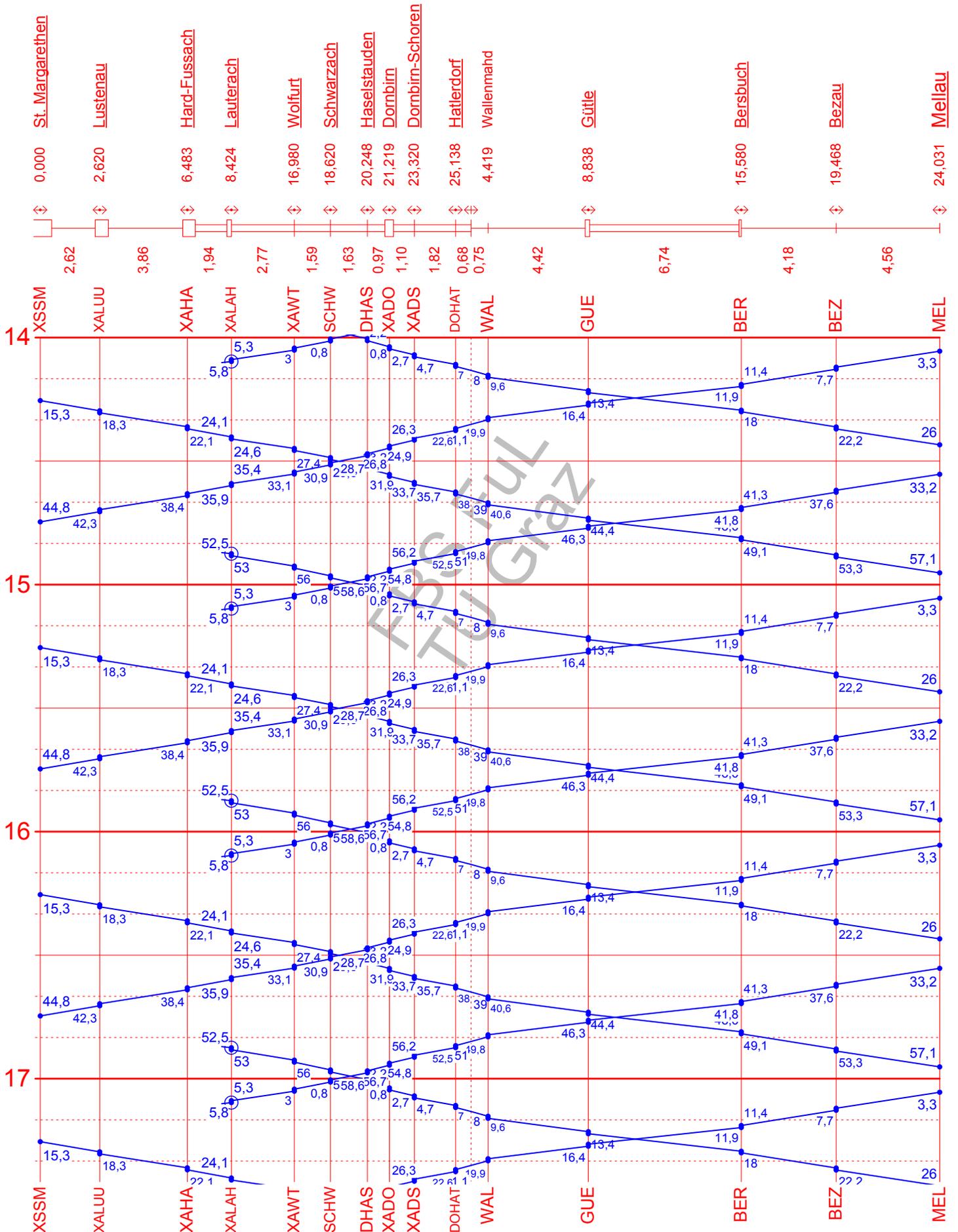
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



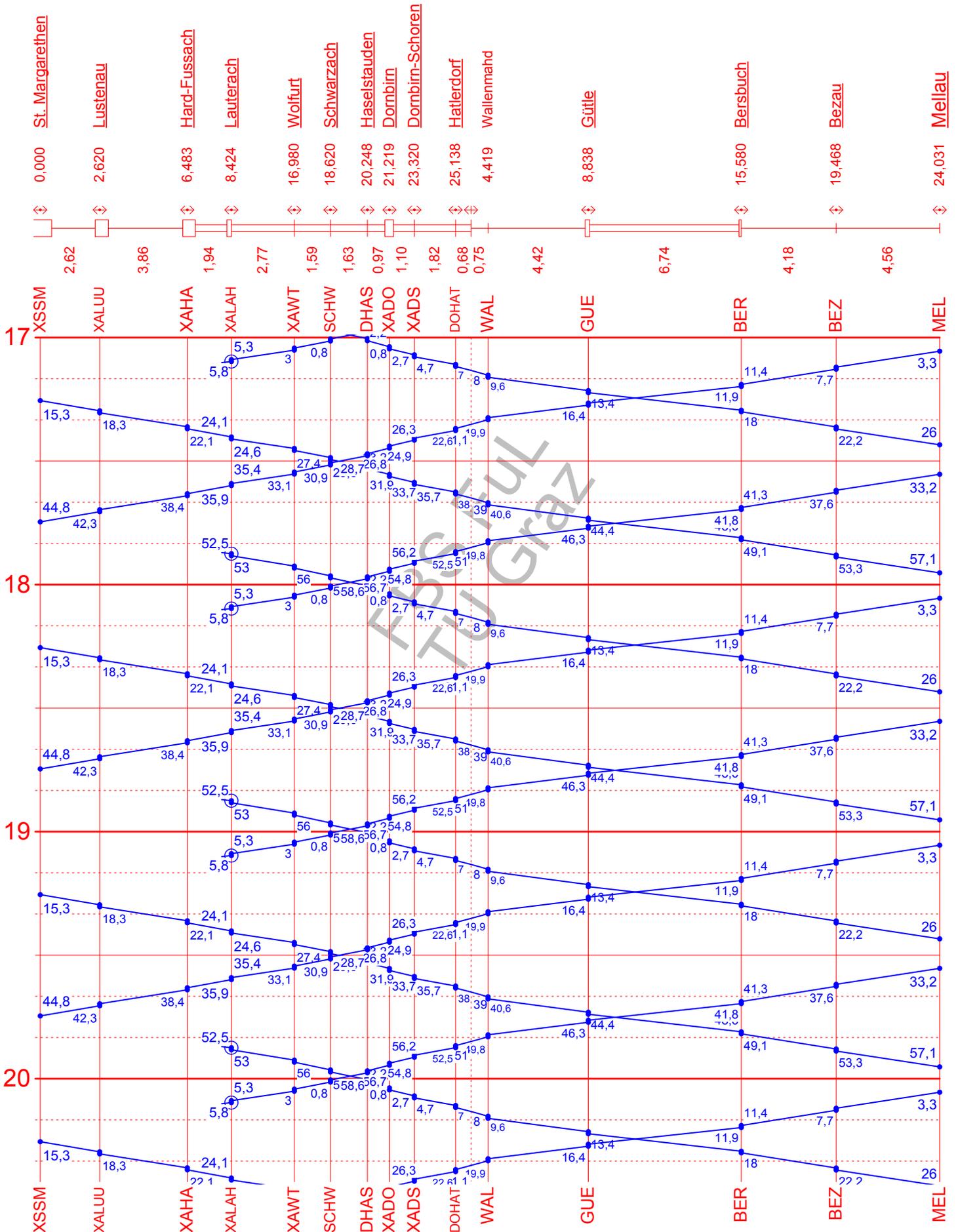
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



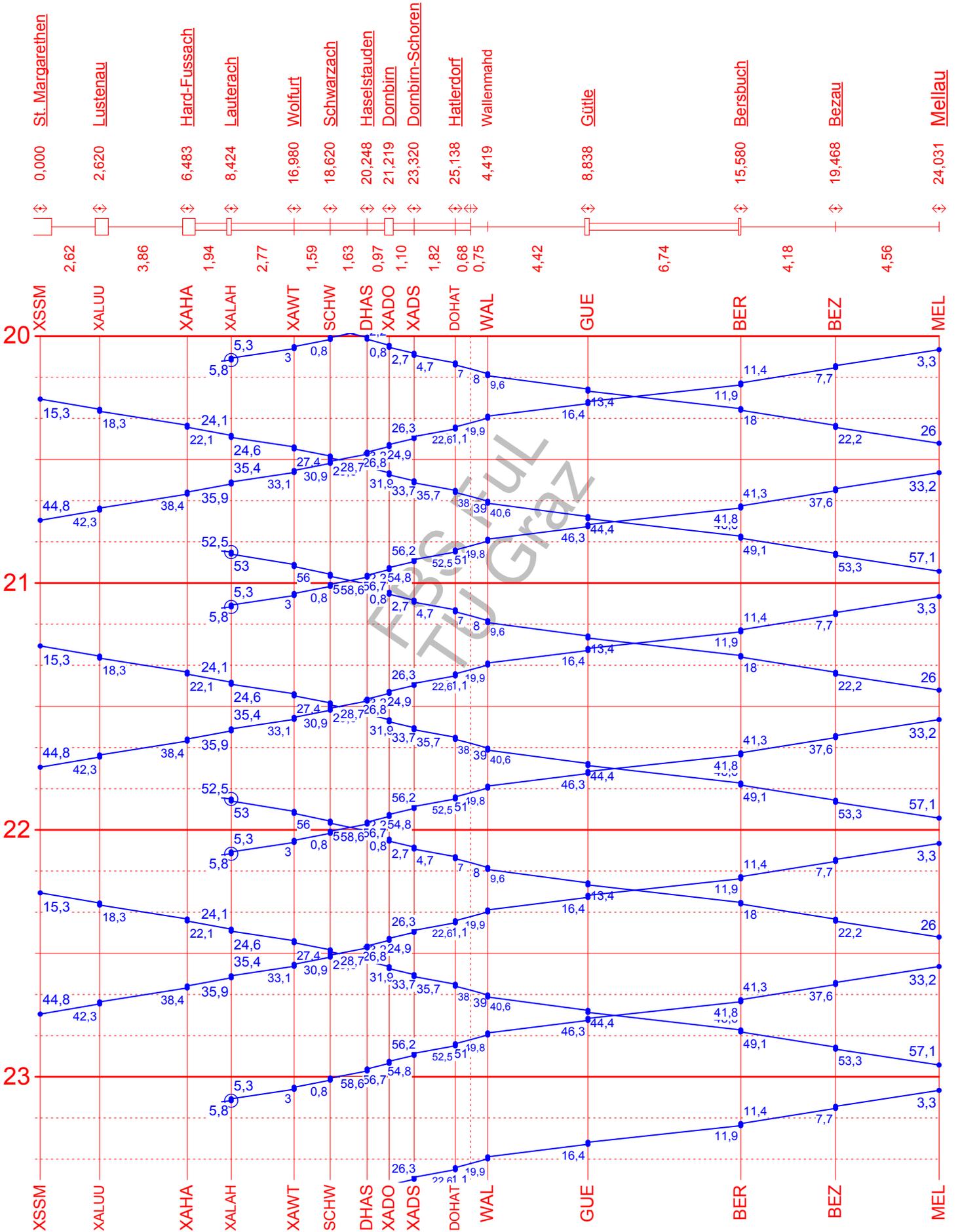
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



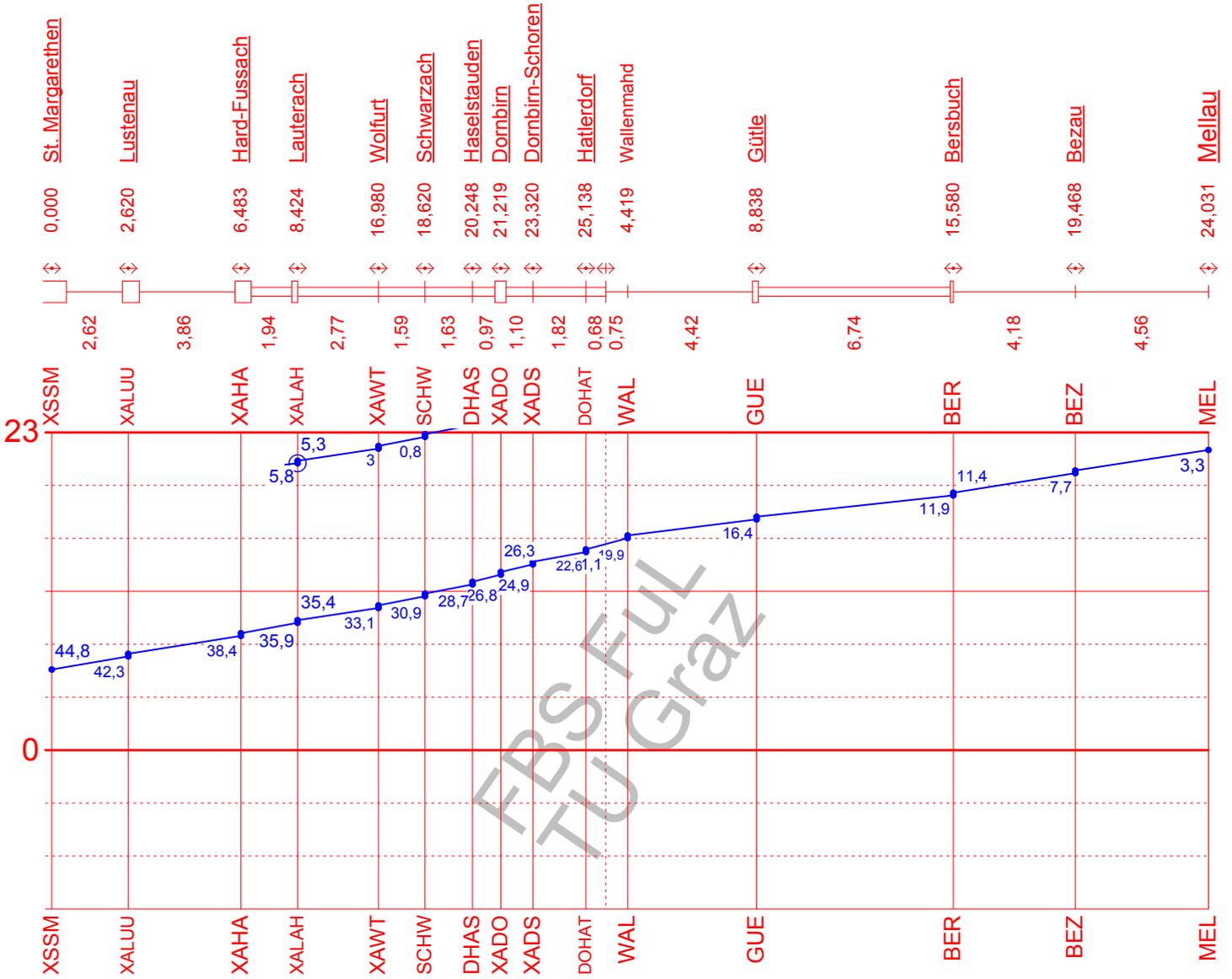
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



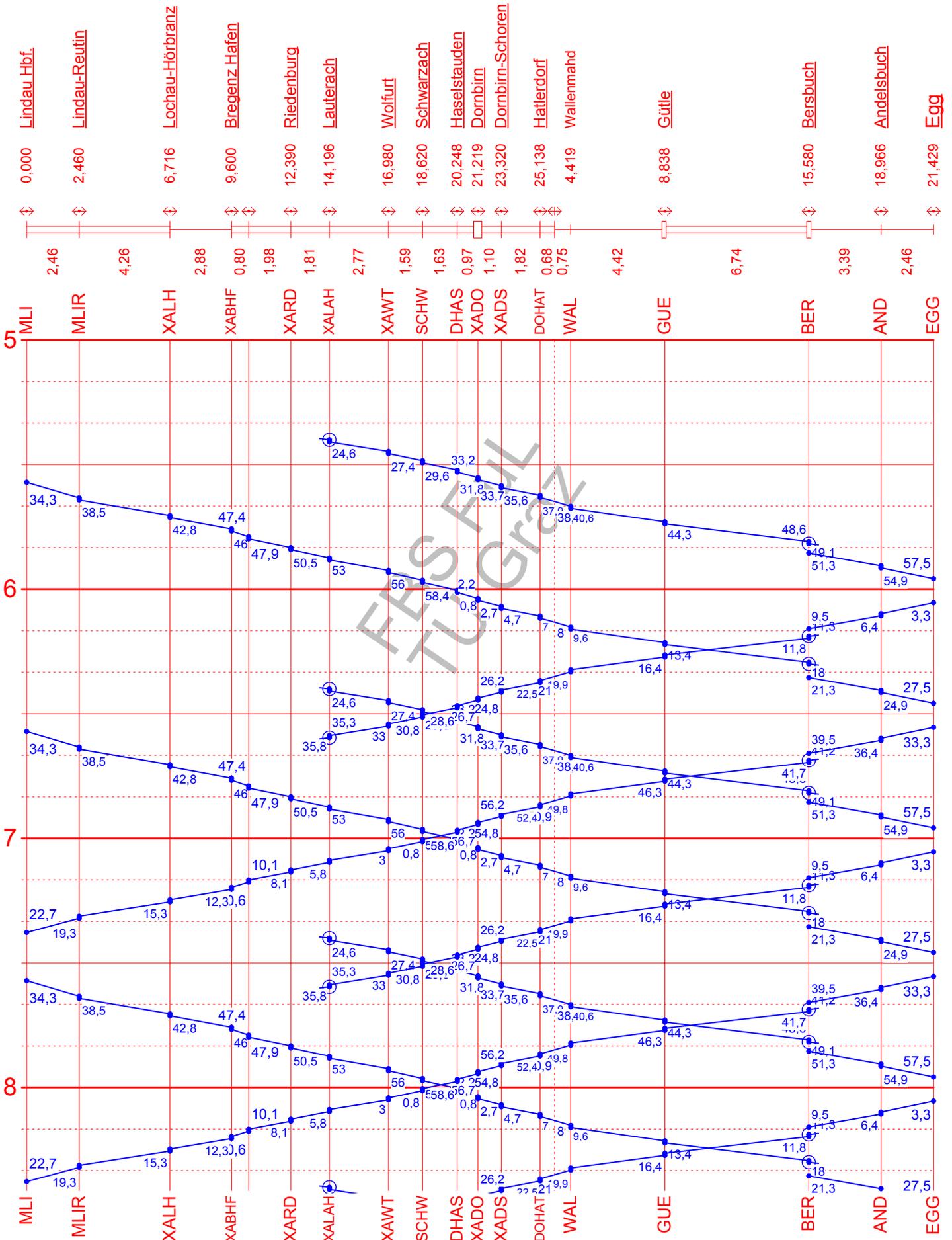
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



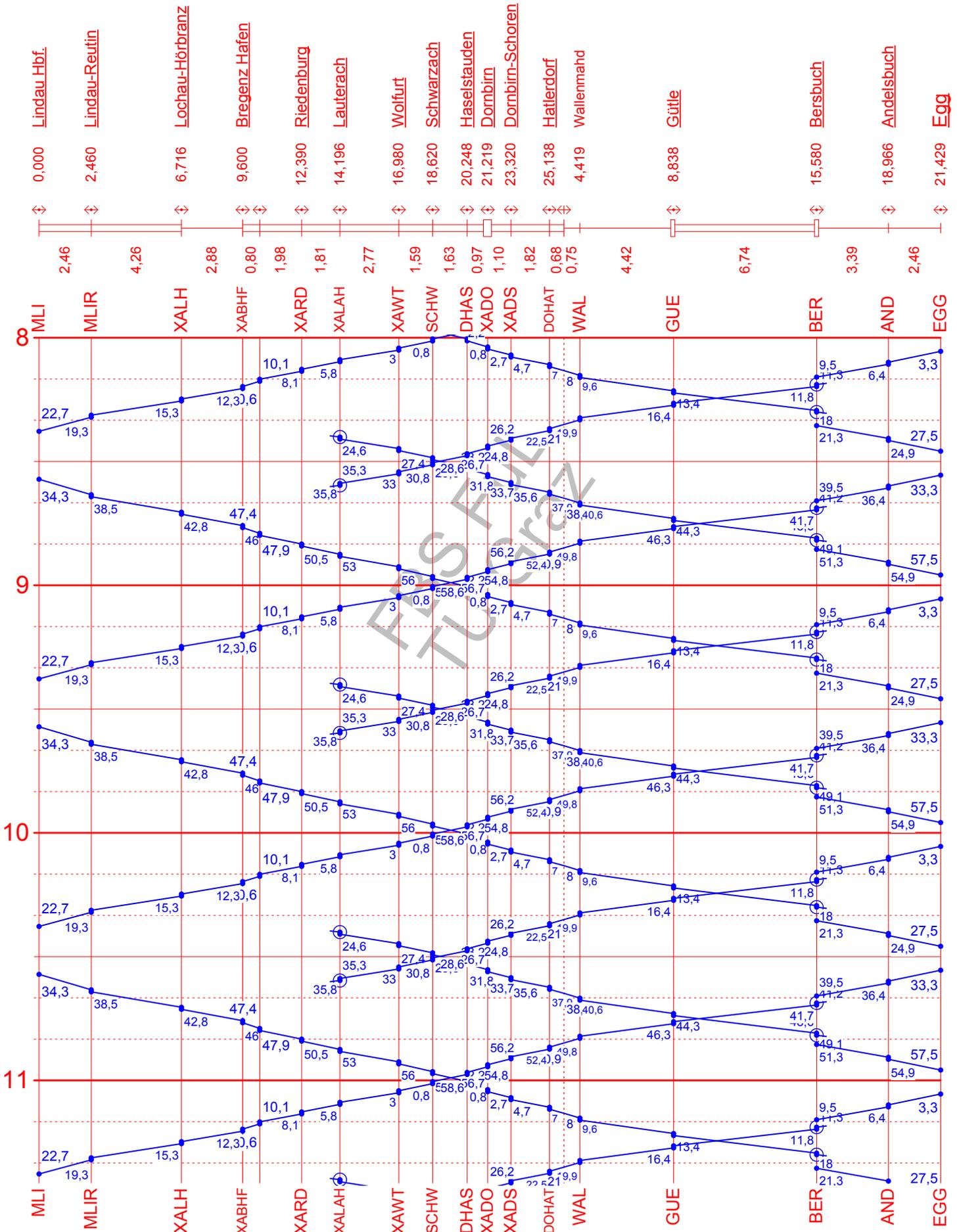
42,512 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



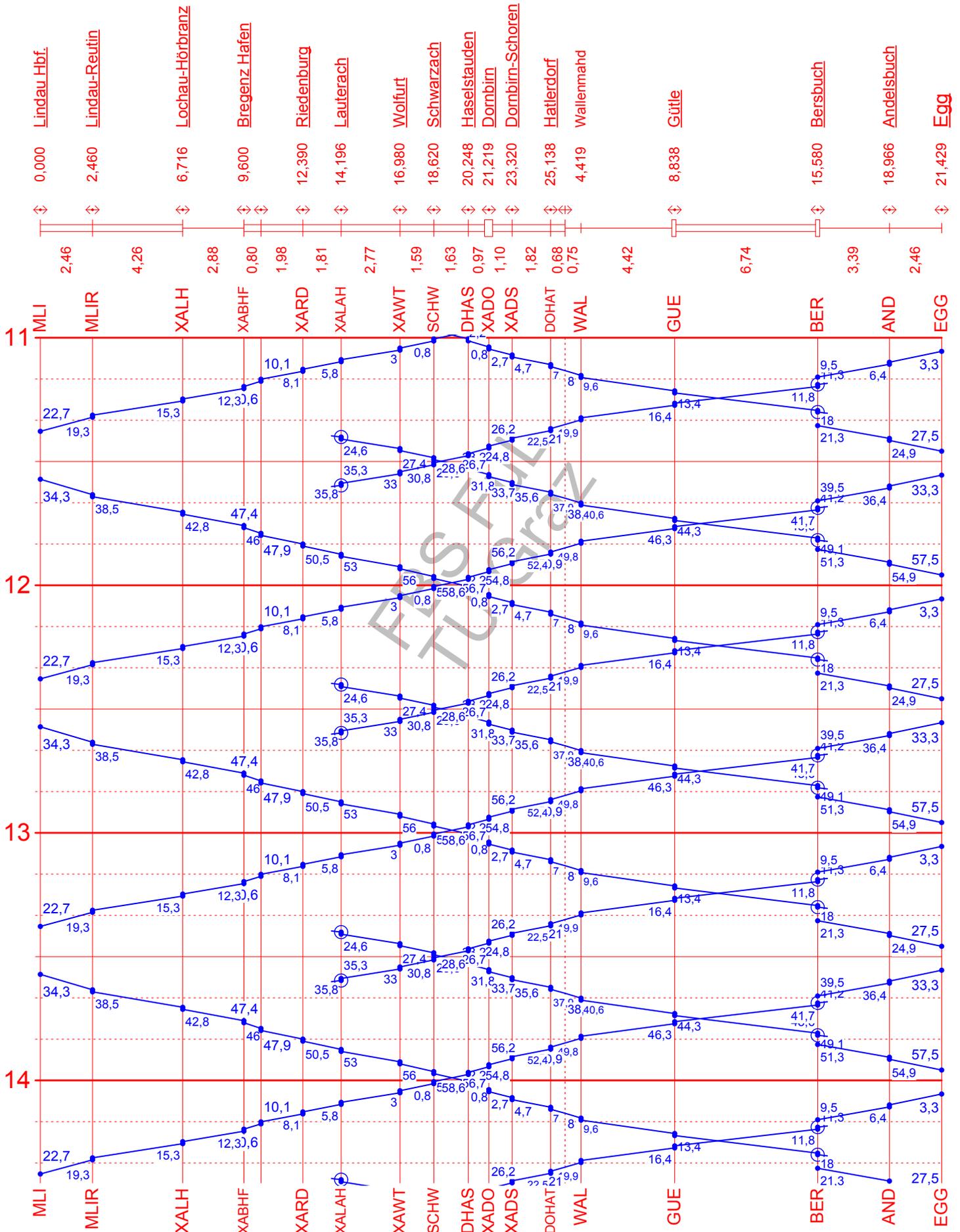
42,512 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



42,512 km

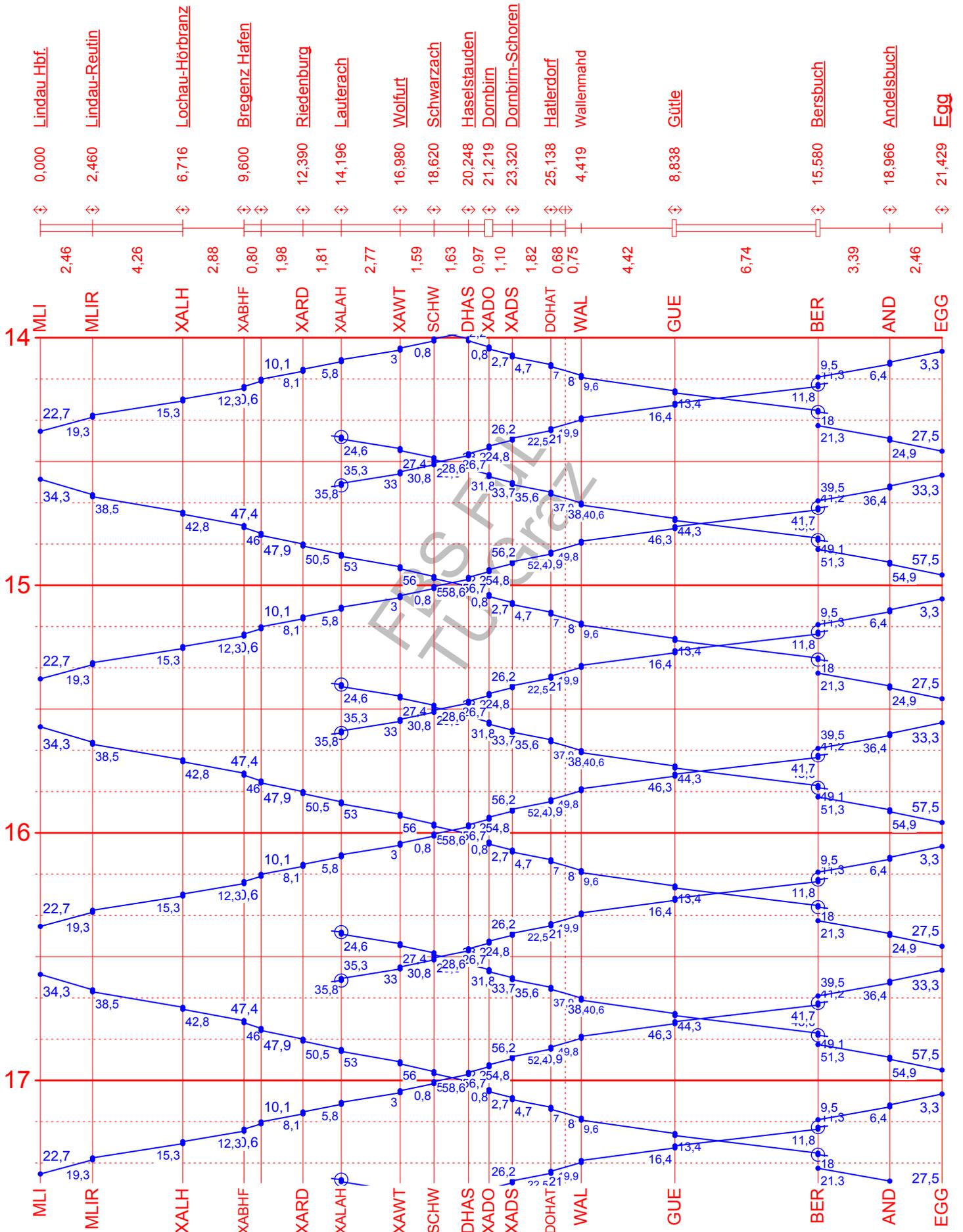
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



42,512 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

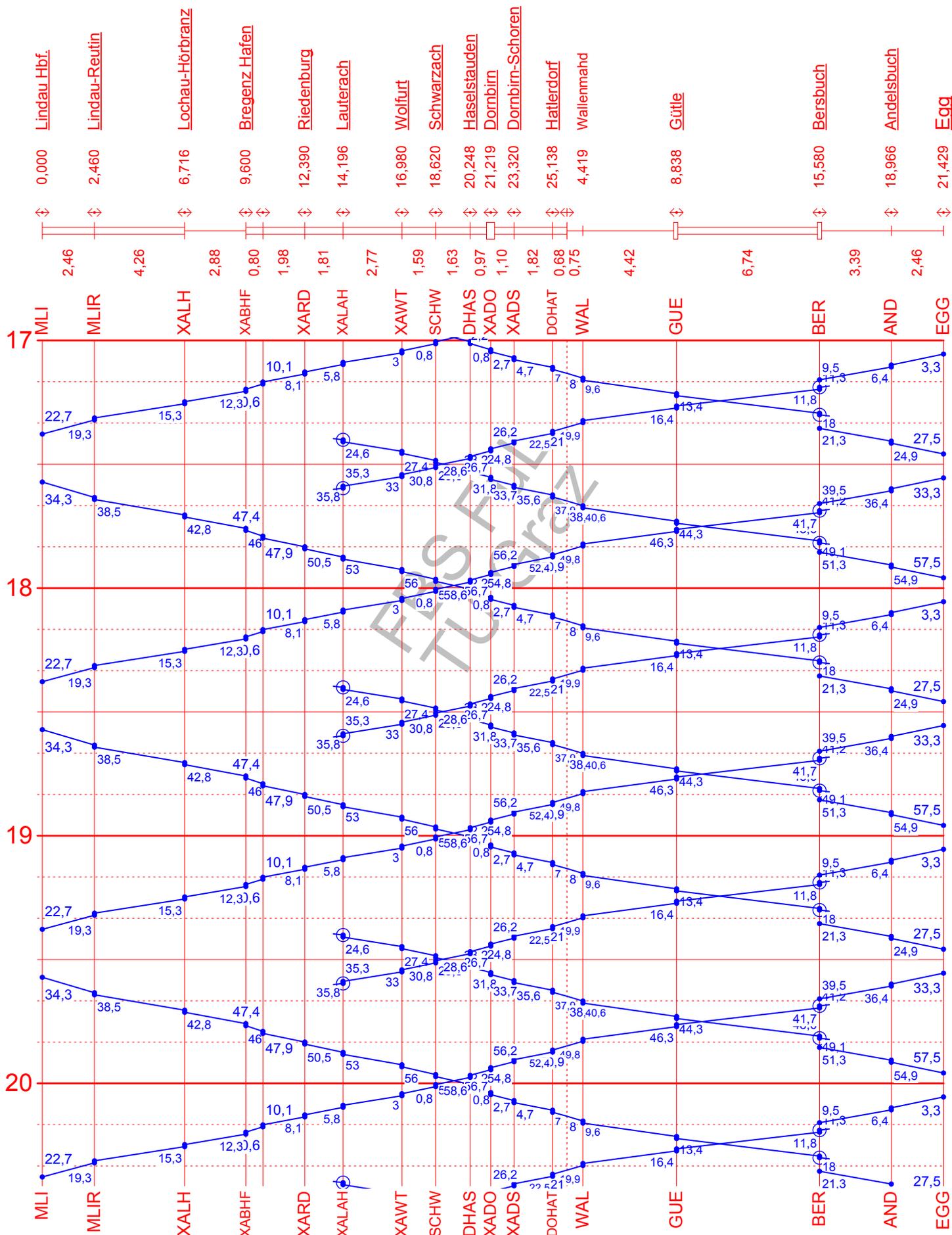
Informationen unter www.irfp.de



42,512 km

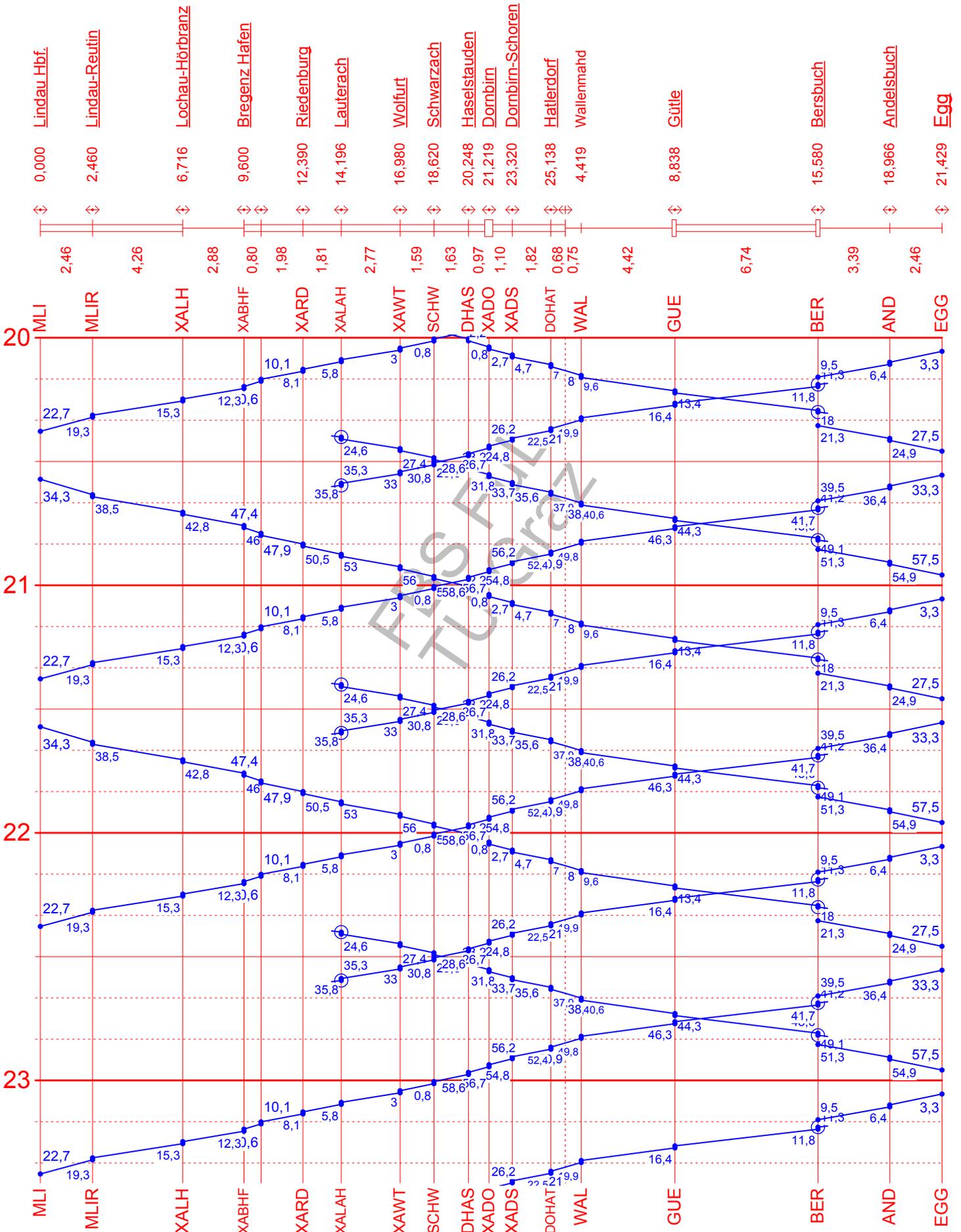
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



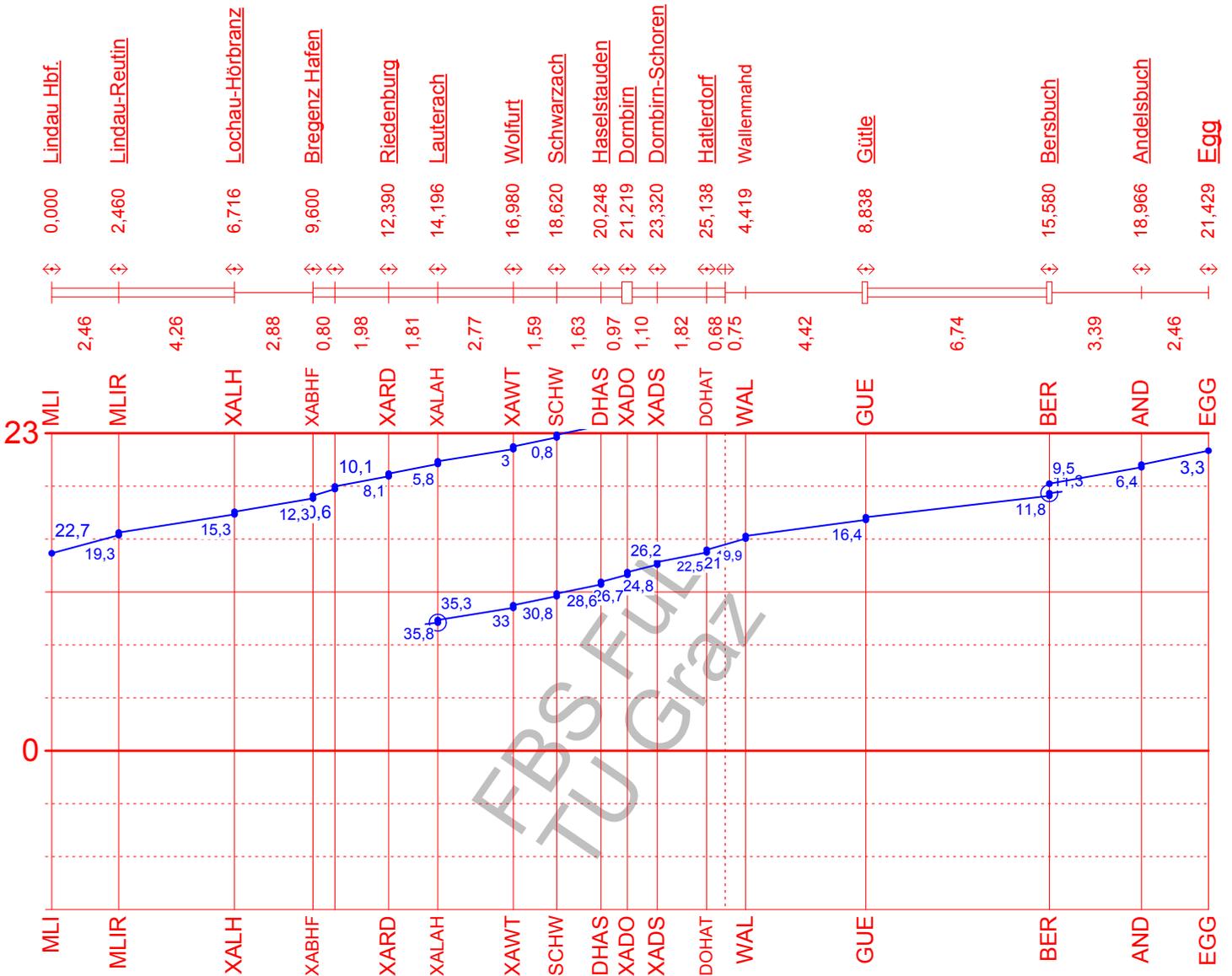
42,512 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



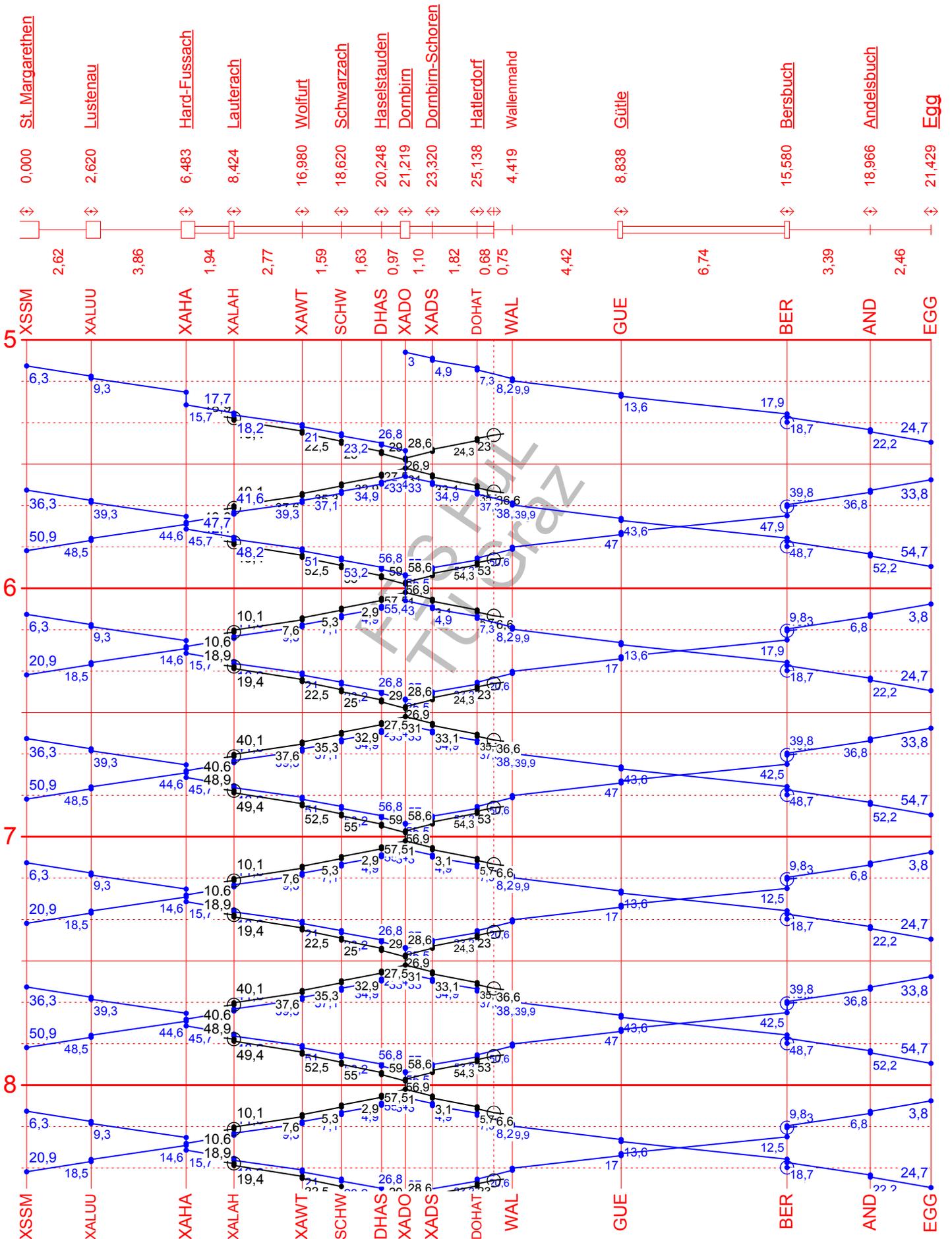
42,512 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



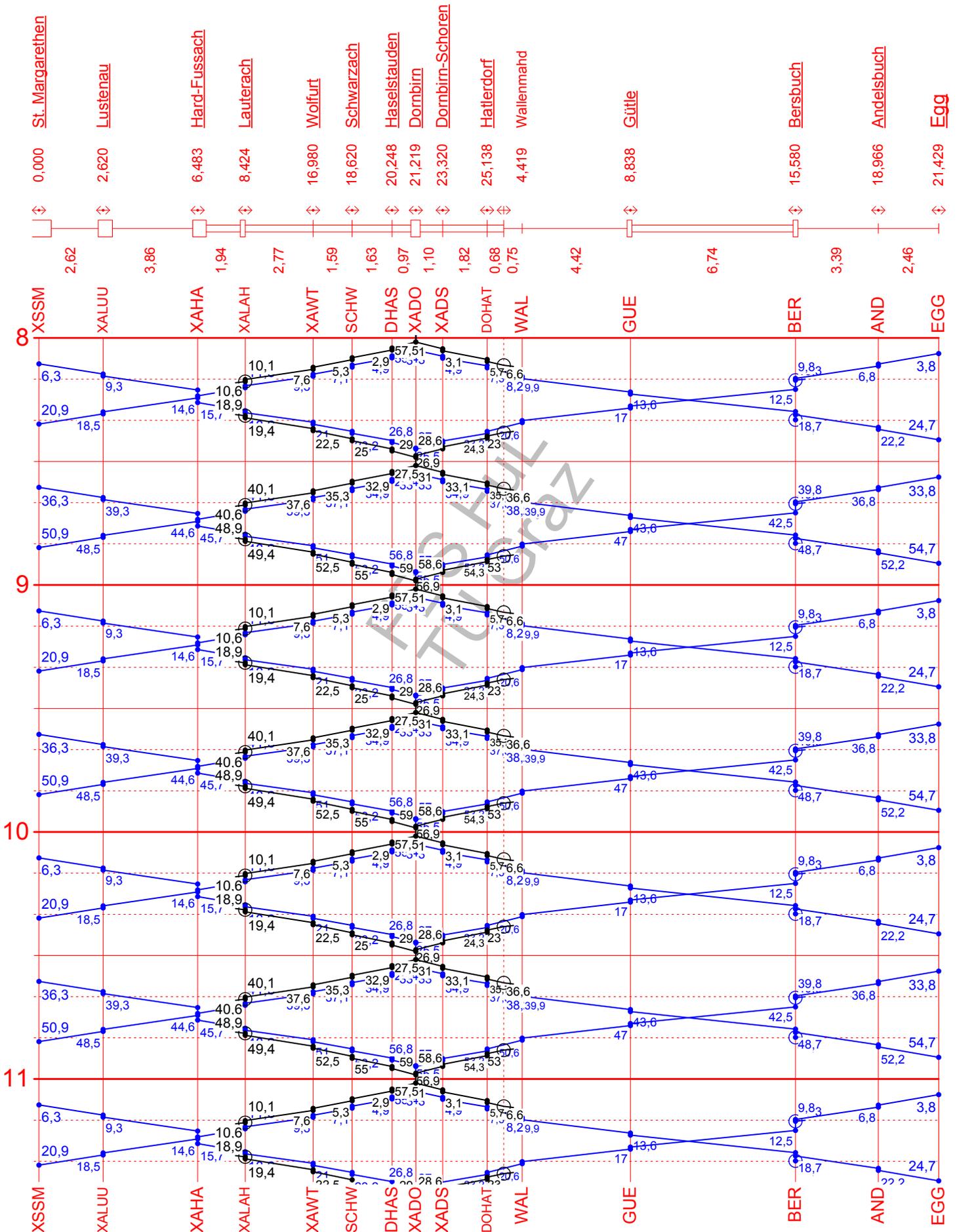
36,748 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



36,748 km

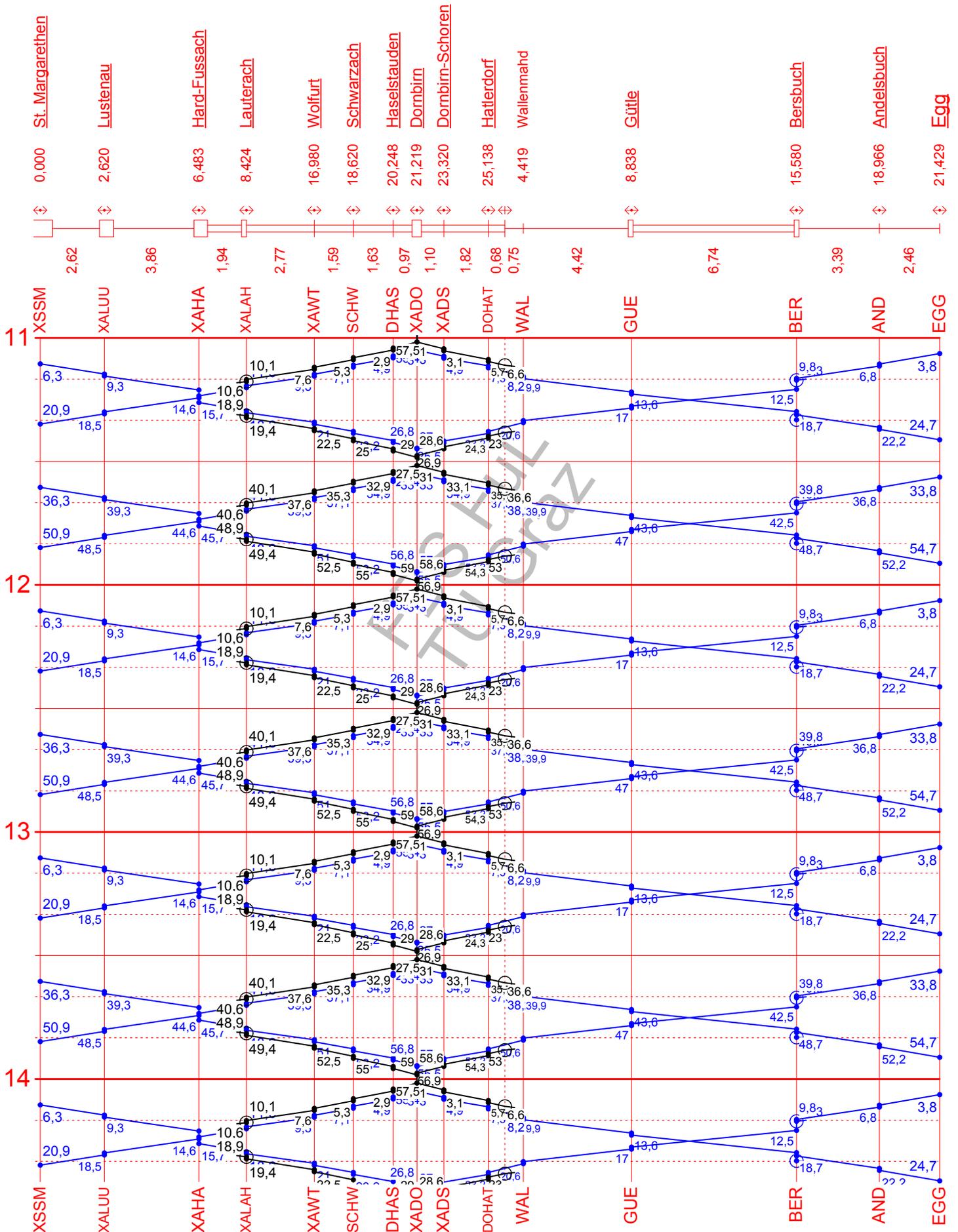
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



36,748 km

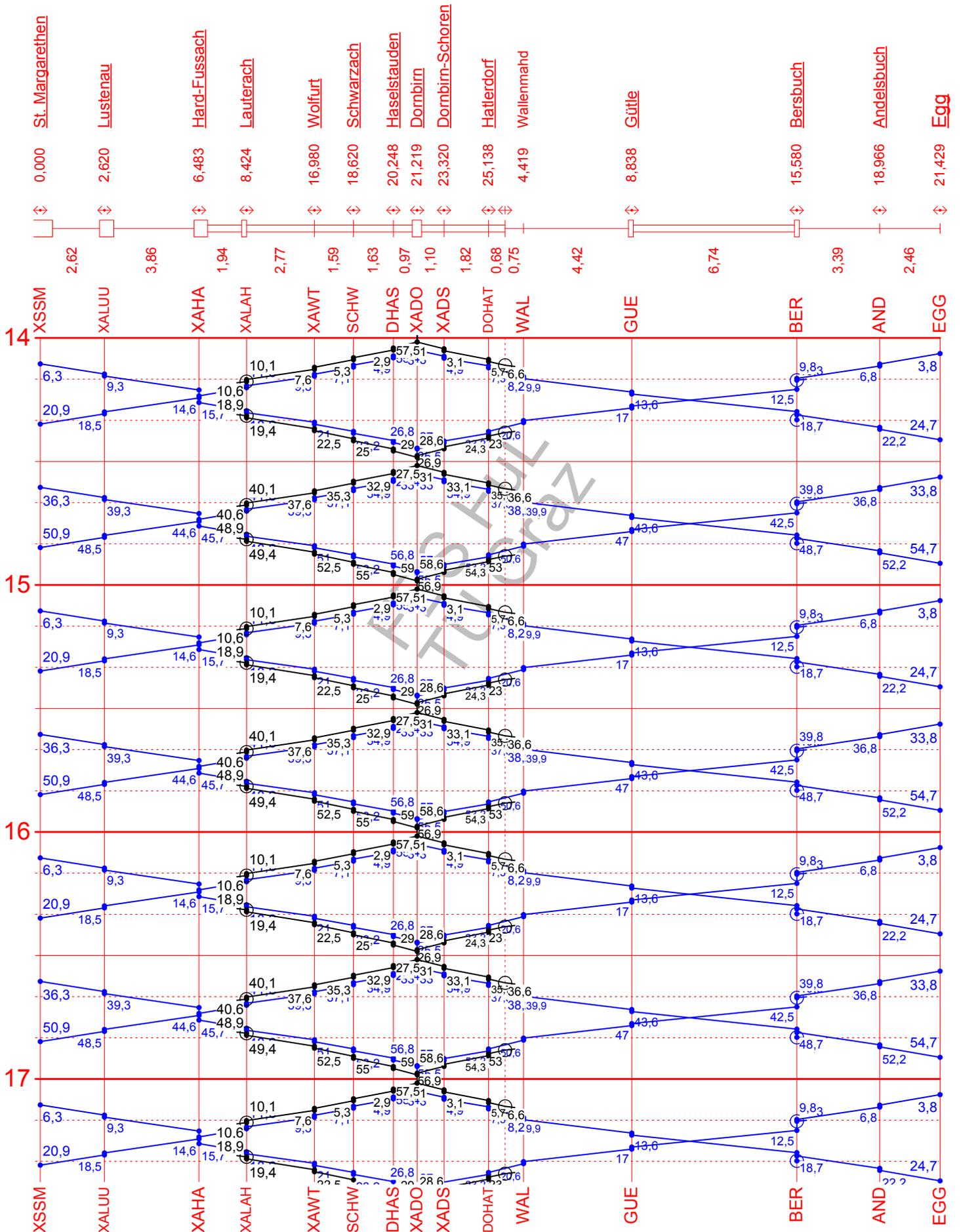
Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz

Informationen unter www.irfp.de



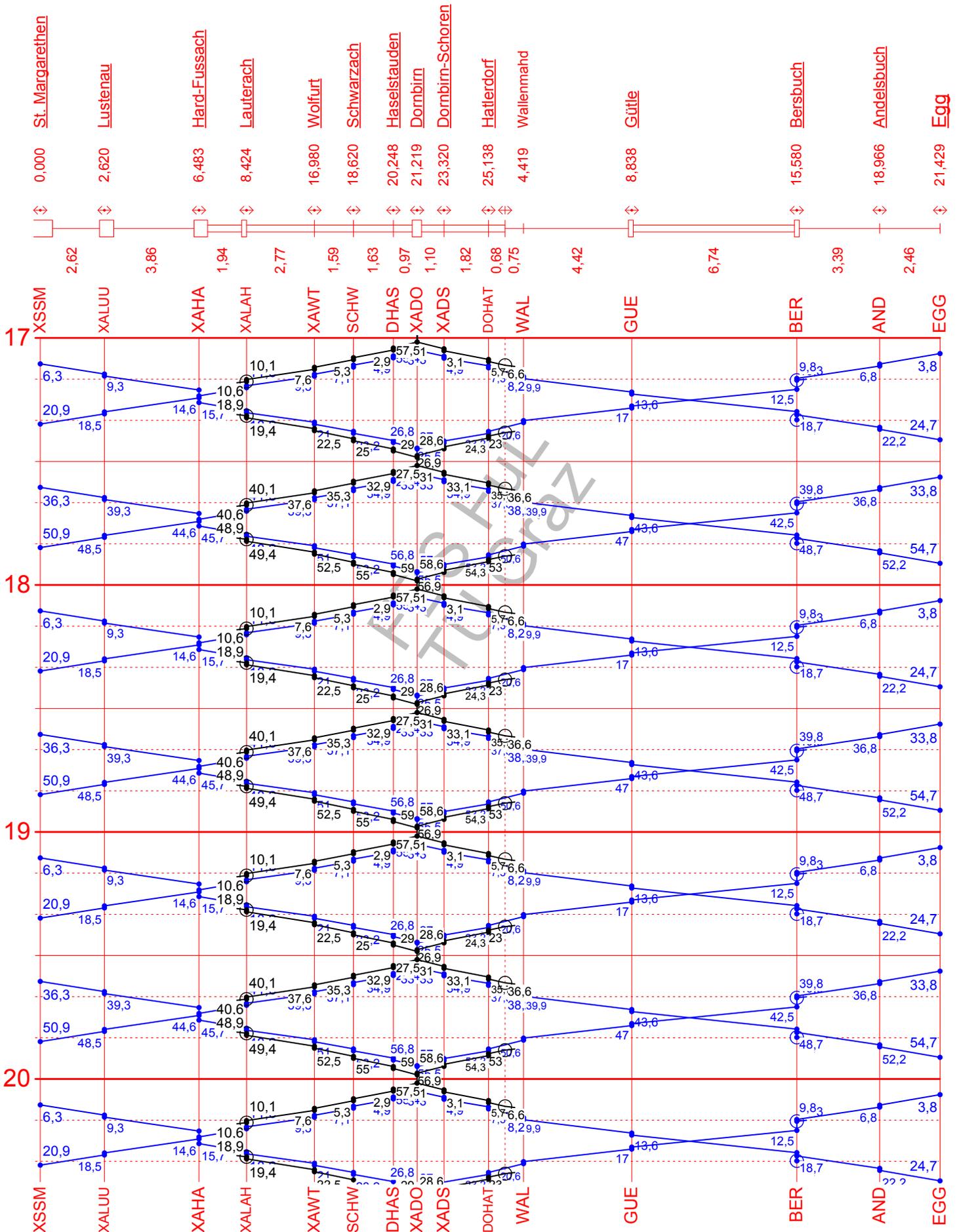
36,748 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



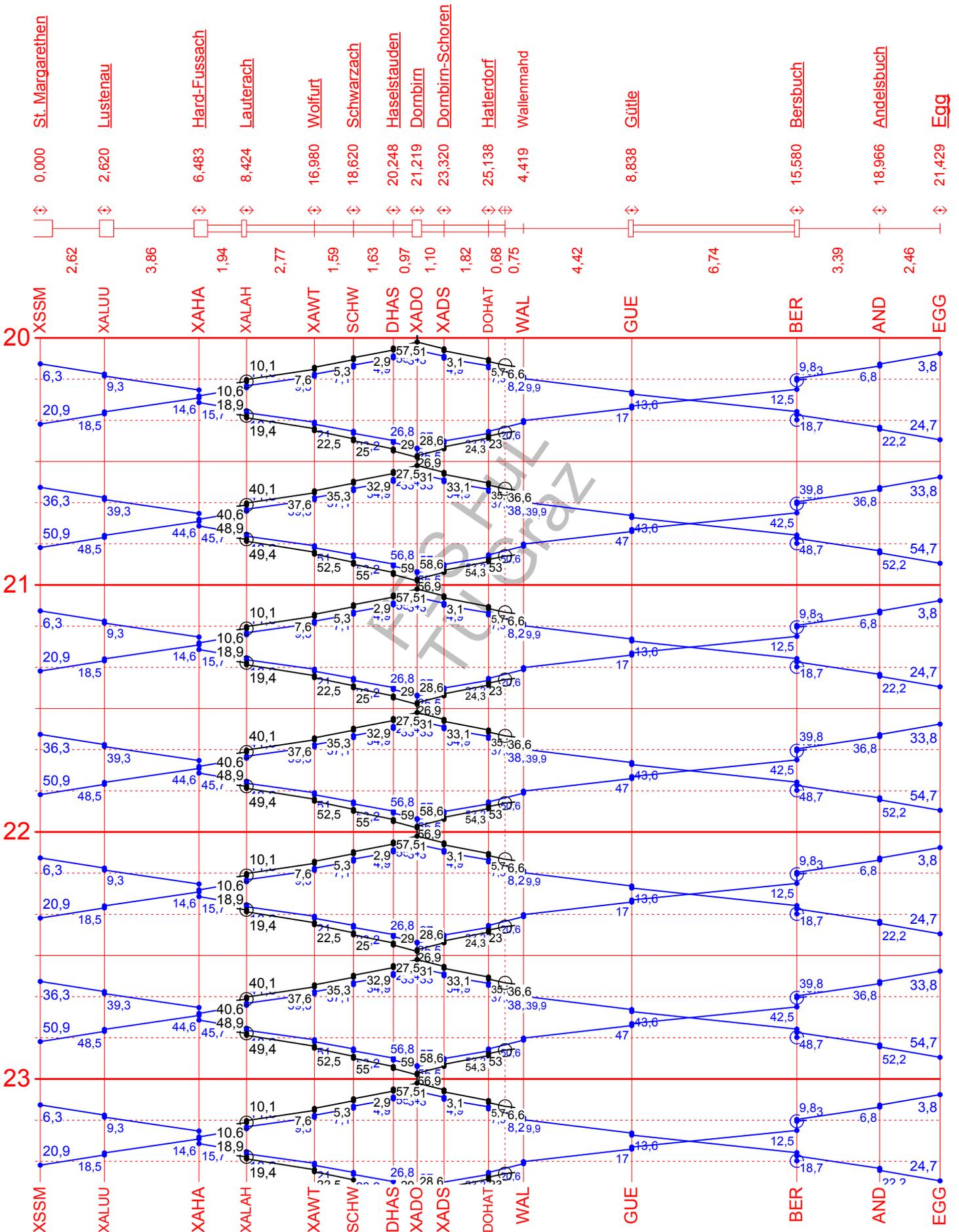
36,748 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



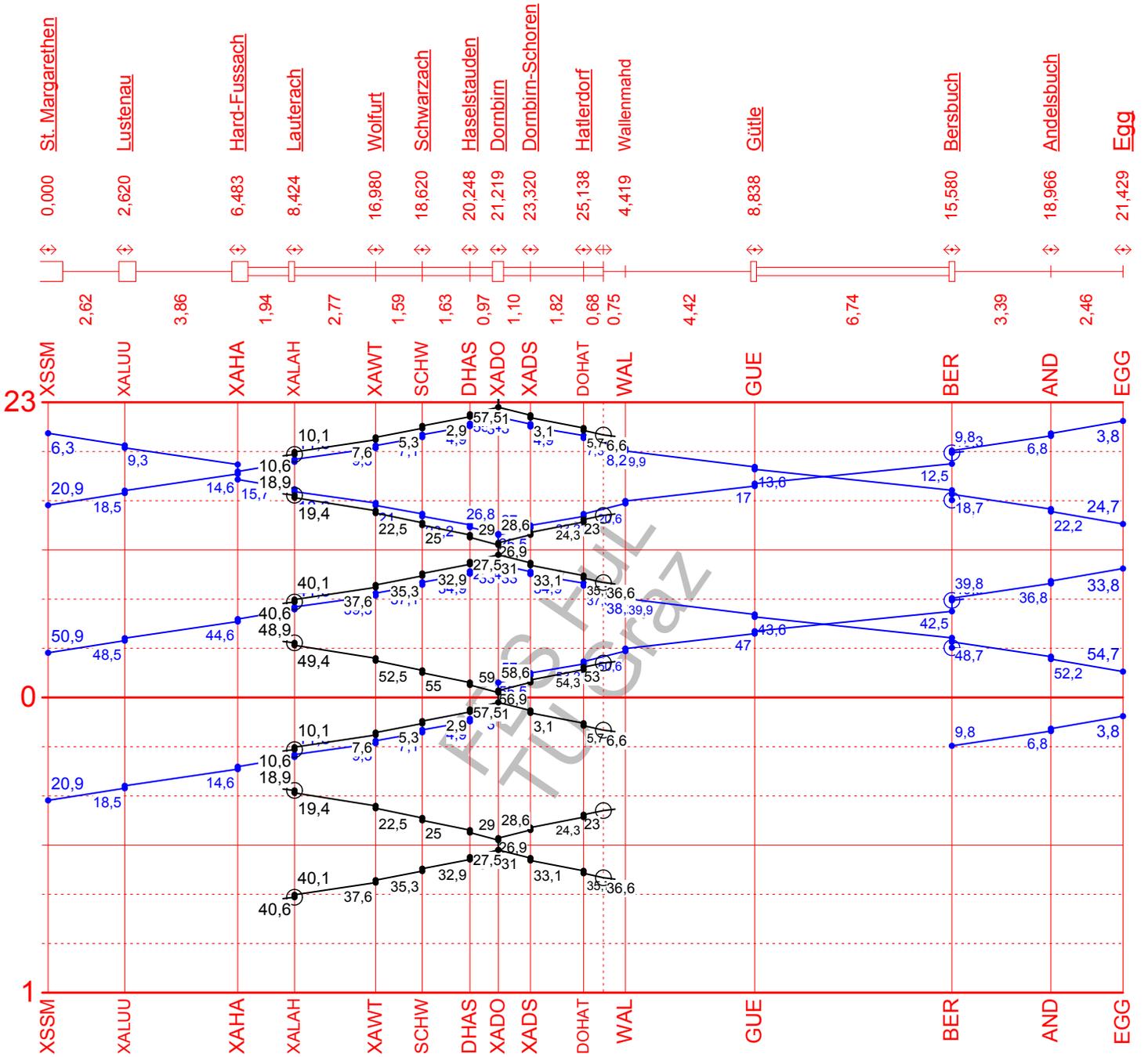
36,748 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



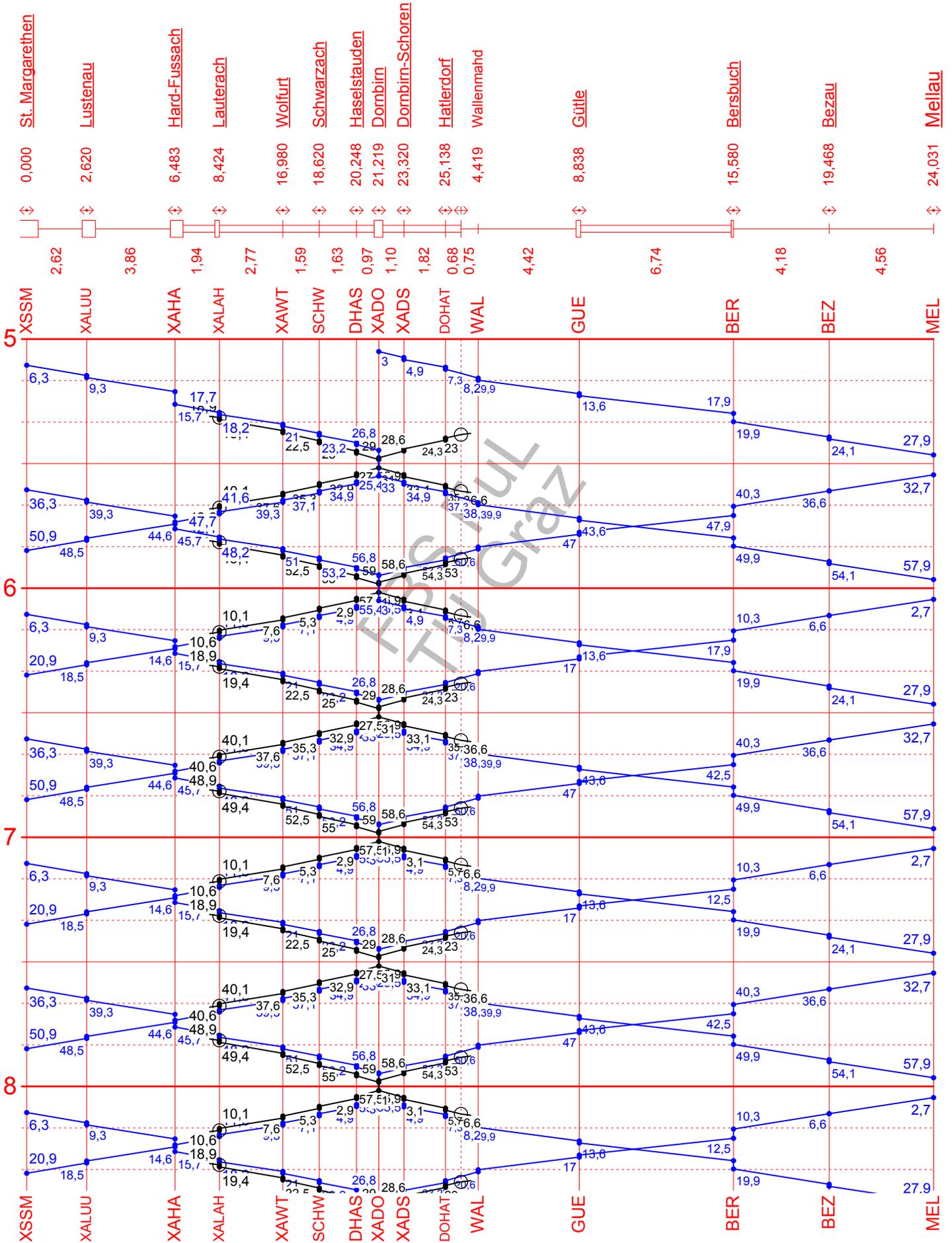
36,748 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



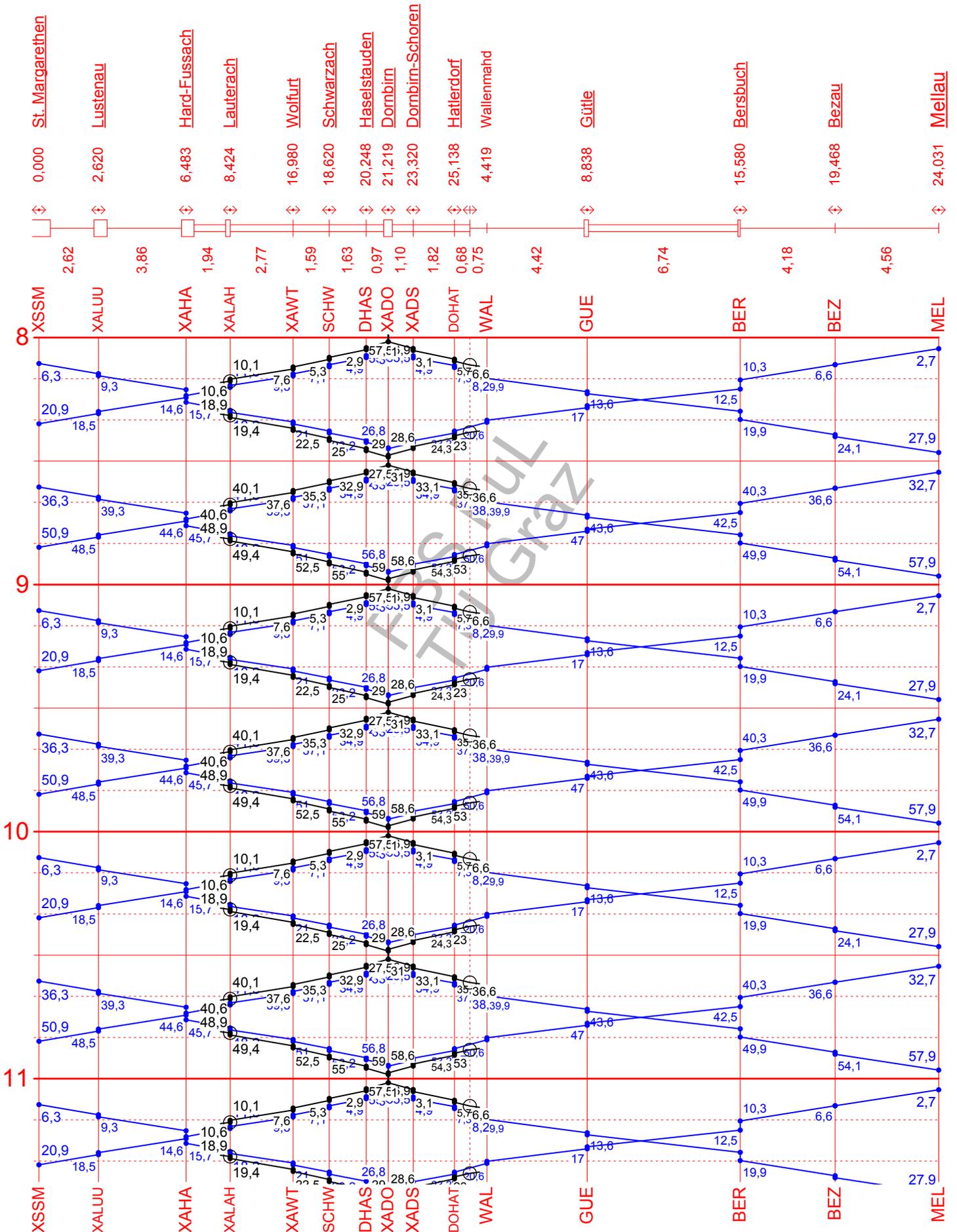
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



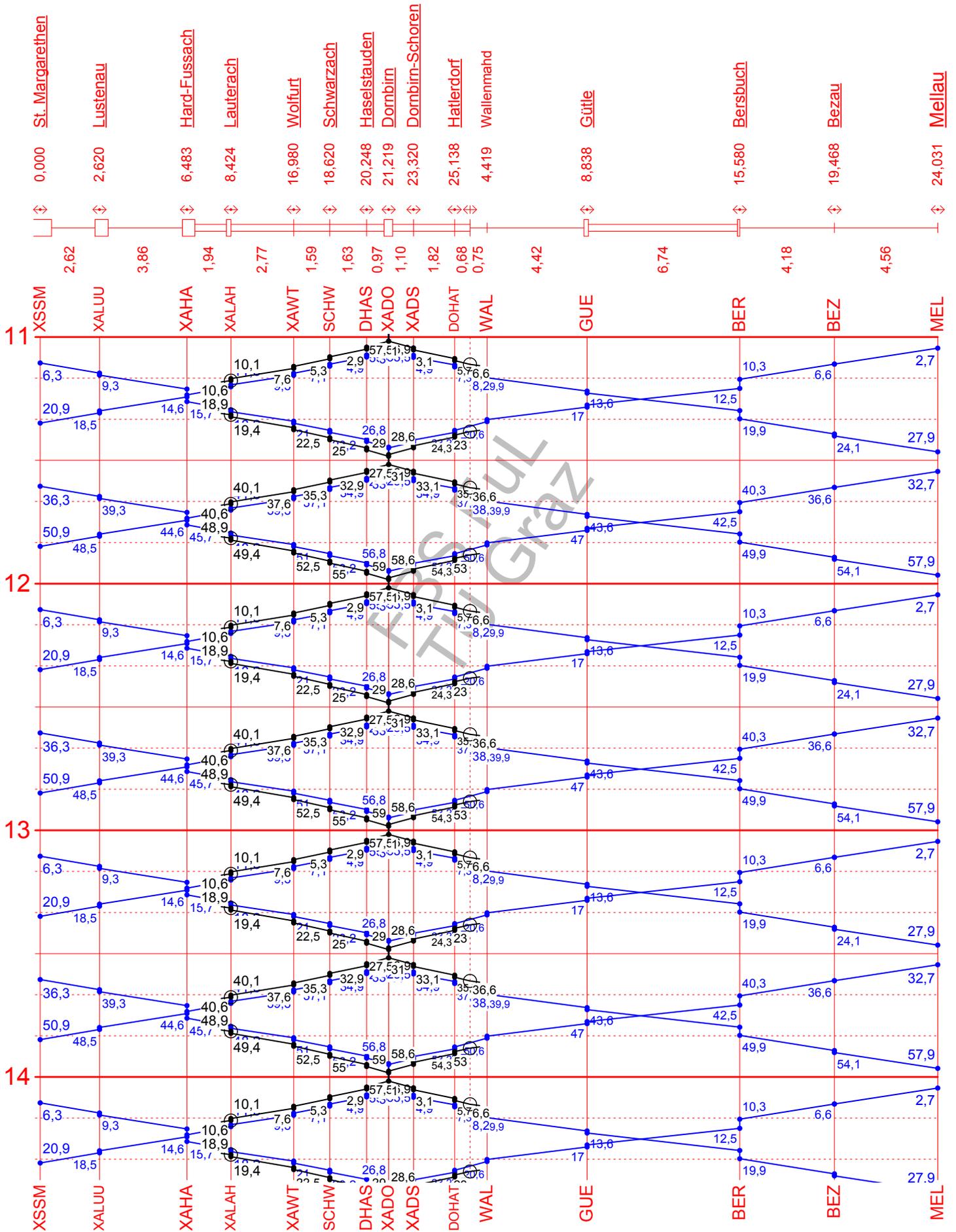
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



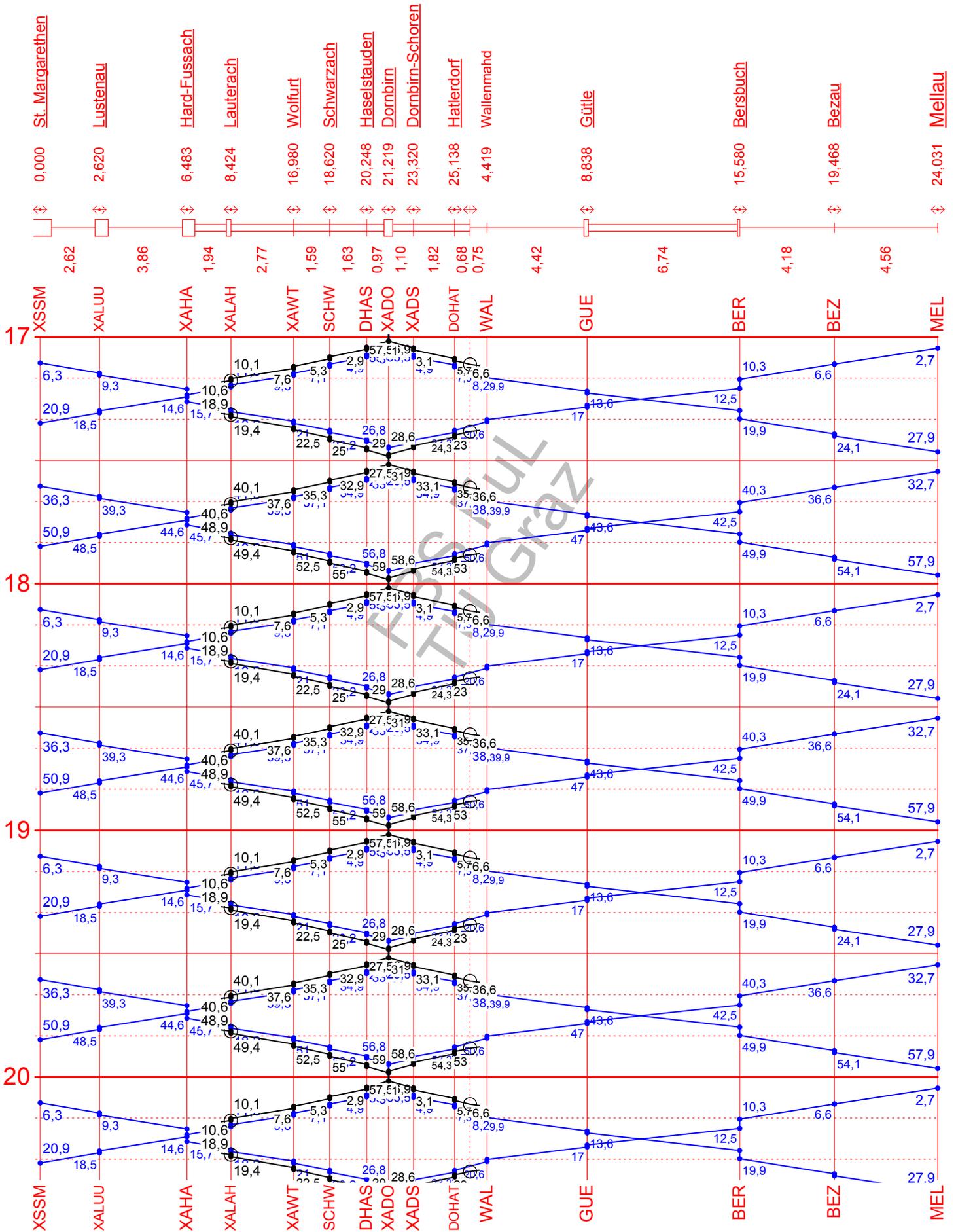
39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
Informationen unter www.irfp.de



39,645 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.7.3 | lizenziert für TU Graz
 Informationen unter www.irfp.de

