



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Projektarbeit Verkehr und Mobilität
Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft
230.035

Fahrplansimulation auf der Karawankenbahn Villach - Jesenice

Unter besonderer Berücksichtigung einer möglichen
Verlängerung der *S-Bahn Kärnten* nach Jesenice

Betreuer:

DI Stefan Edlinger, BSc
DI Benno Schmieder, BSc

Name: Gregor Novak
Matrikelnummer: 01426031
E-Mail: gregor.novak@tuwien.ac.at
Datum: 25. Mai 2022

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Projektarbeit wurde der Betrieb auf der Karawankenbahn zwischen Villach und Jesenice mittels der Betriebssimulationssoftware *Open Track* untersucht. Dabei wurde einerseits die Leistungsfähigkeit im Güterverkehr des nunmehr eingleisigen Karawankentunnels, der eine wichtige Bedeutung im Güterverkehr zwischen Mitteleuropa und dem Balkan besitzt, ermittelt. Andererseits wurde eine mögliche Ausweitung des Angebots im Personenverkehr ab dem Fahrplan 2025, wenn die Eröffnung der Koralmbahn eine Neuordnung des Schienenpersonenverkehrs in Kärnten nach sich zieht, betrachtet. Da das aktuelle Fahrplanangebot im Personenverkehr wenig Attraktiv scheint wurde neben eines Ausbaus des Fernverkehrs auch eine Verlängerung des Stundentakts der S-Bahn nach Jesenice untersucht. Für die Untersuchung wurden verschiedene Szenarien definiert, die Ergebnisse der Untersuchung werden am Ende dieser Arbeit diskutiert.

Povzetek

V okviru tega projektne delo je bilo z uporabo programske opreme za simulacijo obratovanja *Open Track* preiskano železniško obratovanje na Karavanški železnici med Beljakom in Jesenicami. Na eni strani je bila raziskana zmogljivost zdaj enotirnega predora Karavanke v tovornem prometu, ki ima pomembno vlogo v tovornem prometu med Srednjo Evropo in Balkanom. Po drugi strani pa je bila preučena možnost razširitve ponudbe potniškega prometa od voznega reda leta 2025 naprej, ko bo z odprtjem železniškega tunela skozi Golico/Koralpe prišlo do reorganizacije železniškega potniškega prometa na Koroškem. Ker se trenutna ponudba v potniškem prometu ne zdi preveč privlačna, je bila poleg širitve prevoza na dolge razdalje preučena tudi možnost podaljšanja urne frekvence regionalnega prometa do Jesenic. V študiji so bili opredeljeni različni scenariji, katerih rezultati so obravnavani na koncu tega dokumenta.

Summary

Within the scope of the present project work, the railway operation on the railway line between Villach and Jesenice was investigated by means of the operation simulation software *Open Track*. On the one hand, the performance in freight traffic of the now single-track Karawanken tunnel was analysed, as the railway line is part of Alpine - Western Balkan rail freight corridor . On the other hand, this paper studies a possible expansion of the offer in passenger traffic from the 2025 timetable, when the opening of the Koralm Railway line will result in a reorganization of passenger rail transport in the state of Carinthia. Since the current passenger transport service does not seem to be very attractive, an extension of the hourly service of commuter trains to Jesenice was investigated in addition to an expansion of the long-distance service. Various scenarios were defined for the study, and the results are discussed at the end of this paper.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Problemstellung	5
1.2	Geschichte	6
1.3	Streckenbeschreibung	10
1.4	Betriebsstellen	13
1.5	Verkehrliche Rahmenbedingungen	16
1.6	Fahrzeugeinsatz im Fahrplanjahr 2022	17
1.6.1	Personenverkehr	17
1.6.2	Güterverkehr	19
1.7	S-Bahn Kärnten	19
1.8	Neugestaltung des Schienenpersonenverkehrs in Kärnten mit Eröffnung der Koralmbahn	20
1.9	Trassierungsnorm EN 13803:2017	21
2	Betriebssimulation	22
2.1	Leistungsuntersuchung	22
2.2	Anwendung der Software Open Track	23
2.2.1	Eingangsgrößen	24
2.2.2	Parameter der Simulation	27
2.3	Fahrplanszenarien	27
2.3.1	Fahrplan 2022	27
2.3.2	Fahrplan 2025	29
2.3.3	Fahrplan-Szenarien für den Fahrplan 2025	31
3	Ergebnisse der Betriebssimulation	33
3.1	Szenario 0: Fahrplan 2022	33
3.2	Szenario 1: S-Bahn bis Jesenice, kurzer Übergang in Villach	34
3.3	Szenario 2: S-Bahn bis Jesenice, EC in selber Taktlage wie bisher	35
3.4	Szenario 3: Ausbaumaßnahmen	36
3.4.1	Szenario 3a: Zweistundentakt im Fernverkehr mit Anschluss an den ITF-Knoten Villach	36
3.4.2	Szenario 3b: Zweistundentakt im Fernverkehr, Jesenice und Villach als Taktknoten	38
3.5	Szenario 4: Nachtverkehr	39

4	Diskussion	41
4.1	Kapazitäten	41
4.2	Fahrplanangebot im Personenverkehr	42
4.3	Streckeninfrastruktur	44
4.3.1	Infrastrukturbedarf im Taktknoten Villach	44
4.3.2	Infrastrukturbedarf im Taktknoten Jesenice	44
4.3.3	Bahnhof Ledenitzen Ost als Kreuzungsbahnhof im Fahrplan 2025	45
4.3.4	Maßnahmen zur Verkürzung der Fahrzeit	45
4.4	Fazit	47
A	Anhang	49
B	Bildfahrpläne	53

Abbildungsverzeichnis

1.1	Untersuchungsgebiet in der Streckennetzkarte der ÖBB Infrastruktur ⁴ . . .	6
1.2	Streckennetz des Hinterlandes des Hafens Triest nach Eröffnung der <i>Neuen Alpenbahnen</i> ¹⁰	8
1.3	Ausschnitt des Streckennetzes im Raum Villach in der Streckennetzkarte der ÖBB Infrastruktur ²³	11
1.4	Zufahrt zum Karawankentunnel aus dem Norden nach dem Rückbau auf ein Gleis	12
1.5	Systemtrennstelle 15 kV 16,7 Hz AC / 3 kV DC im Bahnhof Jesenice . . .	16
1.6	ÖBB 4746 als S5 nach Villach Hbf in der Haltestelle Villach Warmbad . .	18
1.7	ÖBB 1116 und ÖBB 1293 in Doppeltraktion vor einem Güterzug bei der Durchfahrt durch die Haltestelle Ledentzen	19
1.8	Linienetz der S-Bahn Kärnten im Fahrplanjahr 2022 ³²	20
2.1	Struktur des Programms <i>Open Track</i> ⁴¹	23
2.2	Darstellung des Bahnhofs Villach Hauptbahnhof in <i>Open Track</i>	25
2.3	Darstellung des Abschnitts Villach Draubrücke bis Finkenstein in <i>Open Track</i>	26
2.4	Darstellung des Abschnitts Faak am See bis Rosenbach in <i>Open Track</i> . . .	26
2.5	Darstellung des Bahnhofs Jesenice in <i>Open Track</i>	27
2.6	Taktkarte im Untersuchungsgebiet im Fahrplanjahr 2022	28
2.7	Bahnsteigbelegung in Villach Hbf zur geraden Stunde	30
2.8	Bahnsteigbelegung in Villach Hbf zur ungeraden Stunde	31
3.1	Taktkarte für das Szenario 1	35
3.2	Taktkarte für das Szenario 2	36
3.3	Taktkarte für das Szenario 3a	38
3.4	Taktkarte für das Szenario 3b	39
A.1	Streckengeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet laut openrailwaymap.org	50
A.2	Weg-Zeit-Diagramm von Villach bis Jesenice des EC in Szenario 3a	51
A.3	Weg-Zeit-Diagramm von Villach bis Jesenice des EC in Szenario 3b	51
A.4	Fahrplanbild 221 Villach - Jesenice im Jahr 2022	52
B.1	Bildfahrplan Szenario 0: Fahrplan 2022	54
B.2	Bildfahrplan Szenario 1: S-Bahn bis Jesenice, kurzer Übergang in Villach .	55

B.3	Bildfahrplan Szenario 2: S-Bahn bis Jesenice, EC in selber Taktlage wie bisher	56
B.4	Bildfahrplan Szenario 3a: Zweistudentakt im Fernverkehr mit Anschluss an den ITF-Knoten Villach	57
B.5	Bildfahrplan Szenario 3b: Zweistudentakt im Fernverkehr, Jesenice und Villach als Taktknoten	58

Kapitel 1

Einleitung

Seit 1906 verbindet der rund 8 km lange Karawankentunnel Rosenbach/Podrožca in Kärnten/Koroška¹ mit Jesenice/Assling in Slowenien. Mit der Karwankenbahn auf österreichischer Seite und der Wocheinerbahn auf der slowenischen Seite der Karawanken war der Bau des Tunnels Teil der „Neuen Alpenbahnen“, eines der größten Infrastrukturprojekte der Monarchie.² Heute dient der Karawankentunnel dem alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr der allerdings von Villach/Beljak vorwiegend Richtung Ljubljana/Laibach und nicht mehr über die Wocheinerbahn verläuft.

1.1 Problemstellung

Zwischen Herbst und Sommer 2021 wurde der Karawankentunnel im Zuge einer Sicherheitssanierung von zwei Gleisen auf ein Gleis rückgebaut. Zwar wurde gleichzeitig die Höchstgeschwindigkeit im Tunnel angehoben, trotzdem entstand eine etwa 11 Kilometer lange betriebliche Engstelle zwischen dem Bahnhof Rosenbach/Podrožca und der Betriebsstelle Jesenice zahod. Gleichzeitig besitzt der Tunnel eine wichtige Rolle im alpenquerenden Güterverkehr und verbindet die Wirtschaftsräume Süddeutschlands mit dem slowenischen Hafen Koper/Capodistria (Luka Koper) und dem Balkan.

Im Sinne eines klimaschonenden Verkehrssystems besteht ein politisches Ziel zur Verlagerung des Güter- und Personenverkehrs von der Straße auf die Schiene. Wie der Mobilitätsmasterplan 2030 des Bundesministeriums für Klimaschutz festlegt, soll das Verkehrsangebot auf der Schiene im Personenverkehr (auch grenzüberschreitend) ausgebaut und der Anteil der Schiene am Güter-Transitverkehr auf 40% erhöht werden.³

Im Dezember 2024 wird mit der Inbetriebnahme der Koralmbahn der Schienenpersonenverkehr in Kärnten grundlegend umgestellt und Villach zum Taktnoten zur Minute

¹Aufgrund der Mehrsprachigkeit der Region erfolgt die erste Nennung eines Ortsnamens in allen in der Region üblichen Sprachen. Später im Text wird aufgrund der Lesbarkeit nur mehr der am häufigsten genutzte Namen verwendet

²Lischka, Martin. *Die Neuen Alpenbahnen - Höhepunkt und Abschluss des österreichischen Gebirgsbahnbaus: Pyhrn-, Tauern-, Karawanken- und Wocheinerbahn in ihrer Funktion als „Zweite Eisenbahnverbindung mit Triest“*. Dissertation Universität Wien, 2017

³Bundesministerium für Klimaschutz. *Mobilitätsmasterplan 2030*. Wien 2021, S. 27

'30 werden. Diese Umstellung gibt die einmalige Chance, das Personenverkehrsangebot zwischen Villach und Ljubljana zu verbessern.

In der vorliegenden Arbeit sollen mittels Betriebssimulation folgende Fragestellungen untersucht werden:

- Welche Kapazitäten weist der Karawankentunnel im Fahrplan 2022 auf? Ist in der aktuellen Trassenlage eine Verlängerung der S-Bahn nach Jesenice möglich?
- Welches Betriebsprogramm ist bei welcher Streckenkapazität im Fahrplan 2025 auf der aktuellen Streckeninfrastruktur möglich?
- Sind für eine Verbesserung des Fahrplanangebots bzw. Erhöhung der Kapazitäten im Güterverkehr Anpassungen an der Infrastruktur erforderlich?

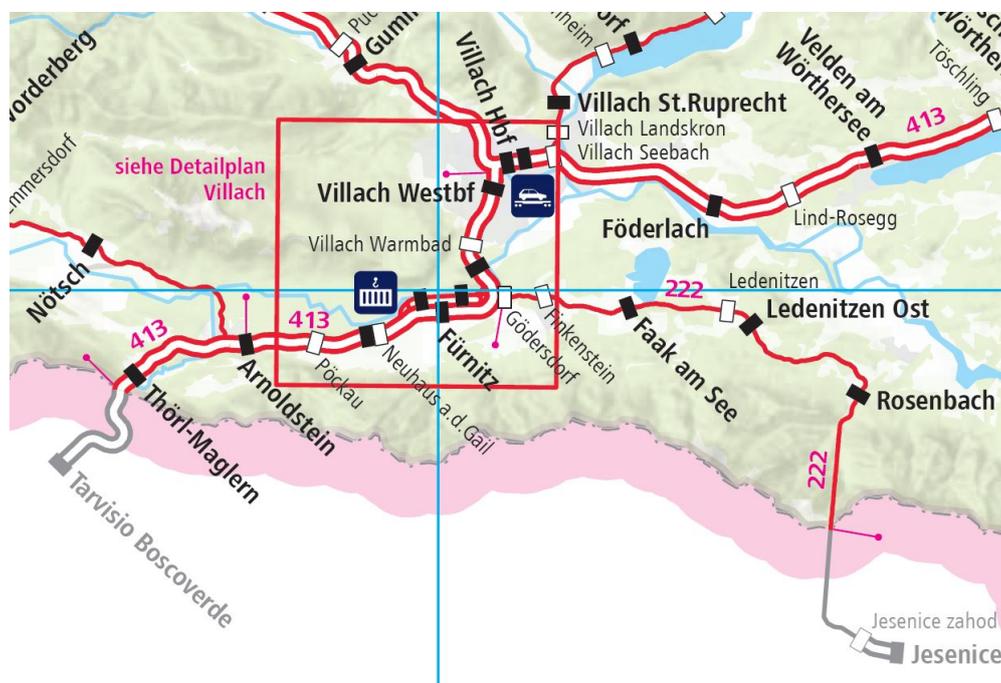


Abbildung 1.1: Untersuchungsgebiet in der Streckennetzkarte der ÖBB Infrastruktur⁴

1.2 Geschichte

Bereits 1866 bis 1873 entstand mit der Kronprinz-Rudolf-Bahn eine erste direkte Eisenbahnverbindung zwischen Villach und Ljubljana. In ihrer Gesamtheit war die Rudolfsbahn eine Nord-Süd-Verbindung zwischen den Bahnhöfen St. Valentin bzw. Amstetten an der Westbahn und Ljubljana an der Südbahn. Im Gegensatz zur 1854 eröffneten Südbahn, die Wien und Triest auf direktem Weg über Graz/Gradec, Maribor/Marburg und Ljubljana

⁴ÖBB-Infrastruktur AG. *Netzkarte. Ausgabe Fahrplanjahr 2022*. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftspartner/schiennetz/dokumente-und-daten/netzkarten>

verband, nahm die Rudolfsbahn eine umwegreiche, aber leichter zu errichtende, Linienführung über Selzthal, Sankt Michael in der Obersteiermark, St. Veit an der Glan, Villach und Tarvis/Tarvisio/Trbiž. Durch das Ende der Rudolfsbahn in Ljubljana behielt allerdings die private Südbahngesellschaft weiterhin ein Monopol auf den Eisenbahnverkehr zum wichtigen Adriaafen Triest/Trieste/Trst.⁵

Diese Stellung der Südbahn und die damit verbundene Preispolitik der Südbahngesellschaft führte zu mehreren Initiativen für eine weitere Schienenverbindung nach Triest im österreichischen Reichsrat, die allerdings alle abgelehnt wurden.⁶ Die Verbindung sollte auf Basis des 1887 verstaatlichten Netzes der Rudolfsbahn entstehen. Zwischen Kärnten und Triest wurden zwei Varianten intensiv diskutiert: einerseits eine „Loibl-Laaker-Linie“ (über Škofja Loka/Bischofslak) als östliche Route und andererseits die Unterquerung des Predilpasses als westliche Route. Kurz vor der Jahrhundertwende kam es dann zum Kompromiss zwischen den Vorschlägen und es wurde eine Trasse bestehend aus dem Karawankentunnel mit Zulaufstrecken von Klagenfurt/Celovec (Rosentalbahn) und Villach (Karawankenbahn) mit Fortsetzung über die Wocheinerbahn nach Triest festgelegt.⁷

Im Juni 1901 konnte schließlich das *Alpenbahngesetz*⁸ als Grundlage für den Bau der *Zweiten Schienenverbindung nach Triest* verabschiedet werden. Neben der Karawanken-, Rosental- und Wocheinerbahn umfasste es auch den Bau der Tauernbahn (Schwarzach-St.Veit – Spittal an der Drau) und Phyrnbahn (Steyerling – Selzthal).⁹ Damit entstand eine weit verzweigte Anbindung des Hinterlands des Adriaafens Triest (Siehe Abb. 1.2).

⁵Lischka. *Die Neuen Alpenbahnen*. S. 157-159

⁶Lischka. *Neue Alpenbahnen*, S. 294-298

⁷Luft, Alfred (Hrsg.). *Die Karawankenbahn*. Klagenfurt: Verein der Kärntner Eisenbahnfreunde - Kärntner Museumsbahnen, 1977, S. 10-11

⁸*Gesetz, betreffend die Herstellung mehrerer Eisenbahnen auf Staatskosten und die Festsetzung eines Bau- und Investitionsprogrammes der Staatseisenbahnverwaltung für die Zeit bis Ende des Jahres 1905*, RGBl 63/1901

⁹Marijanović, Marko. *Historischer Baubetrieb im Tunnelbau - der Bau des Karawankentunnels 1901 - 1906 = Historic tunneling - construction of the Karawankentunnel 1901 - 1906*. Diplomarbeit Technische Universität Wien, 2003

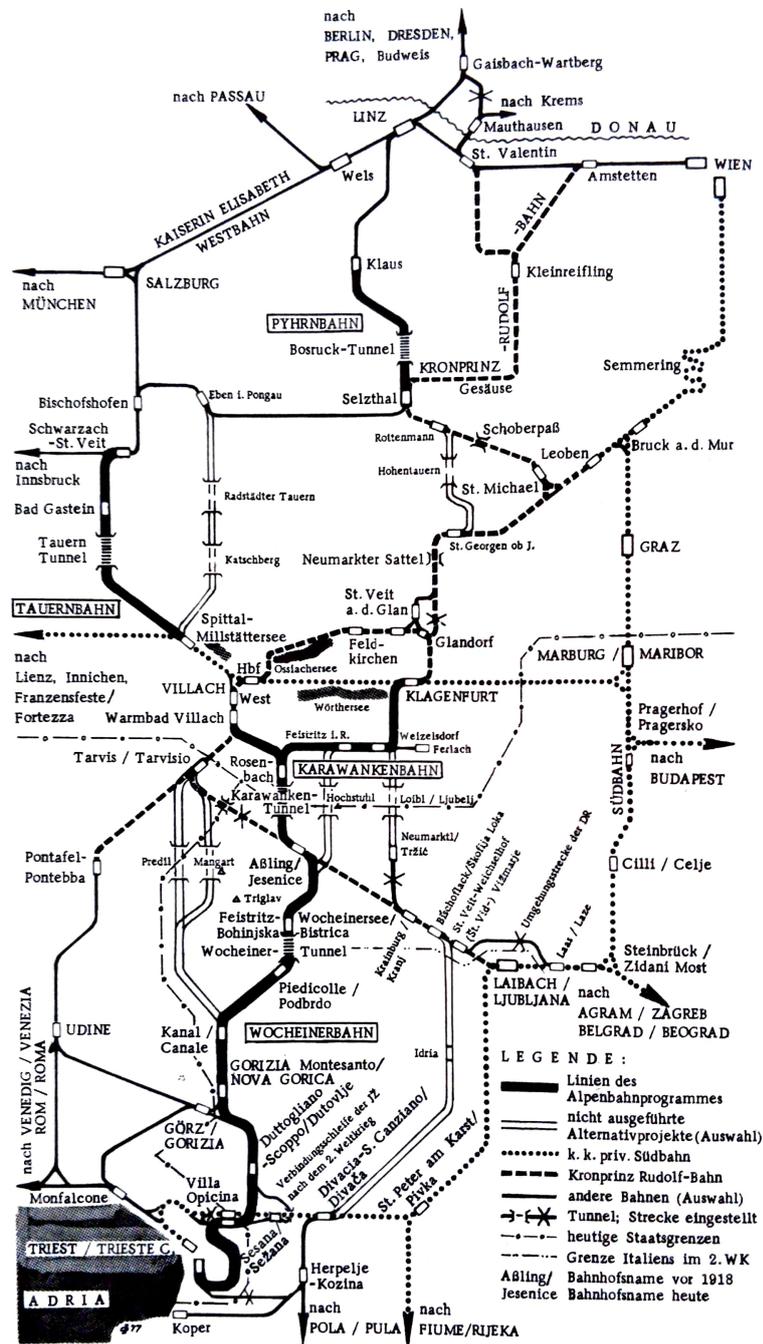


Abbildung 1.2: Streckennetz des Hinterlandes des Hafens Triest nach Eröffnung der *Neuen Alpenbahnen*¹⁰

¹⁰Luft. *Die Karawankenbahn*, S. 8

Im Rahmen der neuen Alpenbahnen entstanden vier große Tunnelbauwerke: der Bosrucktunnel (4.766 m), Tauerntunnel (8.371 m), Wocheinertunnel (6.327 m) sowie der Karawankentunnel (7.976 m). Alle Tunnel, außer dem Bosrucktunnel, wurden dabei zweigleisig ausgeführt, wobei die Zulaufstrecken stets nur eingleisig errichtet wurden.¹¹ Die in dieser Arbeit betrachtete Karawankenbahn Villach – Rosenbach entstand als Abzweigung von der Rudolfsbahn zwischen Villach und Tarvis bei Villach-Warmbad/Beljak-Toplice. Dabei wurde die bestehende Strecke zwischen Warmbad und Müllnern/Mlinare auf 4 km zweigleisig ausgebaut und es entstanden 18 km Neubaustrecke zwischen Müllnern und Rosenbach. Anders als bei der Rosentalbahn Klagenfurt - Rosenbach mussten zwischen Villach und Rosenbach nur wenige Kunstbauten errichtet werden. Die restlichen 2 km Strecke vom Südportal des Karawankentunnel zum Bahnhof Jesenice an der Rudolfsbahn Tarvisio -Ljubljana wurden gemeinsam mit der Wocheinerbahn errichtet.¹² Die neue Verbindung zwischen Villach und Jesenice konnte schließlich am 30. September 1906 eröffnet werden und ersetzte damit die rund 20 km längere Strecke über Tarvis.¹³

In den ersten Jahren nach der Eröffnung galt die Strecke von Klagenfurt nach Rosenbach als Hauptstrecke, auf der Strecke Villach - Rosenbach entwickelte sich der Verkehr erst langsam. Mit der Eröffnung der Tauernbahn am 7. Juli 1909 änderte sich die Situation und die Karawankenbahn gewann an Bedeutung.¹⁴ Mit den territorialen Änderungen nach dem Ersten Weltkrieg und dem zunehmenden Bedeutungsverlust Triests ordneten sich die Verkehrsverhältnisse neu und die Rosentalbahn verkam zunehmend zur Nebenbahn, während sich der Nord-Süd-Verkehr durch den Karawankentunnel auf den Villacher Zweig verlagerte.¹⁵

Bis heute stellt die Verbindung Salzburg - Villach - Ljubljana - Zagreb durch den Karawankentunnel die kürzeste Eisenbahnverbindung zwischen Deutschland und dem Balkan dar. Vor allem in der Zeit von 1945 bis 1989 als die historisch wichtigste Eisenbahnverbindung des Balkans mit Mitteleuropa über Budapest hinter dem Eisernen Vorhang lag, hatte die Verbindung eine herausragende Bedeutung im europäischen Schienenverkehr. So verkehrten in den 1970ern Schnellzüge im Langlauf von Dortmund über die Karawankenbahn bis nach Istanbul und Athen. Das gestiegene Verkehrsaufkommen führte dazu, dass 1977 das seit 1945 unbefahrbare zweite Gleis des Karawankentunnels wieder in Betrieb genommen wurde.¹⁶ Im Juli 1989 wurden schließlich die Tauern- und Karawankenbahn zur Hochleistungsstrecke erklärt.¹⁷

Mit dem Zerfall Jugoslawiens brach der Verkehr ab 1991 dramatisch ein, erholte sich aber mit Ende der Kriegshandlungen am Balkan ab 1995 wieder etwas. Seit der Jahrtausendwende wurde die Strecke modernisiert, was neben der Erneuerung der Gleisanlagen auch den Bau eines elektronischen Stellwerks (ESTW) in Rosenbach betraf. Seit dem Jahr

¹¹Marijanović. *Bau des Karawankentunnels*, S. 21

¹²Lischka. *Neue Alpenbahnen*, S. 455

¹³Lischka. *Neue Alpenbahnen*, S. 479

¹⁴Luft. *Die Karawankenbahn*, S. 14-15

¹⁵Novak, Gregor. *Verkehrsplanerische Potentialanalyse der Rosentalbahn*, Bachelorarbeit Technische Universität Wien, S. 2-4

¹⁶Lischka. *Neue Alpenbahnen*, S. 586-588

¹⁷*Verordnung der Bundesregierung vom 4. Juli 1989 über die Erklärung von Eisenbahnen zu Hochleistungsstrecken*. BGBl 370/1989

2000 wurde der Bahnhof Ledenitzen/Ledince von Rosenbach ferngesteuert.¹⁸ 2007 wurde der Bahnhof Faak/Bače von drei auf zwei Gleise rückgebaut, die bis dahin bestehenden mechanischen Sicherungsanlagen wurden entfernt. Heute erfolgt die Sicherung durch das elektronische Stellwerk (ESTW) Rosenbach.¹⁹ 2009 wurde auch der Bahnhof Rosenbach rückgebaut, seit Abschluss der Bauarbeiten erfolgt die Fernsteuerung des Betriebs auf der Strecke von der Betriebsführungszentrale Villach aus.²⁰ 2017 erhielt Ledenitzen eine neue Haltestelle näher am Ortszentrum. Der in „Ledenitzen Ost“ umbenannte (alte) Bahnhof dient seither nur mehr Zugkreuzungen und zum Abstellen von Zügen.

Von Oktober 2020 bis Juli 2021 wurde schließlich der Krawankentunnel modernisiert und auf ein Gleis rückgebaut. Dabei wurde die Tunnelauskleidung instandgesetzt, die Inneneinrichtung erneuert, der Brandschutz verbessert und neue Sicherungsanlagen eingebaut. Durch die Maßnahmen konnte die Geschwindigkeit im Tunnel von 50 bzw. 70 km/h auf 120 km/h angehoben werden.²¹ Durch das enge Tunnelprofil bestand vor der Sanierung eine Überschneidung der Lichträume und ein Begegnungsverbot für Güterzüge im Tunnel. Aufgrund der prognostizierten Zugzahlen entschied man sich gegen eine Aufweitung des Tunnels und für den Rückbau auf ein Gleis. Um Anfahrgranzlasten aufgrund der Steigung von über 20 ‰ auf den Freilandrampen von den Bahnhöfen Jesenice und Rosenbach zum Tunnel vor notwendigen Signalen zu vermeiden, wurden auch diese auf ein Gleis rückgebaut. Lediglich in Jesenice wurde ein 450 m langer zweigleisiger Abschnitt bis zum Beginn der Steigungsrampe beibehalten um hier einen weiteren Streckenblock einfügen zu können. Zur Verringerung der Zugfolgezeit wurden zudem 3 Selbstblockstellen im Tunnel installiert. Im Bahnhof Rosenbach wurde im Zuge der Sanierung des Karawankentunnels ein zusätzliches Hauptgleis errichtet.²² Während der Sperre des Tunnels wurde auch der Bahnhof Ledenitzen Ost umgebaut, die Nutzlänge der für Zugkreuzungen verwendeten Gleise 1 und 3 wurde auf 750 m verlängert.

1.3 Streckenbeschreibung

Die Karawankenbahn beginnt im Villacher Hauptbahnhof, in dem die Drautalbahn Maribor - Klagenfurt - Spittal - Lienz auf die Rudolfsbahn von St. Veit an der Glan trifft. Mit aufsteigender Kilometrierung verlässt den Bahnhof eingleisig in einem Linksbogen, der auf die Brücke über die Drau/Drava führt. Zwei jeweils eingleisige Schleifen ermöglichen die nördliche Umfahrung des Villacher Hauptbahnhofs für von Osten sowie von

¹⁸Marijanović. *Bau des Karawankentunnels*, S. 20

¹⁹Poltnigg und Klammer Ziviltechnikergesellschaft. *Referenzprojekt Umbau Bhf. Faak am See*, [Zugriff am 12.4.2022]. Verfügbar unter: https://www.pundk.at/verkehr/Eisenbahnplanung_PDF/119644_Bhf-Faak.pdf

²⁰Poltnigg und Klammer Ziviltechnikergesellschaft. *Referenzprojekt Umbau Bhf. Rosenbach*, [Zugriff am 12.4.2022]. Verfügbar unter: https://www.pundk.at/verkehr/Eisenbahnplanung_PDF/119645_Bhf-Rosenbach.pdf

²¹ÖBB Presse. *ÖBB: Baustart für Modernisierung des Karawankentunnels*, [Zugriff am 12.4.2022]. Verfügbar unter: <https://presse.oebb.at/de/presseinformationen/20200918-oebb-baustart-fuer-modernisierung-des-karawankentunnels>

²²Jannach, Helmut et. al. Modernisierung des Karawanken Eisenbahntunnels. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 2021, Nr. 12, S. 66-72. ISSN 0013-2845

Westen kommende Züge und führen auf das westliche, höher liegende Tragwerk der Draubrücke. Kurz vor dem Bahnhof Villach Westbahnhof, in dem sich ein Traktionsstandort und Werkstätten der ÖBB befinden, vereinigen sich die Schleifen mit dem Gleis, das aus Villach Hbf kommt.

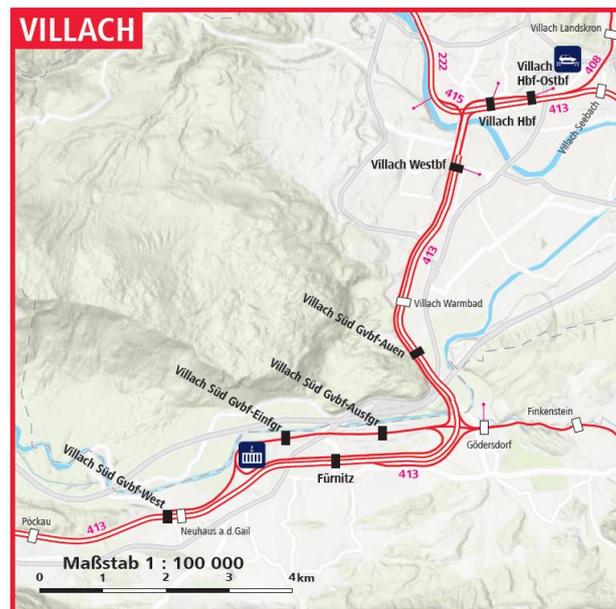


Abbildung 1.3: Ausschnitt des Streckennetzes im Raum Villach in der Streckennetzkarte der ÖBB Infrastruktur²³

Ab Villach Westbahnhof ist die Strecke dreigleisig, wobei zwei Gleise zur Rudolfsbahn (VzG-Strecke 413 01) gehören sowie ein Gleis zur VzG-Strecke 413 14 (Villach Hbf – Villach Süd Gvbf). Die Strecke ist für 100 km/h Höchstgeschwindigkeit ausgelegt und die Streckengleise sind durch mehrere Überleitstellen verbunden. Der Haltestelle Villach Warmbad folgt die Betriebsstelle Villach Süd Gvbf in deren Bereich die Verknüpfung von Rudolfsbahn und Karawankenbahn liegt. Während die Rudolfsbahn nach Tarvisio geradeaus führt, wendet sich die VzG-Strecke 413 14 in einem Rechtsbogen in die Ausfahrgruppe des Verschiebebahnhs. Die hier beginnenden VzG-Strecke 222 02 nach Rosenbach ist anfangs zweigleisig, das zweite Gleis endet allerdings bereits nach wenigen hundert Metern nach der Haltestelle Gödersdorf/Vodiča vas. In diese münden auch die „Ostschleife“ aus der Ausfahrgruppe Süd des Großverschiebebahnhs Villach sowie die „Gödersdorfer Schleife“, die eine direkte Fahrt von Zügen aus Tarvis in Richtung Karawankenbahn ermöglicht.

Die nun eingleisige Strecke steigt mit bis zu 19‰ Richtung Faak am See, bis zur Haltestelle Finkenstein/Bekštanj erlauben mehrere Bögen mit Radius 260 m eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Nach der Haltestelle Finkenstein wird mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h das Finkensteiner Moor gequert, bevor der zweigleisige Bahnhof Faak am See erreicht wird. Die Strecke steigt weiter Richtung Ledentzen, wobei hier

²³ÖBB-Infrastruktur AG. *Netzkarte. Ausgabe Fahrplanjahr 2022*. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/netzkarten>

teilweise eine Geschwindigkeit von 90 km/h zulässig ist. Nach der Haltestelle Ledenitzen folgt der dreigleisige Kreuzungsbahnhof ohne Personenverkehrshalt Ledenitzen Ost. Nachdem die Strecke im Bahnhof leicht fällt, folgt eine weitere Steigung von bis zu 16‰ Richtung Rosenbach. Nach der im Dezember 2019 aufgelassenen Haltestelle Winkel im Rosental fällt die Strecke mit bis zu 16‰ in den Bahnhof Rosenbach. Auch hier erlauben enge Bogenradien nur eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h.



Abbildung 1.4: Zufahrt zum Karawankentunnel aus dem Norden nach dem Rückbau auf ein Gleis

Im Bahnhof Rosenbach vereinigte sich die Strecke bis Dezember 2016 mit der von Klagenfurt kommenden Rosentalbahn, die später vom Land Kärnten gekauft wurde und aktuell nur im Nostalgieverkehr befahren wird. Nach dem ehemaligen Grenzbahnhof Rosenbach, in dem heute die von Villach kommenden S-Bahn-Züge enden, steigt die Strecke mit bis zu 22‰ bei einer Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h durch den Bärengraben zum Karawankentunnel. Kurz nach dem Tunnelportal endet die Steigung und Züge können mit bis zu 120 km/h die Staatsgrenze zu Slowenien passieren, die in etwa in der Mitte des Karawankentunnels liegt. Nach dem Tunnel neigt sich die Strecke mit etwa 19‰ dem Bahnhof Jesenice zu, hier besteht abermals eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h, ab der ersten Weiche des Bahnhofs Jesenice gelten nur mehr 35 km/h Höchstgeschwindigkeit.

keit. In Jesenice trifft die Karawankenbahn abermals auf die ehemalige Rudolfsbahn nach Ljubljana sowie die Wocheinerbahn nach Gorica/Gorizia/Görz.

Bis in den Bahnhof Jesenice ist die Bahn mit 15 kV 16,7 Hz Wechselspannung elektrifiziert. Etwa in der Mitte des Bahnhofs findet der Systemwechsel zum in Slowenien üblichen 3 kV Gleichspannungssystem statt. Bahnsteig 1 ist im Bereich der Trennstelle mit einem Schutzsignal in zwei Blöcke geteilt, kann also auch selbstständig von Wechselstromfahrzeugen genutzt werden (siehe Abb. 1.5). Die gesamte Strecke ist laut VzG-Streckenklassenkarte der ÖBB Infrastruktur als Streckenklasse D4 für 22,5 t Achslast und 8 t Meterlast ertüchtigt.²⁴

1.4 Betriebsstellen

Tabelle 1.1 gibt eine Übersicht über die für diese Projektarbeit relevanten Betriebsstellen entlang der Karawankenbahn. Anmerkung: *Kursiv* geschriebene Kürzel wurden für diese Projektarbeit gewählt und entsprechen nicht den Kürzeln, wie sie von der ÖBB Infrastruktur AG verwendet werden.

Tabelle 1.1: Übersicht über die Betriebsstellen im Untersuchungsgebiet

km ab Vb	km	Bezeichnung	Kürzel	Betriebliche Funktion
0	164.264	Villach Hbf	Vb	PV-Halt, Beginn & Ende von Zugfahrten
1.419	379.139	Villach Westbahnhof	<i>Vbw</i>	PV-halt, GZ-Überholung
3.935	381.665	Villach Warmbad	<i>Vwd</i>	PV-Halt
5.013	382.733	Villach Süd Gvbf - Auen	Vsv	GZ-Überholung
6.835	5.364	Gödersdorf	Vsv	PV-Halt, GZ-Überholung
8.479	7.008	Finkenstein	<i>Fin</i>	PV-Halt
12.156	10.685	Faak am See	Fas	Kreuzungsbahnhof mit PV-Halt
16.278	14.807	Ledenitzen	<i>Led</i>	PV-Halt
17.483	16.012	Ledenitzen Ost	Lez	Kreuzungsbahnhof ohne PV-Halt
24.093	47.791	Rosenbach	Rn	Kreuzungsbahnhof mit PV-Halt, Beginn & Ende von Zugfahrten
35.032	631.800	Jesenice zahod	<i>Jsz</i>	Betriebsstelle am Ende des zweigleisigen Abschnitts
36.621	630.211	Jesenice	<i>Jes</i>	PV-Halt, Beginn & Ende von Zugfahrten, GZ-Überholung

²⁴ÖBB-Infrastruktur AG. *VzG-Streckenklassenkarte ab 12.12.2021*. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/netzkarten>

- Villach Hauptbahnhof
Entsprechend der Lage des Bahnhofs Villach Hbf im österreichischen Eisenbahnnetz ist der Bahnhof mit umfangreichen Gleisanlagen ausgestattet. Für den Personenverkehr stehen 7 Bahnsteigkanten angrenzend an das Bahnhofsgebäude zur Verfügung. Ein weiterer Bahnsteig (Bahnsteig 8) befindet sich an der Güterzugumfahrung nördlich des Bahnhofs. Die Bahnsteige 1 bis 7 sind mit Schutzsignalen in jeweils zwei Sektoren getrennt, die unabhängig voneinander von Zügen genutzt werden können. Im östlichen Teil des Bahnhofs befinden sich Gleise, die zum Abstellen von Personenzügen genutzt werden.
- Villach Westbahnhof
Der Westbahnhof in Villach teilt sich grob in zwei Bereiche. Neben einem Inselbahnsteig mit zwei Bahnsteigkanten besteht der regulär vom Bahnbetrieb genutzte Teil des Bahnhofs aus sieben Güterzugüberholgleisen. Diese werden unter anderem für das „Abwarten“ von Güterzügen vor der betrieblichen Engstelle im Bereich der Draubrücke zwischen Westbahnhof und Hauptbahnhof genutzt. Westlich grenzt das Gelände des Produktionsstandortes mit Werkstättenhalle, Rundlockschuppen und Abstellgleisen für aktuell nicht benötigte Schienenfahrzeuge an.
- Villach Warmbad
Die Haltestelle Villach Warmbad weist einen Inselbahnsteig an der Rudolfsbahn sowie einen Seitenbahnsteig an der parallelen Verbindungsstrecke zum Großverschiebebahnhof (drittes Gleis) auf. Im Personenverkehr wird bis auf einen hier endenden Verstärkerzug aus Spittal an der Drau ausschließlich der Inselbahnsteig genutzt.
- Villach Süd Gvbf-Auen
In der Betriebsstelle Auen kurz vor der Verzweigung von Rudolfs- und Karawankenbahn befindet sich ein Güterzugüberholgleis. Diese betrieblich zum Großverschiebebahnhof Villach Süd gehörende Betriebsstelle wird ausschließlich im Güterverkehr genutzt.
- Gödersdorf
Die Personenverkehrshaltestelle besteht aus einem zwischen den Streckengleisen liegenden Inselbahnsteig. Südlich daran schließt die „Ostschleife“ Richtung Ausfahrgruppe des Großverschiebebahnhofs Villach Süd sowie die „Gödersdorfer Schleife“ zur Rudolfsbahn Richtung Tarvis mit je einem Gleis an. Nach der Haltestelle beginnt der eingleisige Abschnitt der Karawankenbahn.
- Finkenstein
Die im Ortsteil St. Stefan/Šteben befindliche Haltestelle besteht aus einem Randbahnsteig und wird seit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2021 als Bedarfshaltestelle bedient.
- Faak am See
Der Bahnhof Faak besteht seit dem Umbau im Jahr 2007 aus zwei Gleisen die jeweils mit einem Randbahnsteig versehen sind. Betrieblich wird der Bahnhof für Zugkreuzungen genutzt und ist auch Fernverkehrshalt. Regulär halten Personenzüge

am nördlichen Bahnsteig 1, Bahnsteig 2 wurde im Fahrplanjahr 2021 planmäßig nur bei Kreuzungen des im Sommer verkehrenden „Karawankensprinter“ mit der S-Bahn verwendet.

- Ledenitzen

Seit 2017 befindet sich im Ortsgebiet von Ledenitzen eine neue Haltestelle mit Randbahnsteig und Verknüpfung zum Regionalbus. Im Fahrplanjahr 2022 dient die Haltestelle als Bedarfshalt.

- Ledenitzen Ost

Der Bahnhof Ledenitzen Ost diente bis 2007 (damals „Ledenitzen“) dem Personenverkehr. Seither wird er betrieblich als Kreuzungsbahnhof sowie zum Abstellen von Zügen verwendet. Während der Sperre des Karawankentunnels wurde der Westkopf des Bahnhofs umgebaut und die Nutzlänge der beiden für Zugkreuzungen verwendeten Gleise 1 und 3 verlängert.

- Rosenbach

Der Bahnhof Rosenbach wurde bis zum EU-Beitritt Sloweniens 2004 bzw. Abschaffung der Grenzkontrollen zu Slowenien 2007 als Grenzbahnhof genutzt und wies eine entsprechende Infrastruktur auf. Nach einem Rückbau in mehreren Stufen weist der Bahnhof aktuell zwei durchgehende Hauptgleise mit Inselbahnsteig sowie zwei Güterzugüberholgleise und ein nicht elektrifiziertes Aufstellgleis auf. Hier endet aktuell die S-Bahnlinie S5, für das Wenden der Züge wird regulär Gleis 2 verwendet.

- Jesenice

Der Bahnhof der Stadt Jesenice ist entsprechend seiner Funktion als Grenzbahnhof mit weitreichenden Gleisanlagen ausgestattet. Der westliche Teil des Bahnhofs ist mit Wechselstrom elektrifiziert, der östliche mit Gleichstrom. Güter- und Fernverkehrszüge rollen mit gesenktem Stromabnehmer in den Bahnhof, bei Triebfahrzeugwechsel wird die Lokomotive von einer Verschublokomotive wieder in den richtigen Stromversorgungsabschnitt gestoßen. Für den Personenverkehr steht ein Randbahnsteig als Hausbahnsteig sowie ein Inselbahnsteig zur Verfügung. Südwestlich des Bahnhofs befindet sich ein Bahnbetriebswerk, nordwestlich (im Wechselstromteil) eine Gleisharfe zum Abstellen von Wechselstromlokomotiven. An den Bahnhof schließt außerdem auch ein weit verzweigtes Anschlussbahnnetz zu den Industrieanlagen in der Stadt an.



Abbildung 1.5: Systemtrennstelle 15 kV 16,7 Hz AC / 3 kV DC im Bahnhof Jesenice

1.5 Verkehrliche Rahmenbedingungen

Der Karawankentunnel stellt mit seinen Zulaufstrecken eine wichtige Querung der Alpen zwischen den Wirtschaftsräumen Mitteleuropas und Südosteuropas dar. Die Karawankenbahn ist eine von nur zwei elektrifizierten Hauptstrecken zwischen Österreich und Slowenien. Mit der Karawankenbahn werden die Städte Villach mit 63.000 Einwohner:innen, Jesenice (21.000 Einwohner:innen) sowie die slowenische Hauptstadt Ljubljana mit 295.000 Einwohner:innen verbunden. Im Jahr 2016 pendelten laut Statistik Austria mehr als 1.700 Menschen mit slowenischer Staatsangehörigkeit nach Kärnten ein.²⁵ Aufgrund der fehlenden grenzüberschreitenden ÖPNV-Verbindung kann davon ausgegangen werden, dass ein großer Teil dieser Pendler:innen das Auto nutzt.

Die Karawankenbahn ist Teil des von der Europäischen Union definierten Rail Freight Corridors RFC 10 (Alpen-Westbalkan-Korridor) der rund 2200 km von Salzburg über

²⁵Statistik Austria. *Einpendlerinnen und Einpendler aus dem Ausland 2016 nach Staatsangehörigkeit und Bundesland der Arbeitsstätte*, [Zugriff am 19.4.2022]. Verfügbar unter: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=118844

Ljubljana, Zagreb, Beograd, Sofia bis an die Bulgarisch/Türkische Grenze bei Svilengrad reicht.²⁶ Eine Bedeutung hat die Karawankenbahn auch im Hinterlandverkehr des Hafens Koper. Beispielsweise führt die Rail Cargo Austria Erz- und Kohlezüge zum Stahlwerk in Linz, Mineralölzüge nach Wien oder Autotransportzüge für in Tschechien hergestellte Autos von/nach Koper durch den Karawankentunnel. Auch Güterzüge anderer Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) wie der Slovenske Železnice, SETG oder LTE fahren durch den Karawankentunnel zum/vom Hafen Koper bzw. andere Ziele am Balkan an.²⁷

Im Bereich der Verzweigung von Karawanken- und Rudolfsbahn bei Fürnitz/Brnca befindet sich der 1990 eröffnete Großverschiebebahnhof Villach-Süd, in dem im Jahr 2013 rund 100 Züge täglich zusammengestellt wurden.²⁸ Einige davon verkehren durch den Karawankentunnel, wobei hier, im Gegensatz zu den meisten langlaufenden Güterzügen, ein Triebfahrzeugwechsel in Jesenice erfolgt, weshalb auch Dienstfahrten (Lokzüge) zwischen Fürnitz und Jesenice anfallen.

Auf der selben Achse besteht seit 1991 auch eine Autobahnverbindung durch den Autobahn-Karawankentunnel, der wenige hundert Meter westlich des Bahntunnels die Karawanken quert. Im November 2021 wurde der Tunnel an Freitagen (verkehrsstärkster Tag) im Schnitt von mehr als 6.800 Kfz befahren, davon rund ein Drittel Schwerfahrzeuge über 3,5 Tonnen. An der Zählstelle St. Martin an der A11 Karawanken Autobahn erhöhte sich der Schwerverkehr von 1.437 Kfz > 3,5 t (Mo-Fr) im November 2012 auf 2.224 im November 2021, was einer Steigerung von rund 50% entspricht. Das stärkste Verkehrsaufkommen erfährt der Autobahn-Karawankentunnel allerdings in den sommerlichen Reisewellen, beispielsweise an Samstagen im Juli, wenn (2021) im Schnitt 28.000 Kfz den Tunnel nutzen.²⁹

Seit wenigen Jahren wird die Verbindung durch den Karawankentunnel auch für den Radtourismus beworben und im Sommer ein zusätzliches Zugpaar mit Fahrradtransport durch den Tunnel angeboten.³⁰

1.6 Fahrzeugeinsatz im Fahrplanjahr 2022

1.6.1 Personenverkehr

Im Fahrplanjahr 2022³¹ wird der Verkehr der S-Bahn-Linien S4 (Villach - Hermagor) und S5 (Villach - Rosenbach) werktags hauptsächlich mit Zügen der ÖBB-Reihe 4024 (Bombardier Talent, vierteilig) abgewickelt. Wochenends und vereinzelt auch werktags kommt

²⁶Jannach, Helmut et. al. Modernisierung des Karawanken Eisenbahntunnels. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 2021, Nr. 12, S. 67, ISSN 0013-2845

²⁷Der Umleitungsverkehr wegen der Karawankentunnel-Sanierung. *Eisenbahn Österreich*. 2021, Nr. 5, S. 267, ISSN 1421-2900

²⁸kaernten.orf.at. Fürnitz: Drehscheibe für den Güterverkehr. In: *orf.at*. [Zugriff am 19.4.2022]. Verfügbar unter: <https://kaernten.orf.at/v2/news/stories/2587718/>

²⁹ASFINAG. Verkehrsstatistiken 2012-2021. In: *Verkehrsentwicklung*. [Zugriff am 19.4.2022]. Verfügbar unter: <https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszahlung/>

³⁰Kärnten Werbung. Karawankensprinter. In: *Bahn & Rad* [Zugriff am 19.4.2022]. Verfügbar unter: <https://radland.kaernten.at/de/trekkingrad/bahn-rad/>

³¹Dieser Abschnitt basiert auf Informationen des Portals vagonweb.cz

auch die ÖBB-Reihe 4746 (Siemens Desiro ML) zum Einsatz. Einzelne Verbindungen im Frühverkehr zwischen Hermagor und Villach sowie der sommerliche „Karawankensprinter“ werden mit einer Wendezuggarnitur aus ÖBB 1144 sowie CRD-Wagen geführt.



Abbildung 1.6: ÖBB 4746 als S5 nach Villach Hbf in der Haltestelle Villach Warmbad

Im Fernverkehr kommen auf der Karawankenbahn lokbespannte Züge mit UIC-tauglichen Schnellzugwägen verschiedener Bahngesellschaften zum Einsatz. Bespannt sind diese mit Lokomotiven der ÖBB-Baureihe 1216 (Siemens ES64U4). Diese kommen im Langlauf bis Dobova an der Grenze zwischen Slowenien und Kroatien im Einsatz.

Zwischen Villach und Udine kommen für den REX „Micotra“ UIC-taugliche Schnellzugwägen der ÖBB zum Einsatz, bespannt werden die Züge mit einer Lokomotive der Baureihe E190 (Siemens ES64U4) des italienischen Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) Ferrovie Udine Cividale (FUC). Nachtzüge werden regulär bis Tarvis mit ÖBB-Lokomotiven der Reihe 1116 bzw. bei Lauf bis Venedig mit der ÖBB-Reihe 1216 bespannt, für die Railjet-Verbindungen fahren entsprechende italientaugliche Garnituren.

Von Frühjahr bis Herbst verkehrt zusätzlich mehrmals wöchentlich der „Optima-Express“ von Villach nach Edirne in der Türkei. Dieser besteht aus Liegewägen, einem Speisewagen sowie Autotransportwägen. Zwischen Villach und Jesenice ist der Zug dabei mit einer Lokomotive der Reihe ÖBB 1144 bespannt.

1.6.2 Güterverkehr

Im Güterverkehr werden bei durchlaufenden Güterzügen Mehrsystemlokomotiven (vorwiegend Reihe 1293/Siemens Vectron MS und ÖBB 1216/Siemens ES64U4) verwendet, bei Zügen mit Lokomotivwechsel in Jesenice kommen auch Einsystemlokomotiven (üblicherweise ÖBB 1116 oder ÖBB 1144), teilweise in Doppeltraktion (siehe Abb 1.7), zum Einsatz.



Abbildung 1.7: ÖBB 1116 und ÖBB 1293 in Doppeltraktion vor einem Güterzug bei der Durchfahrt durch die Haltestelle Ledenitzen

1.7 S-Bahn Kärnten

Den Rückgrat des öffentlichen Verkehrs in Kärnten bildet die *S-Bahn Kärnten*, ein System aus fünf Linien im Schienenpersonenverkehr, die (außer Teile der S2) werktags zumindest im Stundentakt bedient werden (siehe Abb. 1.8). Der Villacher Hauptbahnhof wirkt dabei als Taktknoten zur Minute '15 und '45. Die letzte Änderung des Linienschemas erfolgte im Dezember 2021: bis dahin firmierte die heutige S5 Villach-Rosenbach als Teil der S2, auch wenn die Linie bereits davor in Villach gebrochen wurde. Die *S-Bahn Kärnten* wird von der ÖBB Personenverkehr AG betrieben.



Abbildung 1.8: Liniennetz der S-Bahn Kärnten im Fahrplanjahr 2022³²

1.8 Neugestaltung des Schienenpersonenverkehrs in Kärnten mit Eröffnung der Koralmbahn

Mit der im Dezember 2024 geplanten Inbetriebnahme der Koralmbahn kommt es in Kärnten zu einer Neuordnung des Schienenpersonenverkehrs. Wie in der Mitteilung über die Direktvergabe des Verkehrsdienstevertrags für Kärnten seitens des Verkehrsministeriums festgehalten wird, wird der Bahnhof Villach Hbf zum Vollknoten im integralen Taktfahrplan (ITF) zur Minute '30.³³

Der ITF-Knoten Villach soll im Fernverkehr Richtung Wien stündlich bzw. zweistündlich beschleunigt angeschlossen werden. Für den Fernverkehr sind im Untersuchungsgebiet

³²ÖBB. *Liniennetz Kärnten*. [Zugriff am 20.4.2022]. Verfügbar unter: <https://www.oebb.at/de/regionale-angebote/kaernten/s-bahn-kaernten>

³³Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Vorinformation über die Vergabe der Erbringung von Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonennah- und -regionalverkehr (SPNV) im Bundesland Kärnten. In: *ted.europa.eu*. [Zugriff am 20.4.2022]. Verfügbar unter: <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:250440-2017:TEXT:DE:HTML&tabId=1>

laut der Vergabeinformationen des Verkehrsministeriums für den Fernverkehr fünf Zugpaare zwischen Villach und Jesenice, vier Zugpaare zwischen Villach und Tarvis sowie ein Zweistundentakt von Interregio-Zügen von Salzburg über Villach nach Udine geplant. Zwischen Salzburg und Villach wechselt sich der Interregio dabei stündlich mit Fernverkehrszügen ab, die Richtung Wien durchgebunden werden.³⁴

1.9 Trassierungsnorm EN 13803:2017

Ein wesentlicher Faktor für die zulässige Geschwindigkeit auf Eisenbahnstrecken ist die Begrenzung der Fliehkraft beim Durchfahren eines Bogens. Die Fliehkraft ist dabei proportional zur Geschwindigkeit zum Quadrat bzw. umgekehrt proportional zum Radius des Bogens.³⁵ Soll ein Bogen schneller durchfahren werden, so muss entweder der Radius des Bogens erhöht werden oder eine Überhöhung angeordnet werden. Die Trassierungsparameter werden dabei durch die europäische Norm EN 13803³⁶ bestimmt. Im Allgemeinen gilt für den Überhöhungsfehlbetrag für Normalspur:

$$I = 11,8 * \frac{V^2}{R}$$

mit V als Geschwindigkeit in km/h und D als Überhöhung in mm. Allgemein gilt für den Überhöhungsfehlbetrag I für eine Geschwindigkeit unter 200 km/h ein Grenzwert von 153 mm. Wird kein Übergangsbogen angeordnet gelten für die unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrags ΔI folgende normale Grenzwerte:

- $V \leq 60 \text{ km/h}$: $\Delta I = 110 \text{ mm}$
- $60 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$: $\Delta I = 100 \text{ mm}$

Für die Überhöhung D gilt abseits von Weichen und Kreuzungen ein normaler Grenzwert von 160 mm.

³⁴Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Vorinformation über die Vergabe der Erbringung von Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) in der Republik Österreich. In: *ted.europa.eu*. [Zugriff am 20.4.2022]. Verfügbar unter: <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:524862-2018:TEXT:DE:HTML>

³⁵Jochim, Haldor und Lademann, Frank. *Planung von Bahnanlagen*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2018, S. 17

³⁶Europäisches Komitee für Normung. *EN 13803. Bahnanwendungen - Oberbau - Trassierungsparameter - Spurweite 1435 mm und größer*, April 2017

Kapitel 2

Betriebssimulation

In der vorliegenden Projektarbeit wurden neben dem Fahrplan 2022 mehrere Szenarien für Fahrpläne nach der mit der Eröffnung der Koralmbahn einhergehenden Umstellung des Schienenpersonenverkehrs in Kärnten betrachtet. Die Simulation des Fahrplans 2022 diente vor allem der Kalibrierung des Modells sowie um eine Referenzgröße für die Leistungsfähigkeit zu erhalten.

2.1 Leistungsuntersuchung

Nach *Pachl*³⁷ wird mit einer Leistungsuntersuchung ermittelt, in welcher Betriebsqualität ein bestimmtes Betriebsprogramm fahrbar ist. Dabei wird das Leistungsverhalten meist als Durchsatz an Zügen je Zeiteinheit bei einer bestimmten Betriebsqualität beschrieben. Grundsätzlich können Verfahren zur Leistungsuntersuchung in zwei Klassen unterschieden werden:

- analytische Verfahren
- Simulationsverfahren: synchron oder asynchron

Die in dieser Projektarbeit verwendete Software *Open Track* nutzt ein synchrones Simulationsverfahren, bei dem zeitgleich ablaufende Prozesse (Bewegung der Züge über die Infrastruktur) in Zeitschritten nachgebildet werden. Eine synchrone Simulation ermöglicht eine äußerst realistische Abbildung des Betriebsablaufs.³⁸ Die von *Open Track* angebotene Möglichkeit, Verspätungen zu modellieren, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht genutzt.

Das Merkblatt UIC 406³⁹ des Internationalen Eisenbahnverbandes *Union Internationale des Chemins de fer* definiert das Vorgehen zur Ermittlung der Kapazität von Eisenbahnstrecken. Dabei werden in einem ersten Schritt Grenzen der betrachteten Infrastruktur festgelegt. In der vorliegenden Arbeit wird der Korridor Jesenice - Villach betrachtet. Für die Untersuchung soll darüber hinaus ein repräsentativer Tag gewählt

³⁷Jörn Pachl. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. 10. Auflage, Wiesbaden 2021, S. 153-161

³⁸Pachl. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. S. 167

³⁹International Union of Railways (UIC). *UIC 406 - Capacity*. Paris 2013

werden, was in der vorliegenden Arbeit mit der Betrachtung eines Werktages geschehen ist. Der Belegungsgrad ergibt sich nach UIC 406 folgendermaßen:

$$\text{Belegungsgrad} = \frac{\text{Belegungszeit} + \text{Zusatzzeit}}{\text{betrachteter Zeitabschnitt}}$$

Dabei werden die geplanten Zugfahrten in der Sperrzeitentreppe soweit wie möglich zusammen geschoben, woraus sich die Belegungszeit ergibt. Zusätzlich kann mit der „Zusatzzeit“ eine Zeit zur Erhaltung der Betriebsqualität definiert werden. Dividiert durch die Dauer des betrachteten Zeitabschnitts ergibt sich ein Belegungsgrad in Prozent. Da sich für jeden Abschnitt eines betrachteten Korridors andere Belegungsgrade ergeben, gilt jener mit dem höchsten Belegungsgrad als *kritischer Abschnitt*. Für den kritischen Abschnitt empfiehlt die UIC auf Strecken mit Mischverkehr eine Belegung von maximal 75 %.⁴⁰

In der vorliegenden Arbeit wurde zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit nach Festlegen der Trassen für den Personenverkehr ein Belegungsgrad von nahezu 100 % gewählt um die theoretische Leistungsfähigkeit zu demonstrieren.

2.2 Anwendung der Software Open Track

Das Simulationsprogramm *Open Track* entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts an der ETH Zürich. Grundsätzlich arbeitet das Programm mit den Eingangsgrößen Rollmaterial, Infrastruktur und Fahrplan. Die Simulation gibt Geschwindigkeits-Weg-Diagramme, Bildfahrpläne, Belegungspläne sowie Statistiken aus (siehe Abb. 2.1).

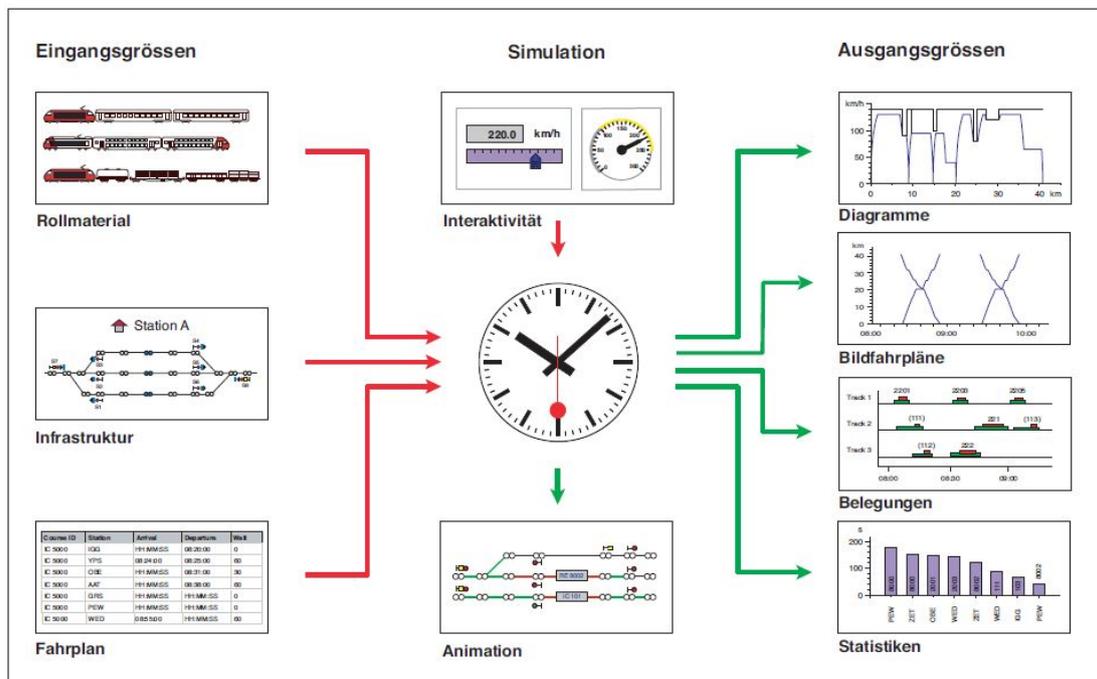


Abbildung 2.1: Struktur des Programms *Open Track*⁴¹

⁴⁰UIC 406 - Capacity. Paris 2013, S. 13-18, 29, 41

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert, handelt es sich bei *Open Track* um eine synchrones Simulationsverfahren, bei dem die Bewegungsdifferentialgleichungen der Züge auf der definierten Gleistopographie gelöst werden und daraus die Position der Züge in definierten Zeitschritten ermittelt wird. Im Hintergrund werden parallel Stellwerkszustände simuliert.

2.2.1 Eingangsgrößen

Rollmaterial

Für die vorliegende Untersuchung wurde die Triebfahrzeugdatenbank des Programms *Open Track* verwendet. In dieser sind die maßgeblichen Eigenschaften wie Z/V-Diagramm, Länge, Masse, Adhäsionswerte usw. beschrieben. Zusätzlich wurden für lokbespannte Züge Lasten in Form von Waggons definiert. Die Komposition der Personenzüge erfolgte auf Basis des realen Fahrzeugeinsatzes (siehe Abschnitt 1.6), wobei für den Regionalverkehr das Fahrzeug mit der geringeren Leistung und Beschleunigung (ÖBB 4024 statt ÖBB 4746) gewählt wurde. Für das Jahr 2025 wurde aufgrund der aktuellen Verzögerungen bei der Lieferung von neuem Rollmaterial für den Nahverkehr an die ÖBB davon ausgegangen, dass sich der Fahrzeugeinsatz nicht wesentlich von jenem des Jahres 2022 unterscheidet.

Die Simulation wurde schließlich mit folgenden Zugkompositionen durchgeführt. Für Personenzüge wurde aufgrund fehlender Werte für übliche Auslastung die Leermasse, für Güterzüge wurde die volle Ausnutzung der Zuladung angenommen.

- ÖBB 4024 (Bombardier Talent): Masse 116 t, Länge 66 m
- ÖBB EC (ÖBB 1116 + 5 Fernverkehrswagen): Masse 336 t, Länge 119 m
- ÖBB EN (ÖBB 1116 + 5 Fernverkehrswagen): Masse 336 t, Länge 119 m
- ÖBB Nightjet (ÖBB 1116 + 5 Fernverkehrswagen): Masse 336 t, Länge 119 m
- ÖBB Railjet (ÖBB 1116 + 7 Fernverkehrswagen): Masse 506 t, Länge 205 m
- Interregio (ÖBB 1116 + 5 Fernverkehrswagen): Masse 336 t, Länge 119 m
- Güterzug lang (2x ÖBB 1116 + 25x offener Wagen Bauart Eanos): Masse 2422 t, Länge 438 m
- Güterzug kurz (ÖBB 1116 + 10x gedeckter Wagen Bauart Habbiillns): Masse 986 t, Länge 249 m

Weil keine Daten für die im Fernverkehr eingesetzte Lokomotive ÖBB 1216 (Siemens ES64U4) vorhanden waren, wurde die Simulation mit der Schwesterbaureihe ÖBB 1116 (Siemens ES64U2), die beim Betrieb unter Wechselstrom sehr ähnliche technische Kennwerte aufweist, durchgeführt. Für Züge der Gattung Interregio wurde, wie in der Vergabe

⁴¹Daniel Hürlimann. *Open Track - Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen Version 1.9*. Handbuch, ohne Datum, S. 1

der Verkehrsdienste im Fernverkehr an die ÖBB vorgesehen, angenommen, dass Garnituren aus Lokomotiven plus Fernverkehrswagen zum Einsatz kommen.⁴² Von einem ebenfalls vorgesehenen Ersatz der Züge durch barrierefreie Garnituren wird bis zum Jahr 2025 nicht ausgegangen. Als Güterzüge wurden zwei Kompositionen festgelegt, einerseits die schwersten auf der Karawankenbahn zu beobachtenden Züge, nämlich Erzzüge mit einer Länge von rund 450 *m* und andererseits wurde aufgrund der eingeschränkten Nutzlänge des Gleises 5 in Ledenitzen auch ein kürzerer Güterzug verwendet, um Kreuzungen über dieses Gleis zu simulieren.

Für das Beschleunigungsverhalten berücksichtigt *Open Track* die beim Rollmaterial hinterlegten Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramme. Das Bremsverhalten wird mittels der für die Waggonen eingetragenen Bremsleistung ermittelt. Diese wurden für Personenzüge mit 152% und für Güterzüge mit 100% angenommen.

Infrastruktur

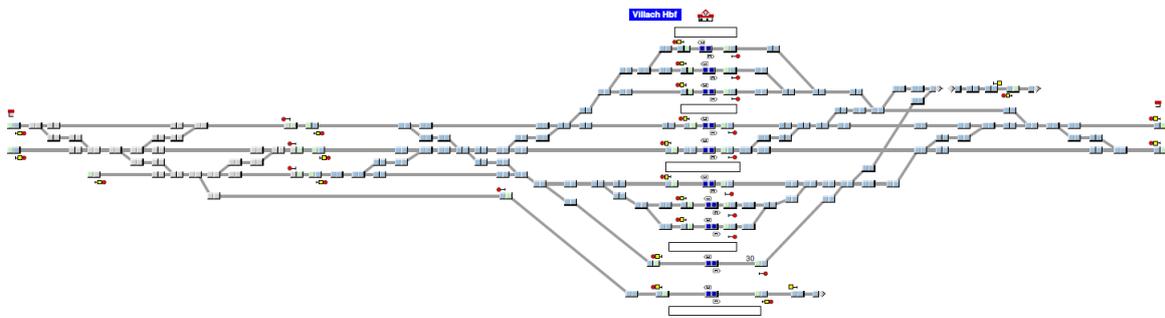


Abbildung 2.2: Darstellung des Bahnhofsvillach Hauptbahnhof in *Open Track*

Die Gleisopologie wird in *Open Track* mittels Doppelpunktgraphen auf einem Arbeitsblatt beschrieben. Diese Doppelpunktgraphen bestehen aus Knoten (Englisch *Vertex*) und Kanten (*Edges*). Knoten stellen Elemente der Infrastruktur, wie Weichenanfang, Weichenende, Signale, Beginn und Ende von Tunneln, Geschwindigkeitswechsel, usw. dar. Als Eigenschaften weisen sie einen Namen sowie eine Kilometrierung auf. Den Kanten zwischen den Knoten können hingegen Eigenschaften wie Länge, Radius, Neigung, Tunnelwiderstand sowie die Höchstgeschwindigkeit zugewiesen werden. Die Länge kann allerdings auch automatisch aus der Kilometrierung der Knoten berechnet werden.

⁴²Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Vorinformation über die Vergabe der Erbringung von Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) in der Republik Österreich. In: *ted.europa.eu*. [Zugriff am 20.4.2022]. Verfügbar unter: <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:524862-2018:TEXT:DE:HTML>

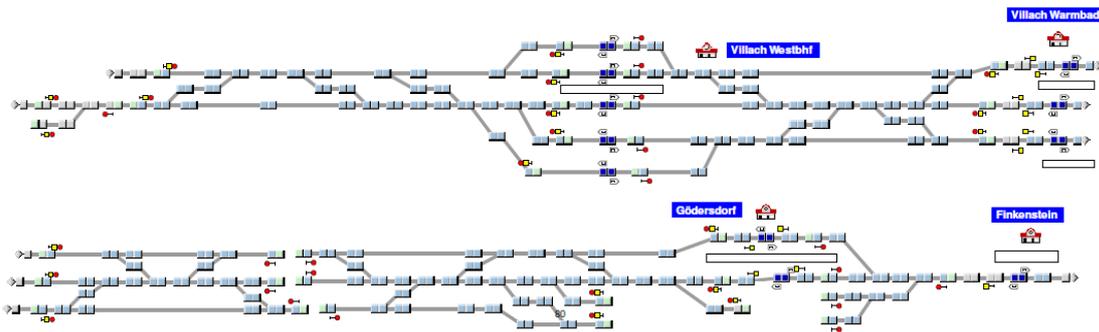


Abbildung 2.3: Darstellung des Abschnitts Villach Draubrücke bis Finkenstein in *Open Track*

Als Quelle für die in der Simulation benötigten Eigenschaften der Strecke diente ein aktuelles Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (kurz VzG) sowie signaltechnische Lagepläne der ÖBB Infrastruktur. Für die Infrastruktur des Bahnhofs Jesenice floss zudem ein Gleisschema der Slovenske železnice - Infrastruktura ein. Während Bahnhöfe und Betriebsstellen zwischen Villach und Jesenice in der Simulation vollständig dargestellt wurden, wurde aufgrund der großen Ausdehnung der Bahnhöfe Villach Hauptbahnhof, Villach Westbahnhof sowie Jesenice nur die Infrastruktur für den Personenverkehr sowie die für die Simulation notwendige Infrastruktur für den Güterverkehr dargestellt (siehe Abb. 2.2 bis 2.5).

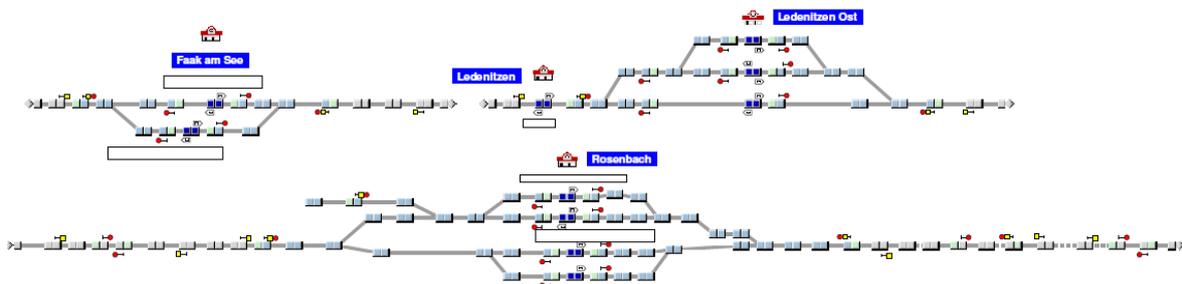


Abbildung 2.4: Darstellung des Abschnitts Faak am See bis Rosenbach in *Open Track*

Um den Tunnelwiderstand des Karawankentunnels abbilden zu können wurde für diesen in *Open Track* die Einstellung eines einröhrigen Tunnels mit glatter Oberfläche verwendet. Diese Einstellung ergab sich da der Tunnel aufgrund der ehemaligen Zweigleisigkeit über einen großen Querschnitt verfügt und im Zuge der Sanierung mit Spritzbeton ertüchtigt wurde.⁴³

⁴³Jannach, Helmut et. al. Modernisierung des Karawanken Eisenbahntunnels. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 2021, Nr. 12, S. 66-72. ISSN 0013-2845

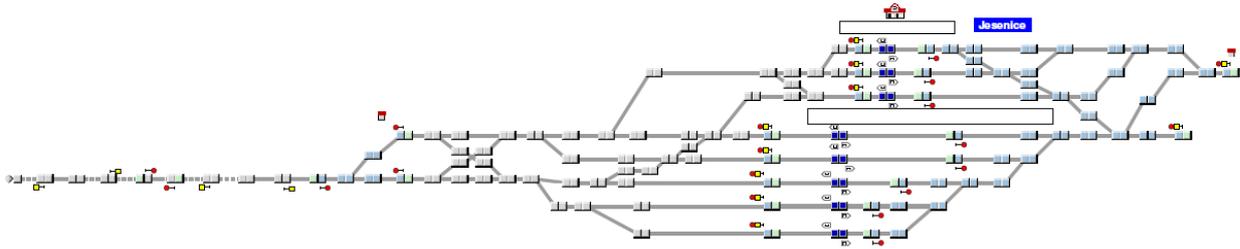


Abbildung 2.5: Darstellung des Bahnhofs Jesenice in *Open Track*

2.2.2 Parameter der Simulation

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Eingangsgrößen können für die Simulation auch diverse Parameter eingestellt werden. Zu erwähnen ist hier der *performance grade*, mit dem die Ausnutzung der Leistung eines Triebfahrzeugs beschrieben wird. Dieser wurde aufgrund der von der ÖBB Infrastruktur vorgesehenen 7 % Fahrzeitzuschlag für die Simulation auf 93 % für pünktliche Zugfahrten sowie 100 % für verspätete Zugfahrten gestellt.

2.3 Fahrplanszenarien

2.3.1 Fahrplan 2022

Der untersuchte Streckenabschnitt ist in den Fahrplanbildern 221 (Villach – Rosenbach – Jesenice) sowie 670 (Villach – Arnoldstein – Hermagor/Tarvisio) abgebildet. Im Nahverkehr werden auf dieser Strecke bzw. Teilen der Strecke im Fahrplanjahr 2022 folgende Verbindungen (siehe auch Abb. 2.6) angeboten:

Nahverkehr

- S4 Villach – Hermagor: Stundentakt von 5:00 bis 24:00 täglich, im Sommer zusätzlich in den Nächten Fr/Sa und Sa/So einzelne „Nightline“-Verbindungen.
- S5 Villach – Rosenbach: Stundentakt (mit Lücken) von 6:00 bis 24:00 täglich, im Sommer zusätzlich in den Nächten Fr/Sa und Sa/So einzelne „Nightline“-Verbindungen.
- Morgendlicher Regionalzug Jesenice – Villach sowie ein Zugpaar im Sommer („Karawankensprinter“) außerhalb der Taktlage.
- Einzelne Regionalexpresszüge zwischen Hermagor bzw. Udine und Villach.

Zwischen Villach Warmbad und Villach Hauptbahnhof ergibt sich durch die Überlagerung der Takte von S2 und S4 ungefähr ein Halbstundentakt. Villach wirkt im integralen Taktfahrplan aktuell als „Halbknoten“ zur Minute '15 und '45. In Jesenice besteht Anschluss an den Regionalverkehr Richtung Ljubljana (4:00 bis 23:00 ungefähr stündlich, teilweise beschleunigt – kein Taktfahrplan) und Nova Gorica (9 Zugpaare zwischen 4:00 und 22:00).

Fernverkehr

Aktuell werden von der ÖBB Personenverkehr AG teilweise in Kooperation mit Bahnen aus den Nachbarländern im Fernverkehr die Zugattungen *Railjet* (kurz RJ), *Nightjet* (kurz NJ), *Eurocity* (kurz EC) sowie *Euronight* (kurz EN) angeboten. Zusätzlich existieren noch *Durchgangszüge* (kurz D), das sind Fernverkehrszüge mit geringeren Qualitätsstandards, wie Wagen ohne Klimatisierung.

- FV Villach - Ljubljana (- Zagreb): 2 D-Zugpaare, ein EC-, zwei EN-Zugpaare mit Halt in Villach, Faak und Jesenice.
- FV Wien - Villach - Udine (- Venedig): 2 RJ-Zugpaare, 3 NJ-Zugpaare, 1 saisonales NJ-Zugpaar.
- Optima-Express Villach - Edirne via Jesenice: saisonal im Sommer mehrmals die Woche ohne Unterwegshalte.

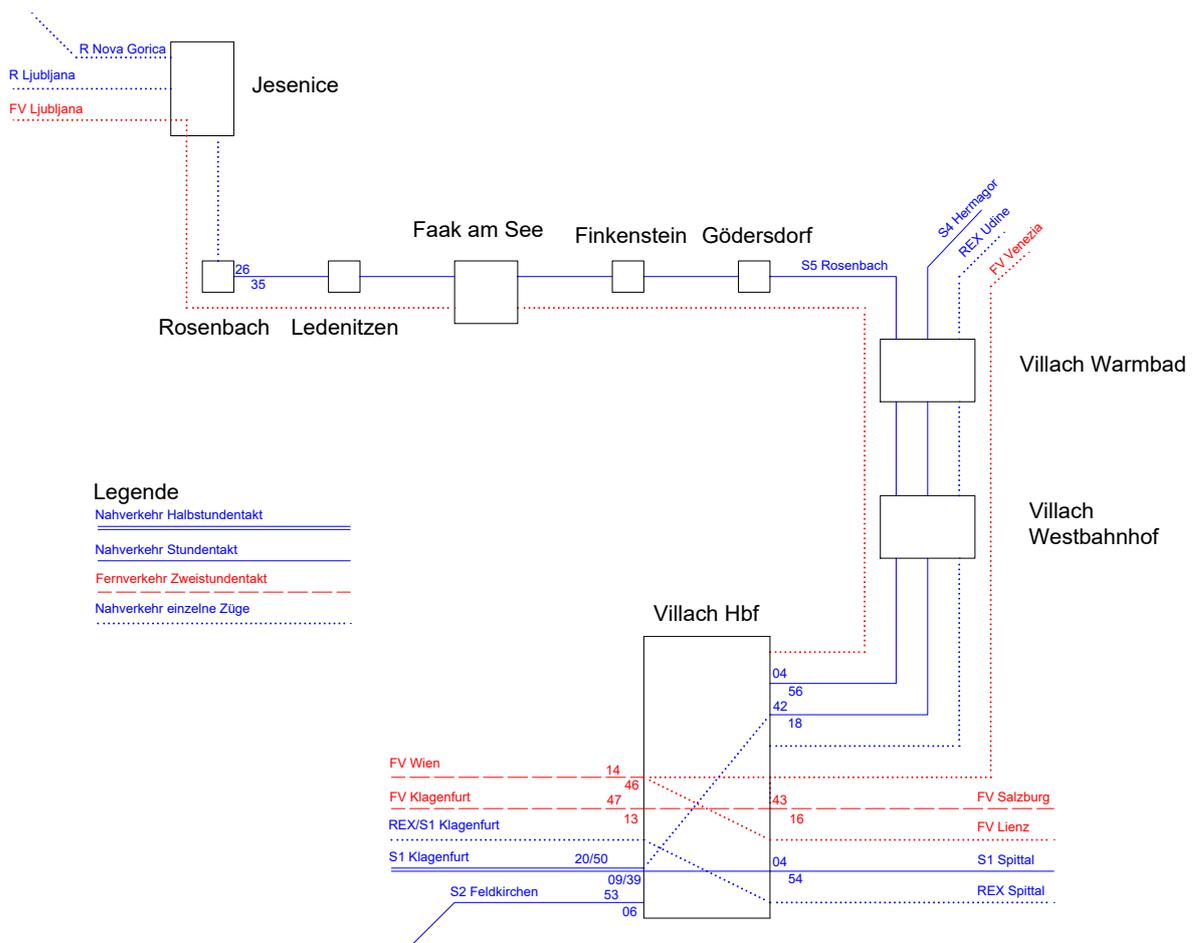


Abbildung 2.6: Taktkarte im Untersuchungsgebiet im Fahrplanjahr 2022

Güterverkehr

Für den Güterverkehr lag für die Ausarbeitung der vorliegenden Projektarbeit kein Fahrplan vor, weshalb eine theoretische Betrachtung von möglichen Zugtrassen erfolgte. Vor dem Rückbau des Karawankentunnels war dieser mit durchschnittlich 76 Zugtrassen belegt.⁴⁴ Abzüglich 14 Personenzugtrassen (siehe oben) und den erwähnten Dienstfahrten kann von bis zu 50 Güterzügen täglich ausgegangen werden, die den Tunnel täglich queren. Laut slowenischen Medienberichten wurde der Tunnel im Jahr 2019 täglich im Schnitt von 35 Güterzügen gequert.⁴⁵ Im Abschnitt Villach Hbf – Villach Süd Großverschiebebahnhof wird die betrachtete Strecke auch von Güterzügen von/nach Italien bzw. als Zubringer zum Verschiebebahnhof genutzt.

2.3.2 Fahrplan 2025

Wie bereits im Abschnitt 1.8 erwähnt, kommt es voraussichtlich im Dezember 2024 mit Eröffnung der Koralmbahn zu einer grundlegenden Neuordnung des Schienenpersonenverkehrs in Kärnten und Villach Hauptbahnhof wird zum Taktknoten zur Minute '30. Für den beschleunigten Fernverkehr wird die neue Zuggattung *Railjet Express* (RJX) angenommen. Zusätzlich soll ein *Interregio* (IR) mit zusätzlichen Unterwegshalten geführt werden. Auf Grundlage der bisher veröffentlichten Informationen (siehe Abschnitt 1.8) wurden für die Verbindungen abseits der Karawankenbahn folgende Anschlüsse am Knoten Villach angenommen:

- RJX Wien - Villach (- Venedig): Zweistundentakt, einzelne Züge nach Italien.
 - Anschluss Richtung Klagenfurt zur Minute '27 bzw. '33.
 - Anschluss Richtung Italien zur Minute '25 bzw. '35.
 - Verkehrt Richtung Süden zur geraden Stunde, Richtung Norden zur ungeraden Stunde (ermöglicht ausreichende Wendezeit für in Villach endende Kurse).
- RJ Wien - Villach (- Salzburg): Stundentakt, zweistündlich verlängert nach Salzburg.
 - Anschluss Richtung Klagenfurt zur Minute '24 bzw. '36.
 - Anschluss Richtung Salzburg zur Minute '28 bzw. '32.
- IR Salzburg - Villach - Udine: Zweistundentakt.
 - Salzburg - Villach in selber Trassenlage wie RJ.
 - Villach - Udine in selber Trassenlage wie RJX.

⁴⁴Jannach, Helmut et. al. Modernisierung des Karawanken Eisenbahntunnels. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 2021, Nr. 12, S. 70. ISSN 0013-2845

⁴⁵Gorenjski Glas. V predoru bo le še en tir *In: gorenjski.glas.si*. [Zugriff am 20.4.2022]. Verfügbar unter: <http://www.gorenjski.glas.si/article/20190329/C/190329754/1006/v-predoru-bo-le-se-en-tir>

- REX (Klagenfurt -)Villach - Spittal - Lienz: Einzellagen ohne Anschluss an die Minute '30 in Villach als Ersatz für den bisherigen Fernverkehr.
- REX Villach - Udine: Einzellagen ohne Anschluss an die Minute '30 in Villach.
- S1 Klagenfurt - Villach (- Spittal): Halbstundentakt, stündlich nach Spittal an der Drau.
 - Anschluss Richtung Klagenfurt zur Minute '20 bzw. '40 sowie '50 bzw. '10.
 - Anschluss Richtung Spittal zur Minute '25 bzw. '35.
- S2 Villach - Feldkirchen - St. Veit an der Glan: Stundentakt, Anschluss um '25 bzw. '35.
- S4 Villach - Arnoldstein - Hermagor: Stundentakt, Anschluss um '20 bzw. '40.

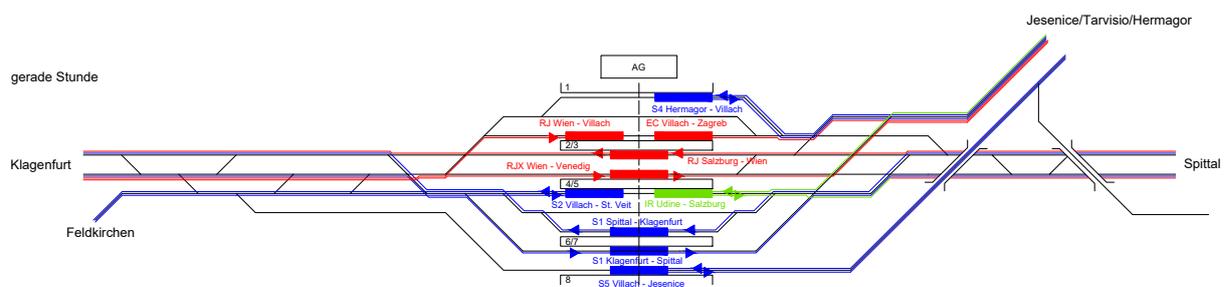


Abbildung 2.7: Bahnsteigbelegung in Villach Hbf zur geraden Stunde

Daraus ergeben sich die in Abb. 2.7 sowie Abb. 2.8 ersichtlichen Bahnsteigbelegungen. Diesen Annahmen liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Klagenfurt Hbf fungiert als Knoten zur Minute '00, die Fahrzeit Villach Hbf - Klagenfurt Hbf bleibt im Vergleich zu 2022 unverändert: 23 Minuten im Fernverkehr und 37 Minuten im Nahverkehr.
- Schwarzach-St.Veit wirkt als Taktknoten zur Minute '00, die Fahrzeit Villach - Schwarzach-St.Veit sinkt durch entsprechende Maßnahmen von derzeit 92 Minuten auf 86 Minuten.
- Kein Fernverkehr zwischen Villach und Lienz mehr, stattdessen Anschluss der S-Bahn nach Lienz an den Fernverkehr in Spittal bzw. einzelne REX-Verbindungen.
- Mindestens 10 Minuten Wendezeit für in Villach endende Nahverkehrsverbindungen.
- Fahrzeit Villach - Arnoldstein von 19 Minuten (derzeit 20 Minuten) ermöglicht Kreuzung der Züge der S4 zur Minute '00 in Arnoldstein (vor Beginn der eingleisigen Gailtalbahn).

- Anschlüsse im Fernverkehr entsprechend der Hauptlastrichtungen in Villach: Wien - Salzburg (Anschluss RJX auf RJ), Ljubljana - Salzburg (EC auf RJ), Wien - Udine (durchgehende Züge bzw. Anschluss auf IR).
- Mindestübergangszeiten in Villach lt. ÖBB Infrastruktur AG: regulär 5 Minuten, bahnsteiggleich 3 Minuten, 6 Minuten zum Bahnsteig 8.⁴⁶

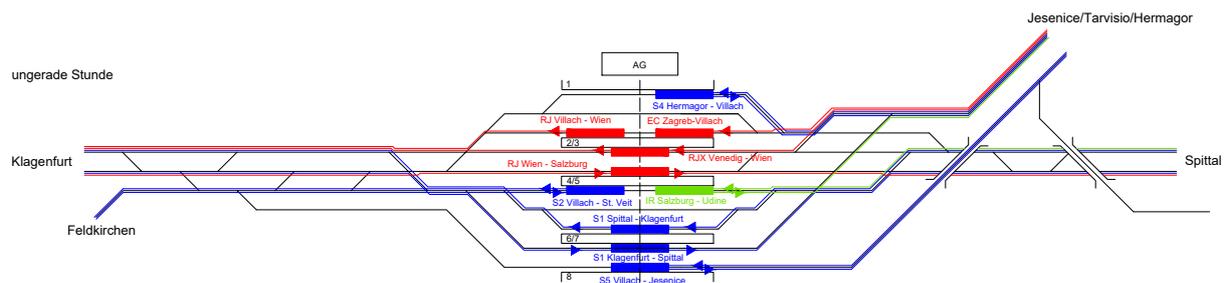


Abbildung 2.8: Bahnsteigbelegung in Villach Hbf zur ungeraden Stunde

Die in den Abbildungen 2.7 und 2.8 dargestellten Bahnsteigbelegungen in Villach Hbf entsprechen einem zeitnahen Anschluss der EC-Züge von und nach Ljubljana an den Taktknoten Villach. Durch die in etwa gleichzeitige Aus- bzw. Einfahrt der IR-Züge Salzburg - Villach - Udine und der EC-Züge von/nach Ljubljana dürfen sich die Fahrstraßen dieser Züge in Villach Hbf nicht überlagern. Grundsätzlich wurde bei der Konzeption der Bahnsteigbelegung darauf geachtet, dass einerseits die beiden durchgehenden Hauptgleise des Bahnhofes Villach Hbf nicht mit hier endenden Zügen belegt, die Umsteigezeiten möglichst kurz gehalten und die Wendezeit der Züge am selben Bahnsteig abgewartet werden kann.

Auf Basis der Beschriebenen Rahmenbedingungen wurden 4 Szenarien für den Fahrplan 2025 ausgearbeitet. Diese berücksichtigten die Möglichkeiten der aktuellen Infrastruktur (Szenarien 1 und 2) sowie mögliche Ausbaumaßnahmen (Szenarien 3a und 3b).

2.3.3 Fahrplan-Szenarien für den Fahrplan 2025

Szenario 1: S-Bahn bis Jesenice, kurzer Übergang in Villach

- Führung der S-Bahn-Linie S5 bis Jesenice, dort zeitnaher Anschluss Richtung Ljubljana.
- Symmetrischer Anschluss der S-Bahn-Linie S5 in Villach zur Minute '23 bzw. '37 mit Zugkreuzung zur Symmetrieminute in Ledenitzen.
- Anschluss des EC nach Ljubljana zur Minute '27 und '33 in Villach, Kreuzung mit S5 in Rosenbach.

⁴⁶ÖBB Infrastruktur. *Mindestübergangszeiten (MÜZ)*. Stand 1.7.2021

Szenario 2: S-Bahn bis Jesenice, EC in selber Taktlage wie bisher

- Führung der S-Bahn-Linie S5 bis Jesenice, dort zeitnaher Anschluss Richtung Ljubljana.
- Anschluss der S-Bahn-Linie S5 in Villach zur Minute '23 bzw. '37 mit Zugkreuzung zur Symmetrieminute in Ledenitzen.
- Anschluss des EC zur Minute '06 und '54 in Villach, Kreuzung mit S5 in Faak am See.

Szenario 3: Ausbaumaßnahmen

- Symmetrischer Anschluss der S-Bahn-Linie S5 in Villach mit Zugkreuzung zur Symmetrieminute in Ledenitzen.
- Zeitnaher Anschluss des EC zur Minute in Villach, Zweistudentakt mit Kreuzung in Jesenice.
- **Szenario 3a:** Zweistudentakt Villach - Ljubljana.
- **Szenario 3b:** Verringerung der Kantenfahrtzeit zwischen Villach und Jesenice auf 30 Minuten, Jesenice wird zum ITF-Knoten zur Minute '00.

Szenario 4: Nachtverkehr

- Abschätzung der nächtlichen Leistungsfähigkeit mit dem Personenzugangebot des Fahrplanjahres 2022 mit maximal möglichen Güterzugtrassen.
- Annahme, dass sich das nächtliche Personenzugangebot 2025 im Vergleich zum Fahrplan 2022 nicht ändert.
- Darstellung des Nachtzugknotens Villach Hbf: Verbindung Zagreb - Zürich, Wien - Livorno, Wien/München - Milano/Roma (Flügelung in Villach), München - Rijeka/Venezia/Zagreb (Flügelung in Villach) sowie Wien - Venezia.
- Vernachlässigung der Nacht-S-Bahn, die nur an Wochenenden im Sommer verkehrt.

Kapitel 3

Ergebnisse der Betriebssimulation

Für jedes Szenario in Abschnitt 2 wurde ein Zeitfenster von 4 Stunden betrachtet, das zur Ermittlung der theoretischen Leistungsfähigkeit maximal mit Zugtrassen gefüllt wurde. Die mittels des Programms *Open Track* erstellten Bildfahrpläne finden sich im Anhang.

3.1 Szenario 0: Fahrplan 2022

Als erstes Szenario wurde zur Validierung der Simulationsergebnisse der Fahrplan im Jahr 2022 simuliert. Die Linientaktkarte des Personenverkehrs ist in Abb. 2.6 dargestellt. Da keine Fahrplandaten für den Güterverkehr vorlagen, wurde eine theoretische Abschätzung möglicher Güterzugtrassen vorgenommen. Dabei führt ein Teil der Trassen in den Großverschiebebahnhof Villach Süd, während ein Teil der Güterzüge weiter Richtung Tauernbahn verkehrt. Die Simulation ergab folgende Ergebnisse:

- Der nunmehr eingleisige Karawankentunnel stellt eine fast 11 km lange betriebliche Engstelle dar, die Durchfahrt benötigt für einen Güterzug etwa 11 Minuten. Die Fahrzeit zwischen den Kreuzungsbahnhöfen Gödersdorf, Faak am See, Ledenitzen und Rosenbach dauert hingegen lediglich zwischen vier und sechs Minuten.
- Eine Ausnutzung der maximalen Kapazität des Tunnels ist nur durch gestaffeltes Fahren der Züge möglich. Dabei werden 3 bis 4 Trassen je Fahrtrichtung definiert die abwechselnd zur Verfügung stehen. Für die notwendigen Kreuzungshalte wurde angenommen, dass die südwärts fahrenden Güterzüge ihre Gegenzüge in den Kreuzungsbahnhöfen abwarten.
- Im Abschnitt Villach – Rosenbach definiert der S-Bahnverkehr die Randbedingungen für Trassen für den Güterverkehr. Die 10-minütige Wendezeit in Rosenbach kann dabei für die Durchfahrt von Güterzügen genutzt werden.
- Die aktuelle Taktlage der S-Bahn Villach – Rosenbach ermöglicht keine Verlängerung nach Jesenice, da ein Kreuzen der Züge im Karawankentunnel notwendig wäre. Aufgrund der Fahrzeit von 29 Minuten zwischen den Wendepunkten ist allerdings der Einsatz von zwei Garnituren notwendig, welche etwa die Hälfte Ihrer Einsatzzeit entweder in Villach oder Rosenbach stehen.

- Eine weitere betriebliche Engstelle stellt der nur eingleisige Abschnitt zwischen dem Hauptbahnhof und Westbahnhof in Villach dar. Vor allem rund um die Symmetriezeiten des ITF-Knotens Villach ist hier eine sehr starke Belegung zu beobachten.
- Durch die niedrige Streckenhöchstgeschwindigkeit zwischen Gödersdorf und Rosenbach weisen alle Zuggattungen ähnliche Reisegeschwindigkeiten auf.
- Schnellzüge der Relation Ljubljana – Villach haben zwischen Faak und Villach in beide Richtungen eine Fahrzeitreserve von 2 Minuten.
- Für den betrachteten Zeitabschnitt von vier Stunden konnten maximal 18 Güterzug- und 2 Schnellzugtrassen durch den Karawankentunnel gelegt werden.

3.2 Szenario 1: S-Bahn bis Jesenice, kurzer Übergang in Villach

Als zweites Szenario wurde der Fahrplan 2025 mit zeitnahe Anschluss des EC-Verkehrs Richtung Ljubljana am Taktknoten Villach und einer Führung der S-Bahn bis Jesenice betrachtet:

- Anschluss der Züge der S5 an den Taktknoten Villach zur Minute '23 bzw. '37, Kreuzung der Züge der S5 zur Minute '00 in Ledenitzen.
- Anschluss des EC nach Ljubljana zur Minute '27 bzw. '33 an den Taktknoten Villach
- Kreuzung S-Bahn/EC in Rosenbach, die dafür notwendige Fahrzeit Villach-Rosenbach ist nur ohne Halt in Faak am See möglich.
- Fahrzeit Villach-Jesenice von 31 Minuten verhindert Kreuzung in Jesenice knapp, weshalb nur ein 4-Stunden-Takt möglich ist.
- Kurzes Gleis 5 in Ledenitzen ermöglicht hier nur ein Überholen von kurzen Güterzügen während der Kreuzung der S-Bahn zur Symmetrieminute.
- Sehr knappe Zugfolgen von Villach südwärts rund um die Minute '30
- In Jesenice ist die S-Bahn an die Minute '30 angeschlossen, ein zeitnahe Anschluss des Regionalzuges Richtung Ljubljana ist dabei zweckmäßig.
- Für den betrachteten Zeitabschnitt von vier Stunden konnten maximal 14 Güterzug-, 8 Nahverkehrs- und 2 Schnellzugtrassen durch den Karawankentunnel gelegt werden.

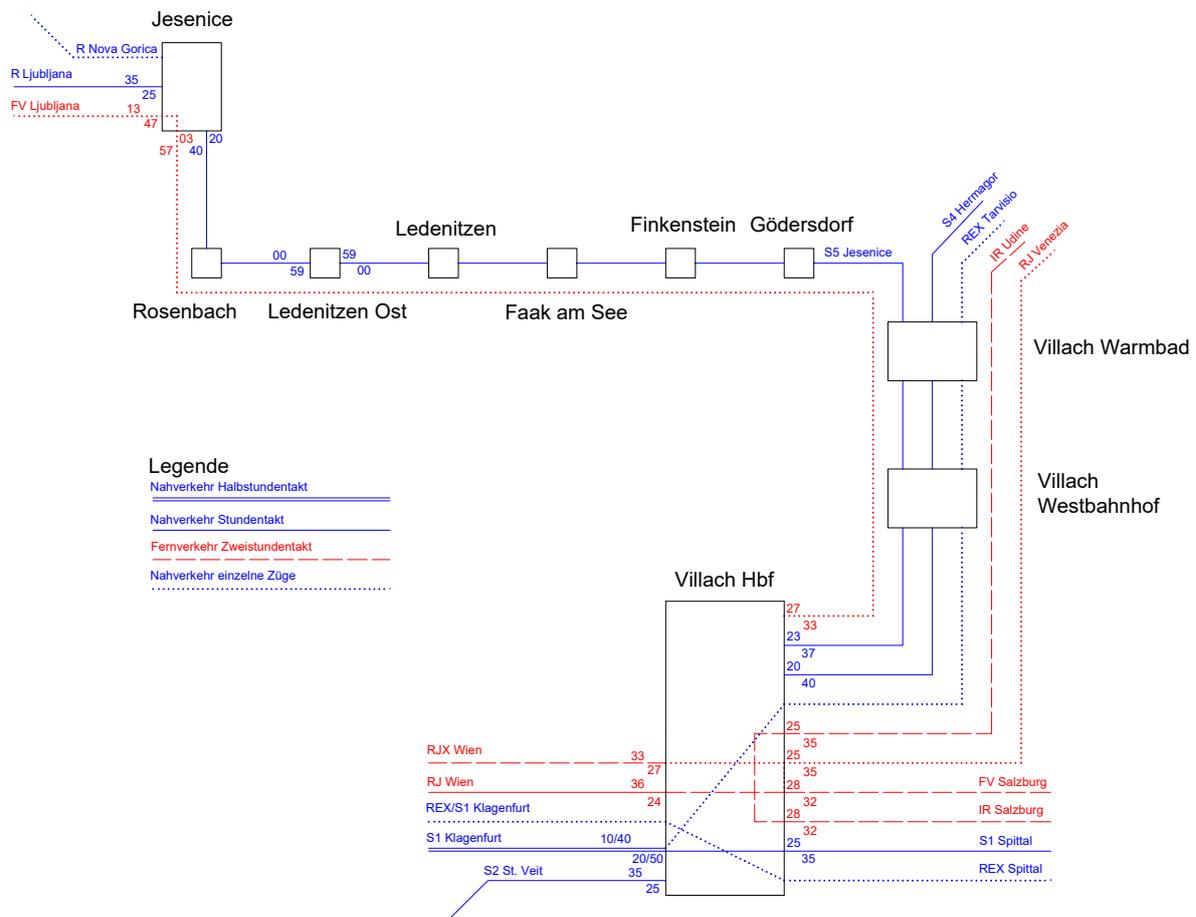


Abbildung 3.1: Taktkarte für das Szenario 1

3.3 Szenario 2: S-Bahn bis Jesenice, EC in selber Taktlage wie bisher

Eine Führung des Schnellzugverkehrs in der selben Taktlage wie bisher führt zu folgendem Ergebnis:

- Anschluss der Züge der S5 an den Taktknoten Villach zur Minute '23 bzw. '37, Kreuzung der Züge der S5 zur Minute '00 in Ledенitzen.
- Kreuzung S-Bahn/EC in Faak am See, Kreuzung der EC-Züge in Jesenice.
- Jesenice wirkt sowohl im Nahverkehr (Anschluss '20/'40) als auch im Fernverkehr als Knoten zur Minute '30.
- Zweistunden-Takt im EC Villach Ljubljana möglich, in Villach ist dafür kein zeitnaher Anschluss an den Taktknoten möglich (Minute '06/'54).

- Aufgrund der sehr ähnlichen Fahrzeiten kann abwechselnd zum EC ein Güterzug in selber Trassenlage geführt werden.
- Sehr knappe Zugfolgen von Villach südwärts rund um die Minute '30
- Für den betrachteten Zeitabschnitt von vier Stunden konnten maximal 14 Güterzug-, 6 Nahverkehrs- und 4 Schnellzugtrassen durch den Karawankentunnel gelegt werden. Allerdings kreuzen zwei Güterzugtrassen die S-Bahn in Ledenitzen und sind somit von ihrer Länge begrenzt.

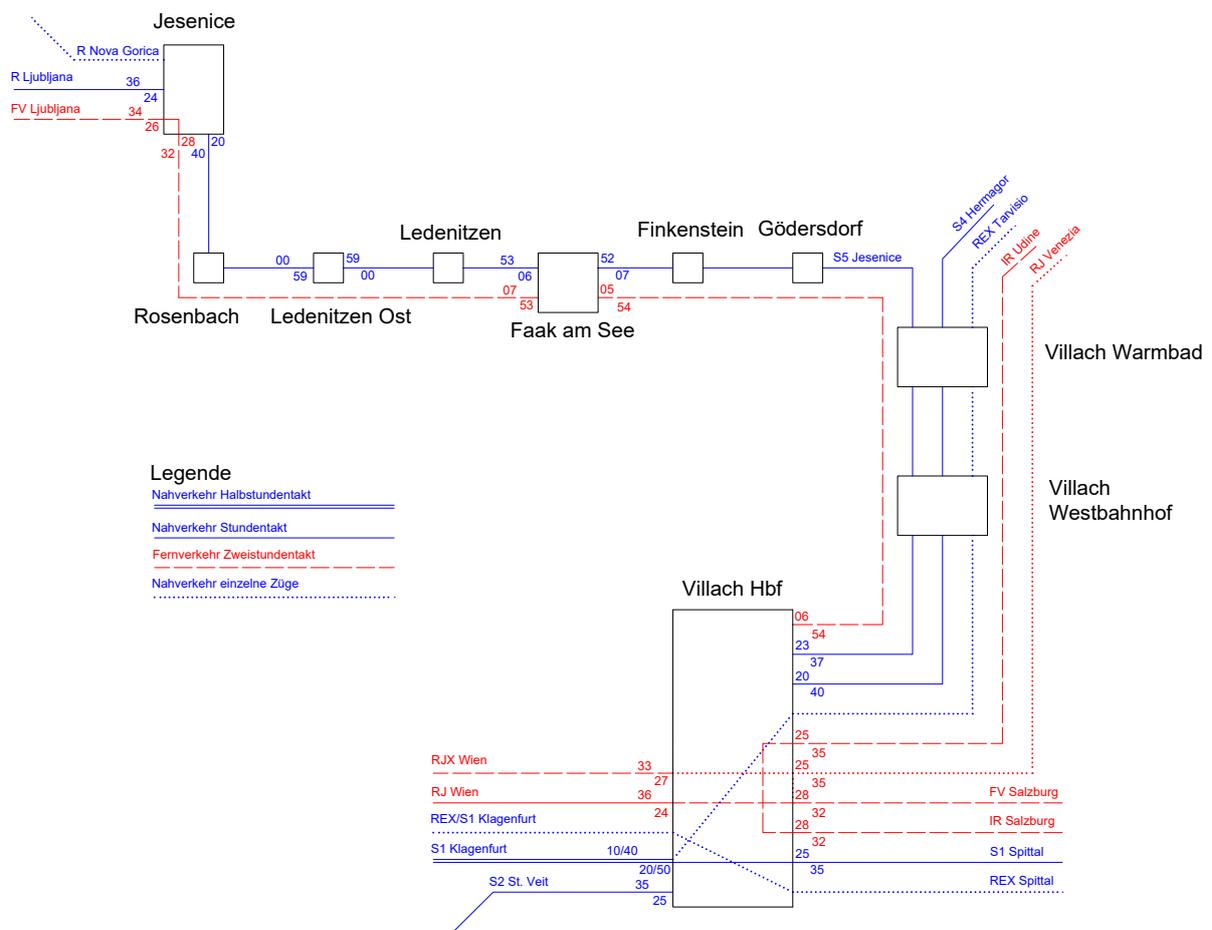


Abbildung 3.2: Taktkarte für das Szenario 2

3.4 Szenario 3: Ausbaumaßnahmen

3.4.1 Szenario 3a: Zweistundentakt im Fernverkehr mit Anschluss an den ITF-Knoten Villach

Für eine fliegende Kreuzung des EC im Nachrückbereich in Jesenice bei zeitnahe Anschluss an den Taktknoten Villach ist die Senkung der Fahrzeit zwischen Villach und

Jesenice auf 29 Minuten notwendig. Das kann beispielsweise durch Anpassung der Bögen (siehe Kapitel 1.9) erreicht werden. Folgende bestandsnahe Baumaßnahmen sind notwendig (siehe Tabelle 4.2):

- Höchstgeschwindigkeit zw. km 12,205 und 15,205: 110 km/h statt 90 km/h durch Anhebung der Überhöhung in einem Bogen.
- Höchstgeschwindigkeit zw. km 7,086 und 12,205: 90 km/h statt 80 km/h durch Anpassung mehrerer Bögen.
- Höchstgeschwindigkeit zw. km 48,181 und km 49,412 sowie km 631,355 bis km 633,769: 80 km/h statt 70 km/h durch Anpassung mehrerer Bögen.
- Anhebung der Höchstgeschwindigkeit im Karawankentunnel von 120 auf 140 km/h.

Mittels dieser Maßnahmen ist eine fliegende Kreuzung im zweigleisigen Bereich zwischen Jesenice zahod und Jesenice mit einer Pufferzeit von etwa 60 Sekunden möglich, die Ankunft der Züge in Jesenice liegt allerdings erst nach der Symmetrieminute. Dadurch ergeben sich folgende Eigenschaften:

- Zweistündiger EC Villach - Ljubljana mit Anschluss an den Taktknoten Villach zur Minuten '28 bzw. '32.
- Kreuzung der Züge der S5 zur Minute '00 in Ledenitzen, Anschluss an den Taktknoten Villach zur Minute '23 bzw. '37.
- Kreuzung S-Bahn/EC in Rosenbach.
- Notwendige Fahrzeit Rosenbach-Villach nur ohne Halt in Faak am See möglich.
- Sehr knappe Zugfolgen von Villach südwärts rund um die Minute '30.
- Für den betrachteten Zeitabschnitt von vier Stunden konnten maximal 12 Güterzug-, 8 Nahverkehrs- und 4 Schnellzugtrassen durch den Karawankentunnel gelegt werden.

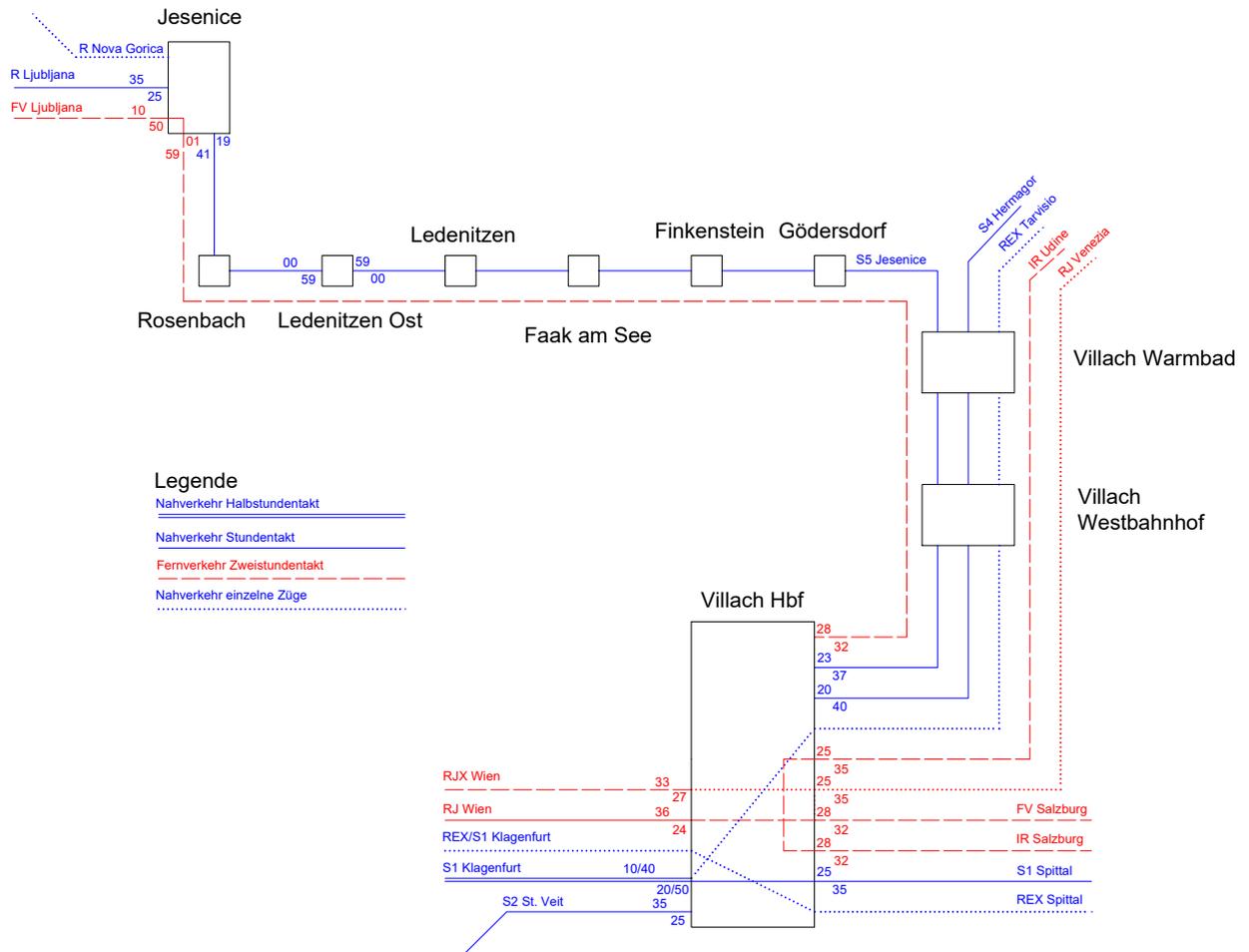


Abbildung 3.3: Taktkarte für das Szenario 3a

3.4.2 Szenario 3b: Zweistundentakt im Fernverkehr, Jesenice und Villach als Taktknoten

Für die Einrichtung eines Taktknotens in Jesenice zur Minute '00 ist eine weitere Senkung der Fahrzeit auf 27 Minuten nur durch weitere, umfangreichere Baumaßnahmen zu erreichen:

- Neutrassierung der Strecke zwischen Ledenitzen Ost (km 16,419) und dem Einfahrsignal Rosenbach (km 21,810) für eine Geschwindigkeit von 120 km/h statt bisher 70 km/h.
- Umbau des Bahnhofs Jesenice, Ermöglichung der Einfahrt mit 60 km/h (statt 35 km/h) bis zum Weichenbereich.

Für diesen vorliegenden Fall wurde ausschließlich der Personenverkehr mit folgendem Ergebnis simuliert:

- Zweistündiger EC Villach - Ljubljana mit Anschluss an den Taktknoten Villach zur Minute '28 bzw. '32, sowie Jesenice zur Minuten '59 sowie '01.
- Aufgrund der geringeren Fahrzeit zwischen Ledentzen und Rosenbach und der notwendigen Kreuzung der EC-Züge mit der S5 in Rosenbach verlegt sich die Kreuzung der Züge der S5 zur Symmetrieminute nach Faak am See.
- Durch die Kreuzung der S-Bahn in Faak am See verschiebt sich der Anschluss der S5 an den Taktknoten Villach nach hinten auf die Minute '16 bzw. '44.

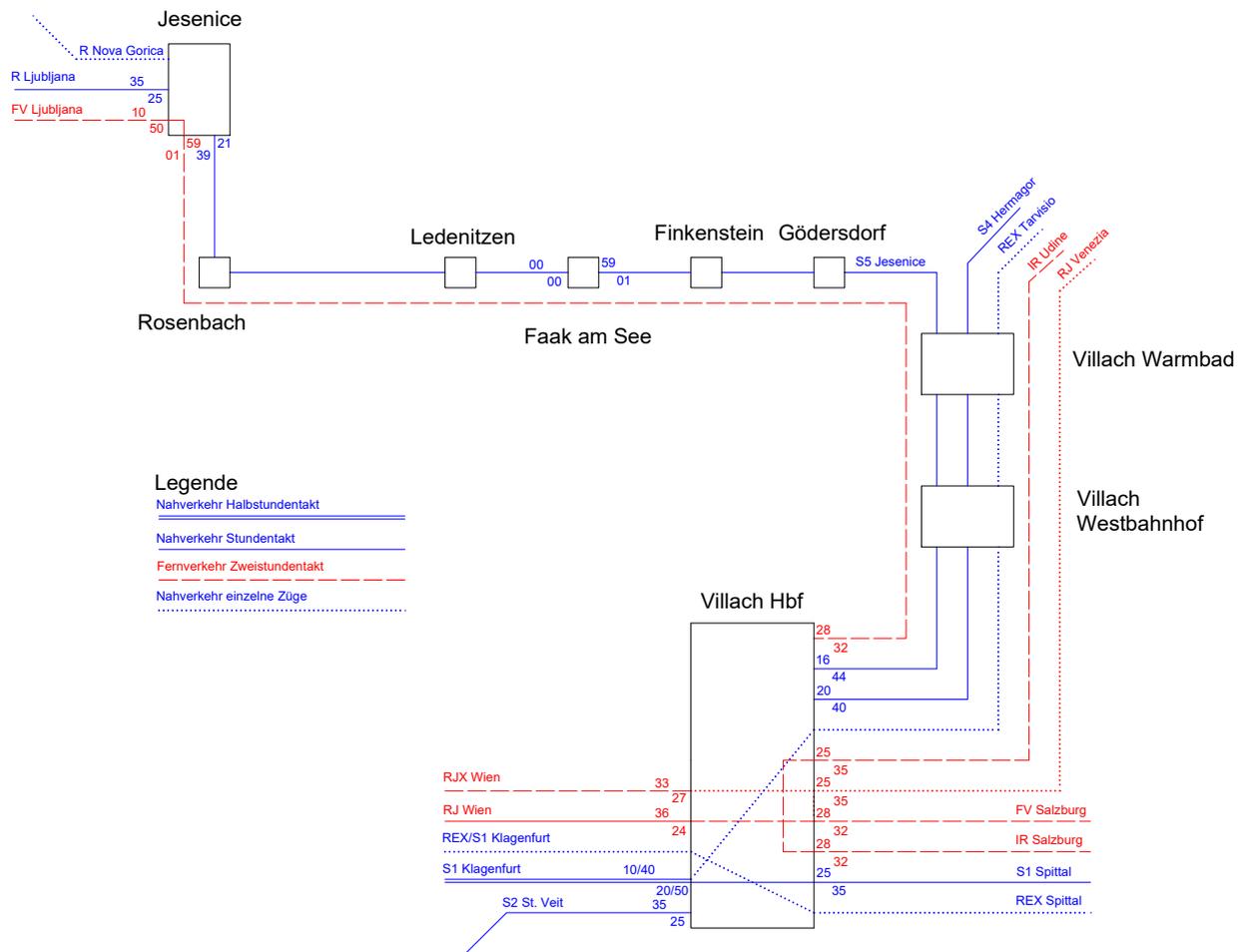


Abbildung 3.4: Taktkarte für das Szenario 3b

3.5 Szenario 4: Nachtverkehr

Zusätzlich zum Verkehr am Tag wurde auch der Nachtverkehr mit folgendem Ergebnis simuliert:

- Sehr homogene Fahrzeiten durch vorwiegend Güterverkehr und einem Nachtzug ohne Halt zwischen Villach und Jesenice.

-
- Gestaffeltes Durchfahren des Karawankentunnel für Güterzüge, südwärts fahrende Züge warten jeweils in den Kreuzungsbahnhöfen den Gegenverkehr ab.
 - Für den betrachteten Zeitabschnitt von vier Stunden konnten maximal 31 Güterzug- und eine Schnellzugtrasse durch den Karawankentunnel gelegt werden.

Kapitel 4

Diskussion

4.1 Kapazitäten

Wie in Kapitel 3 beschrieben, wurden mittels Betriebssimulation folgenden Kapazitäten für Zugtrassen für den Fernverkehr (FV), Nahverkehr (NV) und Güterverkehr (GV) in einem Zeitfenster von 4 Stunden ermittelt:

Tabelle 4.1: Übersicht über die mittels Simulation ermittelten Kapazitäten

Szenario	Abschnitt	FV	NV	GV	gesamt	Belegungsgrad
0: Fahrplan 2022	Karawankentunnel	2	0	18	20	46%
0: Fahrplan 2022	Faak am See - Ledenitzen	2	8	18	28	66%
1: Fahrplan 2025	Karawankentunnel	2	8	14	24	46%
1: Fahrplan 2025	Faak am See - Ledenitzen	2	8	14	24	55%
2: Fahrplan 2025	Karawankentunnel	4	8	14	26	49%
2: Fahrplan 2025	Faak am See - Ledenitzen	4	8	14	26	60%
3a: Ausbau klein	Karawankentunnel	4	8	12	24	43%
3a: Ausbau klein	Gödersdorf - Faak am See	4	8	12	24	56%
3b: Ausbau groß	Karawankentunnel	4	8	-	_*	_*
3b: Ausbau groß	Gödersdorf - Faak am See	4	8	-	_*	_*
4: Nachtverkehr	Karawankentunnel	1	0	31	32	64%
4: Nachtverkehr	Gödersdorf - Faak am See	1	0	31	32	73%

*Anmerkung: Für das Szenario 3b wurde nur ein möglicher Fahrplan für den Personenverkehr betrachtet, weshalb auch keine Ermittlung des Belegungsgrades möglich ist.

Die Abschätzung des Belegungsgrades in Tabelle 4.1 erfolgte, wie in der UIC-Richtlinie

406 vorgesehen, mittels Division der Summe der Sperrzeiten in einem Abschnitt durch die gesamte betrachtete Zeit (siehe dazu Kapitel 2.1). Betrachtet wurde hier sowohl der Karawankentunnel als betriebliche Engstelle als auch der *kritische Abschnitt*, also jener Abschnitt mit der höchsten Belegung der freien Strecke. Dieser liegt je nach Szenario zwischen den Betriebsstellen Gödersdorf und Faak am See bzw. Faak am See und Ledenitzen, wobei in allen Szenarien in beiden Abschnitten sehr ähnliche Belegungsgrade auftreten.

Die Pufferzeit zwischen den Zügen wurde in dieser Betrachtung vernachlässigt. Auch wenn der von der UIC empfohlene Belegungsgrad von maximal 75 % nicht erreicht wird, wurde hier ein durch die Kreuzungsbahnhöfe bestimmtes maximales Betriebsprogramm betrachtet. Die höchste Kapazität hat die Strecke in der Nacht, was auf das homogene Betriebsprogramm und die geringere Empfindlichkeit des Güterverkehrs im Vergleich zum Personenverkehr für längere Kreuzungshalte zurückzuführen ist.

Hochgerechnet auf 24 Stunden (4:30 bis 0:30 5 Szenarien am Tag + 0:30 bis 4:30 Szenario Nachtverkehr) ergeben sich im Abschnitt Karawankentunnel zwischen 132 und 138 mögliche Zugtrassen und auf der freien Strecke maximal 172 Trassen. Damit liegen die Ergebnisse dieser Untersuchung über die in der *Eisenbahntechnischen Rundschau* publizierten⁴⁷ 110 Trassen im Tunnel und 130 Trassen auf der freien Strecke.

Für eine hier betrachtete Verlängerung der S-Bahn nach Jesenice zeigt sich, dass eine solche Maßnahme zwar auf Kosten der freien Trassen des Güterverkehrs geht, allerdings im Allgemeinen mehr Zugtrassen durch den Karawankentunnel gelegt werden können als bisher. Eine solche Maßnahme im Personenverkehr beeinflusst die Zahl an möglichen Trassen im Güterverkehr also unterproportional.

Die vorliegende Untersuchung zeigt auch, dass die Ausbaumaßnahmen die Zahl der möglichen Zugtrassen nicht erhöht. Das wäre nur durch Einführung zusätzlicher Streckenblöcke in den kritischen Abschnitten möglich, was allerdings einer gesonderten Untersuchung bedarf. Auch sind bei maximaler Ausnutzung der Streckenkapazität alle Gleise in den Kreuzungsbahnhöfen Faak am See, Ledenitzen Ost und Rosenbach belegt. Vor allem in Rosenbach, wo nach den Rückbaumaßnahmen der letzten Jahre noch ausreichend Platz vorhanden ist (siehe auch Kap. 1.4), würde ein zusätzliches Gleis die Nutzung von streckenseitigen Reserven in der Kapazität ermöglichen. Im Bahnhof Ledenitzen Ost verhindert die Nutzlänge des Gleises 5 von nur rund 420 m eine Nutzung für das Überholen von langen Güterzügen während der Kreuzung der Züge der S5. Hier wäre eine Verlängerung der Nutzlänge beispielsweise durch Ersatz der Eisenbahnkreuzung im südlichen Bahnhofskopf durch eine Unterführung anzudenken.

4.2 Fahrplanangebot im Personenverkehr

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben ist in der aktuellen Trassenlage der S-Bahn keine Verlängerung der S-Bahn-Linie S5 von Rosenbach nach Jesenice möglich, weil eine Kreuzung der Züge im Tunnel stattfinden müsste. Auch ist das aktuelle Fernverkehrsangebot zwischen Villach und Ljubljana mit zwei Nachtzügen und drei Fernverkehrszügen über den

⁴⁷Jannach et. al. Modernisierung des Karawanken Eisenbahntunnels. *Eisenbahntechnische Rundschau*. Nr. 12/2021, S. 70

Tag verteilt sehr gering. Angesichts der im Mobilitätsmasterplan 2030 des Bundesministeriums für Klimaschutz festgelegten Erhöhung des Anteils des Umweltverbunds in der Verkehrsleistung von derzeit 30 % auf zukünftig mindestens 47 % ist der Ausbau des grenzüberschreitenden Angebots im Schienenpersonenverkehr unvermeidbar.⁴⁸

Die Umstellung des Schienenpersonenverkehrs im Bundesland Kärnten mit Eröffnung der Koralmbahn bietet dabei eine einmalige Gelegenheit, auf der Achse Villach - Jesenice - Ljubljana ein attraktives Personenverkehrsangebot anzubieten. Angesichts der Fertigstellung des Ausbaus des Autobahn-Karawankentunnels auf zwei Röhren im Sommer 2027⁴⁹ und der damit einhergehenden Verkürzung der Reisezeit zwischen Villach und Ljubljana scheint eine rasche Umsetzung eines solchen Angebots dringend notwendig.

Durch die veränderte Trassenlage mit Anschluss an den Taktknoten Villach Hbf zur Minute '30 ist eine Verlängerung der S-Bahn-Linie S5 ohne infrastrukturelle Maßnahmen sofort möglich (siehe Abbildungen 3.1 und 3.2). Auch erhöht sich der Fahrzeugbedarf durch diese Maßnahme nicht, weil bereits jetzt für die Linie S5 zwei Fahrzeuge benötigt werden (siehe Kap. 3.1). Eine Verwendung der aktuell eingesetzten Wechselstromfahrzeuge der Reihen ÖBB 4024 und ÖBB 4746 stellt angesichts der Systemtrennstelle zum slowenischen Gleichstromsystem im Bahnhof Jesenice kein Problem dar.

Die Fahrzeit zwischen Villach und Jesenice von 43 Minuten im Regionalverkehr ermöglicht eine Kantenfahrzeit von 60 Minuten und somit die Einrichtung eines Taktknotens in Jesenice zur Minute '30 für den Regionalverkehr. Somit können an diesen (sofern das die Infrastruktur der Slovenske železnice - Infrastruktura zulässt) auch Regionalzüge Richtung Ljubljana und Nova Gorica sowie Busse Richtung Kranjska Gora bzw. Tarvis in Italien angeschlossen werden.

Verkehrt wie in Szenario 2 (siehe Kapitel 2.3.2 sowie 3.3) untersucht der Fernverkehr in aktueller Taktlage (Anschluss in Villach zur Minute '06 bzw. '54), kann auch dieser an den Taktknoten in Jesenice angeschlossen werden. Allerdings muss in diesem Fall in Jesenice mindestens eine weitere Bahnsteigkante errichtet werden, damit ein Übergang sowohl zum Regionalverkehr Richtung Ljubljana als auch nach Nova Gorica möglich ist.

Eine weitere Möglichkeit der Führung des Fernverkehrs wie in Szenario 1 (siehe Kapitel 2.3.2 sowie 3.2) beschrieben ermöglicht zwar einen zeitnahen Anschluss an den Knoten Villach. Allerdings hat sie den Nachteil, dass kein Zweistundentakt mehr möglich ist, weil die Kreuzungsmöglichkeit im Karawankentunnel fehlt. Eine „kurze Wende“ (Ankunft und Abfahrt in Villach zur selben Stunde) in Villach Hbf würde zwar das Kreuzen der Fernverkehrszüge in Jesenice vermeiden, hat aber die Nachteile, dass Verspätungen nicht ausgeglichen werden können, eine Reinigung der Züge vor der Rückfahrt nicht möglich ist und in Villach Hbf keine attraktiven Anschlüsse bestehen. Der Einsatz einer zweiten Garnitur scheint aufgrund der fehlenden Kapazität des Villacher Hauptbahnhofs nicht möglich (siehe auch 2.3.2). Aus den genannten Gründen wurde diese Option nicht weiter untersucht.

Wie in Szenario 3 untersucht (siehe Kap. 2.3.2 sowie 3.4), sind für einen zeitnahen Anschluss an den Taktknoten Villach bei einem Zweistundentakt im Fernverkehr Maß-

⁴⁸Bundesministerium für Klimaschutz. *Mobilitätsmasterplan 2030*. Wien 2021, S. 27

⁴⁹ASFINAG. Eckdaten. In: *A 11 Karawanken Autobahn - Neubau zweite Röhre Karawankentunnel*. [Zugriff am 11.5.2022]. Verfügbar unter: <https://www.asfinag.at/bauen-erhalten/bauprojekte/a-11-karawanken-autobahn-neubau-zweite-rohre-karawankentunnel/>

nahmen zur Reduktion der Fahrzeit notwendig. Mit „kleineren“ Maßnahmen (Anpassung mehrerer Bögen) kann die Fahrzeit soweit reduziert werden, dass eine Kreuzung der Fernverkehrszüge im Bereich von Jesenice möglich ist. Um Jesenice im Fernverkehr an einem Knoten zur Minute '00 bei gleichzeitigen Anschluss an den ITF-Knoten Villach zur Minute '30 bedienen zu können, sind mit der Neutrassierung des Abschnittes Ledenitzen Ost - Rosenbach weitergehende Maßnahmen notwendig.

4.3 Streckeninfrastruktur

Für die betrachteten Szenarien wurden (mit Ausnahme des Szenarios 3) Betriebsprogramme auf der bestehenden Eisenbahninfrastruktur untersucht. Im Zuge der Untersuchung zeigten sich hier Möglichkeiten zur Anpassung der Infrastruktur zur Erhöhung der Streckenkapazität bzw. Fahrplanstabilität. So würden zusätzliche Gleise in den Kreuzungsbahnhöfen die Führung weiterer Güterzüge ermöglichen (siehe dazu auch Kapitel 4.1).

4.3.1 Infrastrukturbedarf im Taktknoten Villach

Für den Personenverkehr zeigt sich im Fahrplan 2025, dass die Einführung von Villach Hbf als Taktknoten zur Minute '00 die vorhandene Infrastruktur an die Kapazitätsgrenze bringt:

- Zur Minute '30 sind in Villach Hbf in dem dieser Untersuchung zugrundeliegenden Szenario alle Bahnsteigkanten belegt (siehe auch Abb. 2.7 und Abb. 2.8).
- Durch die Auslastung aller Bahnsteigkanten in Villach Hbf besteht keine Reserve für eine mögliche Sperre eines Bahnsteiggleises, zum Einlegen von Zusatzzügen oder dem Brechen von Linien.
- Da die meisten Verbindungen Richtung Westen ausfahren, ist die Einrichtung von zumindest einem Kopfbahnsteig Richtung Westen zweckmäßig, um hier die S-Bahnlinie S4 oder S5 enden bzw. beginnen zu lassen.
- Alternativ könnte der Einbau von Weichenverbindungen im Bereich der mit Schutzsignalen gesicherten Sektorgrenzen der Bahnsteige eine unabhängige Nutzung dieser ermöglichen.

Dazu kommen rund um die Minute '30 durch Überlagerung des Verkehrs Richtung Slowenien und Italien enge Zugfolgen zwischen Villach Hbf und Gödersdorf. Vor allem der Abschnitt zwischen den Bahnsteigen 1 bis 7 in Villach Hauptbahnhof und Villach Westbahnhof stellt sich aufgrund der Eingleisigkeit als Nadelöhr dar. Maßnahmen zur Verbesserung der Situation wären in einer gesonderten Arbeit zu prüfen.

4.3.2 Infrastrukturbedarf im Taktknoten Jesenice

Auch im Bahnhof Jesenice führt der Fahrplan 2025 zu Kapazitätsengpässen im Personenverkehr: Um Jesenice als Taktknoten zur Minute '00 oder Minute '30 nutzen zu können

(siehe Kapitel 4.2), ist die Errichtung einer weiteren Bahnsteigkante notwendig. Bei allen untersuchten Szenarien des Fahrplans 2025 sind rund um die Symmetrieminute zwei der drei Bahnsteige bzw. die Zufahrt zu diesen vom EC Ljubljana - Villach belegt. Zur Minute '30 ist zudem der westliche Sektor des Hausbahnsteigs mit einem Zug der S5 belegt. Um eine Umsteigemöglichkeit zum Regionalverkehr Richtung Ljubljana und Nova Gorica, die beide Richtung Osten ausfahren, zu bieten reichen die drei aktuell vorhandenen Bahnsteigkanten nicht aus. Dazu kommt, dass aufgrund der aktuellen Gleistopographie in Jesenice für die gleichzeitige Ein- und Ausfahrt von Personenzügen Richtung Österreich ausschließlich Gleis 1 (Hausbahnsteig) und je ein Gleis des Inselbahnsteiges geeignet sind. Dieser Umstand führt dazu, dass eine etwaige Sperre des Gleises am Hausbahnsteig bereits das hier betrachtete Fahrplankonzept verunmöglicht. Auch hier scheint ein entsprechender Umbau des Bahnhofes zweckmäßig.

4.3.3 Bahnhof Ledenitzen Ost als Kreuzungsbahnhof im Fahrplan 2025

Im Fahrplan 2025 liegt die Symmetrieminute und somit die Kreuzung der Züge der S5 in Ledenitzen Ost. Nach Pachl⁵⁰ berechnet sich für eine fliegende Kreuzung zweier Züge der notwendige Abstand s zwischen Ausfahrtsignal und Begegnungspunkt mit der Kreuzungszeit t_{kr} und den Geschwindigkeiten der Züge folgendermaßen:

$$s = \frac{t_{kr}}{1/v_1 + 1/v_2}$$

Die Kreuzungszeit berücksichtigt hierbei die Fahrstraßenbildezeit und Annäherungsfahrzeit des einen sowie die Fahrstraßenauflösezeit des anderen Zuges. Dazu kommt noch eine Pufferzeit. Wird die Kreuzungszeit pauschal mit 120 s angenommen und die Geschwindigkeiten von 90 km/h auf Gleis 1 und 60 km/h auf Gleis 3 berücksichtigt, so ergibt sich folgender Abstand s :

$$s = \frac{120}{1/(90/3,6) + 1/(60/3,6)} = 1200 \text{ m}$$

Nachdem dieser Abstand für beide Bahnhofshälften gelten muss, ergibt sich eine Mindestnutzlänge von 2400 m, die aktuell in Ledenitzen Ost nicht gegeben ist. In der vorliegenden Untersuchung wurde deshalb für die Szenarien 1, 2 und 3a im Fahrplan 2025 ein Kreuzungshalt von 60 Sekunden in Ledenitzen Ost eingeplant. Da die Betriebsstelle Ledenitzen Ost seit 2017 kein Personenverkehrshalt mehr ist, müsste für eine naheliegende Möglichkeit des Fahrgastwechsels während des Kreuzungshaltes die entsprechende Infrastruktur (Bahnsteige inkl. Zugang) errichtet werden.

4.3.4 Maßnahmen zur Verkürzung der Fahrzeit

In den Szenarien 3a und 3b wurden mögliche Ausbaumaßnahmen zur Kürzung der Fahrzeit im Personenverkehr zwischen Villach und Jesenice betrachtet (siehe auch 3.4). Szenario 3a

⁵⁰Pachl, Jörn. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. 10. Aufl. 2021, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 234

hat dabei die Reduktion der Fahrzeit auf 29 Minuten zum Ziel, damit im Zweistundentakt des Fernverkehrs Kreuzungen zwischen Jesenice und Jesenice zahod stattfinden können. Dieses Ziel scheint mit bestandsnahen Maßnahmen (siehe Tabelle 4.2) erreichbar.

Tabelle 4.2: Notwendige Anpassung von Bögen für Szenario 3a

km	Abschnitt	V_{best}	R_{best}	D_{best}	I_{best}	V_{neu}	R_{neu}	D_{neu}	I_{neu}
7,51	Finkenstein - Faak	80	394	100	91,7	90	400	130	109
7,92	Finkenstein - Faak	80	393	100	92,2	90	400	130	109
9,83	Finkenstein - Faak	80	390	135	58,6	90	400	130	109
10,37	Finkenstein - Faak	80	412	90	93,3	90	412	130	102
11,18	Faak - Ledenitzen	80	396	110	80,7	90	400	130	109
11,32	Faak - Ledenitzen	80	397	110	80,2	90	400	130	109
11,83	Faak - Ledenitzen	80	339	130	92,8	90	400	130	109
11,99	Faak - Ledenitzen	80	366	120	86,3	90	400	130	109
13,72	Faak - Ledenitzen	90	622	75	78,7	110	622	130	99,5
48,84	Rosenbach - Jesenice	70	280	120	86,5	80	298	140	113,4
49,09	Rosenbach - Jesenice	70	298	95	99	80	298	140	113,4
49,24	Rosenbach - Jesenice	70	284	95	108,6	80	298	140	113,4

Der Überhöhungsfehlbetrag ergibt sich wie in Kapitel 1.9 beschrieben. Nachdem alle Bögen im untersuchten Abschnitt mit Übergangsbögen ausgestattet sind, gilt laut EN 13803 ein Grenzwert von $I = 153 \text{ mm}$. Die in Tabelle 4.2 aufgeführten Werte haben folgende Einheiten: Geschwindigkeit V in km/h, Radius R in m, Überhöhung D in mm und Überhöhungsfehlbetrag I in mm.

Wie Tabelle 4.2 entnommen werden kann, sind für das Szenario 3a Anpassungen am Bogenradius und der Überhöhung bei neun Bögen und eine Anpassung der Überhöhung bei drei Bögen notwendig. Dazu kommt noch eine unbekannte Zahl an Bögen auf der slowenischen Seite der Staatsgrenze, für die keine Daten vorlagen, wo aber ebenso eine Erhöhung der Geschwindigkeit von derzeit 70 km/h auf 80 km/h notwendig ist. Im Abschnitt Faak - Ledenitzen wurde die Geschwindigkeit bei der Bahnhofseinfahrt in Ledenitzen auf 90 km/h belassen, weil hier eine Bogenweiche vorhanden ist und somit eine Anpassung größeren baulichen Aufwand nach sich zieht. Hier ist anzumerken, dass die Trassierung zwischen Rosenbach und Jesenice bereits während der Sperre des Karawankentunnels angepasst werden hätte können. Mit dem Rückbau des zweiten Streckengleises wurde in diesem Bereich bereits die Gleislage neu hergestellt.

Zusätzlich zur Anpassung von Bögen auf der freien Strecke ist für Szenario 3a eine Anhebung der Geschwindigkeit im Tunnel auf 140 km/h notwendig. Eine weitere Erhöhung der Geschwindigkeit ist hingegen wenig sinnvoll, da die Personenzüge im Tunnel bereits bei $V_{max} = 140 \text{ km/h}$ eine lange Strecke (bei EC-Zügen etwa 1 km - siehe Geschwindigkeits-Weg-Diagramm im Anhang) zur Beschleunigung benötigen. Allerdings müssten in diesem Fall die Abstände der Blocksignale im Tunnel geprüft und unter Umständen angepasst werden. Weitere Maßnahmen wie die Änderung der Länge von Übergangsbögen und Überhöhungsrampen sowie etwaige Zwangspunkte wie Eisenbahnkreuzungen wurden im Rah-

men dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Für eine weitere Verkürzung der Fahrzeit des Fernverkehrs zwischen Villach und Jesenice auf 27 Minuten zum Anschluss an die Minute '00 in Jesenice sind weitergehende Baumaßnahmen wie die Erhöhung der Streckengeschwindigkeit zwischen Ledenitzen Ost und dem Einfahrsignal des Bahnhofs Rosenbach auf 120 km/h sowie die Erhöhung der Geschwindigkeit zwischen der Betriebsstelle Jesenice zahod und dem Bahnhof Jesenice von derzeit 35 km/h auf 60 km/h notwendig. Dafür muss allerdings die aktuell bogenreiche Strecke im Abschnitt Ledenitzen Ost - Rosenbach vollkommen neu trassiert werden, was eine eigene Untersuchung erfordert.

4.4 Fazit

Die Karawankenbahn stellt eine wichtige Nord - Süd - Verbindung im europäischen Eisenbahnnetz dar. Während die parallel dazu verlaufende Karawanken Autobahn von bis zu 2.200 Schwerfahrzeugen (siehe Kapitel 1.5) täglich genutzt wird, ist die Leistungsfähigkeit der Strecke (siehe Kapitel 4.1) im Güterverkehr mit aktuell durchschnittlich 35 Güterzügen täglich (siehe Kapitel 2.3.2) auf der Karawankenbahn noch nicht erreicht. Durch die geplante Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene kann von einer Zunahme der Güterzüge auf dieser Relation ausgegangen werden.

Auch im Personenverkehr soll eine Verlagerung von der Straße auf die Schiene stattfinden um die gesteckten Klimaziele erreichen zu können. Das betrifft sowohl den Berufs- als auch den Freizeitverkehr. Der aktuelle Fahrplan auf der Karawankenbahn ist allerdings aufgrund der geringen Anzahl an angebotenen Verbindungen weder für Pendler:innen noch für Reisende im Freizeitverkehr attraktiv. Um für Grenzpendler:innen sowie den kleinräumigen Ausflugsverkehr ein attraktives Angebot für den Umstieg auf den öffentlichen Verkehr zu bieten, ist ein Stundentakt der S-Bahn mit Anschluss an den Taktknoten Villach bis Jesenice zielführend. Dieses Angebot lässt sich in einer vom aktuellen Fahrplan abweichenden Taktlage auf der bestehenden Infrastruktur ohne zusätzlichen Fahrzeugbedarf sofort umsetzen.

Im internationalen Urlaubsverkehr zeigt sich eine massive Belastung der Autobahn-Verbindung durch den Karawankentunnel mit annähernd 30.000 PKW an Spitzentagen im Sommer. Dem gegenüber steht ein extrem ausgedünntes Fernverkehrsangebot mit drei Schnellzügen und zwei Nachtzügen täglich. Mit der Fertigstellung der zweiten Röhre des Autobahn-Karawankentunnels im Jahr 2027 wird die Attraktivität der Autobahn-Verbindung durch kürzere Fahrzeiten weiter zunehmen. Um hier ein attraktives Angebot auf der Schiene zu schaffen ist die Einführung weiterer Fernverkehrsverbindungen wichtig. In der vorliegenden Arbeit wurden für diese verschiedene Szenarien untersucht:

- Szenario 1: Zeitnaher Anschluss an den Taktknoten Villach
- Szenario 2: Trassenlage wie bisher
- Szenarien 3a und 3b: Zeitnaher Anschluss an den Taktknoten Villach mit Verkürzung der Reisezeit Villach - Jesenice

Für die untersuchten Szenarien (siehe auch Kap. 3) zeigt sich, dass Szenario 1 mit den aktuellen Fahrzeiten keinen Zweistundentakt auf der Relation Villach - Ljubljana ermöglicht. Szenario 2 hat zwar den Nachteil fehlender zeitnaher Anschlusses im Taktknoten Villach (Ankunft bzw. Abfahrt 24 Minuten vor bzw. nach der Taktzeit), ist aber sofort umsetzbar und ermöglicht den Anschluss des Regional- und Fernverkehrs an einen Taktknoten zur Minute '30 in Jesenice. Eine wie in den Szenarien 3a und 3b betrachtete Verkürzung der Fahrzeit auf der Relation Villach - Jesenice ermöglicht einen zeitnahen Anschluss an den Taktknoten Villach zur Minute '30 kommt aber mit dem Nachteil notwendiger größerer Investitionssummen und ist eher eine langfristige Perspektive. Für die Möglichkeit der Änderung der Trassenlage des Fernverkehrs im Abschnitt Jesenice - Ljubljana ist zudem eine gesonderte Untersuchung notwendig.

Für das Zielnetz 2025+ prognostizieren die ÖBB auf der Karawankenbahn ein Aufkommen von 2.000 bis 2.500 Reisenden täglich sowie ein Güterzugaufkommen von 51 bis 100 Güterzügen.⁵¹ Auch bei Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen im Personenverkehr, stehen noch immer 101 Trassen für den Güterverkehr zur Verfügung. Damit kann mit der aktuellen Infrastruktur auch eine Verdoppelung der Zugzahlen im Güterverkehr aufgenommen werden kann.

⁵¹ÖBB Infrastruktur. *Anhang zum Ergebnisbericht Zielnetz 2025*. Wien, September 2011, S. 6 - 8

Anhang A

Anhang



Abbildung A.1: Streckengeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet laut openrailwaymap.org

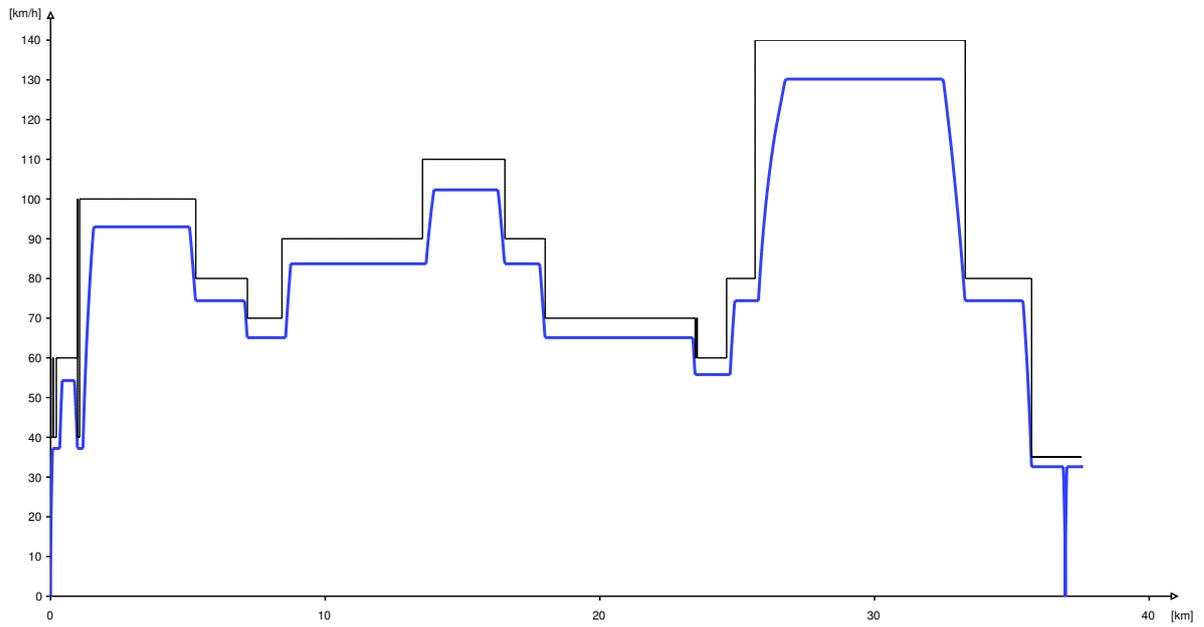


Abbildung A.2: Weg-Zeit-Diagramm von Villach bis Jesenice des EC in Szenario 3a

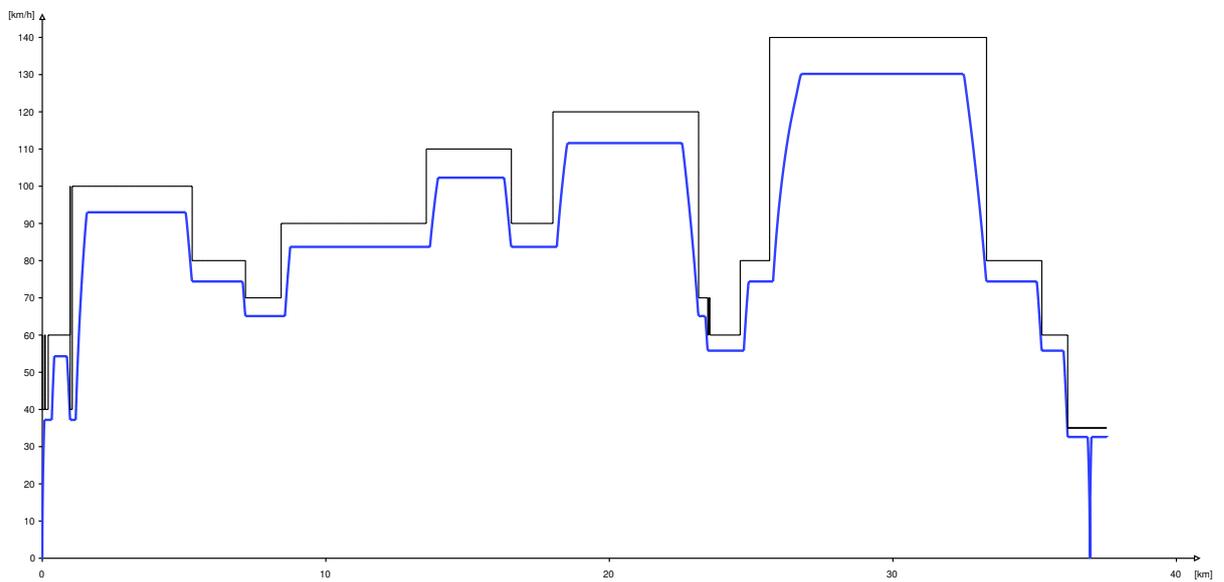


Abbildung A.3: Weg-Zeit-Diagramm von Villach bis Jesenice des EC in Szenario 3b

221 Villach Rosenbach Jesenice

Beschränkter Platz für Fahrräder. Gruppen mit Fahrern Anmeldung beim OBB Kund:innenservice 05-1717
Weitere Züge Villach Hbf - Villach Warmbad siehe Fahrplanbild 670
Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

Table with columns for stations (Wien Hbf 600, Klagenfurt Hbf 601, Villach Hbf, Salzburg Hbf 220, Spittal-Millstättersee, Villach Hbf) and times for various services (OBB, additional notes, von, Villach Hbf, Villach Westbf, Villach Warmbad, Gödersdorf, Finkenstein, Faak am See, Ledentzen, Rosenbach, Jesenice).

Table with columns for stations (Wien Hbf 600, Klagenfurt Hbf 601, Villach Hbf, Salzburg Hbf 220, Spittal-Millstättersee, Villach Hbf) and times for various services (OBB, additional notes, von, Villach Hbf, Villach Westbf, Villach Warmbad, Gödersdorf, Finkenstein, Faak am See, Ledentzen, Rosenbach, Jesenice).

Impuls und Getränke beim Schlaf-Liegewagenbetreuer erhältlich
an (6), † vom 4.Jun. bis 3.Jul., täglich vom 9.Jul. bis 11.Sep.
täglich vom 8.Apr. bis 2.Okt.
an (6) ab 14.Jän., am 17., 23., 30.Dez., 5.Jän., 25.Mai, 15.Jun., 7.Dez., nicht am 27.Mai, 17.Jun., 9.Dez.
täglich vom 9.Apr. bis 3.Okt.

221 gültig ab 12.Dezember 2021

221 Jesenice Rosenbach Villach

Beschränkter Platz für Fahrräder. Gruppen mit Fahrern Anmeldung beim OBB Kund:innenservice 05-1717
Weitere Züge Villach Warmbad - Villach Hbf siehe Fahrplanbild 670
Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

Table with columns for stations (Jesenice, Rosenbach, Ledentzen, Faak am See, Gödersdorf, Villach Warmbad, Villach Westbf, Villach Hbf) and times for various services (OBB, additional notes, von, Jesenice, Rosenbach, Ledentzen, Faak am See, Gödersdorf, Villach Warmbad, Villach Westbf, Villach Hbf).

Table with columns for stations (Jesenice, Rosenbach, Ledentzen, Faak am See, Gödersdorf, Villach Warmbad, Villach Westbf, Villach Hbf) and times for various services (OBB, additional notes, von, Jesenice, Rosenbach, Ledentzen, Faak am See, Gödersdorf, Villach Warmbad, Villach Westbf, Villach Hbf).

täglich außer (6), am 25.Dez., 1.Jän.
an (6) wenn †
täglich vom 8.Apr. bis 2.Okt.
an (7), am 18.Apr., 6.Jun., 15.Aug., 1.Nov., nicht am 17.Apr., 5.Jun., 14.Aug., 30.Okt.
an (6), † vom 4.Jun. bis 3.Jul., täglich vom 9.Jul. bis 11.Sep.
täglich vom 9.Apr. bis 3.Okt.
Impuls und Getränke beim Schlaf-Liegewagenbetreuer erhältlich
an (6), (7) vom 9.Jul. bis 11.Sep., täglich 2. bis 5.Aug.

221 gültig ab 12.Dezember 2021

Abbildung A.4: Fahrplanbild 221 Villach - Jesenice im Jahr 2022

Anhang B

Bildfahrpläne

Für die Bildfahrpläne gilt folgender Farbcode: Nahverkehr grün, Fernverkehr violett, Güterverkehr blau.

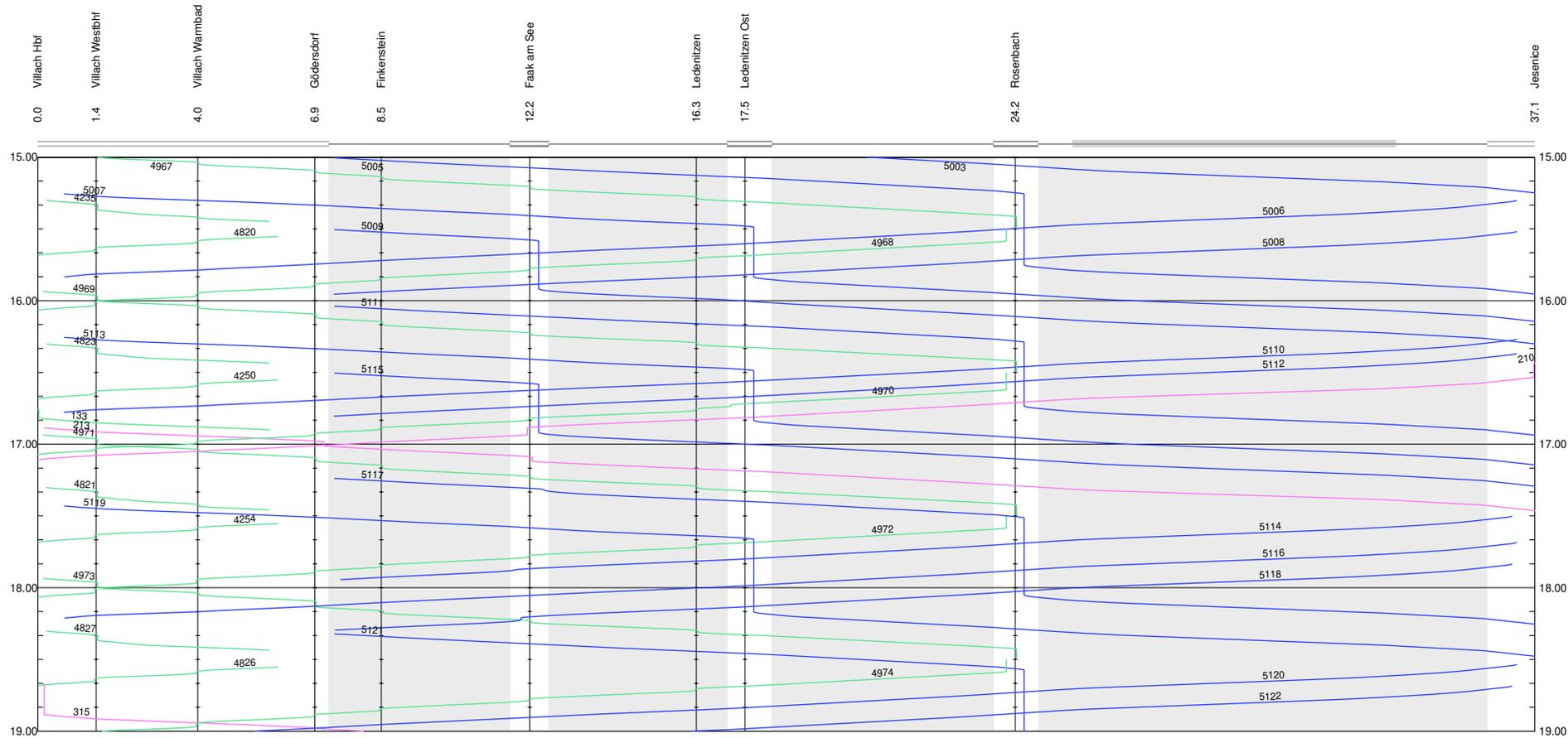


Abbildung B.1: Bildfahrplan Szenario 0: Fahrplan 2022

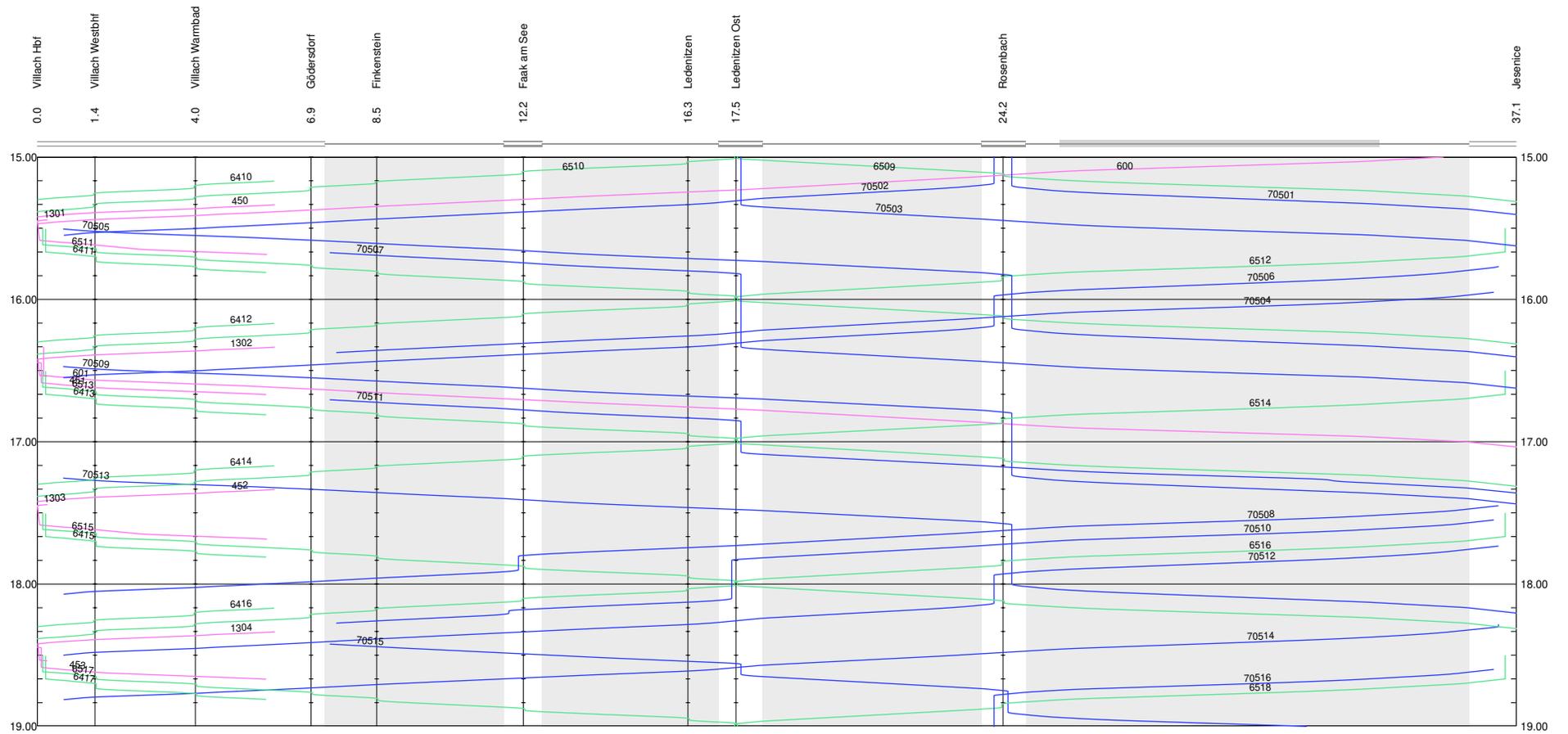


Abbildung B.2: Bildfahrplan Szenario 1: S-Bahn bis Jesenice, kurzer Übergang in Villach

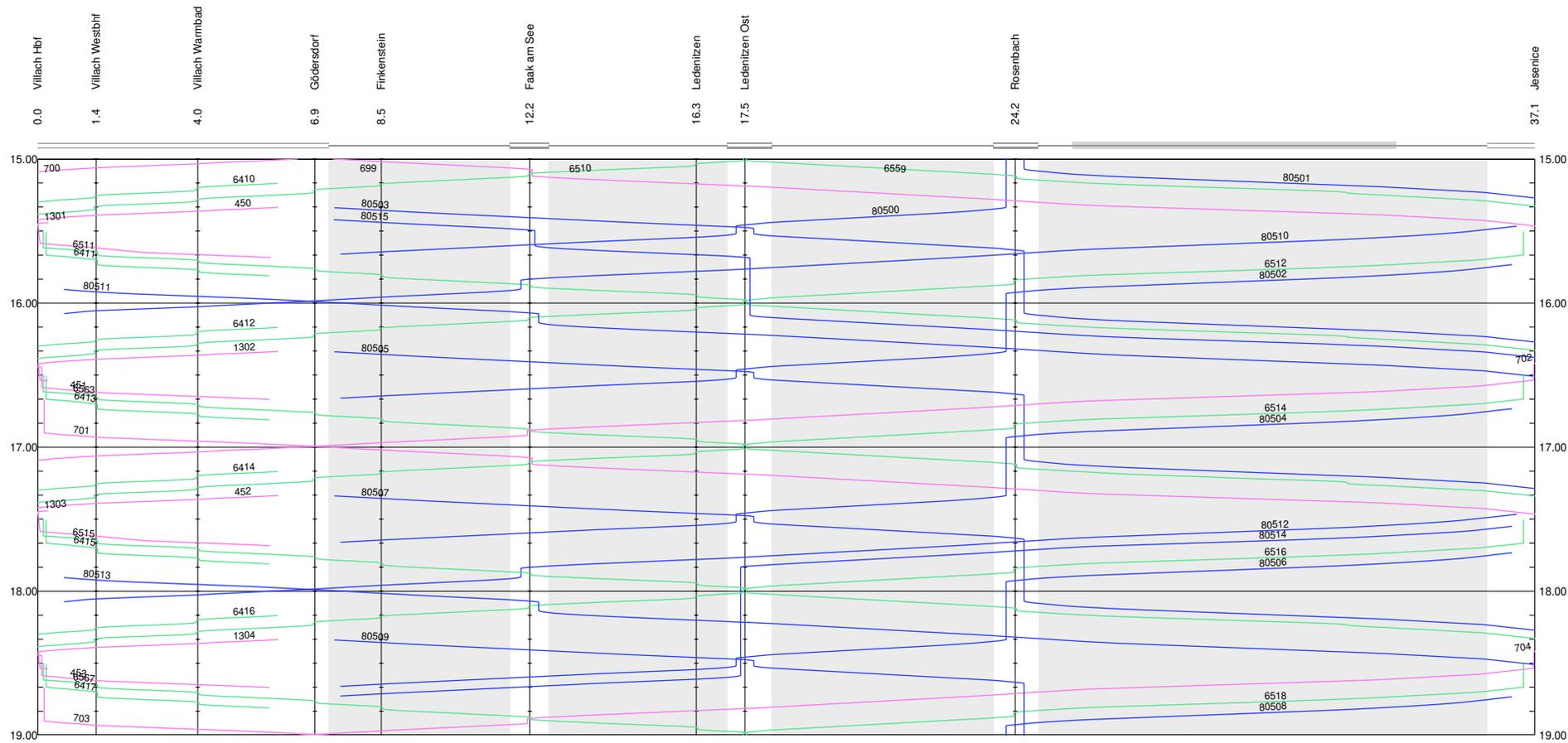


Abbildung B.3: Bildfahrplan Szenario 2: S-Bahn bis Jesenice, EC in selber Taktlage wie bisher

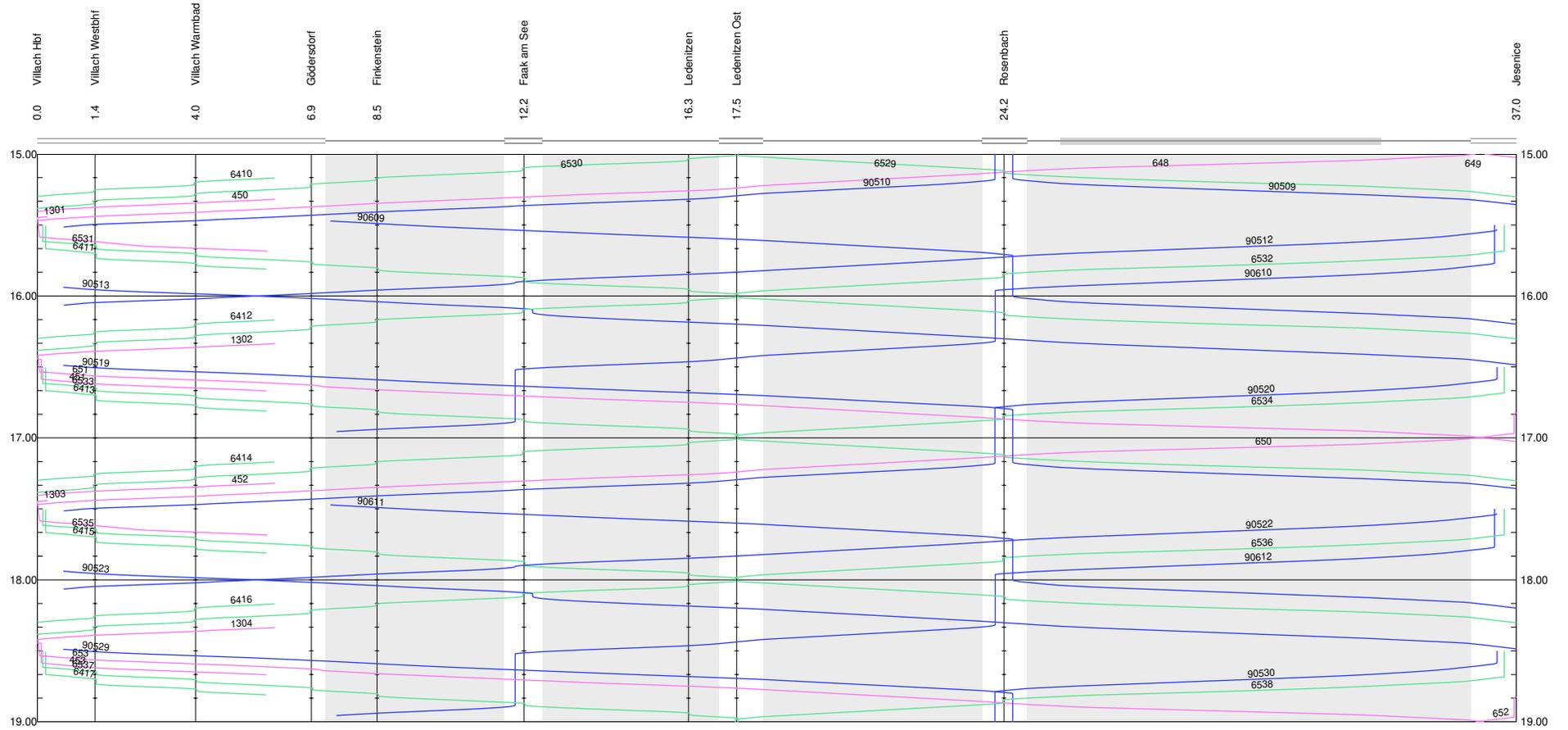


Abbildung B.4: Bildfahrplan Szenario 3a: Zweistundentakt im Fernverkehr mit Anschluss an den ITF-Knoten Villach

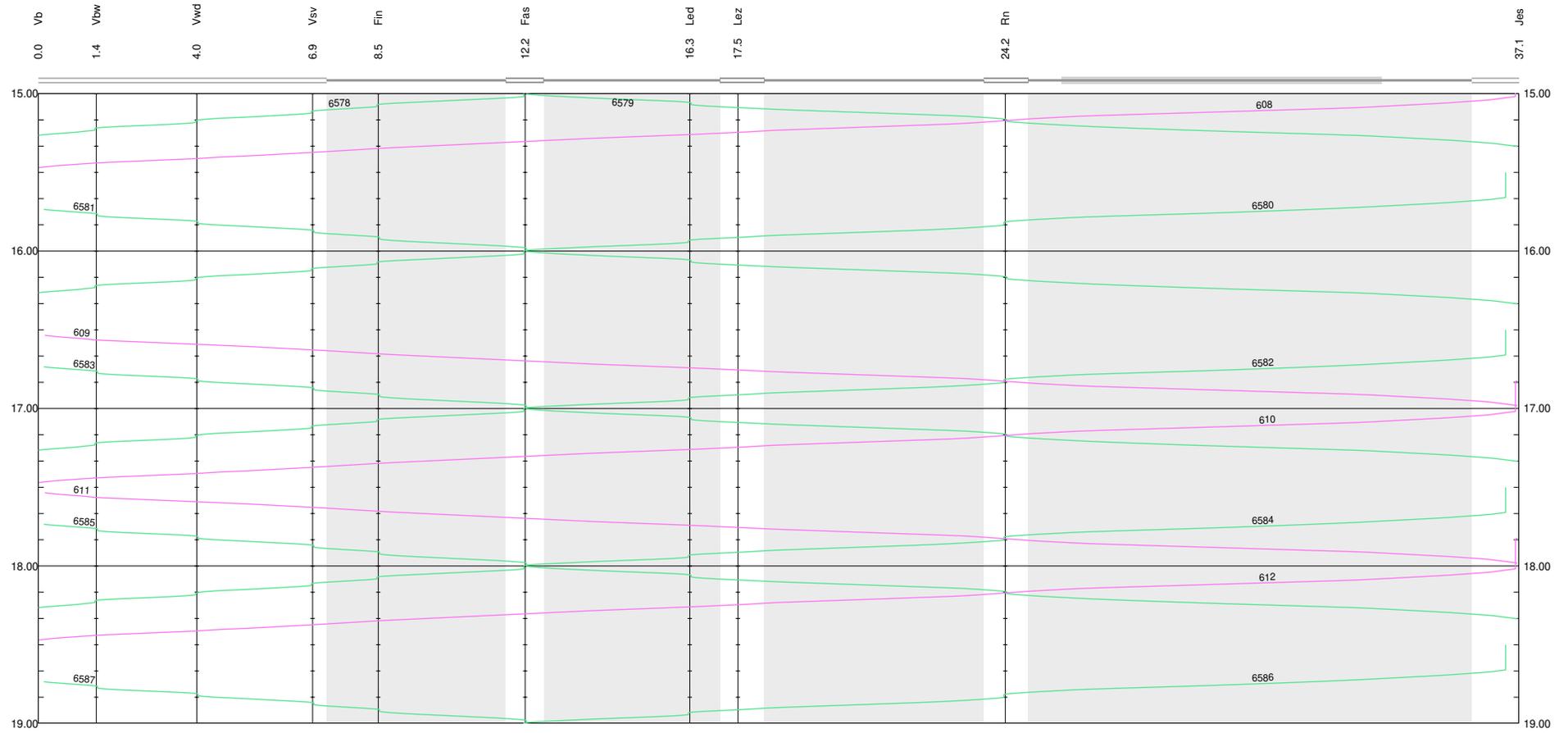


Abbildung B.5: Bildfahrplan Szenario 3b: Zweistundentakt im Fernverkehr, Jesenice und Villach als Taktknoten