

Diploma Thesis

**Conception of variants and elaboration of an
operational concept for the local railway
Zell am See - Kaprun**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

**Variantenvergleich und Ausarbeitung
Betriebskonzept für die Lokalbahn
Zell am See - Kaprun**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Stefan Edlinger, BSc

Matr.Nr.: 01325377

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Norbert Ostermann**

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Bernhard Rüger**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/230, 1040 Wien, Österreich

Wien, im April 2020



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Die Pinzgauer Lokalbahn, die Zell am See mit Krimml im Salzburger Pinzgau verbindet, erlebte seit der Übernahme von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) durch die Salzburg AG einen signifikanten Fahrgastzuwachs und wurde zu einer der erfolgreichsten Privatbahnen Österreichs. Aus diesem Grund bestehen Überlegungen für einen Ausbau dieser in das Kapruner Tal.

Die vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel zunächst einen Überblick über die Grundlagen für eine mögliche Automatisierung im Eisenbahnbetrieb, die unterschiedlichen Traktionsarten sowie die Bestimmungen bzw. Anforderungen für Zweisystemfahrzeuge zu geben. Weiters wird auf die topographische, siedlungsstrukturelle sowie verkehrliche Ausgangssituation für eine Erschließung des Kapruner Tals im schienengebundenen Verkehr eingegangen, um das Nachfragepotential darzustellen. Dementsprechend werden verschiedene Varianten inkl. Trassierung als auch Verkehrskonzepten in Teilabschnitten sowie Vorschläge für Ausbaumaßnahmen der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn vorgestellt. Darauf aufbauend wird ein mögliches Betriebskonzept beschrieben, welches einerseits den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) als auch den saisonalen touristischen Verkehr zwischen den Skigebieten *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* berücksichtigt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass mit einem, an dessen Anforderungen angepassten, Rollmaterial die erforderlichen Kapazitätsanforderungen erfüllt werden können. Im Vergleich der unterschiedlichen Automatisierungsgrade wird deutlich, dass ein automatischer Zugbetrieb - ob fahrer- oder personallos - zu den heutigen rechtlichen, technischen aber auch gesellschaftlichen Ansprüchen nur schwer zu bewerkstelligen ist, eine Teilautomatisierung jedoch Vorteile in Betrieb und Instandhaltung mit sich bringt. Weiters veranschaulicht die Diskussion der möglichen Traktionskonzepte, dass ein weitgehend emissionsfreier Bahnbetrieb realisierbar ist, wobei die gewählte Technologie zur Energiebereitstellung stark von dem geplanten Betriebskonzept bestimmt wird.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

The Pinzgau local railway (Pinzgauer Lokalbahn) connecting Zell am See and Krimml in the Pinzgau region of the Austrian province of Salzburg, saw a significant growth in ridership after the acquisition by the Salzburg AG from the Austrian Federal Railways (Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)) and became one of the most successful private railway companies in Austria. Because of this reason there are considerations for an extension into the Kaprun valley.

The present work aims to provide an overview of the basics of a possible automatisisation in rail operation, the various types of railway traction as well as the regulations, respectively requirements of multi-system railway vehicles. Moreover, the topographical, settlement structural and traffic situation for the development of a railway link into the Kaprun valley and its potential demand, is elaborated on. According to this, different variants including alignments as well as traffic concepts in sections along with proposals for upgrading the existing track of the Pinzgau local railway are presented. Subsequently, a possible operational concept incorporating both the public transport and the seasonal touristic traffic between the ski regions *Schmitten* and *Kitzsteinhorn Kaprun* is described.

The result shows that the capacity requirements can be met by providing an adequate rolling stock. A comparison of the different levels of automation demonstrates that automatic train operation (ATO) - whether driverless or unmanned - is difficult to achieve with today's legal, technical as well as social requirements, but comparatively, partial automation brings advantages in operation and maintenance. Furthermore, the discussion of the possible traction concepts illustrates that emission-free rail operations can be implemented, whereby the technology chosen for energy provision is largely determined by the intended operating concept.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ich möchte allen danken, die mir die Erstellung meiner Diplomarbeit ermöglicht haben.

Ein besonderer Dank gilt Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Ostermann für die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Verkehrswissenschaften - Forschungsbereich Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen zu schreiben sowie meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Rüger, welcher durch die entgegengebrachte Hilfsbereitschaft als auch die fachlichen Anregungen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

An dieser Stelle sei auch meinen (Studien-) Freunden Benno, Bernd, Bernd, Clemens, Dominik, Isabel, Manuel, Paul, Valentin, Wolfgang und vielen anderen gedankt, mit welchen jegliche Herausforderungen gemeinsam gemeistert wurden.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern danken, die mich durch ihre Großzügigkeit stets unterstützt sowie motiviert haben und mir ein angenehmes als auch erfolgreiches Universitätsstudium ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
1.1	Projektbeschreibung	11
1.2	Ziele	11
1.3	Methodik	12
1.3.1	Literatur- und Internetrecherche	12
1.3.2	Expertenfachgespräche	12
1.3.3	Grundlagendaten und Trassierungssoftware	13
1.3.4	Beschreibung der Betriebssimulationssoftware OpenTrack	13
1.3.4.1	Hauptmodule	13
1.3.4.2	Eingangsgrößen	13
1.3.4.3	Simulation	15
1.3.4.4	Ausgangsgrößen	16
2	Grundlagen	17
2.1	Automatisierung im Eisenbahnbetrieb	17
2.1.1	Rechtliches	17
2.1.2	Wirkung	18
2.2	Traktionsarten von Eisenbahnfahrzeugen	20
2.3	Bestimmungen für Zweisystemfahrzeuge	21
2.3.1	Rechtssystematik	21
2.3.2	Technische Voraussetzungen	22
3	Ausgangssituation	23
3.1	Topographie	23
3.2	Siedlungsstruktur und Tourismus	26
3.2.1	Pendlerströme	26
3.2.2	Tourismus	26
3.3	Modal Split	26
3.4	Öffentlicher Verkehr	27
3.4.1	Pinzgauer Lokalbahn	29
3.4.1.1	Streckenbeschreibung	29
3.4.1.2	Geschichte	33
3.4.1.3	Streckenausrüstung	33
3.4.1.4	Sicherungstechnik	33
3.4.1.5	Betrieb	34
3.4.1.6	Fahrgastzahlen	34
3.4.2	Werkbahn Kaprun	35
3.4.2.1	Ehemaliger Verlauf und Streckenbeschreibung	35
3.4.2.2	Betrieb und Einstellung	36
3.4.3	Buslinien	37
3.4.3.1	Sommer	37
3.4.3.2	Winter	37

3.4.3.3	Fahrgastzahlen	38
3.5	Motorisierter Individualverkehr	40
3.6	Aktive Mobilität	41
4	Variantenstudie	42
4.1	Trassenkorridor	42
4.2	Streckenführung und Einzugsgebiete	42
4.2.1	Bestandsstrecke zwischen Zell am See und Fürth-Kaprun	42
4.2.2	Verlängerung ins Kapruner Tal	44
4.3	Situierung der Bahnhöfe und Haltestellen	45
4.4	Varianten	45
4.4.1	Variante 1: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Bahnhof Kaprun	45
4.4.2	Variante 1.1: Bahnhof Kaprun - Kaprun Sigmund-Thun-Klamm	47
4.4.3	Variante 2.1: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm	49
4.4.4	Variante 2.2: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm	49
4.4.5	Variante 3: Kitzsteinhorn - Kesselfall	50
4.4.6	Variante 4: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Maiskogelbahn	51
4.4.7	Variante 5: Rekonstruktion Werkbahn Kaprun	51
4.5	Maßnahmen an der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn	51
4.5.1	Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeiten (VzG)	51
4.5.2	Zweigleisiger Ausbau	51
4.5.3	Umbau Bahnhof Bruckberg-Golfplatz	52
4.5.4	Ausbau Haltestelle Areitbahn	52
4.5.5	Ausbau Bahnhof Zell am See	53
5	Trassierung	54
5.1	Grundlagen der Linienführung	54
5.1.1	Entwurfsgeschwindigkeit	54
5.1.2	Lichtraumprofil	54
5.1.3	Entwurfsэлеmente und Trassierungsparameter	54
5.2	Querschnittsgestaltung	56
5.3	Beschreibung der Trassenverläufe	56
5.3.1	Variante 1: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Kaprun Bahnhof	56
5.3.2	Variante 1.1: Kaprun Bahnhof - Kaprun Sigmund-Thun-Klamm	61
5.3.3	Variante 2.1: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm	61
5.3.4	Variante 2.2: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm	62
5.3.5	Variante 3: Künstleralm - Kesselfall	64
5.4	Gegenüberstellung der Trassenverläufe	67
5.5	Maßnahmen an der Bestandsstrecke	68
5.5.1	VzG-Erhöhung	68
5.5.2	Zweigleisiger Ausbau	68
5.5.3	Bahnhof Bruckberg-Golfplatz	69
5.5.4	Haltestelle Zellermoos	69
5.5.5	Haltestelle bzw. Bahnhof Areitbahn	69
5.5.6	Ausbau Bahnhof Zell am See	70
6	Betriebskonzept	71
6.1	Öffentlicher Personennahverkehr	71
6.1.1	Zell am See - Kaprun	73

6.1.2	Kaprun - Kitzsteinhorn - Kesselfall	76
6.2	Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)	77
6.3	Fahrzeugbedarf - Fahrzeugumlauf	77
6.3.1	Öffentlicher Personennahverkehr	77
6.3.2	Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)	77
7	Ausblick	78
7.1	Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)	78
7.1.1	Kapazitätsanforderungen	78
7.1.2	Rollmaterial	78
7.2	Automatisierung	79
7.2.1	GoA 2 - Halbautomatischer Zugbetrieb	80
7.2.2	GoA 3 - Automatischer Zugbetrieb - fahrerlos	80
7.2.3	GoA 4 - Automatischer Zugbetrieb - personallos	80
7.3	Sicherungstechnik	80
7.4	Traktionskonzept	81
7.4.1	Energiebereitstellung	81
7.4.2	Gesamtheitliche CO ₂ -Bilanz	82
7.4.3	Gegenüberstellung von emissionsfreien Traktionsarten	82
7.4.4	Pinzgauer Lokalbahn	82
7.5	Verkehrskonzept bei Teilerrichtung	85
7.5.1	Errichtung bis Bahnhof Kaprun	85
7.5.2	Errichtung bis Kitzsteinhorn	85
8	Schlussfolgerungen	87

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Projektbeschreibung

Mit den Gemeinden Zell am See und Kaprun im Zeller Becken bzw. Kapruner Tal im Salzburger Pinzgau gelegen stehen zwei stark vom Tourismus geprägte Gemeinden im Mittelpunkt dieser Diplomarbeit. Die, einerseits durch den stetigen Ausbau des Angebotes im Fremdenverkehr, andererseits durch die Siedlungsstruktur sowie der zunehmenden Urbanisierung, steigenden Verkehrszahlen in diesem Gebiet, sind wiederholt Thema im gesellschaftlichen und politischen Leben in der Region (N. N., 2016).

Im Zusammenhang mit Überlegungen zu einem Bahnanschluss von Kaprun ist Herr Mag. Peter Weissenböck der Abteilung 6 - Infrastruktur und Verkehr - Referat Straßenbau und Verkehrsplanung des Amtes der Salzburger Landesregierung an das Institut für Verkehrswissenschaften - Forschungsbereich für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen der Technischen Universität Wien herangetreten. Im Zuge dieses Anliegens entwickelte sich die vorliegende Diplomarbeit zur Erarbeitung von Varianten für die Erschließung von Kaprun bzw. des Kapruner Tales im schienengebundenen öffentlichen Verkehr inkl. eines Betriebskonzeptes, welches auch eine Verbindung der zwei Skigebiete *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* behandelt.

Inhalt dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung von Möglichkeiten - Varianten von Trassen -, welche auf der aktuellen Situation aufbauen sowie den Anforderungen der Technik und des Betriebes entsprechen, um die Erschließung des Kapruner Tales im schienengebundenen Verkehr aufzuzeigen. Zusätzlich wird ein Augenmerk auf die Berücksichtigung der geeigneten Anbindung an das überregionale Verkehrsnetz sowie den regionalen Erfordernissen angepasstes Betriebskonzept gelegt, das sowohl die Aufgaben des Öffentlichen Nahverkehrs (ÖPNV) als auch die eines saisonalen touristischen Verkehrs übernimmt. Ferner werden die möglichen zukünftigen zum Einsatz kommenden Antriebsarten der eingesetzten Eisenbahnfahrzeuge sowie die Möglichkeiten der Automatisierung des Bahnbetriebes erörtert.

1.2 Ziele

Durch die vielfältigen Anforderungen, welche an eine neu zu errichtende Bahnstrecke gestellt werden, werden im Rahmen dieser Diplomarbeit nachfolgende Fragestellungen erörtert.

- Wie kann die Gemeinde Kaprun inkl. des gesamten Kapruner Tals im schienengebundenen Verkehr erschlossen werden?

- Ist ein entsprechendes Nachfragepotential für die Anbindung Kaprun an die Pinzgauer Lokalbahn vorhanden?
- Wie kann ein dekarbonisierter Verkehr auf der Pinzgauer Lokalbahn stattfinden?
- Ist eine automatisierte Betriebsführung realisierbar und zweckmäßig?
- Kann eine Lokalbahn sowohl Anforderungen des öffentlichen Personennahverkehrs als auch eines saisonal stattfindenden touristischen Verkehrs - zur Verbindung von zwei Skigebieten - entsprechen?

1.3 Methodik

1.3.1 Literatur- und Internetrecherche

Die Erlangung von Informationen sowohl zum Projektgebiet sowie zur Beantwortung der oben angeführten Forschungsfragen, erfolgte durch eine Literatur- und Internetrecherche. Die in der Arbeit verwendeten Werke bzw. Dokumente sind durch die entsprechende Zitierung zusammengefasst im Literaturverzeichnis enthalten.

1.3.2 Expertenfachgespräche

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden um, zusätzlich zu den öffentlich verfügbaren Informationen, projektspezifische Auskünfte zu erhalten, Expertenfachgespräche durchgeführt. Als Definition eines Experten wurde jene von Miegl; Näf (Miegl; Näf, 2005, S. 7) gewählt. Ein Experte ist demnach „jemand, der/die aufgrund langjähriger Erfahrung über bereichsspezifisches Wissen/Können verfügt“.

Am 1. Juli 2019 fand das erste Expertenfachgespräch mit Herrn Mag. Peter Weissenböck der Abteilung 6 - Infrastruktur und Verkehr - Referat Straßenbau und Verkehrsplanung des Amtes der Salzburger Landesregierung statt, in welcher die grundsätzliche Projektidee über eine Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn nach Kaprun, festgelegt wurde.

Zum Erhalt näherer Informationen über die Infrastruktur sowie den Betrieb der Pinzgauer Lokalbahn, wurde am 5. August 2019 ein weiteres Expertenfachgespräch mit Herrn Walter Stramitzer, Dienststellen- und Centerleiter des Centers Pinzgauer Lokalbahn der Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, durchgeführt. Zusätzliche Daten wurden später mittels E-Mail-Verkehr übermittelt.

Zum Überblick über die Vorstellungen sowie Pläne über die Entwicklung des ÖPNV in der Region, wurde mit Herrn Franz Wenger, Obmann des Regionalverbandes ÖPNV Pinzgau, am 17.9.2019 ein Gespräch geführt, wobei die Inhalte des *PINZGAU.MOBIL 2030 - Strategisches Konzept* (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017) näher behandelt wurden.

Die in Kapitel 3.2 für die Auswertung verwendeten Grundlagendaten über die Pendlerbeziehungen bzw. -ströme wurden im Rahmen eines Expertenfachgespräches mit Herrn Mag. Dr. Armin Mühlböck, Senior Scientist am Fachbereich Politikwissenschaft und Soziologie der Universität Salzburg und Autor der „Pendlerstudie 2016 im Auftrag des Gemeindeverbandes ÖPNV-Pinzgau“, am 30.10.2019 besprochen bzw. zur Verfügung gestellt.

Im Zuge eines Fachgespräches mit Herrn FH-Prof. Dipl.-Ing. Otfried Knoll, EURAIL-Ing., Departmentleiter des Departments Bahntechnologie und Mobilität, Studiengangsleiter der Studien Bahntechnologie und Mobilität (BA), Bahntechnologie und Management von Bahnsystemen (MA) sowie Standortkoordinator des Masterlehrganges Europäische Bahnsysteme an der Fachhochschule St. Pölten, am 18.12.2019, wurde dessen Expertise im Bezug auf die Attraktivierung von Privat- und Lokalbahnen eingeholt.

Zur Auskunft über die im Bereich Zell am See geplanten Auswirkungen auf den Schienenpersonenverkehr durch die Eröffnung des Koralmtunnels wurde mit Herrn DI Hermann Riedl, Bereichsleiter Verkehrsplanung beim der Salzburger Verkehrsverbund GmbH, im Dezember 2019 und Jänner 2020 ein ausführlicher E-Mail-Verkehr durchgeführt.

1.3.3 Grundlegendaten und Trassierungssoftware

Als Basis für die Trassierung der Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn in das Kapruner Tal wurden einerseits für die Diplomarbeit zur Verfügung gestellte Geodaten (Salzburger Geographisches Informationssystem (SAGIS)), andererseits im Rahmen von Open Government Data (OGD) vorhandene Informationen verwendet. Die Gradienten wurden auf Basis Airborne Laser Scanning (ALS)-Daten mit einem Raster von 1 m erstellt. Als weitere Datengrundlage wurde die Open Street Map (OSM) genutzt. Die Trassierung der Strecke in Kapitel 5 wurde mit Hilfe der Software *ProVI*, welche von der ProVI GmbH bereitgestellt wurde.

1.3.4 Beschreibung der Betriebssimulationssoftware OpenTrack

Für die Betriebssimulation der Zugfahrten zur Entwicklung eines Fahrplankonzeptes auf der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn zwischen Zell am See und Fürth-Kaprun sowie auf der Abzweigung in das Kapruner Tal, wurde die Simulationssoftware OpenTrack der OpenTrack Railway Technology GmbH und der ETH Zürich - Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme verwendet. Diese wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen* des Instituts für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich entwickelt und anschließend erweitert.

1.3.4.1 Hauptmodule

Die Simulationssoftware gliedert sich in die drei Hauptmodule *Eingangsgrößen*, *Simulation* und *Ausgangsgrößen* (siehe Abb. 1.1).

1.3.4.2 Eingangsgrößen

Rollmaterial

Die Lokomotiven und Triebwagen sind mit den technischen Daten (Z/V-Diagramm, Länge, Masse, Adhäsionsgewicht etc.) beschrieben und in einer Depot-Datenbank abgelegt. Züge werden durch Triebfahrzeuge und Waggonen gebildet.

Für die Simulation wurden die Triebwagen ET1 – ET9 der Niederösterreichischen Verkehrsorganisationsgesellschaft (NÖVOG), welche auf der Mariazellerbahn verkehren, die ebenfalls eine

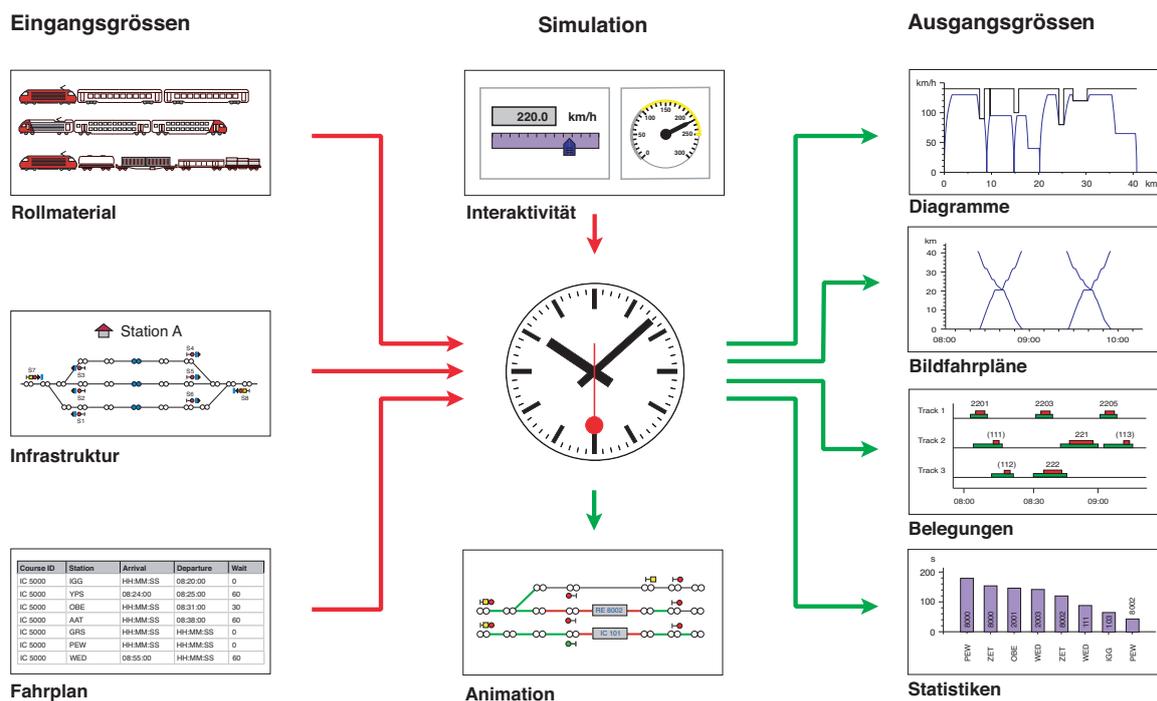


Abb. 1.1: Hauptmodule der Simulationssoftware OpenTrack (Hürlimann, 2017)

Spurweite von 760 mm aufweist, angenommen. Die in OpenTrack verwendeten technischen Daten gemäß dem Datenblatt der Stadler Rail AG (Stadler Rail AG, 2020) in Tabelle 1.1 dargestellt.

Infrastruktur/Gleistopologie

Die Gleistopologie wird mittels Doppelpunktgraphen beschrieben und durch einen Gleisbildeditor grafisch erfasst bzw. verwaltet (siehe Abb. 1.2). Den Kanten zwischen zwei Doppelpunktgraphen können Eigenschaften (z.B. Länge, Längsneigung, Streckenhöchstgeschwindigkeit sowie Bogenradius) zugewiesen werden. Des Weiteren können Signale, Bahnhöfe bzw. Haltestellen (mit den vorgegebenen Haltepunkten) und Fahrplantrassen erzeugt sowie verwaltet werden.

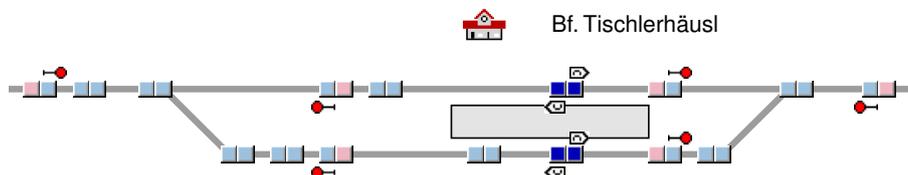


Abb. 1.2: Gleistopologie des Bahnhofes Tischlerhäusl

Fahrplandaten

Über die Fahrplandatenbank werden die Abfahrts- und Ankunftszeiten, die Haltepunkte, die Anschlüsse zwischen Kursen sowie die minimalen Aufenthaltszeiten in den Bahnhöfen bzw. Haltestellen verwaltet.

Tab. 1.1: Technische Daten des Triebzuges ET1 – ET9 der NÖVOG (Stadler Rail AG, 2020)

Hersteller	Stadler Rail AG
Einsatzgebiet	Mariazellerbahn
Spurweite	760 mm
Bezeichnung	ET1 – ET9 (Be 4/8)
Achsanordnung	Bo‘2‘2‘Bo‘
Inbetriebsetzung	2013
Sitzplätze 2. Kl. + IV-Sitze	116
Klappsitze	11
Stehplätze (4 Pers./m ²)	113
Fußbodenhöhe:	
Niederflur am Einstieg	400 mm
Hochflur	980 mm
Einstiegsbreite	1300 mm
Längsdruckkraft	800 kN
Länge über Kupplung	50740 mm
Fahrzeugbreite	2650 mm
Drehgestellachsstand:	
Motordrehgestell	2200 mm
Laufdrehgestell	1900 mm
Triebraddurchmesser, neu	770 mm
Laufbraddurchmesser, neu	770 mm
Max. Leistung am Rad	1200 kW
Anfahrzugkraft	140 kN
Höchstgeschwindigkeit	80 km/h (90 km/h möglich)

1.3.4.3 Simulation

In der Simulation fahren die eingegebenen Züge auf der Gleistopologie den vorgegebenen Fahrplan, soweit dies möglich ist. Die Berechnung erfolgt über das Lösen der Bewegungsdifferentialgleichung aus maximaler Zugkraft, den Fahrwiderständen und den Parametern der Topologie. Durch einmalige Integration wird die Geschwindigkeitsfunktion, durch zweimalige die zurückgelegte Strecke ermittelt. Während der Simulation werden für jeden Zug die berechneten Daten (Beschleunigung, Geschwindigkeit, zurückgelegter Weg etc.) gespeichert, um verschiedene Auswertungen zu erzeugen. Weiters ist es möglich, die Simulation zu animieren, um den Fortschritt jedes einzelnen Zuges zu verfolgen.

1.3.4.4 Ausgangsgrößen

Die Simulationssoftware OpenTrack bietet viele verschiedene Auswertungen der Simulation, die pro Zug, Zugkategorie oder Strecke erzeugbar sind. Zum Beispiel können streckenbezogene grafische Fahrpläne (siehe Abb. 1.3), Sperrzeitentrepfen oder Höhenprofile angezeigt werden. Für Stationen sind Ist-Fahrzeiten, Durchfahrzeiten sowie Gleisbelegungen erzeugbar.

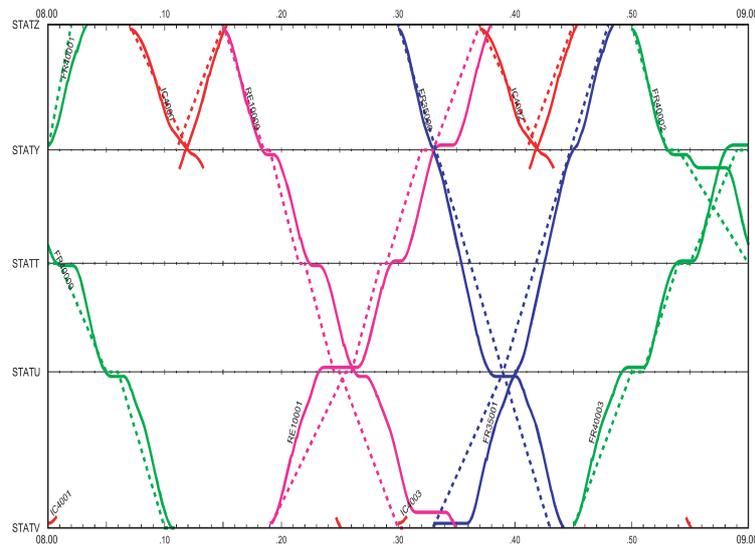


Abb. 1.3: Beispiel für einen mit OpenTrack erstellten Bildfahrplan (Hürlimann, 2017)

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Automatisierung im Eisenbahnbetrieb

Durch die spezifischen Eigenschaften im Bereich des Schienenverkehrs sind, aufgrund der Spurführung, welche nur einen Freiheitsgrad - in Fahrzeuglängsrichtung - bedingt, sowie infolge der signaltechnischen Infrastruktur, die durch Überwachung der Strecke, Betriebsführungstechnologien erlaubt und durch die Fernsteuerfähigkeit, die die Steuerung vor Ort bzw. den Triebfahrzeugführer teilweise bereits heute ersetzt, die Grundvoraussetzungen für den fahrerlosen Betrieb sehr gut (Nießen et al., 2017). Jedoch muss insbesondere zwischen dem autonomen und dem automatisierten Fahren unterschieden werden, nachdem das, vor allem durch Entwicklungen in der Kraftfahrzeugbranche angeregte, Interesse zu einer Unschärfe in der Verwendung der Begriffe führte. Für den Eisenbahnbetrieb relevant ist das *automatische* oder *automatisierte Fahren* (*Automatic Train Operation (ATO)*), das Nießen et al. (Nießen et al., 2017) wie folgt beschreibt:

„Das Verkehrsmittel bewegt sich wie ein Automat. Es wird weitgehend von außen gesteuert und muss bei Verlust der Verbindung zur Leitstelle in den sicheren Zustand zurück, d.h. Stillstand oder Fahren auf Sicht.“

Im Schienenverkehr ist deshalb eine Einteilung in Automatisierungsgrade - Grades of Automation (GoA) (siehe Tab. 2.1) üblich.

2.1.1 Rechtliches

Mächler erklärt in seinem Beitrag zum Safety Day 2017 (Mächler, 2017), dass davon auszugehen ist, dass die Durchführung des autonomen Fahrens - dies ist auch für den automatischen bzw. automatisierten Betrieb anzunehmen - auf der Schiene technisch durchführbar ist, wenngleich dem eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Rechtsnormänderungen vorausgehen muss. Grundsätzlich ist aber neben dem Rechtsumsetzungsprozess auch die gesellschaftlich-ethische Akzeptanzphase zu beachten, welche wesentlich komplexer und länger dauern wird als Ersteres.

„Das verfassungsrechtlich gewährleistete Grundrecht auf Leben und körperliche Integrität sowie das Grundrecht auf Schutz des Eigentums zwingt den Staat, nur solche Techniken mit abstrakt-hohem Gefährdungspotential zu erlauben, die die daraus resultierenden Gefahren auf ein tolerierbares (ethisch akzeptables) Minimum reduzieren (Mächler, 2017).“

Tab. 2.1: Übersicht der Automatisierungsgrade - Grades of Automation; in Anlehnung an Powell et al. (Powell et al., 2014) und Nießen et al. (Nießen et al., 2017)

GoA	Betriebsart	Anfahren & Halten	Gleisraumüberwachung	Türen öffnen & schließen	Aufsicht Fahrgastwechsel	Betrieb im Notfall
0	Manueller Zugbetrieb (ohne Zug-sicherung)	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in
1	Manueller Zugbetrieb (mit Zug-sicherung)	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in
2	Halbautomatischer Zugbetrieb	Automatisch	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in	Triebfahrzeugführer/in
3	Automatischer Zugbetrieb - fahrerlos	Automatisch	Automatisch	Zugbegleiter/in	Zugbegleiter/in	Zugbegleiter/in
4	Automatischer Zugbetrieb - personallos	Automatisch	Automatisch	Automatisch	Automatisch	Automatisch

Es ist somit erforderlich, dass die autonome bzw. automatische oder automatisierte Steuerung des Fahrzeuges mit der bisherigen durch einen Triebfahrzeugführer gleichwertig sein muss (Entsprechungsklausel).

2.1.2 Wirkung

Kapazität

Durch den automatisierten Zugbetrieb kann eine dynamische Kapazitätsoptimierung erreicht werden. Dabei erfolgt die Fahrplanerstellung automatisch und in Echtzeit, die Fahrkurven der Züge werden optimiert, die Zugführung automatisiert und die Reservezuteilung verbessert (Zeiner, 2018). Eine weitere Kapazitätssteigerung ist durch das Fahren im beweglichen Raumabstand (*Moving Block*) erzielbar, wobei infolge der Aufhebung der Blockabschnitte die Mindestzugfolgezeiten reduziert werden können. (Pachl, 2018, S. 37).

Servicequalität

Durch ATO kann die Servicequalität für den Kunden in Bezug auf Pünktlichkeit, Fahrkomfort sowie bedarfsorientiertem Angebot verbessert werden (Zeiner, 2018)). Als Auswirkung der oben genannten Verbesserungen der Kapazität ist auch ein positiver Einfluss auf die Pünktlichkeit zu erwarten. Weiters können Maximalwerte für die Beschleunigung bzw. Verzögerung des Zuges festgelegt und automatisch eingehalten werden, welche für den Fahrgast eine Komfortsteigerung bewirken. Zusätzlich sind bei Strecken (z. B. Nebenbahnen), bei denen Fahrten mit GoA 4 durchgeführt werden, aufgrund der hohen Flexibilität, nachfrageorientierte Verkehre mit entsprechend kleinen Gefäßgrößen denkbar.

Energieverbrauch

Durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen (GoA 1) oder durch automatisiertes Fahren (ab GoA 2) ist eine Optimierung des Fahrprofils möglich, welche das unterschiedliche Fahrverhalten von Triebfahrzeugführer/innen reduziert. Durch

- Roll-Optimierung,
- Leistungsbegrenzung,
- definierte Beschleunigung,
- Geschwindigkeitsbegrenzung sowie
- Optimierung der elektrischen Bremse

zeigt Gralla (Gralla, 2016) Strategien zur Verbesserung der Energieeinsparung auf, die durch ATO miteinander kombiniert werden können. Dadurch ergibt sich ein bis zu 30% geringerer Energieverbrauch.

Sicherheit und Akzeptanz

Einerseits kann die Sicherheit durch den Wegfall der menschlichen Fehlerquelle des Triebfahrzeugführers bzw. der Triebfahrzeugführerin - hier seien vor allem als Gründe Ablenkung, Eintönigkeit und Übermüdung genannt - erhöht werden, andererseits können durch die ab GoA 3 erforderliche Gefahrenraumüberwachung die Vandalismusschäden bzw. die Kriminalität gesenkt werden (Zeiner, 2018). Demgegenüber stehen jedoch Herausforderungen, dass die durch den bereits heute stattfindenden Eisenbahnverkehr bestehenden Risiken nicht vergrößert werden dürfen (Mächler, 2017). Hierbei unterscheiden sich die Vollbahn- von den U-Bahn-Betrieben, wo der Zugang zum Fahrweg meistens durch Wände, Zäune etc. verhindert wird und somit ein abgeschlossenes System (Nießen et al., 2017) entsteht. Eine Gefahrenraumüberwachung mit Hinderniserkennung auf freier Strecke als auch bei Eisenbahnkreuzungen ist mit

- Laser-, Radar- oder Infrarotkameras (auch im Drohnenmodus möglich), mit
- Videoüberwachung (auch im Drohnenmodus möglich), mit
- Fiber Optic Sensing sowie mit
- Induktionsschleifen

möglich (Zeiner, 2018) (Begirale, 2020). In Bahnhofsbereichen besteht mit Bahnsteigtüren die effizienteste Lösung zur Freihaltung der Gefahrenbereiche. Jedoch ist dies bei unterschiedlichen Fahrzeugtypen (z. B. mit verschiedenen Türabständen und -breiten) schwierig umzusetzen. Auch sind neben Bahnsteigsperrern in Form von Längszäunen auch die oben angeführten Technologien für Bahnhöfe einsetzbar.

Obwohl mit dem *SkyTrain* in Vancouver, Kanada das erste Bahnsystem mit automatischem Zugbetrieb bereits im Jahr 1985 eröffnet wurde, sind nur wenige Forschungsarbeiten über die Akzeptanz von diesen im GoA 4 verkehrenden Zügen vorhanden. In den Arbeiten von Fraszczyk; Brown et al. und Fraszczyk; Mulley ist jedoch ersichtlich, dass die für diese Studien befragten Personen nur sehr wenig Verständnis von der Funktionsweise von personallosen Zügen aufweisen. Nichtsdestotrotz sind die meisten Befragten eher positiv bzw. neutral gestimmt, wobei sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen.

2.2 Traktionsarten von Eisenbahnfahrzeugen

Da eine große Menge an Literatur die unterschiedlichen Traktionsarten von Eisenbahnfahrzeugen aus technischer sowie historischer Sicht behandelt, stellt dieses Kapitel nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll einen kurzen Abriss über die Antriebsmaschinen, die „in der Lage sind, Zugkräfte am Rad bereitzustellen, damit eine Fortbewegung des Fahrzeugs möglich ist“ (Ihme, 2019, S. 50), darstellen.

Dampfmaschine

Seit dem Beginn des Eisenbahnbetriebes im 19. Jahrhundert bis in das letzte Drittel des 20. Jahrhunderts war die Dampfmaschine ein gebräuchlicher Antrieb für Eisenbahnfahrzeuge. Angesichts des niedrigen Wirkungsgrades, des hohen Instandhaltungsaufwandes, der Notwendigkeit von mindestens zwei Mann Personal sowie der begrenzten Reichweite, aufgrund der erforderlichen Bereitstellung von Wasser und Treibstoff (v.a. Kohle), ist diese Traktionsart heute aus dem Eisenbahnalltag verschwunden und wird hauptsächlich nur noch im Rahmen von Nostalgiefahrten eingesetzt (Ihme, 2019, S. 55 ff.).

Elektromotor

Ebenfalls im 19. Jahrhundert wurde durch die Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips der Bau von Elektromotoren möglich. Bereits im Jahr 1879 wurde eine elektrische Lokomotive mit von außen zugeführter Energie über eine Stromschiene von Siemens vorgestellt. Nach vielen technischen Weiterentwicklungen ist diese Traktionsart (z. B. als Electric Multiple Unit - Elektrotriebwagen (EMU)) heute im Schienenverkehr in Europa vorherrschend, da die Vorteile des hohen Wirkungsgrades sowie der des relativ geringen Instandhaltungsaufwandes der Fahrzeuge gegenüber der notwendigen Infrastruktur für die Umwandlung und Bereitstellung von elektrischer Energie, vor allem für dicht befahrene Strecken, überwiegen (Ihme, 2019, S. 58 ff.).

Verbrennungsmotor

Die erste Lokomotive mit Verbrennungsmotor, welcher mit Diesel und somit Selbstzündung betrieben wird, wurde im Jahr 1913 in Dienst gestellt. Die Leistungsübertragung zum Rad kann dabei mechanisch, hydrodynamisch oder elektrisch erfolgen. Bei letzterer wird ein Generator angetrieben, welcher elektrische Energie für die elektrischen Fahrmotoren liefert. Durch die große Verfügbarkeit des Treibstoffes und die technische Weiterentwicklung, wodurch die Verbrennungsmotoren unter optimaler Last betrieben werden können, werden diese Triebfahrzeuge (z. B. Diesel Multiple Unit - Dieseltriebwagen (DMU)) heute hauptsächlich auf nicht elektrifizierten Strecken eingesetzt (Ihme, 2019, S. 79 ff.).

Gasturbine

Einen Sonderfall stellt die Gasturbine dar, da sich diese Traktionsart aufgrund zu hohem Kraftstoffverbrauch und Instandhaltungskosten (Ihme, 2019, S. 95 ff.), nicht bewährt hat.

Hybridfahrzeuge

„Ein „Hybridantrieb“ ist ein Antriebssystem mit mindestens zwei verschiedenen Energiewandlern und mit zwei verschiedenen Energiespeichersystemen (im Fahrzeug) für den Fahrzeugantrieb“ (UNECE - United Nations Economic Commission for Europe, 2013).

Dieser Definition der Vereinten Nationen nach, kann ein Hybridantrieb auf den unterschiedlichsten Energieträgern basieren, solange zumindest von zwei Energie für die Fahrzeugfortbewegung verwendet wird. Das gängigste Beispiel ist Nutzung der Bremsenergie für den Fahrzeugantrieb. Es ist dabei möglich, dass die Grundlast z. B. durch Verbrennungsmotoren abgedeckt wird und für die Bereitstellung der Höchstleistung die gespeicherte Energie aus den Batterien bzw. Kondensatoren (sog. *Super Caps*) verwendet wird. Im Schienenverkehr kann somit die Bedienung von nicht elektrifizierten Neben- oder Anschlussbahnen ohne eines zusätzlich vorgehaltenen Triebfahrzeuges erfolgen. Weiters können auch Battery Multiple Units - Akkumulatortriebwägen (BEMU) eingesetzt werden, die nur durch die in der Batterie mitgeführte Energie betrieben werden. Als weiterer Energieträger bei sogenannten Hydrail-Triebfahrzeugen kann Wasserstoff dienen, bei denen die Umwandlung in elektrische Energie in Brennstoffzellen auf dem Prinzip der *kalten Verbrennung* von Wasserstoff mit Sauerstoff, beruht (Ihme, 2019, S. 98 ff.).

2.3 Bestimmungen für Zweisystemfahrzeuge

Zweisystemfahrzeuge verkehren innerorts bzw. in topographisch anspruchsvollen Bereichen auf Straßenbahntrassen und gehen außerorts auf Vollbahngleise über. Durch diesen Umstand entstehen rechtlich sowie technisch unterschiedliche Anforderungen an die Anlagen bzw. Fahrzeuge, welche zu einer Kombination der Systeme *Vollbahn* und *Straßenbahn* führt. Nendwich (Nendwich, 2008) führt in seiner Diplomarbeit „Technische Grundlagen für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen am Beispiel der Wiener Linien“ die Bestimmungen und Erfordernisse am Beispiel des Netzes der Wiener Linien aus, wobei dies grundsätzlich auch für andere, gleichartige Systeme in Österreich Gültigkeit besitzt.

2.3.1 Rechtssystematik

Die Regelung der rechtlichen Belange des Eisenbahnwesens in Österreich erfolgt im Eisenbahngesetz (EisbG) 1957, in welchem die Bahnen in §1 in öffentliche und nicht-öffentliche Eisenbahnen unterteilt werden. Zu den öffentlichen Bahnen zählen Hauptbahnen, Nebenbahnen sowie Straßenbahnen. Durch diese Rechtssystematik ergeben sich unterschiedliche Gesetze, Verordnungen sowie Vorschriften für die einzelnen Kategorien. Im Unterschied zur für den Betrieb von Haupt- und Nebenbahnen gültigen Eisenbahnverordnung (EisbVO) 2003, enthält die Straßenbahnverordnung (StrabVO) 1999 umfangreiche Vorschriften zur Ausführung der Betriebsanlagen sowie der Fahrzeuge. So werden darin sehr detaillierte Anforderungen an die Ausgestaltung von Haltestellen als auch an die Beschaffenheit der Fahrzeuge vorgegeben.

Zum einen darf bei Fahrzeugen straßenbahnabhängiger Bahnen das Lichtraumprofil eine Breite von 2,65 m (bis 3,4 m über Schienenoberkante (SOK)) bzw. 2,25 m (über 3,4 m über SOK) nicht überschreiten. Auch ist die Länge von Zügen, die am Straßenverkehr teilnehmen, mit 75 m begrenzt. Besondere Anforderungen werden aufgrund der Tatsache, dass kein signalgesicherter Fahrweg vorhanden ist, sog. *Fahren auf Sicht*, an die Bremsen der Fahrzeuge gestellt. In Tabelle 2.2 sind die Werte der Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung gem. StrabVO 1999 angegeben.

Tab. 2.2: Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung (StrabVO 1999, Anlage 1)

Geschwindigkeit V [km/h]	Bremsverzögerung a [m/s ²]	Bremsweg s [m]
20	1,71	9
20	2,04	17
40	2,29	27
50	2,47	39
60	2,57	54
70	2,73	69

2.3.2 Technische Voraussetzungen

Aufgrund der verschiedenen Anforderungen an die Anlagen und Fahrzeuge der Voll- bzw. Nebenbahn und der Straßenbahn ergeben sich unterschiedliche technische Voraussetzungen. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die einzelnen zu betrachtenden Teilgebiete. Die Untersuchung dieser Voraussetzungen ist notwendig, da eine Übertragbarkeit von anderen Betrieben, welche auf ein bestimmtes System setzen, infolge der abgegrenzten Einsatzgebiete und damit einhergehend der Optimierung auf diese, nur beschränkt möglich ist.

**Abb. 2.1:** Übersicht der technischen Voraussetzungen für den Zweisystembetrieb; in Anlehnung an Nendwich (Nendwich, 2008)

Kapitel 3

Ausgangssituation

Eine Grundlage für die Ziele der Verkehrspolitik im Pinzgau bildet einerseits das *salzburg.mobil 2025 - Salzburger Landesmobilitätskonzept 2016-2025*, herausgegeben vom Amt der Salzburger Landesregierung (Amt der Salzburger Landesregierung, 2016), sowie das darauf basierende *PINZGAU.MOBIL 2030 - Strategisches Konzept* von Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017).

3.1 Topographie

Der Pinzgau (siehe Abb. 3.1) ist deckungsgleich mit dem Bezirk Zell am See, welcher flächenmäßig den größten der sechs politischen Bezirke des Landes Salzburg, darstellt. Er grenzt im Norden an Deutschland, im Osten an den Pongau, im Süden an Kärnten, Osttirol und Italien (Südtirol) sowie im Westen an Nordtirol.

Traditionell erfolgt eine Gliederung des Pinzgaues in drei Teilregionen, welche auch für die Aufteilung der Pendlerströme in Kapitel 3.2.1 nach Mühlböck; Riffler (Mühlböck; Riffler, 2016) genutzt wird.

- Oberpinzgau:
 - Gemeinde Krimml
 - Gemeinde Wald im Pinzgau
 - Marktgemeinde Neukirchen am Großvenediger
 - Gemeinde Bramberg am Wildkogel
 - Gemeinde Hollersbach im Pinzgau
 - Stadtgemeinde Mittersill
 - Gemeinde Stuhlfelden
 - Gemeinde Uttendorf
 - Gemeinde Niedernsill
 - Gemeinde Piesendorf
 - Gemeinde Kaprun
- Mitterpinzgau:
 - Gemeinde Unken
 - Marktgemeinde Lofer
 - Gemeinde St. Martin bei Lofer
 - Gemeinde Weißbach bei Lofer
 - Gemeinde Leogang



Abb. 3.1: Übersichtskarte des Pinzgaues (N.N., 2020d)

- Stadtgemeinde Saalfelden am Steinernen Meer
- Gemeinde Maria Alm am Steinernen Meer
- Gemeinde Saalbach-Hinterglemm
- Gemeinde Viehhofen
- Gemeinde Maishofen
- Stadtgemeinde Zell am See
- Unterpinzgau:
 - Gemeinde Bruck an der Großglocknerstraße
 - Gemeinde Fusch an der Großglocknerstraße
 - Marktgemeinde Taxenbach
 - Marktgemeinde Rauris
 - Gemeinde Lend
 - Gemeinde Dienten am Hochkönig

Der Pinzgau umfasst die Einzugs- und Talgebiete der oberen Salzach (Gerlospass - Pongau), der oberen Saalach (Saalbach-Hinterglemm - Bayern, Deutschland) der Leoganger Ache (Hütten (Leogang) - Saalfelden) sowie der Urslau (Hinterthal (Maria Alm) - Saalfelden). Die Bezirkshauptstadt Zell am See sowie die nach der Einwohnerzahl größte Stadt, Saalfelden, befinden sich im sich nord-südlich erstreckenden Zeller Becken.

Die Gemeinde Kaprun befindet sich am südwestlichen Rand des Zeller Beckens sowie am Anfang des Kapruner Tals, welches durch die Kapruner Ache durchflossen wird. Der Großteil des Ortsgebietes befindet sich in Beckenebene, mit einigen Berghangausläufern, wie z.B. dem Schaufel- bzw. dem Kirchenberg, welche beide untertunnelt sind. Nördlich von letzterem Tunnelportal wurde im Jahr 2018 die neue Talstation, das *Kaprun Center*, der *MK Maiskogelbahn* eröffnet, mit welcher der gleichnamige Berg erschlossen wird. Mit der im Jahr 2019 in Betrieb gegangenen Dreiseilumlaufbahn *3K K-onnection* wurde eine direkte Verbindung von der Bergstation der *MK Maiskogelbahn* zum Gletscherskigebiet *Kitzsteinhorn* geschaffen. Vor dem ersten Geländesprung, dem Burgkogel, liegt das Krafthaus Kaprun Hauptstufe, das mittels eines Druckstollens mit dem Speicher Wasserfallboden verbunden ist, sowie das Umspannwerk Kaprun der Verbund Hydro Power AG (siehe Abb. 3.2).



Abb. 3.2: Übersicht der Kraftwerksgruppe Kaprun (N. N., 2020b)

Zwischen dem Burgkogel und dem Maiskogel wurde durch die Kapruner Ache die Sigmund-Thun-Klamm geformt, die heute an der Staumauer Bürgsperre des Klammersees, der einen Tagesspeicher des Kraftwerks Kaprun bildet, ihren Ausgang hat. Im weiteren Flussverlauf befinden sich neben der Talstation der Gletscherbahn Kaprun mit den zwei in sich in Betrieb befindlichen Seilbahnen (Gletscherjet I, Panoramabahn) einige Almen (z.B. Künstleralm). Die Kesselfallstraße endet nach

weiteren knapp zwei Kilometern beim namensgebenden Alpenhaus Kesselfall am Talschluss, von wo die in der Sommersaison verkehrenden Shuttle-Busse zu den Kaprun Hochgebirgstauseen ausgehen.

3.2 Siedlungsstruktur und Tourismus

Im alpinen, ländlichen Raum des Pinzgaus bzw. des Bezirks Zell am See bilden die Stadt- und Umlandgebiete der zwei Kernstädte (Saalfelden und Zell am See) das Mittelzentrum im Zeller Becken. Die ländlichen Zentren bzw. Nebenzentren befinden sich hauptsächlich in den Haupttalachsen, welche eine gute Verkehrsinfrastruktur aufweisen. Im Oberpinzgau erfüllen die Orte Bramberg am Wildkogel, Neukirchen am Großvenediger sowie vor allem Mittersill diese Funktion. Des Weiteren wurden durch das Amt der Salzburger Landesregierung (Amt der Salzburger Landesregierung, 2014, S. 9) die Hauptentwicklungsachsen durch das Saalachtal (Unken bis Zell am See) als auch das Salzachtal (Piesendorf bis Lend) festgelegt.

3.2.1 Pendlerströme

Die in Kapitel 3.2 erwähnte Siedlungsstruktur mit dem Mittelzentrum Zell am See spiegelt sich auch in den Pendlerströmen im Bezirk wieder. Gemäß der „Pendlerstudie 2016 im Auftrag des Gemeindeverbandes ÖPNV-Pinzgau“ führt werktäglich für knapp 10000 Arbeitnehmer und Schüler der Arbeitsweg über Zell am See, von denen sich jedoch für ungefähr die Hälfte das Ziel darüber hinaus befindet (siehe Abb. 3.3). Für den Oberpinzgau ist zu erkennen, dass Mittersill ländliches Zentrum bzw. Nebenzentrum ist, da dieser eine relativ hohe Einpendlerrate aufweist.

Auch die Gemeinde Kaprun weist gemäß der „Pendlerstudie 2016 im Auftrag des Gemeindeverbandes ÖPNV-Pinzgau“ von Mühlböck; Riffler (Mühlböck; Riffler, 2016) hohe Pendlerzahlen auf. An Werktagen pendeln 1274 Arbeitnehmer sowie Schüler aus den Umlandgemeinden ein. Dabei kommen jeweils etwa die Hälfte der Personen aus dem Oberpinzgau (655 Personen) und aus dem Mitter- und Unterpinzgau (413 Personen) bzw. Zell am See (206 Personen).

3.2.2 Tourismus

Die Tourismus- und Freizeitwirtschaft ist einer der wichtigsten Wirtschaftszweige im Pinzgau, welche durch die Vermarktung zahlreicher Tourismusverbände sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr Gäste aus aller Welt anzieht. Wie in Abb. 3.4 erkennbar ist, erreichen die Gemeinden Zell am See, Saalbach-Hinterglemm sowie Kaprun die höchsten Nächtigungszahlen im Pinzgau. Letztere profitiert im Wintertourismus durch die Möglichkeit alpinen Skisport ausüben zu können. Jedoch führt auch der Sommertourismus zu vergleichsweise hohen Nächtigungszahlen, die einerseits durch den Bergsport inkl. der Hochgebirgstauseen und andererseits durch das ganzjährig erreichbare Gletschergebiet *Kitzsteinhorn* bewirkt werden.

3.3 Modal Split

Der Modal Split der Wohnbevölkerung des Pinzgaus des Jahres 2012 (siehe Abb. 3.5) zeigt, dass mit etwa 55 % der Motorisierte Individualverkehr (MIV) den größten Anteil aller Verkehrsmittel

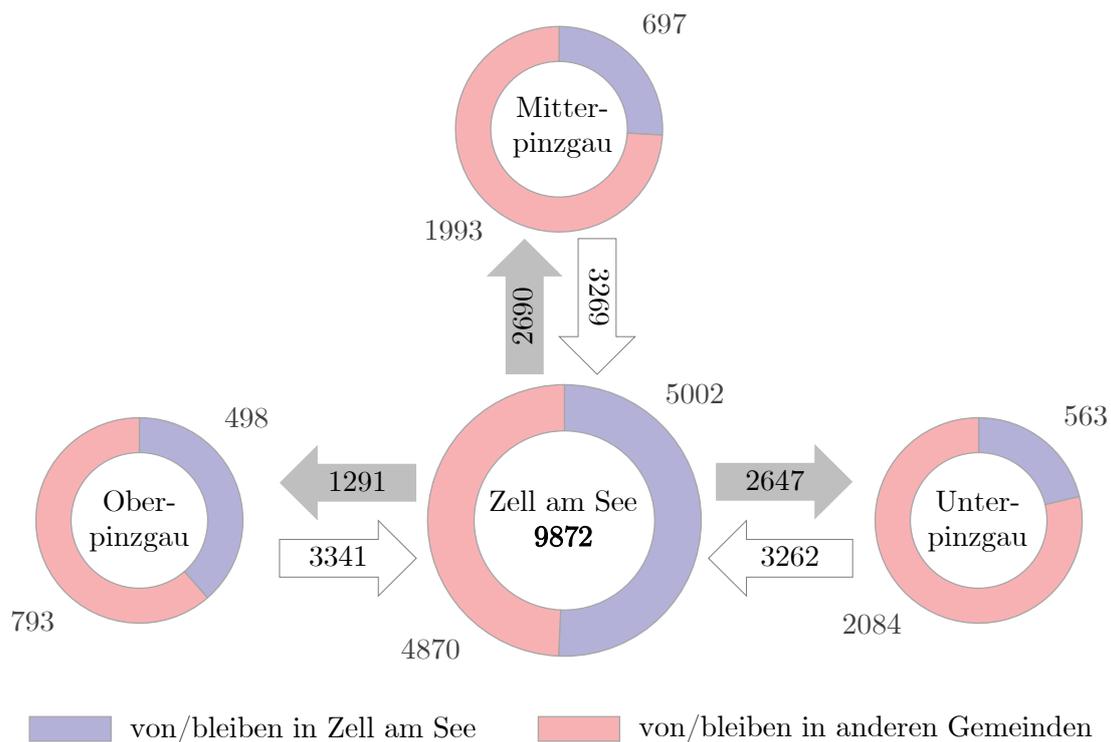


Abb. 3.3: Pendler nach Zell am See; in Anlehnung an Mühlböck; Riffler (Mühlböck; Riffler, 2016)

aufweist, welcher zugleich einer der höchsten im Bundesland Salzburg ist. Der öffentliche Verkehr spielt mit 8,1 % nur eine untergeordnete Rolle. Die Nutzung des Fahrrads mit etwa 7 % befindet sich auf ungefähr demselben Niveau wie im gesamten österreichischen Bundesgebiet.

Die Verkehrsmittelwahl für die Anreise im Tourismus in der Wintersaison 2013/2014 (siehe Abb. 3.6) stützt sich mit 77 % noch mehr auf den MIV. Der kumulierte Anteil des öffentlichen Verkehrs ist mit 21 % relativ gering, wobei hierbei 10 % auf die Anreise mit dem Flugzeug entfallen. Der Modal Split der Anreise in der Sommersaison unterscheidet sich nur geringfügig von dem in der Wintersaison.

3.4 Öffentlicher Verkehr

Der öffentliche Verkehr im Pinzgau ist einerseits durch die hochrangige Bahnstrecke 10103 Salzburg Hbf (in Sb)=Wörgl Hbf (in W) (ÖBB-Infrastruktur AG, 2019a) (*Salzburg-Tiroler-Bahn* bzw. *Giselabahn*) zwischen Salzburg Hauptbahnhof und Wörgl Hauptbahnhof, welche die einzige innerösterreichische West-Ost-Bahnverbindung darstellt, sowie andererseits durch die den Oberpinzgau erschließende Pinzgauer Lokalbahn, zwischen Zell am See und Krimml, sichergestellt. Des Weiteren verkehren etliche Busverbindungen, welche durch den Salzburger Verkehrsverbund organisiert werden. Nachfolgend werden die für den Bereich Zell am See bzw. Kaprun relevanten und in der Abb. 3.7 dargestellten Verbindungen näher erläutert.

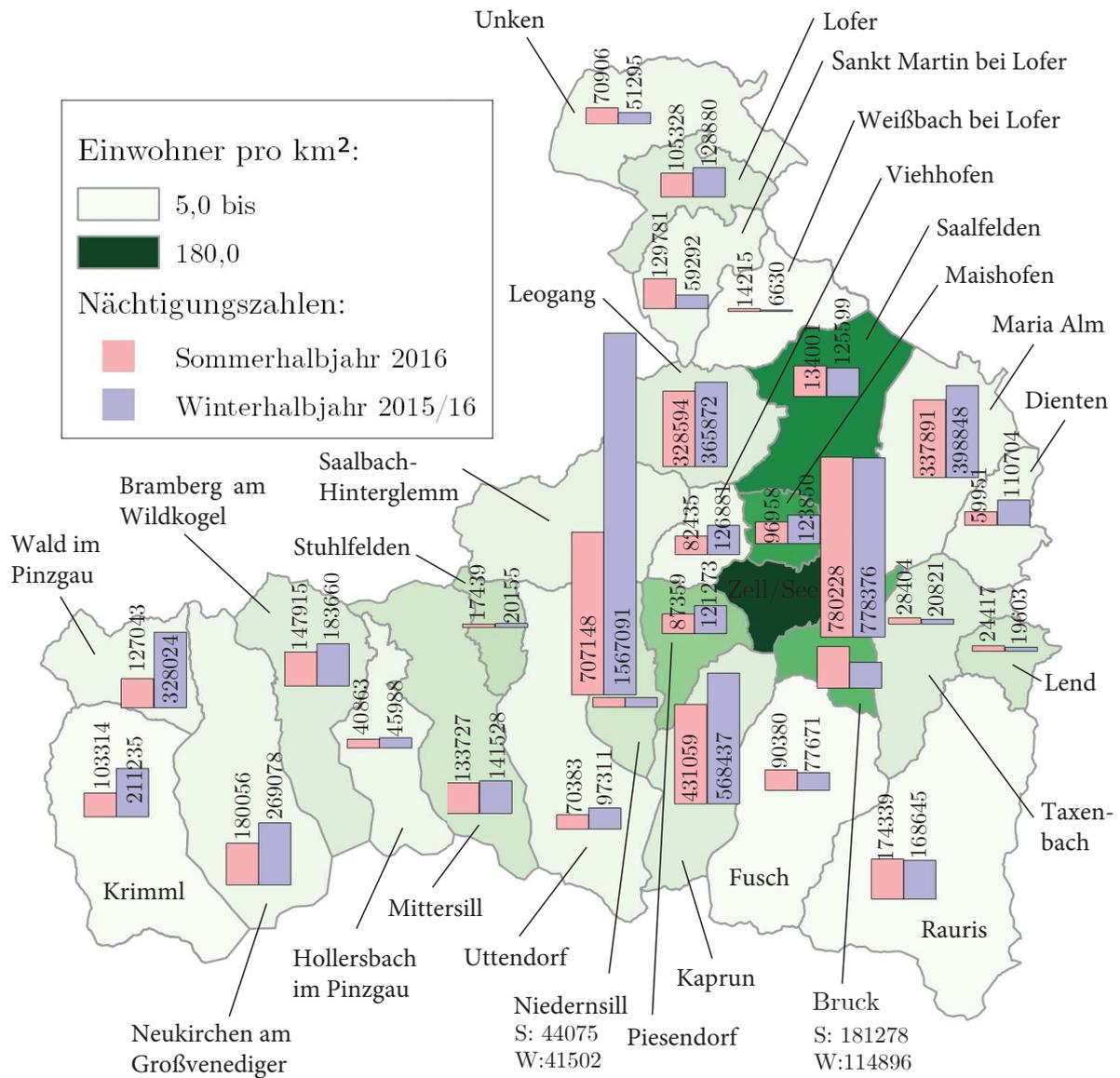


Abb. 3.4: Nächtigungszahlen im Bezirk Zell am See (© OpenStreetMap-Mitwirkende und Mühlböck; Riffler, 2016)

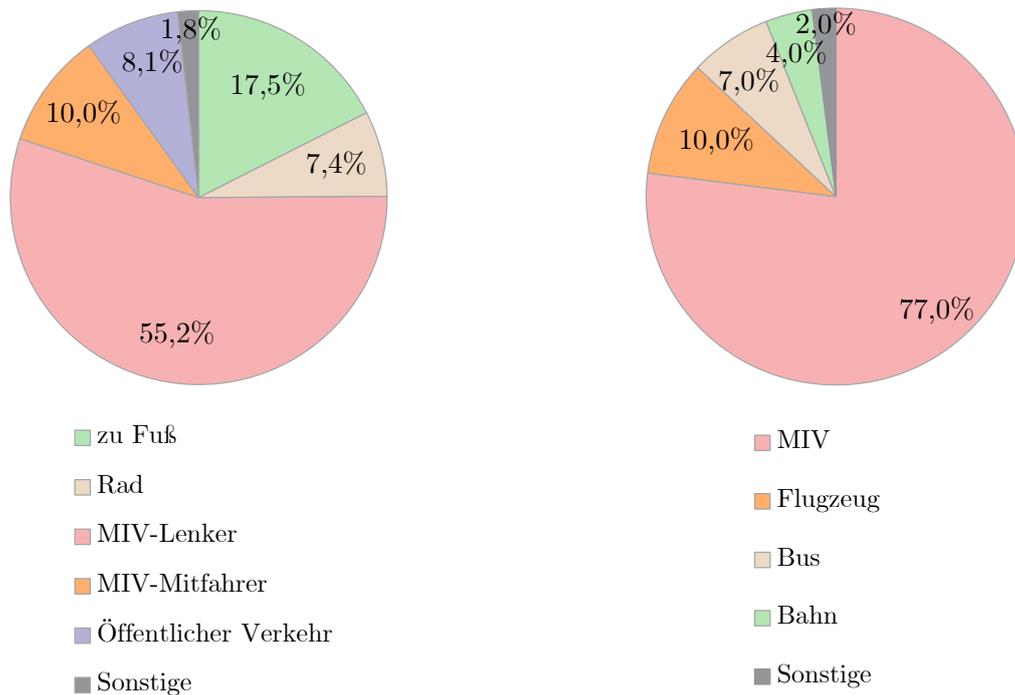


Abb. 3.5: Modal Split der Wohnbevölkerung im Jahr 2012 (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017)

Abb. 3.6: Modal Split der Anreise im Tourismus in der Wintersaison 2013/2014 (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017)

3.4.1 Pinzgauer Lokalbahn

Die Pinzgauer Lokalbahn, auch als *Pinzgaubahn* bzw. *Krimmler Bahn* bezeichnet, verbindet als Schmalspurbahn mit 760 mm Spurweite auf einer Länge von knapp 53 km Krimml mit Zell am See an der *Salzburg-Tiroler-Bahn* - ÖBB-Strecke 10103 Salzburg Hbf (in Sb)=Wörgl Hbf (in W) - im Salzburger Pinzgau (siehe Abb. 3.8).

3.4.1.1 Streckenbeschreibung

Die Pinzgauer Lokalbahn hat ihren Ausgangspunkt im Bahnhof (Bf.) Zell am See, Bahnsteige 11 und 12, wo eine Umsteigemöglichkeit zur Salzburg-Tiroler-Bahn - ÖBB-Strecke 10103 Salzburg Hbf (in Sb)=Wörgl Hbf (in W) - besteht. Die Trasse folgt dem Ufer des Zeller Sees für etwa 1,5 Kilometer in Richtung Süden bis zum Bf. Tischlerhäusl, wo sich das Depot sowie die Werkstätten befinden. Danach schwenkt die Strecke in Richtung Westen, um aus dem Zeller Becken in den Oberpinzgau, entlang der Salzach, zu führen. Die charakteristische Trassierung mit vielen, teilweise engen Bogenfolgen, ist unter anderem der *günstigen* Bauweise, welche auf große Erdbewegungen verzichtet hat, geschuldet (Fritz, 1976). Aus diesem Grund führt die Strecke bis ungefähr zur Haltestelle (Hst.) Walchen im Pinzgau außerhalb der versumpften Talböden, um ab dort auf weiten Teilen dem Böschungsdamm der Salzach zu folgen. Dies hat einerseits zur Folge, dass etwa 42 % der Gesamtlänge im Bogen verlaufen, andererseits ist eine große Gefährdung

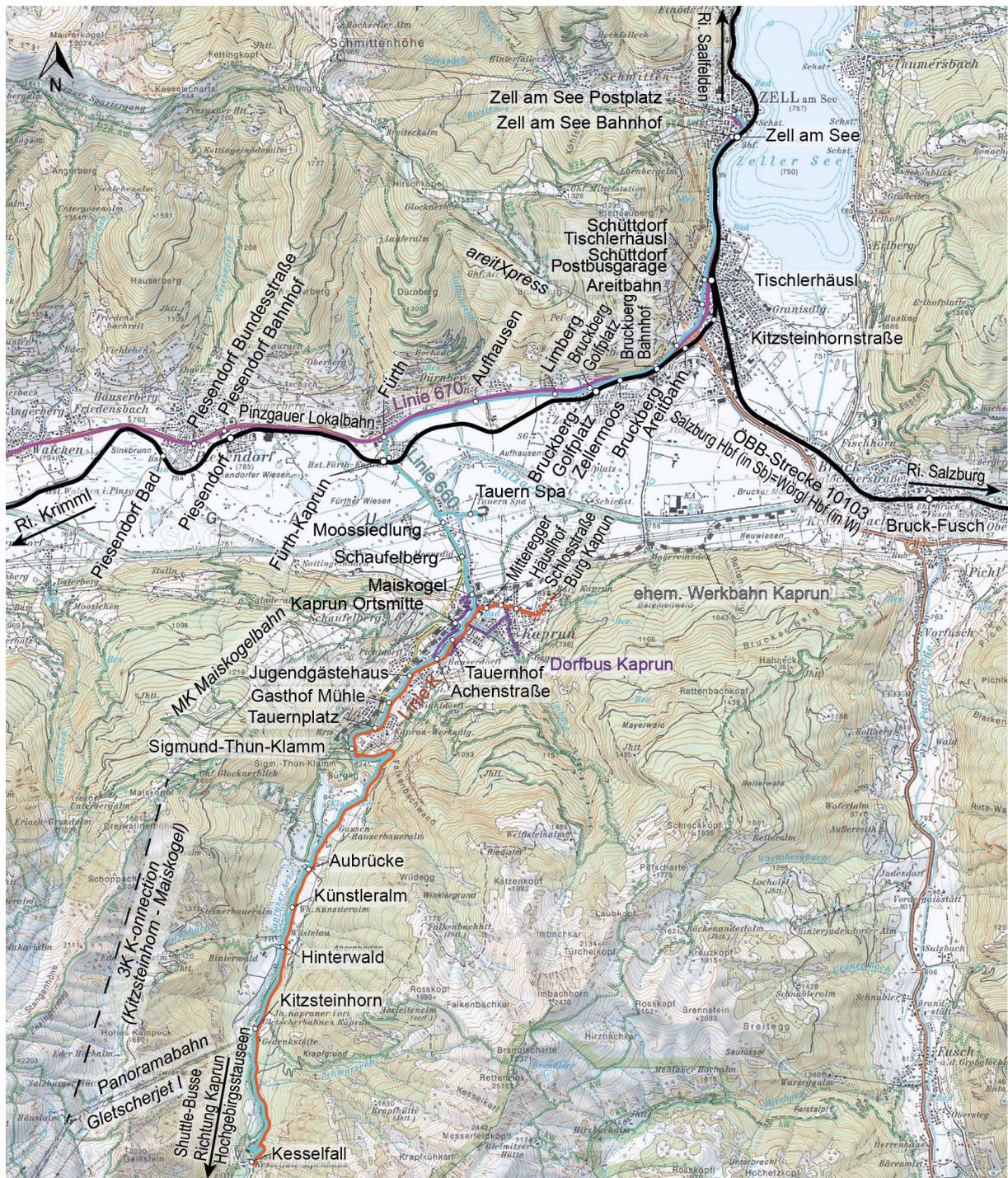


Abb. 3.7: Übersicht des Angebotes des öffentlichen Verkehrs im Raum Kaprun im Winterhalbjahr 2019/2020 (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)



Abb. 3.8: Verlauf der Pinzgauer Lokalbahn mit Haltestellen und Bahnhöfen (© OpenStreetMap-Mitwirkende)

durch Hochwasser gegeben. Die Strecke endet im Bf. Krimml, welcher sich jedoch etwas zwei Kilometer entfernt im Ort Vorderkrimml befindet.

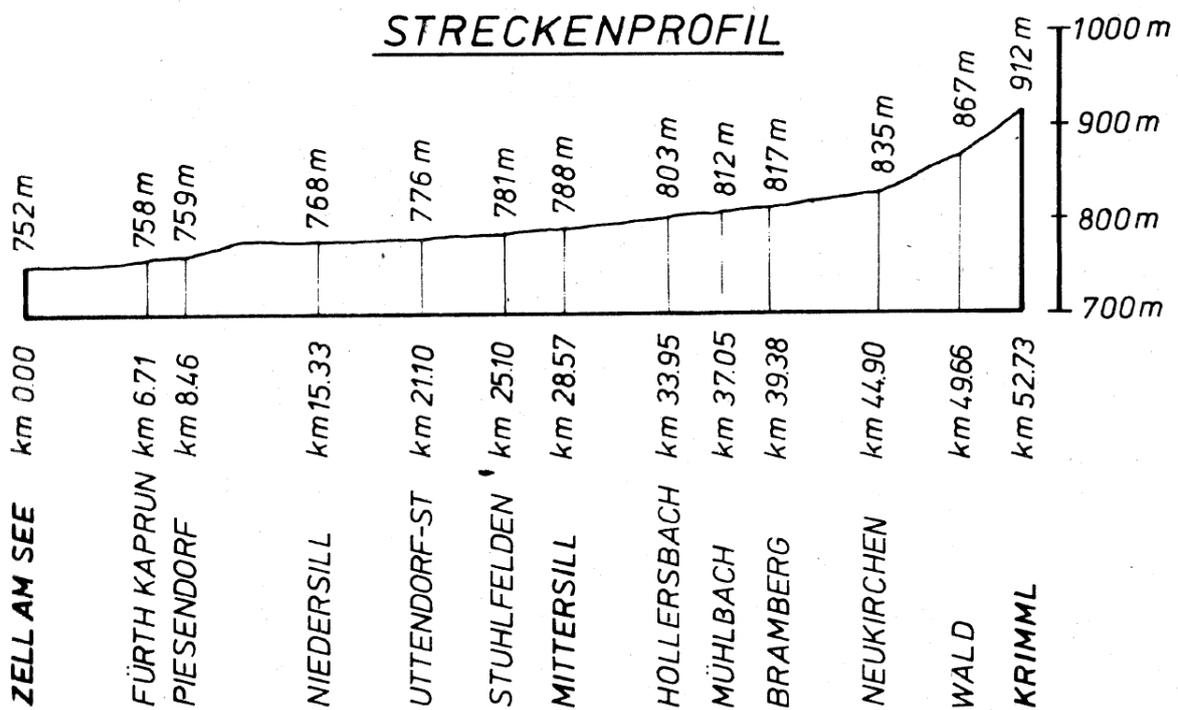


Abb. 3.9: Höhenentwicklung der Trasse der Pinzgauer Lokalbahn (Fritz, 1976)

In Tab. 3.1 sind die Bahnhöfe und Haltestellen aufgelistet. Über den gesamten Streckenverlauf werden 160 Höhenmeter überwunden (siehe Abb. 3.9), wobei sich die größten Steigungen im Streckenabschnitt Wald im Pinzgau-Krimml mit bis zu 23,7 % (Fritz, 1976) befinden.

Tab. 3.1: Bahnhöfe und Haltestellen der Pinzgauer Lokalbahn (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019a)

Kilometer	Betriebsstelle	Betriebsstellencode
0,072	Bf. Zell am See	Zlb
1,526	Bf. Tischlerhäusl	Tih
2,227	Hst. Kitzsteinhornstraße	
2,630	Hst. Areitbahn	
2,974	ZLM Hst. Bruckberg	Brb
3,575	Hst. Zellermoos	
3,784	Bf. Bruckberg-Golfplatz	Gol
6,715	Bf. Fürth-Kaprun	Fuk
8,456	Bf. Piesendorf	Ps
9,490	ZLM Hst. Piesendorf Bad	Psb
11,226	Bf. Walchen im Pinzgau	Wac
13,940	ZLM Hst. Jesdorf-Bergfried	Jes
15,329	Bf. Niedernsill	Nsi
16,830	ZLM Hst. Lengdorf	Lgd
19,361	ZLM Hst. Uggl-Schwarzenbach	Ugl
21,092	Bf. Uttendorf-Stubachtal	Ut
22,068	Hst. Uttendorf im Pinzgau-Manlitzbrücke	
23,602	ZLM Hst. Pirtendorf	Ptd
24,338	ZLM Hst. Stuhlfelden Siedlung	
25,100	Bf. Stuhlfelden	Slf
26,389	Hst. Heilbad Burgwies	
27,350	ZLM Hst. Burk	Brk
27,892	Hst. Mittersill Essiger	
28,570	Bf. Mittersill	Mil
31,099	ZLM Hst. Rettenbach	Ret
33,761	ZLM Hst. Hollersbach	Hba
34,598	ZLM Hst. Hollersbach Panoramabahn	Hbp
35,870	Bf. Dorf-Paßthurn	Dpt
37,060	ZLM Hst. Mühlbach im Pinzgau	Mp
38,637	Hst. Wenns	
39,390	Bf. Bramberg	Bbg
39,996	Hst. Steinach	
41,971	ZLM Hst. Habachtal-Weyerhof	Hat
43,683	Hst. Vorstadl	
44,159	ZLM Lst. Neukirchen	Lst Ner
44,937	Bf. Neukirchen am Großvenediger	Ner
46,967	ZLM Hst. Sulzbachtäler	Slz
48,229	Hst. Rosental	
49,585	Bf. Wald im Pinzgau	Wap
51,539	Hst. Lahnsiedlung	
52,736	Bf. Krimml	Krl

3.4.1.2 Geschichte

Schon im Jahr 1889 gab es Interesse des Landes Salzburg, aufgrund einer Eingabe der Marktgemeinde Zell am See, am Bau einer Eisenbahn zur Erschließung des Oberpinzgaus. Erst mehrere Jahre später, am 19. Mai 1896, wurde dem Baurat Rudolf Stummer Ritter von Trautenfels die Konzession zum Bau und Betrieb einer schmalspurigen Lokalbahn von der Station Zell am See an der Staatsbahnstrecke Salzburg-Wörgl über Mittersill nach Krimml erteilt. Die Eintragung der Firma *Pinzgauer Lokalbahngesellschaft* in das Handelsregister des k.k. Handelsgerichts Wien erfolgte am 5. Jänner 1897. Am 1. Juli 2008 wurde die gesamte Infrastruktur der Pinzgauer Lokalbahn von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) an das Land Salzburg übergeben.

3.4.1.3 Streckenausrüstung

Die Pinzgauer Lokalbahn ist auf ihrem gesamten Streckenverlauf, abgesehen von den Kreuzungsbahnhöfen, eingleisig mit einer Spurweite von 760 mm ausgebaut. Im Bereich vom Bf. Tischlerhäusl bis zum Bf. Zell am See besteht ein Dreischienengleis mit den Spurweiten 760 mm und 1435 mm. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit nach dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten und Besonderheiten (VzG) liegt bei 80 km/h (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019b), wenngleich im Zuge von Neutrassierungen in Teilbereichen auch 100 km/h möglich wären (Weis, 2012). Abgesehen von einem Ladegleis im Bf. Tischlerhäusl ist die Strecke nicht elektrifiziert. Die Kreuzungsbahnhöfe sind mit Rückstellweichen ausgestattet. Die Mehrheit aller Stationen sind als Bedarfshaltestellen ausgeführt, dabei muss der Fahrgast im Zug bzw. im Bahnhof oder in der Haltestelle für einen Halt des Zuges, eine Haltewunschtaaste betätigen.

3.4.1.4 Sicherungstechnik

Mit der Übernahme der Pinzgauer Lokalbahn durch die Salzburg AG wurde zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit ein modernes Zugsicherungssystem in funktionaler Anlehnung an das European Train Control System (ETCS) Level 3 eingerichtet. Auf eine herkömmliche Stellwerkstechnik, wie beispielsweise im Netz der ÖBB Infrastruktur AG, wurde hinsichtlich der hohen Investitions- und Betriebskosten verzichtet. Stattdessen wurde ein Rechnergestütztes Zugsicherungssystem (RZL) (Kaiser et al., 2012), das aus einem Zentralrechner, Kommunikationssystem, Bordrechner sowie Stationsrechner besteht, eingeführt, welches durch den Einsatz von Rückfallweichen an Kreuzungsbahnhöfen möglich wurde. Durch eine gleisselektive Eigenortung der Züge durch Differential Global Positioning System, Eurobalisen sowie Odometrie kann von den kostenintensiven Sicherungsanlagen, wie Gleisfreimeldeanlage, Zugbeeinflussungskomponenten als auch Signalen inkl. erforderlicher Streckenverkabelung, Abstand genommen werden. Die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und dem Zentralrechner erfolgt über ein Datenfunksystem mit doppelter Funkabdeckung. Die Zugbeeinflussung selbst ist analog punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) 90 aufgebaut. D.h. bei Fahrten außerhalb der Fahrterlaubnis zwischen zwei Zuglaufmeldestellen (ZLM) wird eine Zwangsbremmung erwirkt.

3.4.1.5 Betrieb

Personenverkehr

Das Verkehrsangebot im Personenverkehr besteht - bis auf wenige Ausnahmen - aus einem Stundentakt auf der Gesamtstrecke zwischen dem Bf. Zell am See und dem Bf. Krimml, welcher an Werktagen (außer Samstag) einerseits durch morgendliche Zusatzzüge und andererseits durch einen um eine halbe Stunde versetzten Stundentakt zwischen der Hst. Piesendorf Bad bzw. dem Bf. Niedersill und dem Bf. Zell am See verdichtet wird. Die Gesamtfahrzeit beträgt 1 h 23 min in Richtung Bf. Krimml und 1 h 22 min in Richtung Bf. Zell am See. Die beschleunigten Eilzüge bewerkstelligen die etwa 53 km lange Strecke in 1 h 05 min bzw. 1 h 09 min. Die Zugkreuzungen finden im Bf. Niedersill zur Minute .28, im Bf. Dorf-Paßthurn zur Minute .58 statt. Des Weiteren fungiert der Bf. Fürth-Kaprun zur Minute .42 als Kreuzungsbahnhof zwischen den Stunden- und Halbstundenzügen. Zusätzlich verkehren vereinzelt Nostalgiezüge mit Dampf- oder Diesellokomotiven.

Güterverkehr

Im Jahr 2019 fand, bis auf Bauzüge für etwaige Bauarbeiten an der Strecke, kein Güterverkehr statt (Stramitzer, 2019).

Rollmaterial

Im Planverkehr kommen dieseltreibende Triebfahrzeuge, einerseits Lokomotiven vom Typ Vs 81 - Vs 84 (siehe Abb. 3.10) mit Waggons und einem Steuerwagen für den Wendezugbetrieb als auch Triebwägen vom Typ VTs 12 - VTs 17 (siehe Abb. 3.11) zum Einsatz. Bei Nostalgiefahrten werden auch Dampflokomotiven bzw. Diesellokomotiven der Reihe Vs 71 - Vs 74 verwendet.



Abb. 3.10: Triebfahrzeug Vs 81 der Pinzgauer Lokalbahn (N. N., 2020f)



Abb. 3.11: Triebwagen VTs 81 der Pinzgauer Lokalbahn (N. N., 2020g)

3.4.1.6 Fahrgastzahlen

In Abbildung 3.12 sind die Fahrgastzahlen von 2008 bis 2018 auf der Gesamtstrecke der Pinzgauer Lokalbahn dargestellt. Seit der Übernahme von den ÖBB durch das Land Salzburg wurde mit einem attraktiven Angebot ein deutlicher Zuwachs an Fahrgästen, auf im Jahr 2018 durchschnittlich knapp 2500 Personen pro Tag, erreicht. Dieser Wert übersteigt die Mindestfahrgastanzahl

von 2000 Personen pro Tag, welche gemäß VCÖ - Mobilität mit Zukunft (VCÖ - Mobilität mit Zukunft, 2014) als Grenzwert für Investitionen in Neben- bzw. Regionalbahnen angegeben wird.

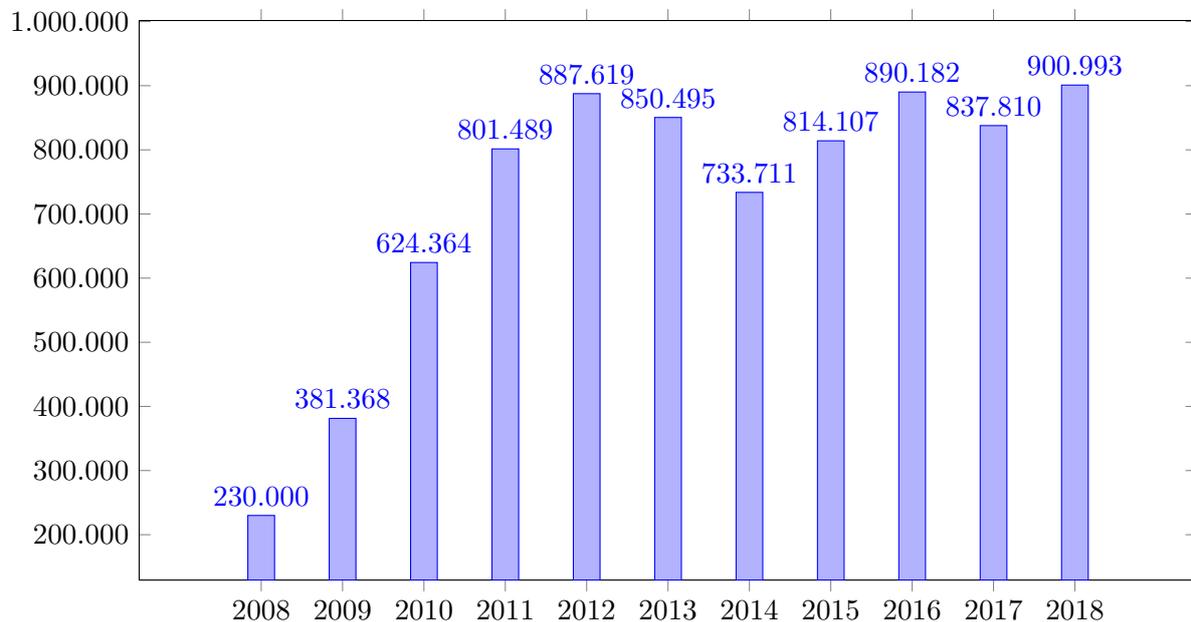


Abb. 3.12: Fahrgastzahlen der Pinzgauer Lokalbahn von 2008 bis 2018 (Stramitzer, 2019)

3.4.2 Werkbahn Kaprun

Die Gemeinde Kaprun wurde im Zuge der Erfüllung der umfangreichen Transportaufgaben zur Errichtung der Tauernkraftwerke mit einer 7,413 Kilometer langen Anschlussbahn (siehe Abb. 3.13), welche von der ÖBB-Strecke 10103 Salzburg Hbf (in Sb)=Wörgl Hbf (in W) im Bf. Bruck-Fusch abzweigte, erschlossen.

3.4.2.1 Ehemaliger Verlauf und Streckenbeschreibung

Die Anschlussbahn hatte ihren Ausgangspunkt im Bf. Bruck-Fusch und folgte in westlicher Richtung der Salzach, wobei sich nach etwa 300 m der Übergabebahnhof Krössenbach, welcher ursprünglich dreigleisig war, befand. Im weiteren Verlauf wurde bei km 2,010 die Gemeindegrenze zwischen Bruck an der Glocknerstraße sowie Kaprun erreicht und die Trasse südlich verschwenkt. Unmittelbar vor der L 215 Kapruner Straße wurde die Kapruner Ache mit einer 15 m langen Brücke überquert. Von km 5,312 bis km 5,443 verlief die Trasse unter dem Kapruner Kirchenberg im Tunnel um danach mehrere Anschlussgleise zu erreichen. Die Anschlussbahn besaß zwei Endstellen. Einerseits wurde der Werksbahnhof von km 6,482 bis km 7,023, andererseits die sich am gegenüberliegenden Ufer der Kapruner Ache, welche mit der Krapfbrücke überquert wurde, befindliche Freiluftschananlage, bedient. Die Strecke war für eine Höchstgeschwindigkeit von 35 km/h und für einen Achsdruck von 20 t ausgelegt. Vom Bf. Bruck-Fusch bis km 0,837 war eine abschaltbare Oberleitung vorhanden.



Abb. 3.13: Verlauf der ehemaligen Anschlussbahn der Tauernkraftwerke vom Bf. Bruck-Fusch nach Kaprun (Harrer, 2000)

3.4.2.2 Betrieb und Einstellung

Trotz der Bestrebungen den Bf. Zell am See als Ausgangspunkt der Bahn zu wählen, wurde aufgrund des geringen Platzangebots sowie der Notwendigkeit eines Baus einer Salzachbrücke davon abgesehen. Der Bau begann im Oktober 1939, der Abschluss der Tunnelbauarbeiten fand im Herbst 1940 statt. Die Fertigstellung der Anschlussbahn erfolgte im Mai 1942.

In der Zeit des Baus der Oberstufe der Tauernkraftwerke wurden etwa zwei Züge pro Tag geführt. Mit der Fertigstellung dieser Arbeiten wurde der Betrieb auf einige Züge pro Woche reduziert (durchschnittlich 30 Waggons/Monat im Jahr 1957). Bis Mitte der 1970er Jahre wurde die Bahn bei eingeschränktem Betrieb erhalten und einige Sondertransporte durchgeführt. Es gab Überlegungen die Anschlussbahn für den touristischen Personenverkehr zu nutzen, wobei im Jahr 1963 und 1968 Sonderzüge nach Kaprun geführt wurden. Dieses Vorhaben wurde jedoch nicht weiter verfolgt. Nach über einem Jahrzehnt ohne Betrieb wurden die Schienen im Jahr 1987 von der Museumstramway Mariazell-Erlaufsee abgebaut. Des Weiteren erfolgte eine Veräußerung des Bahngrunds an die ÖBB, die Gemeinde Bruck an der Glocknerstraße sowie die Gemeinde Kaprun. Nur die Trasse im Werksgelände blieb im Eigentum der Tauernkraftwerke AG. Auf der ehemaligen Trasse wurden hauptsächlich bereits bestehende sportlich genutzte Wege verbessert oder neu errichtet.

3.4.3 Buslinien

3.4.3.1 Sommer

Das Kapruner Tal wird im öffentlichen Verkehr mit Bussen der Linie 660 in einem annähernden Halbstundentakt von etwa 6 Uhr bis etwa 22 bzw. 23 Uhr (Richtung Zell am See bzw. Kaprun) bedient. Die Bedienung der Haltestelle Kaprun Kesselfall, von welcher die Shuttle-Busse zu den Hochgebirgsstauseen abfahren, erfolgt nur von ungefähr Mai bis Oktober. Parallel zur Pinzgauer Lokalbahn verbindet auch die Buslinie 670 das Zeller Becken mit dem Oberpinzgau (Zell am See Postplatz - Krimml Wasserfälle). An Werktagen verkehren hier bis zu 12 Busse pro Richtung, die eine etwa 10 Minuten kürzere Fahrzeit im Vergleich zur Pinzgauer Lokalbahn aufweisen.

3.4.3.2 Winter

In der Wintersaison wird die Linie 660 teilweise zu einem 15-Minuten-Takt verdichtet. Zusätzlich verkehren Skibusse (Linie K, 15- bzw. 30-Minuten-Takt) von der Burg Kaprun über die Talstation der Maiskogelbahn sowie dem Zentrum Kaprun in Richtung Kitzsteinhorn Bergbahn.

SKIBUS SERVICE ZELL AM SEE-KAPRUN

Nutzungsbedingungen / Terms of usage:

Zell am See ↔ Kaprun: 660

- Gratis nur mit gültigem Skipass
 - > Winter (29.11.2019–13.04.2020) Skipässe mit Aufdruck „Bus“
 - > Herbst (26.10.–28.11.2019) & Frühling (14.04.–03.05.2020): mit allen gültigen Skipässen innerhalb der Skibus-Fahrplanzeit
- Free with valid ski pass
 - > winter (29.11.2019–13.04.2020) ski passes with print „Bus“
 - > autumn (26.10.–28.11.2019) & spring (14.04.–03.05.2020): with all valid ski passes during the regular ski bus hours

In Zell am See:

660 70 22 71 24 7

- Gratis nur mit gültigem Skipass mit Aufdruck „Bus“
 - > innerhalb der Skibus-Fahrplanzeit
 - > bei der Erstfahrt zum Skipasskauf mit Ski- oder Snowboardausrüstung
- Free with valid ski pass with print „Bus“
 - > during the regular ski bus hours
 - > at the first ride to purchase a ski pass with ski/snowboard equipment



Abb. 3.14: Übersicht des Skibusangebotes in der Wintersaison (Gletscherbahn Kaprun AG, 2019)

Weiters verbindet der Dorfbus Kaprun zahlreiche Ziele innerhalb des Ortes in einem 15-Minuten-Takt. Die Busse sind teilweise auch ohne gültigen Skipass kostenlos benutzbar (siehe Abb. 3.14).

3.4.3.3 Fahrgastzahlen

Linie 660

In Abb. 3.15 sind die täglichen, durchschnittlichen Fahrgastzahlen aller Kurse pro Richtung der Linie 660 sowie diese auf ein Jahr kumuliert, dargestellt. Die Werte entsprechen dem Auswertungszeitraum von 10.09.2018 bis 09.09.2019 für Zählerfahrten ohne Gütefehler gemäß Salzburger Verkehrsverbund GmbH (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019). Für die jährlichen Werte wurden 187 Schultage, 60 Ferientage (Montag-Freitag), 52 Samstage sowie 66 Sonn- und Feiertage angenommen.

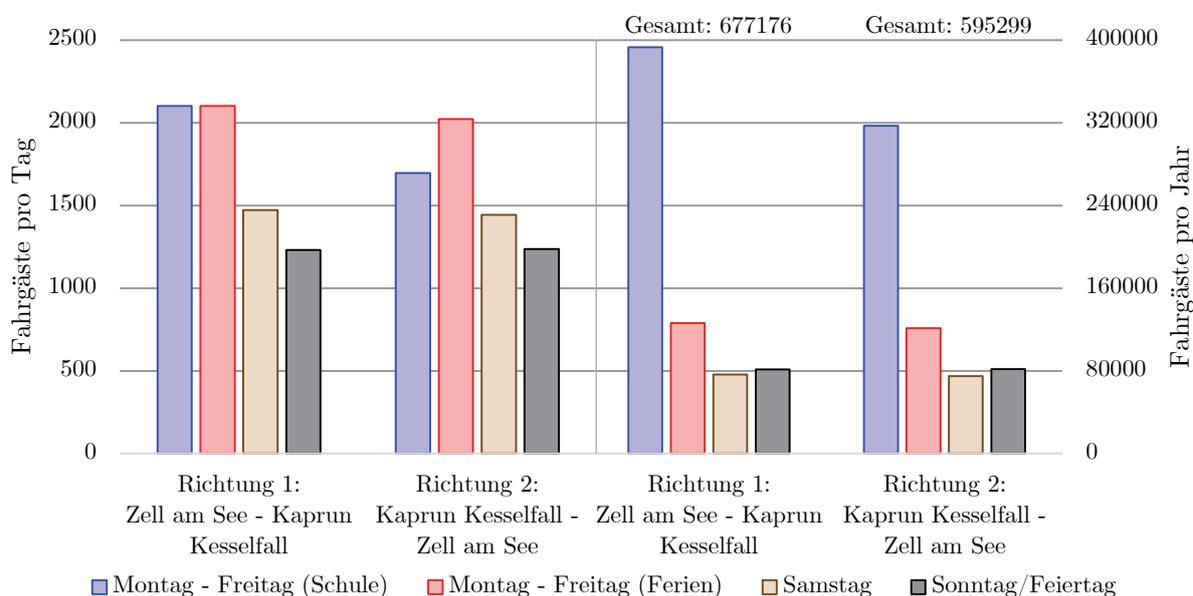


Abb. 3.15: Tägliche und jährliche Fahrgastzahlen der Linie 660 (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019)

Weiters sind in Abb. 3.16 und Abb. 3.17 die Verteilung der Ein- sowie Aussteiger entlang der Fahrstrecke pro Haltestelle als auch der Besetzungsgrad bezogen auf die maximal gezählten Fahrgäste in einem Bus der Linie 660 in Richtung Kaprun Kesselfall bzw. Zell am See Postplatz dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die meisten Fahrgäste zwischen Zell am See und dem Ortsgebiet von Kaprun befördert werden. Der weitere Verlauf bis zu den Haltestellen *Kitzsteinhorn Bergbahn* bzw. *Kesselfall* wird von etwa 40% der Gesamtfahrgäste genutzt.

Linie K (Saisonaler Verkehr - Skibus)

Zusätzlich zur Linie 660 bedienen die Busse der Linie K von 26.10.2019 bis 21.12.2019 und von 21.03.2020 bis 03.05.2020 im Halbstundentakt sowie von 22.12.2019 bis 20.03.2020 im Viertelstundentakt die Strecke *Burg Kaprun - Kitzsteinhorn*. Der Auswertungszeitraum der Zählerfahrten erstreckt sich vom 22.12.2019 bis zum 22.02.2020. In Abb. 3.18 sind die tägli-

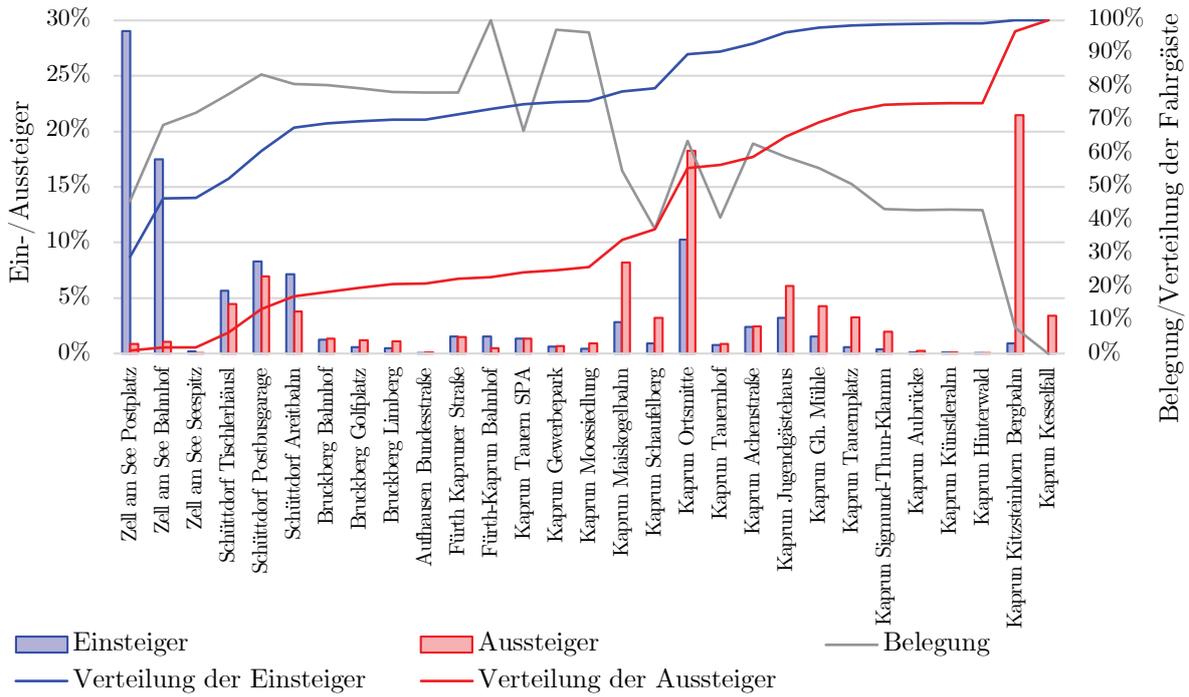


Abb. 3.16: Verteilung der Fahrgäste (Montag - Freitag an Schultagen) der Linie 660 in Richtung Kaprun Kesselfall (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019)

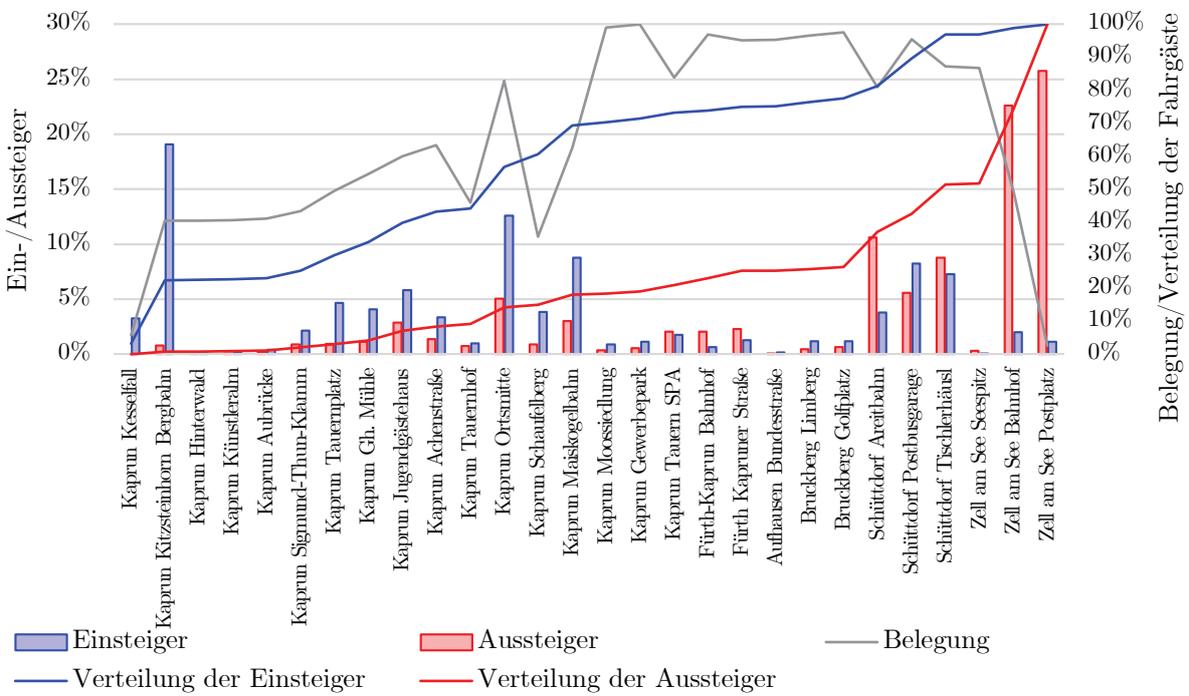


Abb. 3.17: Verteilung der Fahrgäste (Montag - Freitag an Schultagen) der Linie 660 in Richtung Zell am See Postplatz (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019)

chen, durchschnittlichen Fahrgastzahlen aller Kurse pro Richtung der Linie K, sowie diese auf die Wintersaison kumuliert, dargestellt. Als Grundlage für die saisonalen Werte wurden 56/49 (Halbstundentakt/Viertelstundentakt) Schultage, 6/12 Ferientage (Montag-Freitag), 19/12 Samstage sowie 18/16 Feiertage angenommen.

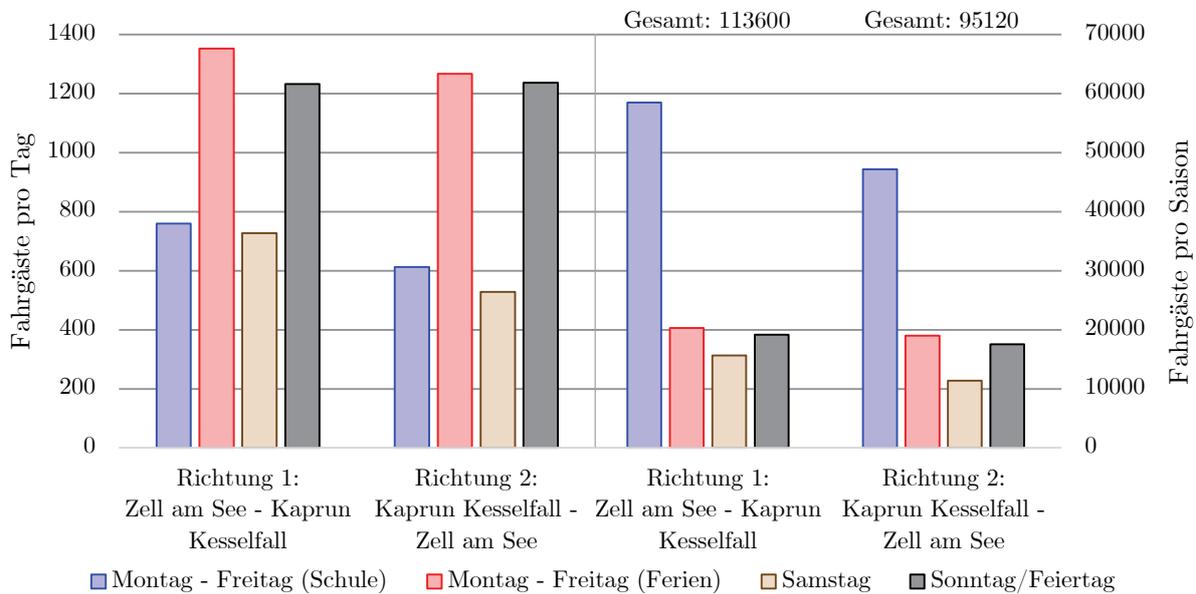


Abb. 3.18: Tägliche und saisonale Fahrgastzahlen der Skibus-Linie K (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2020a)

Verstärkerkurse der Linie 660 und Dorfbus Kaprun

Für die zusätzlich in der Wintersaison verkehrenden Skibuskurse (Verstärkerkurse der Linie 660 und Dorfbus Kaprun) liegen im Rahmen dieser Diplomarbeit keine Fahrgastdaten vor. Diese Fahrten werden im Auftrag der Gletscherbahnen Kaprun AG von der ÖBB-Postbus GmbH durchgeführt.

3.5 Motorisierter Individualverkehr

Im motorisierten Individualverkehr wird der Oberpinzgau durch die B 168 Mittersiller Straße erschlossen. Ab Mittersill bestehen mit den Straßen B 165 Gerlos Straße, B 161 Pass Thurn Straße sowie der Felbertauernstraße Verbindungen nach Tirol in das Zillertal, in Richtung Kitzbühel sowie nach Osttirol (Richtung Lienz). Im Bereich Zell am See endet die B 168 im Knoten mit der B 311 Pinzgauer Straße, welche die Verbindung in Richtung Pongau als auch in Richtung Saalfelden, über die Umfahrung Zell am See durch den Schmittentunnel, bzw. über Lofer (und weiter über das *Kleine deutsche Eck*) nach Salzburg, herstellt. Zur Entlastung des Knotenbereiches ist die Errichtung einer Entlastungsstraße Schüttdorf (Grießer, 2019) geplant, die eine direkte Verbindung des Oberpinzgaus mit dem Unterpinzgau unter Umgehung von Zell am See gewährleisten soll. Die Fahrzeit für die Strecke Krimml bis Zell am See im motorisierten

Individualverkehr beträgt bei guter Verkehrslage etwa 52 Minuten (Google, 2020).

In das Kapruner Tal führt die L 215 Kapruner Straße ab der Abzweigung von der B 168 in Fürth über die Umfahrung von Kaprun durch den 367 m langen Schaufelberg-Straßentunnel (Vogeltanz, 1987) bis ungefähr zum Umspannwerk, wo sie in die Kesselfallstraße (Gemeindestraße) mündet, welche ihr Ende beim Alpenhaus Kesselfall, nahe des Talschlusses, hat. Durch Letztere ist die Erreichbarkeit der Bergbahnen zur Erschließung des Kitzsteinhornes (*Gletscherjet 1*, *Panoramabahn*) sowie der, im Sommer verkehrenden, Shuttle-Busse zu den Hochgebirgsstauseen Kaprun, gegeben. Die Fahrzeit für die Strecke Kesselfall bis Zell am See im motorisierten Individualverkehr beträgt bei guter Verkehrslage etwa 22 Minuten (Google, 2020).

3.6 Aktive Mobilität

In Krimml startend führt entlang der Salzach der Tauernradweg, welcher über den Pongau bzw. das *Kleine deutsche Eck* bis nach Braunau am Inn und somit weitestgehend dem gesamten Flusslauf folgt. Abzweigend vom Tauernradweg führt ab Fürth eine Radroute bis zum Alpenhaus Kesselfall am Talschluss des Kapruner Tals, die teilweise auf der ehemaligen Werkbahn (siehe 3.4.2) eine baulich getrennte Radwegeninfrastruktur aufweist. Weiters ist Kaprun mit Fürth durch einen zur L 215 Kapruner Straße parallel verlaufenden, baulich getrennten kombinierten Geh- und Radweg verbunden.

Kapitel 4

Variantenstudie

Nachfolgend werden verschiedene Varianten zur schienengebundenen Erschließung von Kaprun bzw. des Kapruner Tals erläutert. Diese unterteilen sich grob in einen Abschnitt im Bereich Salzachtal bzw. Anbindung an die bestehende Pinzgauer Lokalbahn bis zum Höhenrücken am Ende von Kaprun nahe der Sigmund-Thun-Klamm sowie in einen Abschnitt mit der Fortführung bis zum Talschluss beim Alpenhaus Kesselfall.

4.1 Trassenkorridor

Grundsätzlich wird der Trassenkorridor (siehe Abb. 4.1) durch die geographischen Eigenschaften im engen Talbereich der Kapruner Ache definiert. Im relativ gleichmäßig flachen Gebiet im Bereich der Salzach zwischen Kaprun und dem Zeller Becken sind unterschiedliche Trassenverläufe möglich, die sowohl eine Anbindung an die Pinzgauer Lokalbahn als auch an die Salzburg-Tiroler-Bahn ermöglichen.

4.2 Streckenführung und Einzugsgebiete

Im Jahr 2007 wurden bereits grundsätzliche Überlegungen zum Bahnanschluss von Kaprun von Schuchmann (Schuchmann, 2007) mit einer möglichen Trassenführung vom Bereich des Bf. Fürth-Kaprun über die Talstation der Maiskogelbahn bis zum Tauernkraftwerk (nahe der Sigmund-Thun-Klamm) angestellt. Aufbauend auf diese Studie und um ein optimales räumliches Einzugsgebiet der Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn ins Kapruner Tal zu erreichen, wurden die nachfolgend angeführten Einrichtungen bzw. Sehenswürdigkeiten für den Betrieb im Personenverkehr als bedeutsam sowie fahrgastrelevant identifiziert. Eine mögliche normalspurige Erschließung sowie Anbindung an die Salzburg-Tiroler-Bahn wird in Kapitel 4.4.7 erwähnt.

4.2.1 Bestandsstrecke zwischen Zell am See und Fürth-Kaprun

Die sich bereits im Betrieb befindlichen Bahnhöfe und Haltestellen der Pinzgauer Lokalbahn zwischen dem Bf. Zell am See und dem Bf. Fürth-Kaprun befinden im Einzugsgebiet von Einrichtungen, welche auch für die Verbindung nach Kaprun von großer Bedeutung sind. Zu diesen zählen unter anderem der

- Bf. Zell am See mit der Erschließungsfunktion für die Bezirkshauptstadt als auch die Anbindung an das hochrangige Bahnnetz der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), die

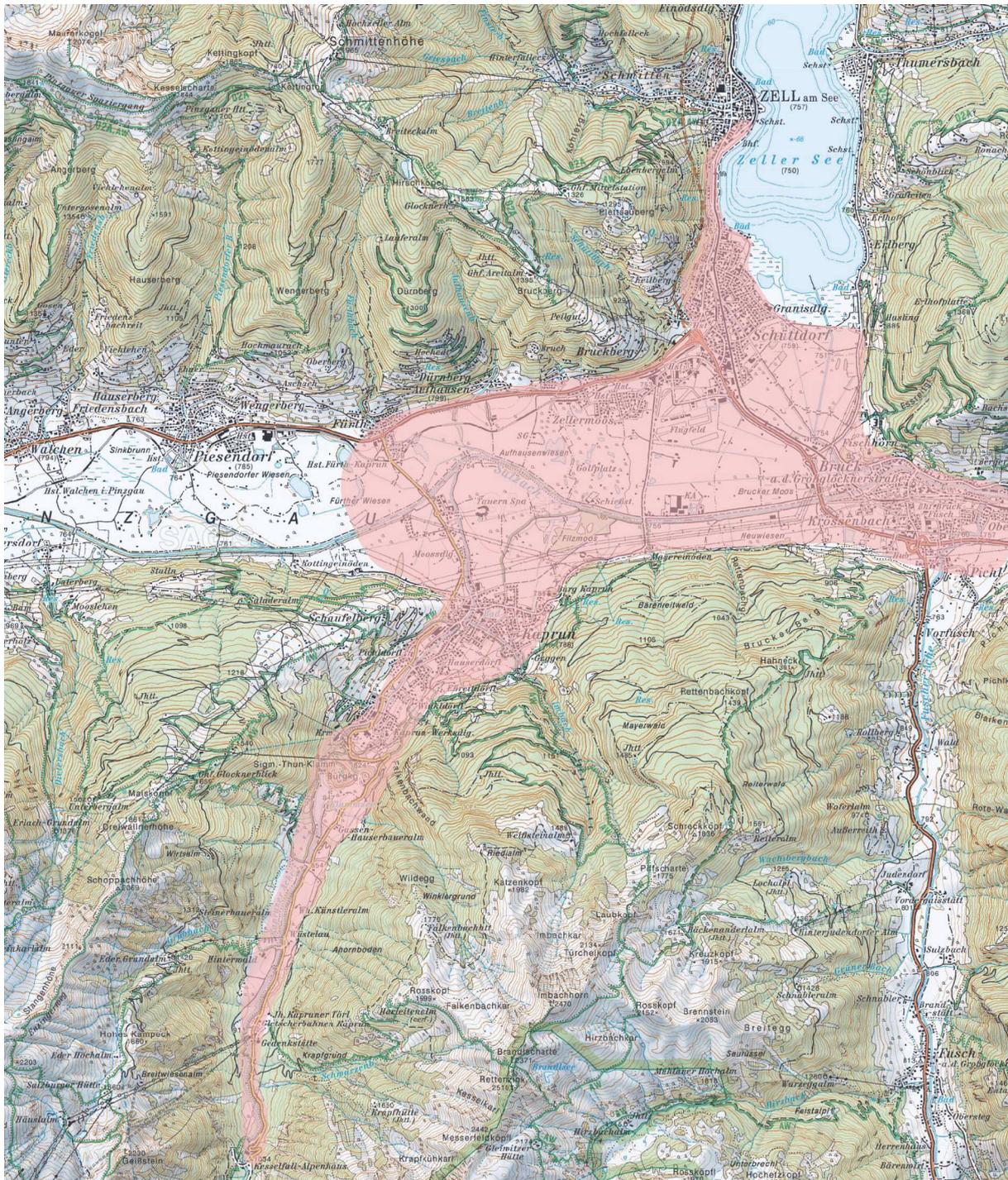


Abb. 4.1: Übersicht des Trassenkorridors (BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Hst. Tischlerhäusl und Hst. Kitzsteinhornstraße mit dem Einzugsgebiet des Stadtteils Schüttdorf, die
- Hst. Areitbahn als Verbindung zur Seilbahn *areitXpress* im Skigebiet *Schmitten*, die
- Hst. Bruckberg im Bereich des Gewerbegebietes Schüttdorf als auch die
- Hst. Zellermoos sowie der Bf. Bruckberg-Golfplatz, welcher den Golfclub Zell am See - Kaprun - Saalbach-Hinterglemm sowie die Limberg-, Finksiedlung und Zellermoos anbindet.

4.2.2 Verlängerung ins Kapruner Tal

Im Gemeindegebiet von Kaprun befinden sich abzweigend von der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn in Richtung des Talschlusses beim Alpenhaus Kesselfall die

- Therme *Tauern Spa*, das
- *Kaprun Center* mit der Talstation der *MK Maiskogelbahn* im Skigebiet *Maiskogel*, das
- Ortszentrum von Kaprun, die
- Volks- und Neue Mittelschule Kaprun, die
- Firma Zell-Metall GmbH Engineering Plastics, der
- im Zuge dieser Diplomarbeit vorgeschlagene Bf. Kaprun mit der möglichen Verknüpfung zu lokalen bzw. regionalen Buslinien, der
- Bereich der Werkssiedlung Kaprun mit dem Campingplatz sowie die
- Sigmund-Thun-Klamm.

Nach dem Höhenrücken des Burgkogels sind, der die Sigmund-Thun-Klamm speisende

- Klammsee, einige
- Hotels entlang der Kesselfallstraße, die
- Talstation der Bergbahnen *Panoramabahn* und *Gletscherjet I* des Skigebietes *Kitzsteinhorn*, das
- Alpenhaus Kesselfall samt Parkhaus sowie der
- Busbahnhof der Shuttle-Busse zu den Hochgebirgstauseen Kaprun situiert.

Diese Orte können die, für eine schienengebundene Erschließung erforderliche, Kundenfrequenz schaffen. Die oben beschriebenen Einrichtungen und Sehenswürdigkeiten entsprechen hauptsächlich dem Bedienebiet der Buslinie 660 (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2020b), welche durch die Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn, abhängig von den Varianten, zumindest teilweise, ersetzt werden kann.

4.3 Situierung der Bahnhöfe und Haltestellen

Die Situierung der Bahnhöfe und Haltestellen erfolgte gemäß den oben genannten zu erschließenden Einrichtungen sowie den für das geplante Verkehrsangebot notwendigen betrieblichen Anlagen (v.a. Kreuzungsbahnhöfe). In Abb. 4.2 sind die geplanten Haltestellen mit 500 m-Einzugsbereichen dargestellt. Dies entspricht ungefähr einem 5-7-minütigen Fußweg. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für Bereiche mit dünnerer Besiedelung auch eine größere Gehentfernung von 700 - 1000 m als annehmbar festgelegt werden kann (Ostermann, 2016).

4.4 Varianten

4.4.1 Variante 1: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Bahnhof Kaprun

Die Trasse der Variante 1 führt von der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn etwa einen Bahnkilometer westlich des Bf. Bruckberg-Golfplatz in südliche Richtung abzweigend und parallel zu einem Wirtschaftsweg bis zur Salzach, für deren Überquerung ein Brückentragwerk zu errichten ist. Nach dem weiteren geradlinigen Verlauf ist nach ungefähr einem Streckenkilometer ein Halt östlich der Therme *Tauern Spa* angedacht, um diese sowie das westlich angrenzende Gewerbegebiet zu erschließen. Dieser kann je nach betrieblicher Anforderung als einfache Haltestelle oder als Bahnhof - bei Zugkreuzungen im Idealfall mit einem Achssprung - ausgeführt werden. Nach paralleler Führung zu zwei Wirtschaftswegen schließt ein Rechtsbogen in westliche Richtung an, um in die Trasse der ehemaligen Werkbahn Kaprun, welche sich neben der Feldstraße befindet, einzuschwenken. Im Bereich des Bauhofes der Gemeinde Kaprun ist bei dessen Auflassung eine Anbindung an einen neu zu errichtenden Betriebshof möglich. Nach der Kreuzung mit der Augasse folgt die Überquerung der Kapruner Ache, wofür noch ein Brückentragwerk der Werkbahn besteht. Anschließend wird die Sigmund-Thun-Straße gekreuzt und die Trasse führt in einen Linksbogen in südliche Richtung, in welchem sich eine Haltestelle zur Erschließung des *Kaprun Centers* mit der Talstation der *MK Maiskogelbahn* sowie des nördlichen Ortsgebietes von Kaprun, befindet. Abhängig vom Betriebskonzept und einer möglichen hochfrequenten Verbindung der Skigebiete *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* ist ein zweiter Bahnsteig für diese Verkehre erforderlich. Die Strecke führt daraufhin, wie ab hier auch von Schuchmann (Schuchmann, 2007) vorgeschlagen, in den Tunnel unter dem Kapruner Kirchenberg bis zu einem Halt im Bereich der Kreuzung mit der Schaufelbergstraße, um die Volks- bzw. Neue Mittelschule, das südliche Ortszentrum sowie die Firma Zell-Metall anzubinden. Die Trasse der Variante 1 endet nach der Weiterführung am derzeitigen Wiesenweg beim zweigleisigen Bf. Kaprun, welcher parallel zur Kapruner Ache auf einem freien Grundstück in der Nähe des Sportplatzes situiert werden kann. Bei Entfernung der Gebäude *Umfahrungsstraße 1* (Ortsstelle Kaprun der Österreichischen Bergrettung) und *Umfahrungsstraße 3* (*Vereinshaus EV ASVÖ Kaprun*) sowie der Eisstockbahn ist eine Errichtung eines Busbahnhofes inkl. einer P+R-Anlage möglich.

Zusammenfassend ist aufzuzeigen, dass die Variante 1 folgende Nutzen bringt:

- Direkte Anbindung des Ortszentrums Kaprun sowie der Schulen und der Firma Zell-Metall an Zell am See

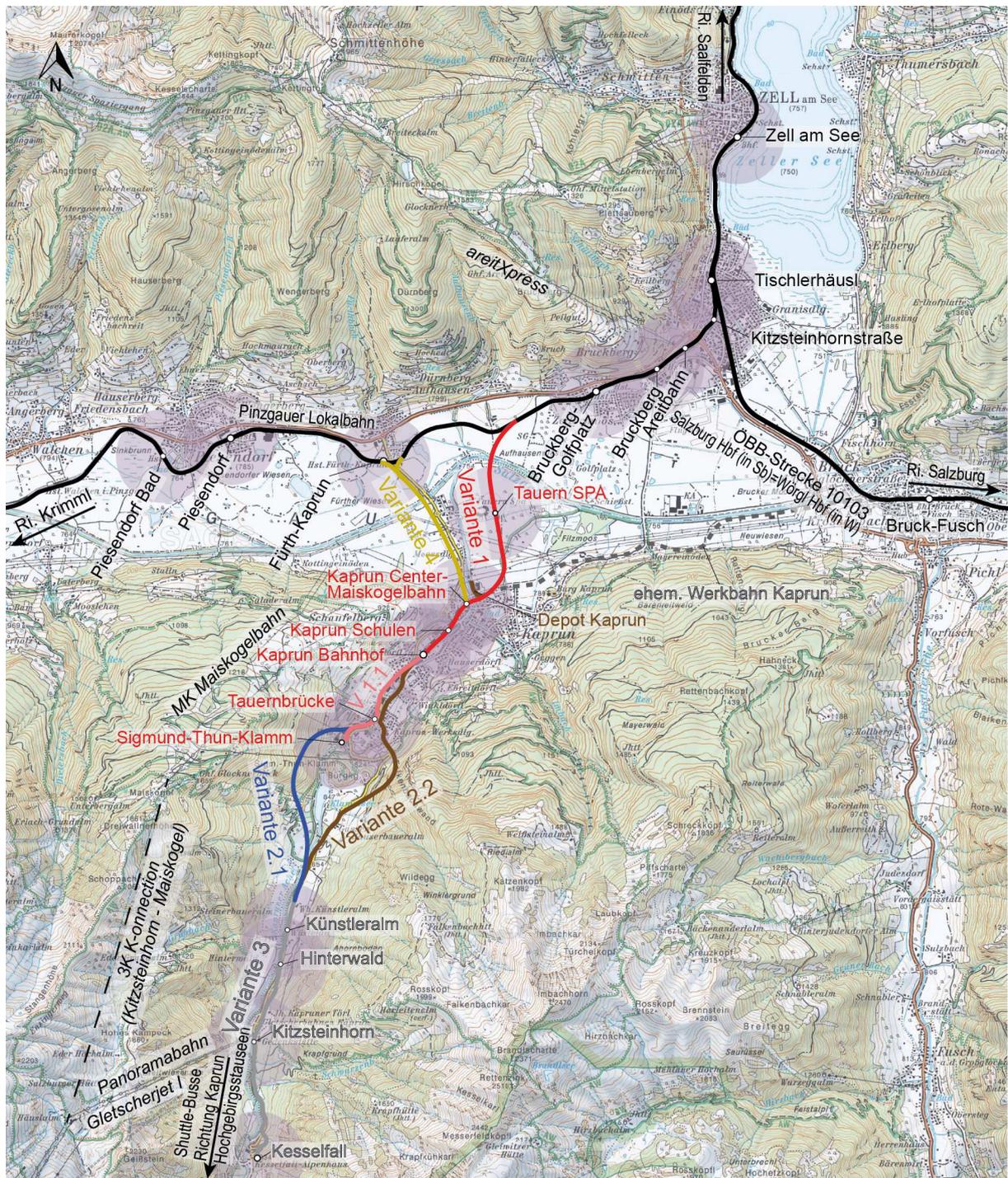


Abb. 4.2: Übersicht der möglichen Varianten für die Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)

- Verbindung der Skigebiete *Kitzsteinhorn Kaprun* und *Schmitten - Zell am See* (siehe Skilift- und Pistenplan in Abb. 4.3)
- Erschließung der Therme *Tauern Spa*
- Nutzung der ehemaligen Trasse bzw. Infrastruktur der Werkbahn Kaprun (Trassenkorridor, Brückentragwerk über die Kapruner Achse, Tunnel unter dem Kirchberg)
- Schaffung eines Busknotens inkl. P+R-Anlage beim Bf. Kaprun

Die nachstehenden Herausforderungen sind zu berücksichtigen:

- Grunderwerb im Trassenverlauf zur Strecke der ehemaligen Werkbahn Kaprun
- Brückenneubau über die Salzach
- Brückenertüchtigung bzw. -neubau über die Kapruner Ache
- Sanierung und Ertüchtigung des Tunnels unter dem Kapruner Kirchenberg
- Errichtung von Eisenbahnkreuzungen mit den Wirtschaftswegen, der Augasse, der Sigmund-Thun-Straße sowie der Schaufelbergstraße
- Sicherstellung der Haus- bzw. Betriebszufahrten entlang der geplanten Bahntrasse
- Erforderliche Auffassung bzw. Verlegung des auf der ehemaligen Trasse der Werkbahn Kaprun verlaufenden Radweges
- Entfernung der Gebäude und Einrichtungen zum Bau des Bf. Kaprun

4.4.2 Variante 1.1: Bahnhof Kaprun - Kaprun Sigmund-Thun-Klamm

Die Trasse der Variante 1.1 ist eine Weiterführung derer von Variante 1 ab dem Bf. Kaprun in südliche Richtung mit einer niveaugleichen Eisenbahnkreuzung mit der L215 Umfahrungsstraße. Im weiteren Verlauf wird der bestehende Radweg genutzt, wobei im Bereich der Pichelhofstraße eine weitere Eisenbahnkreuzung zu errichten ist. Ab der Krapfstraße ist eine straßenbahnähnliche Ausführung notwendig, wobei dabei der Menggbach überquert werden muss. Nach einem engen S-Bogen befindet sich auf dem Areal der Verbund AG die Hst. Tauernplatz zur Erschließung der südlichen Siedlungsgebiete von Kaprun. Nach der Kreuzung mit der Krafthausstraße führt wieder ein eigener Gleiskörper in einem langezogenen Linksbogen zwischen der Krafthausstraße und der Kapruner Ache bis zum Einstieg in die Sigmund-Thun-Klamm bzw. zum Kraftwerk Informationszentrum. Die Ausgestaltung sowie die Anzahl der Gleise des Haltes *Sigmund-Thun-Klamm*, welcher einem weiteren engen S-Bogen folgt, ist vom zukünftigen Betriebsprogramm sowie den begrenzten Platzverhältnissen abhängig.

Die wichtigsten Nutzen lauten im Überblick:

- Erschließung der südlichen Ortsgebiete von Kaprun

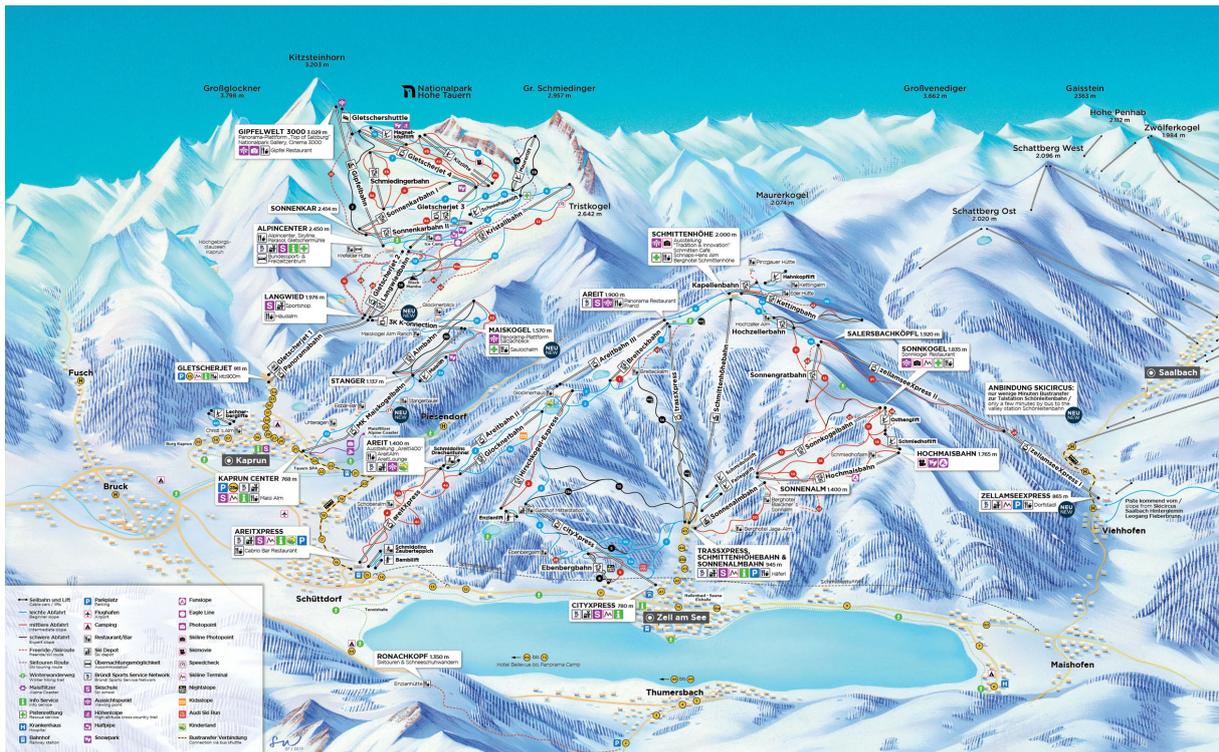


Abb. 4.3: Skilift- und Pistenplan der Skigebiete *Schmitzen* und *Kitzsteinhorn Kaprun* inkl. der Skibusverbindung der Linie 660 (N. N., 2020e)

- Anbindung der Sigmund-Thun-Klamm sowie des Kraftwerk Informationszentrum
- Nutzung der Trasse des neben der L215 verlaufenden Radweges

Diesen stehen zusammengefasst folgende Herausforderungen gegenüber:

- Errichtung von Eisenbahnkreuzungen mit der L215 Umfahrungsstraße sowie der Pichelhofstraße
- Auffassung bzw. Neubau des Radweges parallel zur L215 Umfahrungsstraße
- Führung als straßenbahnähnlicher Betrieb im Bereich der Krapfstraße und am Areal der Verbund AG
- Grunderwerb für die Hst. Tauernplatz
- Rodungs- sowie Stützmaßnahmen im Trassenverlauf zwischen Tauernplatz und Sigmund-Thun-Klamm
- Beengte Platzverhältnisse beim Streckenende (Parkplatz Sigmund-Thun-Klamm bzw. Kraftwerk Informationszentrum)

4.4.3 Variante 2.1: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm

Die Trasse der Variante 2.1 dient zur Erschließung des Kapruner Tals südlich des Burgkogels und zweigt etwa 200 Meter vor dem Streckenende der Variante 1.1 bei der Sigmund-Thun-Klamm ab, um in einen etwa 1400 Meter langen Tunnel zu führen. Der weitere Verlauf führt parallel westlich vom Klammseeweg bzw. der Kapruner Achse und kreuzt nachfolgend den Schneckenreithweg. Ungefähr 200 Meter vor dem Hotel *Künstleralm* mündet die Trasse der der Überquerung der Kapruner Ache in der der Variante 3.

Durch die Abzweigung von der Variante 1.1 sowie des gekürzten Verlaufs dieser ergeben sich zusätzlich folgende Nutzen:

- Herstellung der Verbindung zum hinteren Kapruner Tal

Ferner zu den Herausforderungen aus Variante 1.1 sind nachfolgende zu beachten:

- Errichtung eines etwa. 1400 Meter langen Tunnels
- Erforderliche Eisenbahnkreuzungen mit der Krafthausstraße und dem Schneckenreithweg
- Südliches Tunnelportal nahe beim Krafthaus Kaprun-Hauptstufe
- Verlauf des Druckstollens zwischen dem Krafthaus Kaprun-Oberstufe und dem Krafthaus Kaprun-Hauptstufe im Gebiet des geplanten Eisenbahntunnels (siehe Abb. 3.2)
- Errichtung eines Brückentragwerkes zur Überquerung der Kapruner Ache vor der Einmündung in die Trasse der Variante 3

4.4.4 Variante 2.2: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm

Wie die Trasse der Variante 2.1 hat auch die der Variante 2.2 das Ziel der Erschließung des Kapruner Tals südlich des Burgkogels, wobei diese schon am Bf. Kaprun ihren Ausgang hat, zwischen der Umfahrungsstraße und der Kapruner Ache verläuft sowie eine Kreuzung mit dem Hinterleitenweg aufweist. Nach etwa 200 Metern erfolgt die Überquerung der Kapruner Ache mit einer ungefähr 45° zur Flussachse geneigten Brückenachse, um anschließend auf die Nikolaus-Gassner-Straße einzuschwenken. Ab hier verläuft die Trasse im Straßenbahnquerschnitt mit einem Halt beim Tauernplatz. Daraufhin erfolgt eine Verschwenkung in die Barbarastraße sowie bei deren Ende die Einfahrt in einem etwa 1400 Meter langen Tunnel. Ab dem südlichen Tunnelportal führt der Streckenverlauf parallel zwischen der Kesselfallstraße und der Kapruner Ache bis zur Einmündung in die Trasse der Variante 3.

Im Vergleich zu Variante 2.1 bieten sich folgende Vorteile:

- Bessere Erschließung der südöstlichen Wohngebiete im Ortsgebiet von Kaprun
- Tunneltrasse ist frei von bestehenden Einbauten bzw. Tunneln

Durch den ab dem Bf. Kaprun veränderten Verlauf im Vergleich zu Variante 2.1 ergeben sich folgende Herausforderungen bzw. Nachteile:

- Überquerung der Kapruner Ache im Ortsgebiet von Kaprun mittels eines schiefen Brückentragwerks
- Straßenbahnbetrieb ab der oben genannten Brücke durch die Nikolaus-Gassner-Straße sowie die Barbarastraße bis zum nördlichen Tunnelportal
- Errichtung eines etwa 1400 Meter langen Tunnels
- Nichterschließung der Sigmund-Thun-Klamm sowie des Kraftwerk Informationszentrums
- Errichtung einer Eisenbahnkreuzung mit dem Schneckenreithweg

4.4.5 Variante 3: Kitzsteinhorn - Kesselfall

Die Variante 3 als Weiterführung der Varianten 2.1 bzw. 2.2 beginnt im Bereich des Hotels *Künstleralm*, wo auch ein Halt angedacht ist. Der weitere Verlauf der Trasse befindet sich weitestgehend parallel zur Kesselfallstraße als auch teilweise auf vorhandenen Personenkraftwagen (PKW)-Parkflächen und erschließt die Talstationen der *Panoramabahn* sowie des *Gletscherjet I* des Gletscherskigebietes *Kitzsteinhorn*. Im Anschluss daran schmiegt sich der Streckenverlauf eng an die Kesselfallstraße an, um zwischen dieser und der Kapruner Ache Platz zu finden. Hierbei sind zwei Brückentragwerke zur Überquerung von Gebirgsbächen erforderlich. Ungefähr 500 Meter vor dem Alpenhaus Kesselfall wird die Kesselfallstraße mit einem engen Linksbogen gekreuzt und es erfolgt die Einfahrt in einen S-förmigen etwa 450 Meter langen Tunnel, in welchem sich darauffolgend auch das Streckenende im Tunnelbahnhof Kesselfall befindet.

Zusammenfassend lauten die wichtigsten Nutzen im Überblick:

- Erschließung Künstleralm und Hinterwald
- Anbindung der Talstationen der Bergbahnen *Gletscherjet I* und *Panoramabahn* im Gletscherskigebiet *Kitzsteinhorn*
- Anschluss des Alpenhaus Kesselfall inkl. des Busbahnhofes für die Shuttle-Busse zu den Hochgebirgsstauseen

Gegenüberstehend sind die folgenden Herausforderungen zu berücksichtigen:

- Erfordernis von Stützbauwerken entlang des Streckenverlaufes neben der Kapruner Ache
- Trassenverlauf im verbauten Bereich der Talstation der Bergbahnen des Gletscherskigebietes *Kitzsteinhorn*
- Überquerung zweier Gebirgsbäche mit Brückentragwerken
- Eisenbahnkreuzung mit einem Wirtschaftsweg sowie der Kesselfallstraße
- Errichtung des Stationstunnels Kesselfall mit etwa 450 Metern Länge

4.4.6 Variante 4: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Maiskogelbahn

Die Variante 4 beschreibt einen Teil der von Schuchmann (Schuchmann, 2007) vorgeschlagenen Trasse zur schienengebundenen Erschließung von Kaprun vom Bf. Fürth-Kaprun bis zum ehemaligen Verlauf der Werkbahn Kaprun im Bereich des heutigen *Kaprun Centers* mit der Talstation der *MK Maiskogelbahn*. Die darin empfohlene Führung westlich-parallel zur L 215 Kapruner Landesstraße mit den Halten *Erlebnisbad* und *Baumbar* wurde aufgrund der mittlerweile verbauten Flächen sowie der relativ hohen Distanz einer möglichen Haltestelle zur *Therme Tauern Spa* von über 500 Metern nicht weiter verfolgt.

4.4.7 Variante 5: Rekonstruktion Werkbahn Kaprun

Durch die in Kapitel 3.2.1 erkennbaren Pendlerströme in Richtung des Zell am See erscheint eine dahin durchgehende Verbindung als sinnvoll. Eine Rekonstruktion der in Kapitel 3.4.2 erwähnten Werkbahn Kaprun auf ganzer Länge als Anschluss von Kaprun an die Salzburg-Tiroler-Bahn im Bf. Bruck-Fusch wurde, obwohl dies im Sinne von touristischen Direktverbindungen auf dem europäischen Normalspurnetz günstig wäre, nicht weiter behandelt.

4.5 Maßnahmen an der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn

Für das in Kapitel 6 vorgeschlagene Betriebskonzept sind auch auf der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn zwischen dem Zell am See und Fürth-Kaprun Ausbaumaßnahmen erforderlich.

4.5.1 Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeiten (VzG)

Gemäß dem VzG der Pinzgauer Lokalbahn (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019b) sind in einigen Bereichen nur relativ geringe Geschwindigkeiten zulässig, welche die Fahrzeit der Züge verlängern bzw. durch die Geschwindigkeitsbrüche auch einen größeren Energiebedarf aufgrund der wiederholten Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge verursachen. Es konnten der

- Abschnitt zwischen dem Bf. Zell am See und dem Bf. Tischlerhäusl sowie der
- Einfahrtbereich des Bf. Bruckberg-Golfplatz (siehe auch Kapitel 4.5.3)

für eine mögliche Erhöhung der VzG-Geschwindigkeiten identifiziert werden. Für ersteren Abschnitt sind mit 50 km/h gemäß Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019b) 25 km/h weniger zulässig, als am parallelen Streckenabschnitt der Salzburg-Tiroler-Bahn mit 75 km/h nach dem VzG der ÖBB-Infrastruktur AG (ÖBB-Infrastruktur AG, 2019b).

4.5.2 Zweigleisiger Ausbau

Infolge der durchgehend eingleisigen Strecke sind gegenläufig verkehrende Züge auf Kreuzungsbahnhöfe angewiesen, welche bei Verspätungen bzw. hohen Taktfrequenzen die Fahrplanstabilität verringern sowie zu Anschlussverlusten in Umsteigeknoten führen können. Abhängig von der

Taktfrequenz im Fahrplankonzept ist eine entsprechende Anzahl von Kreuzungspunkten notwendig. Für den am intensivsten genutzten Streckenabschnitt von der Abzweigung der Verlängerung nach Kaprun bis zum Bf. Zell am See würden eine

- zweigleisige Einfahrt des Bf. Bruckberg-Golfplatz, ein
- Ausbau der Hst. Areitbahn zu einem Bahnhof, sowie ein
- zweigleisiger Abschnitt zwischen dem Bf. Zell am See und dem Bf. Tischlerhäusl (z.B. mittels Dreischienengleis am Gleis 2 der ÖBB-Infrastruktur AG oder durch Erweiterung des Gleisraumes)

nach erster Abschätzung gemäß dem Orthofoto von *basemap.at* (Stadt Wien und Österreichische Länder bzw. Ämter der Landesregierung, 2020) realisierbare Ausbauten zur Erreichung einer höheren Kapazität bzw. Betriebsqualität sein.

4.5.3 Umbau Bahnhof Bruckberg-Golfplatz

Der Bf. Bruckberg-Golfplatz weist derzeit sehr geringe zulässige Geschwindigkeiten von nur 20 km/h (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019b) sowie zwei Seitenbahnsteige, die durch die Eisenbahnkreuzung mit dem Wiesengütlweg erreichbar sind, auf. Durch das in Kapitel 6.1 beschriebene Fahrplankonzept sind im Bf. Bruckberg-Golfplatz planmäßig Zugkreuzungen vorgesehen. Aus diesem Grund ist ein Umbau des Bahnhofes für höhere Einfahrtsgeschwindigkeiten mit Weichenverbindungen, die mit 40 km/h befahrbar sind, erforderlich.

4.5.4 Ausbau Haltestelle Areitbahn

Abhängig vom Betriebskonzept und den Maßnahmen des zweigleisigen Ausbaues scheint ein Ausbau der Hst. Areitbahn zu einem Kreuzungsbahnhof sinnvoll, um etwaige Verzögerungen im Betriebsablauf ausgleichen zu können. Hierbei ist auch eine dritte Bahnsteigkante zur Abwicklung eines mit hoher Frequenz verkehrenden Shuttle-Betriebs als Verbindung der Skigebiete *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* möglich (siehe Abb. 4.4).

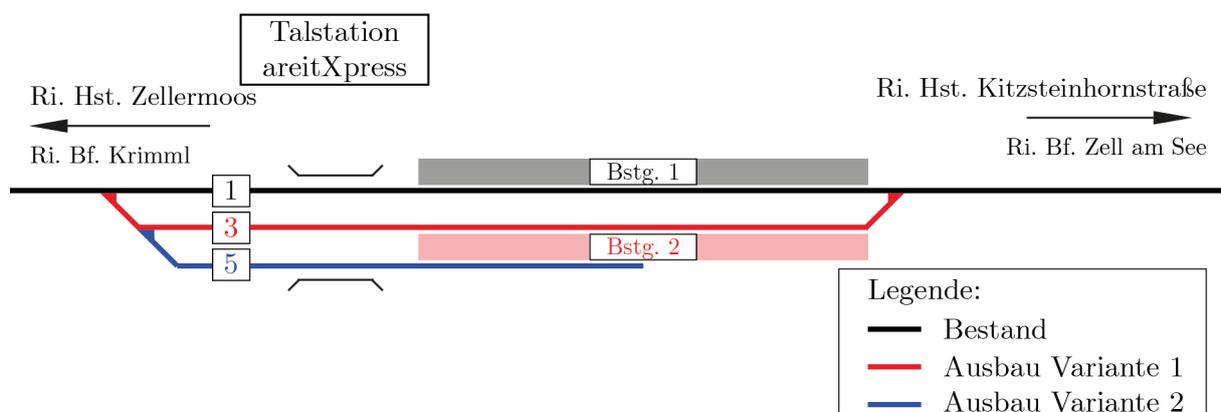


Abb. 4.4: Übersichtsschema der Hst. Areitbahn

4.5.5 Ausbau Bahnhof Zell am See

Im Bf. Zell am See stehen derzeit für die Pinzgauer Lokalbahn mit der Spurweite von 760 mm zwei Bahnsteiggleise zur Verfügung. Um beim verdichteten Fahrplankonzept gemäß Kapitel 6.1 auf etwaige Betriebseinschränkungen reagieren zu können ist ein zusätzlich nutzbares Bahnsteiggleis zweckmäßig. Aufgrund der innerstädtischen sowie durch den Zeller See begrenzten Lage des Bahnhofes ist eine Erweiterung nur unter großem Aufwand realisierbar. Eine Möglichkeit wäre das Gleis 3 im Bahnhofsteil der ÖBB-Infrastruktur AG mit einem Dreischienengleis auszustatten und somit den Bahnsteig 1 zusätzlich für die Pinzgauer Lokalbahn nutzbar zu machen. Weiters ist eine Verlängerung des Bahnsteiges 12 im Lokalbahnbereich des Bahnhofes mitsamt einer Weichenverbindung und Trennung in zwei Sektoren denkbar, um insgesamt drei Bahnsteigkanten mit jeweils einer Länge von 50 m zur Verfügung zu haben (siehe Abb. 4.5).

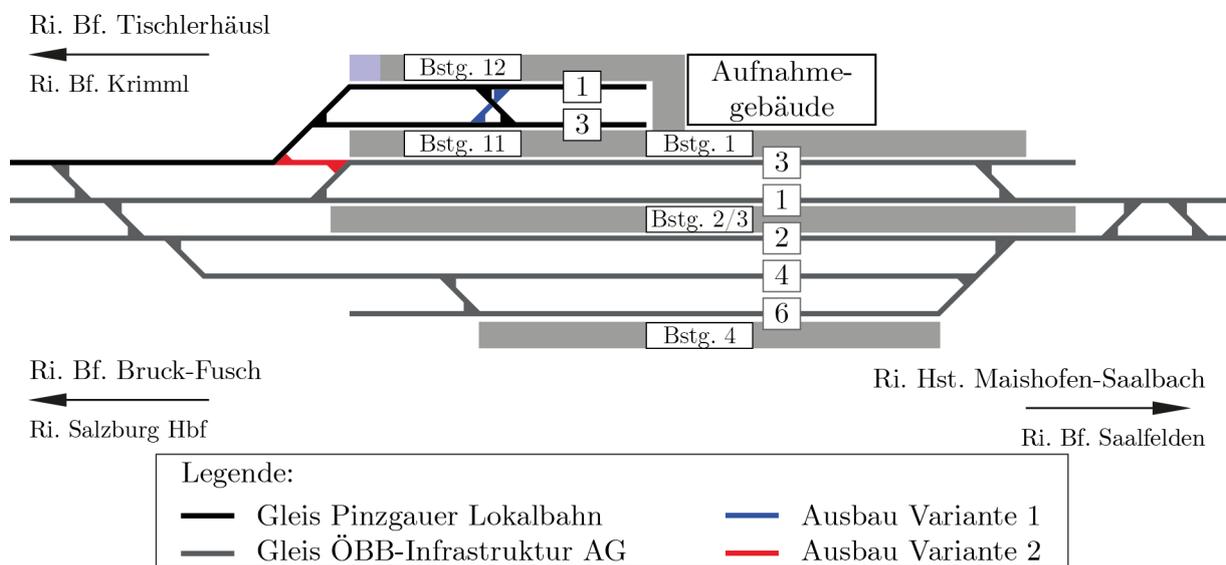


Abb. 4.5: Übersichtsschema des Bf. Zell am See

Kapitel 5

Trassierung

5.1 Grundlagen der Linienführung

Die Trassierung der verschiedenen Varianten erfolgte nach den derzeit in Österreich gültigen Richtlinien und Vorschriften für Bahnen mit der Spurweite von 760 mm. Dafür wurden die *ÖBB Dienstvorschrift B 51: Oberbauvorschrift* (Österreichische Bundesbahnen, 1980a) sowie die *ÖBB Dienstvorschrift B 52: Oberbau, Technische Grundsätze* (Österreichische Bundesbahnen, 1980b) angewendet. Weiters wurde das *Regelwerk 01.03: Linienführung von Gleisen* (ÖBB-Infrastruktur AG, 2016) für in den vorher angeführten Richtlinien nicht behandelten Themen herangezogen.

5.1.1 Entwurfsgeschwindigkeit

Als Entwurfsgeschwindigkeit V_E wurden 80 km/h gewählt.

5.1.2 Lichtraumprofil

Das vorgeschriebene *Lichtraumprofil Pinzgauer Lokalbahn* (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2008) ist in Abbildung 5.1 angeführt. Dieses entspricht breitenmäßig auch den *ZOV 7: Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften - Umgrenzung des lichten Raumes und Gleisabstand* (Österreichische Bundesbahnen, 1980c).

5.1.3 Entwurfselemente und Trassierungsparameter

Die nachfolgenden Trassierungsparameter wurden gemäß *ÖBB Dienstvorschrift B 51: Oberbauvorschrift* (Österreichische Bundesbahnen, 1980a) und *ÖBB Dienstvorschrift B 52: Oberbau, Technische Grundsätze* (Österreichische Bundesbahnen, 1980b) für die in Kapitel 4 angeführten Varianten festgelegt:

- minimaler Bogenradius: 60 m
- Mindestlänge von Bahnsteigen in Haltestellen und Bahnhöfen: 100 m (zwischen Bruckberg-Golfplatz und Kaprun Bahnhof) bzw. 50 m (im restlichen Streckenverlauf)
- maximale Längsneigung in Haltestellen: 12,5‰, in Bahnhöfen: 1,5‰
- maximale Überhöhung der bogenaußenliegenden Schiene: 60 mm
- kleinste auszuführende Überhöhung: 10 mm

- größte zulässige Überhöhung im Bahnsteigbereich: 25 mm
- größte theoretisch zulässige Seitenbeschleunigung: $0,654 \text{ m/s}^2$
- größter zulässiger Ruck: $0,350 \text{ m/s}^3$ in Strecken- und durchgehenden Hauptgleisen bzw. $0,700 \text{ m/s}^3$ in sonstigen Haupt- und Nebengleisen
- maximale Neigung der Überhöhungsrampe: 1:12 V (jedoch nicht steiler als 1:400)
- minimale Neigung der Überhöhungsrampe: 1:1600
- Mindestausrundungsradien der Neigungswechsel: 1000 m
- minimale Länge der Zwischengeraden sowie Übergangsbögen: 10 m

Aufgrund der ausschließlich im Personenverkehr geplanten Bedienung sind die gemäß *Regelwerk 01.03: Linienführung von Gleisen* geltenden Grenzwerte für die Längsneigung in Streckengleisen von 12,5‰ bzw. 33‰ nicht als Trassierungsparameter festgelegt. Als Grundlage für die Maximallängsneigung wurde als Referenzprojekt die Trassierung des Ruckhaldetunnels der Durchmesserlinie Appenzell-St. Gallen-Trogen mit einer Steigung von bis zu 80‰ angenommen (Baumgartner; Liniger, 2014).

Gemäß der Diplomarbeit von Fellingner (Fellinger, 2017) über *Trassierungsrichtlinien von Schmalspurbahnen - Maßnahmen zur Effizienz- und Potenzialsteigerung der Schmalspurtrassierungsrichtlinie in Österreich* ist die *ÖBB Dienstvorschrift B 52: Oberbau, Technische Grundsätze* (Österreichische Bundesbahnen, 1980b) im Vergleich zu den Grenzwerten der Schweizer Schmalspurbahntrassierungsrichtlinien als relativ konservativ im Bezug auf die Sicherheitsanforderungen für Querbeschleunigung, Kippmoment sowie Überhöhung und nicht mehr dem Stand der Technik entsprechend, anzusehen. Fellingner empfiehlt eine Anpassung der Grenzwerte für die Schmalspurbahnen gemäß Tabelle 5.1.

Tab. 5.1: Empfohlene Anpassung der Grenzwerte der ÖBB Dienstvorschrift DV B 52 für Schmalspurbahnen mit 760 mm Spurweite; in Anlehnung an Fellingner (Fellinger, 2017, S. 84)

Grenzwert	Bestehende Version der DV B 52	Adaptierte Version der DV B 52
Überhöhung [mm]	60	75
Überhöhungsüberschuss [mm]	-	50 - 65
Überhöhungsfehlbetrag [mm]	-	50 - 75
Abrupter Wechsel der Fehlüberhöhung [mm/s]	-	54
Verwindung [%]	2,5	2,5
Änderung des Überhöhungsfehlbetrages [mm/s]	-	55
Änderung der Überhöhung mit der Zeit [mm/s]	17	30
Abrupte Änderung der Seitenbeschleunigung [mm/s ²]	0,65	0,85

Wenngleich eine Anpassung der bestehenden *ÖBB Dienstvorschrift B 51: Oberbauvorschrift* (Österreichische Bundesbahnen, 1980a) zweckmäßig erscheint, wurde im Rahmen dieser Arbeit

auf den aktuell gültigen Stand zurückgegriffen. Etwaige Erhöhungen der VzG-Geschwindigkeit durch Anwendung einer adaptierten Version der Trassierungsvorschrift haben ausschließlich positive Auswirkungen auf die Fahrzeit und tragen somit zur Verbesserung der Betriebsstabilität bei.

In den Bahnhöfen sowie Abzweigungen wurden die Weichen

- EW 49E1-110-1:7, mit einer Zweiggleisgeschwindigkeit von 30 km/h,
- EW 49E1-190-1:9, mit einer Zweiggleisgeschwindigkeit von 40 km/h, sowie die Weiche
- EW 49E1-760-1:14, mit einer Zweiggleisgeschwindigkeit von 80 km/h

angewendet.

5.2 Querschnittsgestaltung

Das Regelprofil wurde basierend auf dem erforderlichen *Lichtraumprofil Pinzgauer Lokalbahn* (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2008) erstellt, wobei für den Vollbahnbereich das Schienenprofil 49E1 (S49) mit Betonschwellen und für den Straßenbahnbereich das Schienenprofil 57R1 (Ph37) verwendet wurde (siehe Tab. 5.2).

Tab. 5.2: Übersicht der verwendeten Schienenprofile (voestalpine Schienen GmbH, 2020)

Schienenprofil	49E1 (S49)	57R1 (Ph37)
Schientyp	Vignol	Rillen
Gewicht [kg/m]	49,39	56,54
Fahrkopfbreite [mm]	67	51,92
Schienenhöhe [mm]	149	182
Schienenfußbreite [mm]	125	150
Schienenstegbreite [mm]	14	11
Rillenbreite [mm]	-	60,45 ¹
Einbauneigung	1:20/1:40	-

5.3 Beschreibung der Trassenverläufe

5.3.1 Variante 1: Abzweigung Pinzgauer Lokalbahn - Kaprun Bahnhof

Lage

Der erste Abschnitt, Variante 1, der Trasse zur Anbindung von Kaprun an die Pinzgauer Lokalbahn (Lageplan siehe Abb. 5.2) zweigt etwa bei Kilometer 4,8 von der Bestandsstrecke mit einer Weiche EW 49E1-760-1:14 ab, um eine schnelle Verbindung mit maximal 80 km/h herzustellen. Nach einer anschließenden Gerade folgt ein überhöhter Linksbogen mit einem Radius von 400 m um in Nord-Süd-Richtung zu schwenken. Ungefähr bei Kilometer 0,5 ist zur Überquerung der Salzach ein etwa 50 m langes Brückentragwerk erforderlich. Abhängig von dessen Ausführung, sind bei zu geringer Durchfahrthöhe beiderseits der Brücke Eisenbahnkreuzungen

¹Gemäß ZOV 7: Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften - Umgrenzung des lichten Raumes und Gleisabstand (Österreichische Bundesbahnen, 1980c) ist eine minimale Rillenbreite von 45 mm erforderlich.

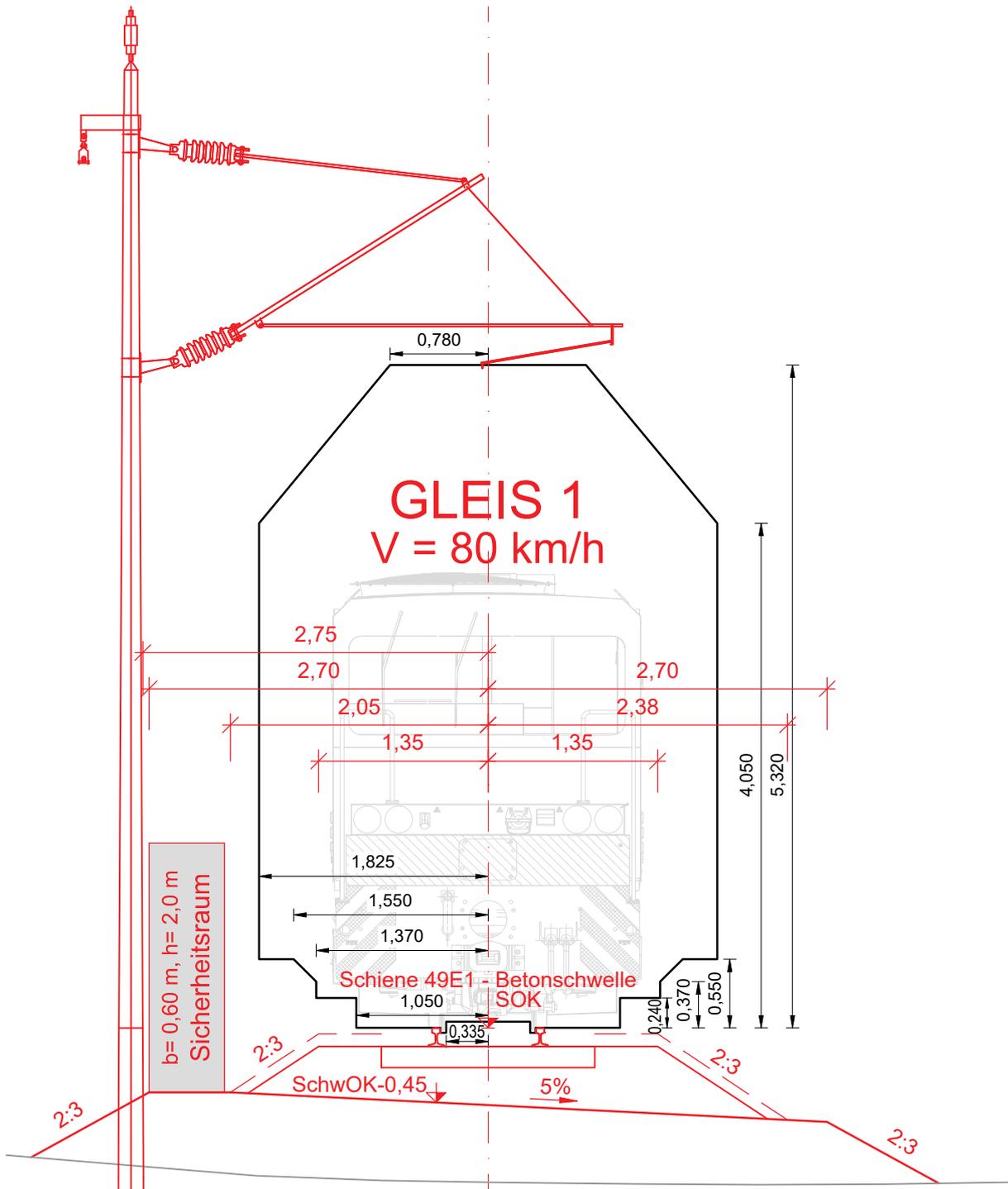


Abb. 5.1: Regelquerschnitt für die Verlängerung nach Kaprun mit dem Lichtraumprofil der Pinzgauer Lokalbahn (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2008)

mit den bestehenden Wirtschaftswegen zu errichten. Der Halt *Kaprun Tauern Spa* kann abhängig vom geplanten Fahrplan als Haltestelle oder Bahnhof (auch mit Achssprung, bei fahrplanmäßigen Zugkreuzungen) ausgeführt werden. Im Anschluss an die Bahnhofsgerade folgt ein Rechtsbogen mit Radius 280 m, um in die ehemalige Trasse der Werkbahn Kaprun einzuschwenken. Im sich danach befindlichen Geradenstück ist eine Abzweigung nach Norden zu einem möglichen Depot im Bereich des heutigen Bauhofes der Gemeinde Kaprun realisierbar. Nach vorheriger Kreuzung mit der Augasse erfolgt die Überquerung der Kapruner Ache mit dem sich bereits im Bestand befindlichen Brückentragwerk, wobei nachfolgend eine Eisenbahnkreuzung mit der Sigmund-Thun-Straße erforderlich ist. Im anschließenden Linksbogen mit einem Radius von 250 m ist bei Kilometer 2,8 die Hst. *Kaprun Center* angeordnet. Am Bogenende führt die Trasse in den Bestandstunnel unter dem Kapruner Kirchenberg, um nach dem Tunnelportal die Schaufelbergstraße zu kreuzen, und anschließend die Hst. *Kaprun Schulen* bei Kilometer 2,8 zu erreichen, welche sich in einem Rechtsbogen mit Radius 400 m befindet. Die Trasse der Variante 1 endet nach weiteren 400 m am Bf. *Kaprun*, welcher zweigleisig mit einem Mittelbahnsteig und einer Einfahrtsweiche vom Typ EW 49E1-110-1:7 ausgestattet ist. Für einen Busanschluss des Bahnhofes ist westlich der Gleise eine Bushaltestelle mit Umkehrmöglichkeit sowie direktem Anschluss an die Umfahrungsstraße denkbar. Alle Bahnhöfe und Haltestellen der Variante 1 sind mit Bahnsteiglängen von 100 m geplant.

Höhe

Im Höhenverlauf (Längenschnitt siehe Abb. 5.3) schließt die Trasse zuerst an die Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn an, um nachfolgend zur Überquerung der Salzach vor dem Brückentragwerk mit 6‰ zu steigen bzw. danach zu fallen. Um einen Bahnhof *Kaprun Tauern Spa* zu ermöglichen, ist in diesem Bereich ein horizontaler Verlauf angestrebt. Der Anstieg zur Überquerung der Kapruner Ache erfolgt mit einer Neigung von 12,5‰, welcher 175 m vor dem Brückentragwerk endet, um einen horizontalen Bereich für die Anbindung an ein mögliches Depot am Standort des heutigen Bauhofes der Gemeinde Kaprun zuzulassen. Ab der Hst. *Kaprun Center* wird die Neigung von 3‰ des bestehenden Tunnels unter dem Kapruner Kirchenberg übernommen, auf welche ein Abschnitt mit 12‰ folgt, um den Bf. *Kaprun* mit einer regelkonformen Längsneigung (ÖBB-Infrastruktur AG, 2016) von 1,5‰ ausführen zu können. In dem Bereich zwischen der Hst. *Kaprun Schulen* und des Bf. *Kaprun* ist auf die Anbindung der nächst der Kapruner Ache gelegenen Gebäude zu achten.

Haltestelle/Bahnhof Kaprun Center

Die Hst. *Kaprun Center* befindet sich in einem Linksbogen mit einem Radius von 250 m zur Erschließung der Talstation des *Kaprun Center* mit der Talstation der *MK Maiskogelbahn*. Bei einer Ski-Shuttle-Verbindung (siehe Kapitel 6.2) zwischen den Skigebieten *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* ist in Abb. 5.4 eine Variante (in blauer Farbe) mit einem zusätzlichen Bahnsteig von 50 m Länge zur Aufnahme dieser Verkehre, dargestellt. Dieses zusätzliche Gleis zweigt bei Kilometer 2,3 am Brückentragwerk über die Kapruner Ache mit einer Weiche EW 110-1:7 nach rechts der Bahn ab, um im Bereich der bestehenden Zufahrt zu den Parkplätzen am *Kitzsteinhornplatz* zu enden.

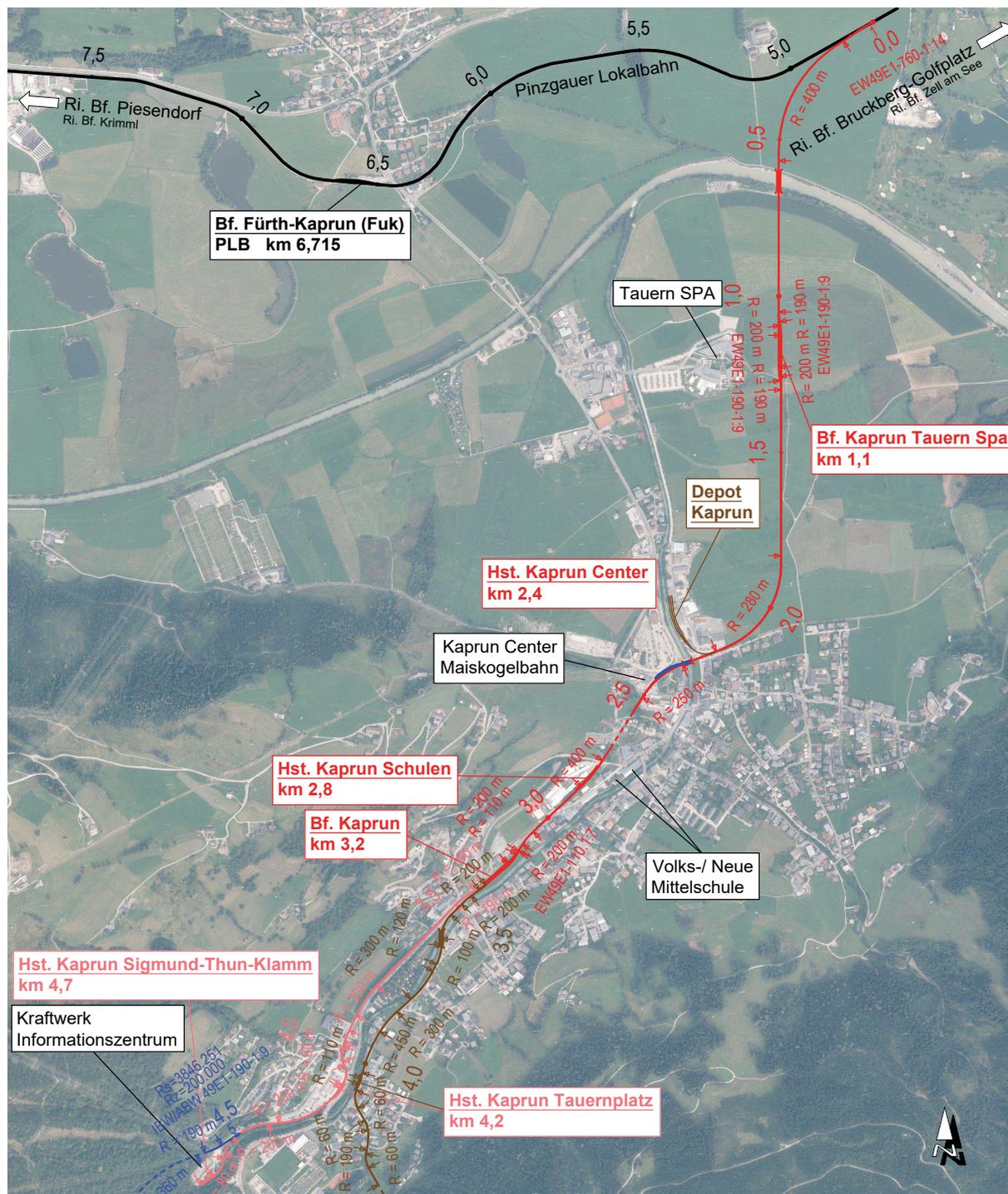


Abb. 5.2: Lageplan der Varianten 1 und 1.1 (M = 1:20000)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

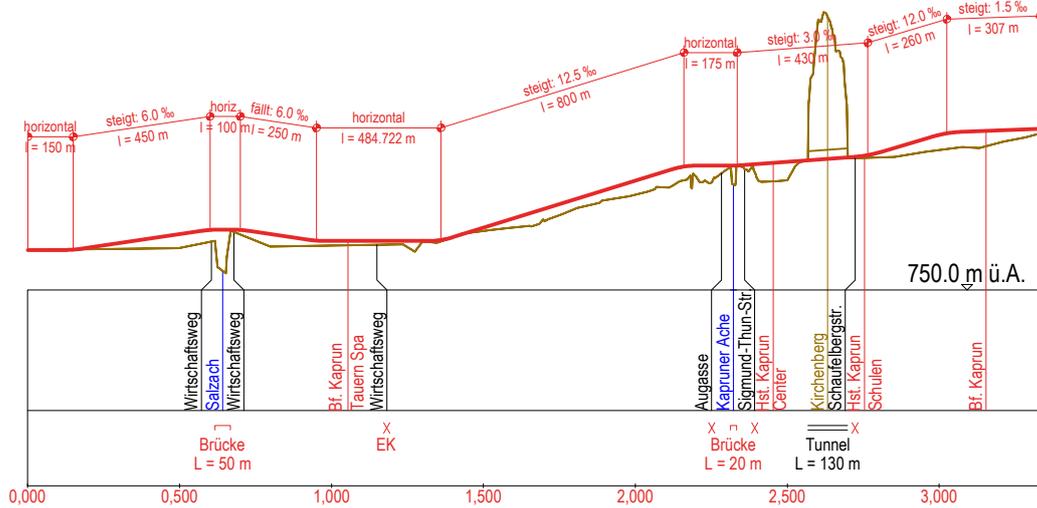


Abb. 5.3: Längenschnitt der Variante 1 (M = 1:25000/1000)



Abb. 5.4: Lageplan der Varianten der Hst. bzw. des Bf. Kaprun Center (M = 1:2000)

5.3.2 Variante 1.1: Kaprun Bahnhof - Kaprun Sigmund-Thun-Klamm

Lage

Die Weiterführung der Variante 1 als Variante 1.1 (Lageplan siehe Abb. 5.2) beginnt am Gleis 1 des Bf. *Kaprun* und kreuzt mit einer Gegenbogenfolge mit einem Radius von 190 m die L215 Umfahrungsstraße sowie anschließend die Pichlhofstraße. Die Strecke verläuft ab hier parallel zur L215 Umfahrungsstraße auf dem heutigen Radweg, um mit einem Linksbogen mit einem Radius von 300 m in die Krapfstraße einzumünden, wo fortan ein straßenbahnähnlicher Betrieb notwendig wird, da aus Platzgründen kein eigenständiger Gleiskörper ausführbar ist. Für diesen Bereich erscheint es denkbar, diesen Streckenabschnitt trotzdem als Nebenbahn zu betreiben, wie dies auch bei der Lokalbahn Wien-Baden in der Feldgasse in Guntramsdorf ausgeführt wurde (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016), um den hohen Anforderungen an Straßenbahnfahrzeuge bzw. den -betrieb (StrabVO 1999, siehe Kapitel 2.3) zu vermeiden. Nach der Überquerung des Menggrabens mittels eines 20 m langen Brückentragwerkes sowie einer weiteren Gegenbogenfolge mit dem Mindestradius von 60 m befindet sich bei Kilometer 4,7 die Hst. *Kaprun Tauernplatz* auf dem Gelände des Parkplatzes der Verbund AG. Nach der Eisenbahnkreuzung mit der Krafthausstraße in einem Radius von 250 m, folgt die Trasse der ebendieser Straße sowie der Kapruner Ache, wobei sie zwischen diesen beiden verläuft. Die Strecke endet nach einer dritten Gegenbogenfolge mit dem Radius von 80 m an der Hst. *Kaprun Sigmund-Thun-Klamm*. Aufgrund der engen Platzverhältnisse sind in Variante 1.1, im Gegensatz zu Variante 1, nur Bahnsteige mit einer Länge von 50 m möglich.

Höhe

Da die Lagetrassierung nah an den bestehenden Straßen verläuft, bzw. diese kreuzt und mitbenutzt ist die Gradienten (Längenschnitt siehe Abb. 5.5) vorbestimmt und unterscheidet sich daher wenig vom Bestandsgelände. Im Bereich der Parallelführung zur L215 Umfahrungsstraße ist dazu eine Neigung von 14‰ erforderlich, wobei sich im Verlauf parallel zur Krafthausstraße der steilste Teilabschnitt mit 16‰ befindet. Für die Endhaltestelle *Kaprun Sigmund-Thun-Klamm* kann eine geringe Neigung von 2‰ gewählt werden.

5.3.3 Variante 2.1: Sigmund-Thun-Klamm - Künstleralm

Lage

Die Variante 2.1 zweigt bei Kilometer 4,5 mit einer Außenbogenweiche ABW 49E1-190-1:7 von der Trasse der Variante 1.1 ab (Lageplan siehe Abb. 5.6) und ist somit eine Weiterführung dieser. Nach der Eisenbahnkreuzung mit der Krafthausstraße und einem Rechtsbogen mit einem Radius von 190 m folgt das nördliche Tunnelportal bei Kilometer 4,6. Im 1400 m langen Tunnel schwenkt die Trasse zunächst mit einem Linksbogen ($R = 360$ m) in Richtung Süden, um sich nach einer Gerade mit Hilfe einer Gegenbogenfolge mit einem Radius von 400 m an den Flusslauf der Kapruner Ache anzuschmiegen. Nach dem südlichen Tunnelportal bei Kilometer 6,0 wird nach einer abermaligen Gegenbogenfolge mit einem Radius von 360 m sowie einer Eisenbahnkreuzung mit einem Wirtschaftsweg die Kapruner Ache mit einem etwa 40 m langen Brückentragwerk überquert um dann in den Streckenverlauf der Variante 3 einzubinden.

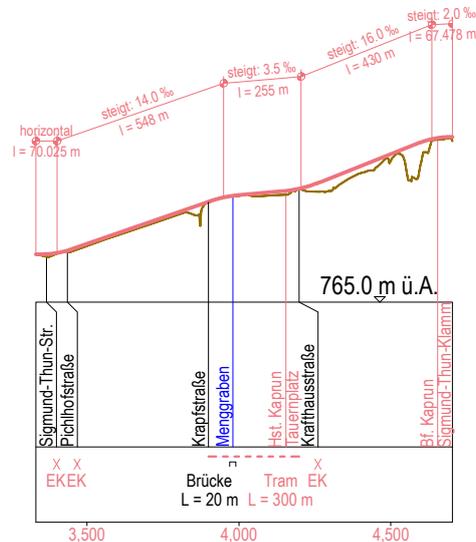


Abb. 5.5: Längenschnitt der Variante 1.1 (M = 1:25000/1000)

Höhe

Die Gradiente (Längenschnitt siehe Abb. 5.7) wird nach der Kreuzung mit der Krafthausstraße sowie von der Längsneigung von 46‰ im 1400 m langen Tunnel geprägt. Nach dem südlichen Tunnelportal ist eine Steigung von 15‰ erforderlich um einerseits die Eisenbahnkreuzung mit einem Wirtschaftsweg als auch die Überquerung der Kapruner Ache mit Hilfe eines Brückentragwerks zu gewährleisten.

5.3.4 Variante 2.2: Sigmund-Thun-Klamm - Künstlernalm

Lage

Die Variante 2.2 (Lageplan siehe Abb. 5.6) als weitere Möglichkeit zur Erschließung des Kapruner Tales hinter dem Höhenrücken des Burgkogels beginnt am Ende der Variante 1 am Gleis 2 des Bf. Kaprun. Nach einer kurzen Parallelführung mit der L215 Umfahrungsstraße sowie der Eisenbahnkreuzung mit dem Hinterleitenweg wird die Kapruner Ache mittels einer Gegenbogenfolge mit den Radien 120 m und 100 m sowie einem Brückentragwerk mit etwa 50 m Länge überquert. Danach folgt die Einbindung in die Nikolaus-Gassner-Straße, wo fortan eine Führung als Straßenbahn erforderlich wird. Vor dem Einschwenken der Trasse in die Barbarastraße mittels eines Bogens mit dem Mindestradius von 60 m befindet sich die Hst. Kaprun Tauernplatz bei Kilometer 4,2 mit einem Bahnsteig von 50 m Länge. Am Ende des Streckenverlaufes durch die Barbarastraße befindet sich das nördliche Tunnelportal. Der 1400 m lange Tunnel wird zunächst durch einen Bogen mit einem Radius von 400 m gebildet. Gegen Ende des Tunnels bei Kilometer

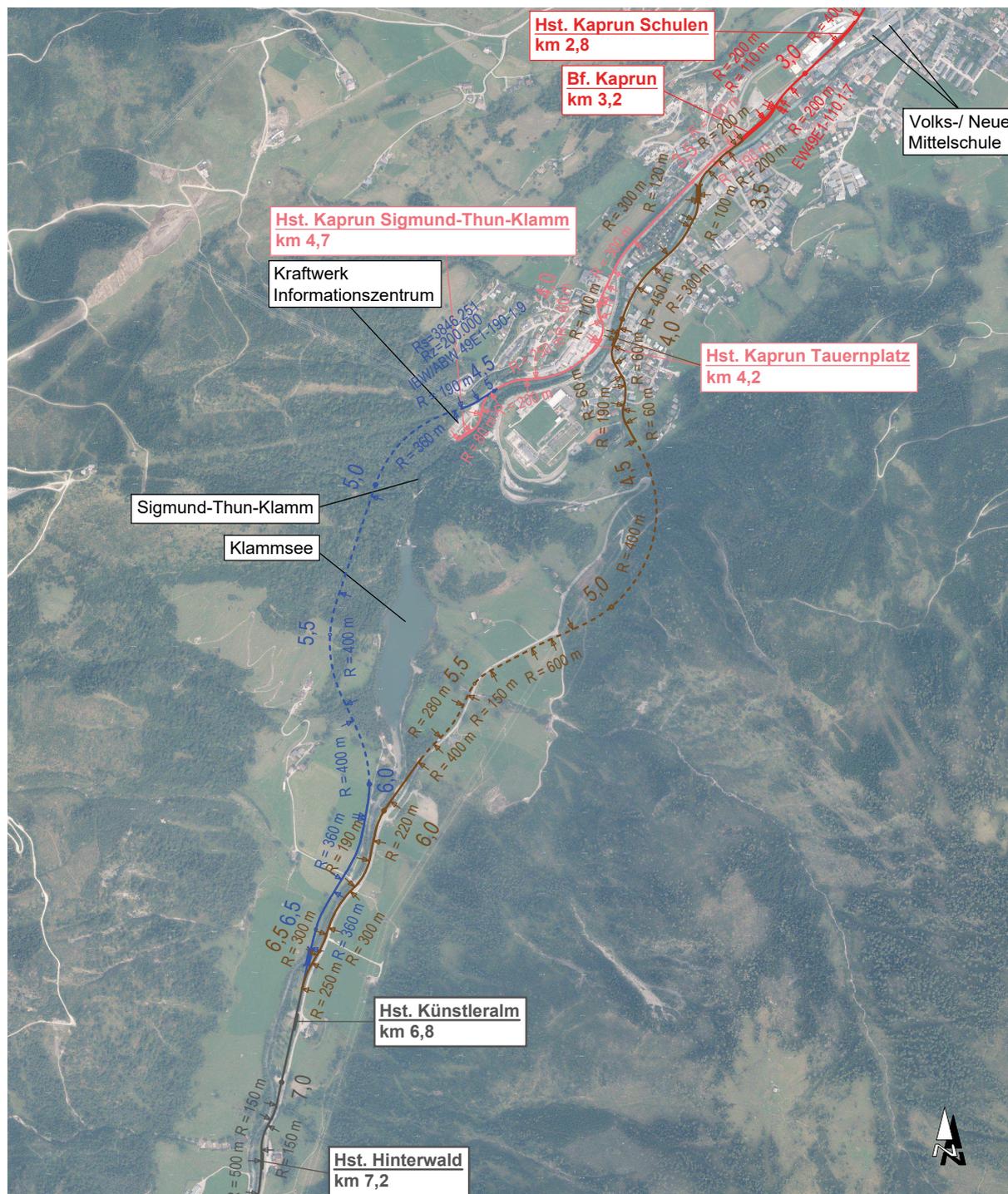


Abb. 5.6: Lageplan der Varianten 2.1 und 2.2 (M = 1:20000)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

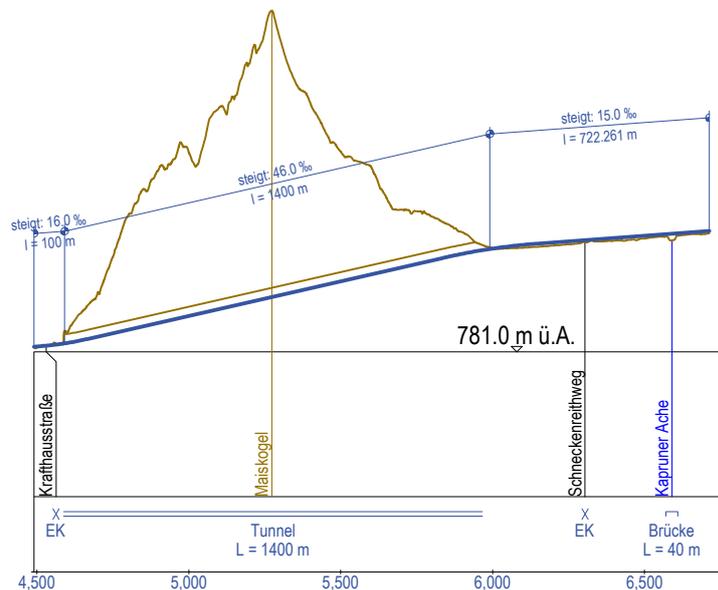


Abb. 5.7: Längenschnitt der Variante 2.1 (M = 1:25000/10000)

5,8 schmiegt sich die Trasse an die Kesselfallstraße an und verläuft zwischen dieser sowie der Kapruner Ache bis zur Einmündung der Trasse der Variante 3.

Höhe

Die Gradiente (Längenschnitt siehe Abb. 5.8) folgt die der Gradiente von Variante 1 aus dem Bf. Kaprun mit 1,5‰. Für die Überquerung der Kapruner Ache sowie der Trassierung als Straßenbahn in der Nikolaus-Gassner-Straße sowie der Barbarastraße muss dem Bestandsstraßenniveau entsprochen werden. Die Neigung im Tunnel beträgt 43,0‰, wobei sich das Tunnelportal bei ungefähr Kilometer 4,4 befindet. Der Höhenverlauf bis zur Einbindung in die Trasse der Variante 3 erfolgt bestandsnah mit 10‰ bzw. 15‰.

5.3.5 Variante 3: Künstleralm - Kesselfall

Lage

Der Schnittpunkt der Varianten 2.1 bzw. 2.2 stellt den Beginn der Variante 3 dar, dessen Trasse (Lageplan siehe 5.9) zwischen der Kapruner Ache und der Kesselfallstraße sowie parallel zu Letzterer verläuft. Bei Kilometer 6,8 ist die Hst. Künstleralm situiert. Nach einer Gegenbogenfolge mit einem Radius von 150 m befindet sich bei Kilometer 7,2 die Hst. Hinterwald. Im weiteren Verlauf folgen großzügige Radien von 500 m über den Parkplatz der Kitzsteinhorn Bergbahn. Kurz nach einem Linksbogen mit einem Radius von 100 m liegt der Bf. Kitzsteinhorn bei Kilometer 8,3. Das zweite, westlich verlaufende Bahnhofsgleis zweigt bei Kilometer 8,2 mit einer EW 49E1-110-1:7 ab und endet nach paralleler Führung bei Kilometer 8,55 mittels einer EW

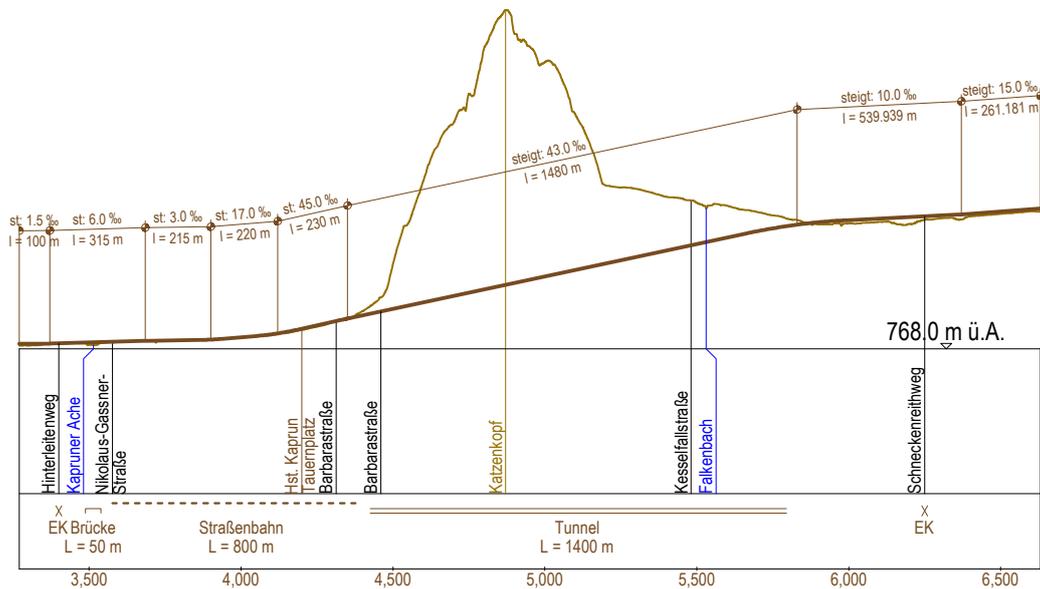


Abb. 5.8: Längenschnitt der Variante 2.2 (M = 1:25000/10000)

49E1-190-1:9 wieder im Gleis 1. Durch die beengten Platzverhältnisse sind für die parallele Trassenführung zur Kesselfallstraße anschließend geringe Radien im Bereich von 100 m bis 250 m erforderlich. Des Weiteren sind Brückentragwerke für die Überquerung zweier Gebirgsbäche mit etwa 20 m Spannweite nötig. Vor dem Höhenrücken, auf dem sich das Alpenhaus Kesselfall befindet, schwenkt die Trasse mit einem Linksbogen mit Radius 80 m nach der Eisenbahnkreuzung mit der Kesselfallstraße, in den Stationstunnel des Streckenendbahnhofes Kesselfall, der mit einem Mittelbahnsteig ausgestattet ist. Die Erreichbarkeit der Bahnsteigebene vom Bestandsniveau muss daher mit Stiegen, Rolltreppen sowie Aufzügen hergestellt werden. Sämtliche Bahnsteige der Variante 3 haben eine Länge von 50 m.

Höhe

Ab dem Beginn der Variante 3 folgt die Gradienten (Längenschnitt siehe Abb. 5.10) der Kesselfallstraße so weit wie möglich. Teilweise sind größere Kuppen- bzw. Wannenausrundungsradien als bei der Straßengradienten erforderlich, was zusätzliche Stützmaßnahmen im Streckenverlauf bzw. Anpassungen der Kesselfallstraße an die Trasse der Variante verursacht. Die größten Steigungen betragen 60‰ im hinteren Streckenabschnitt. Aufgrund des Höhenrückens im Bereich des Alpenhaus Kesselfall ist ein Stationstunnel für den Bf. Kesselfall mit einer Überdeckung von ungefähr 60 m nötig, welcher mit der Maximallängsneigung von 1,5‰ ausgeführt werden kann.

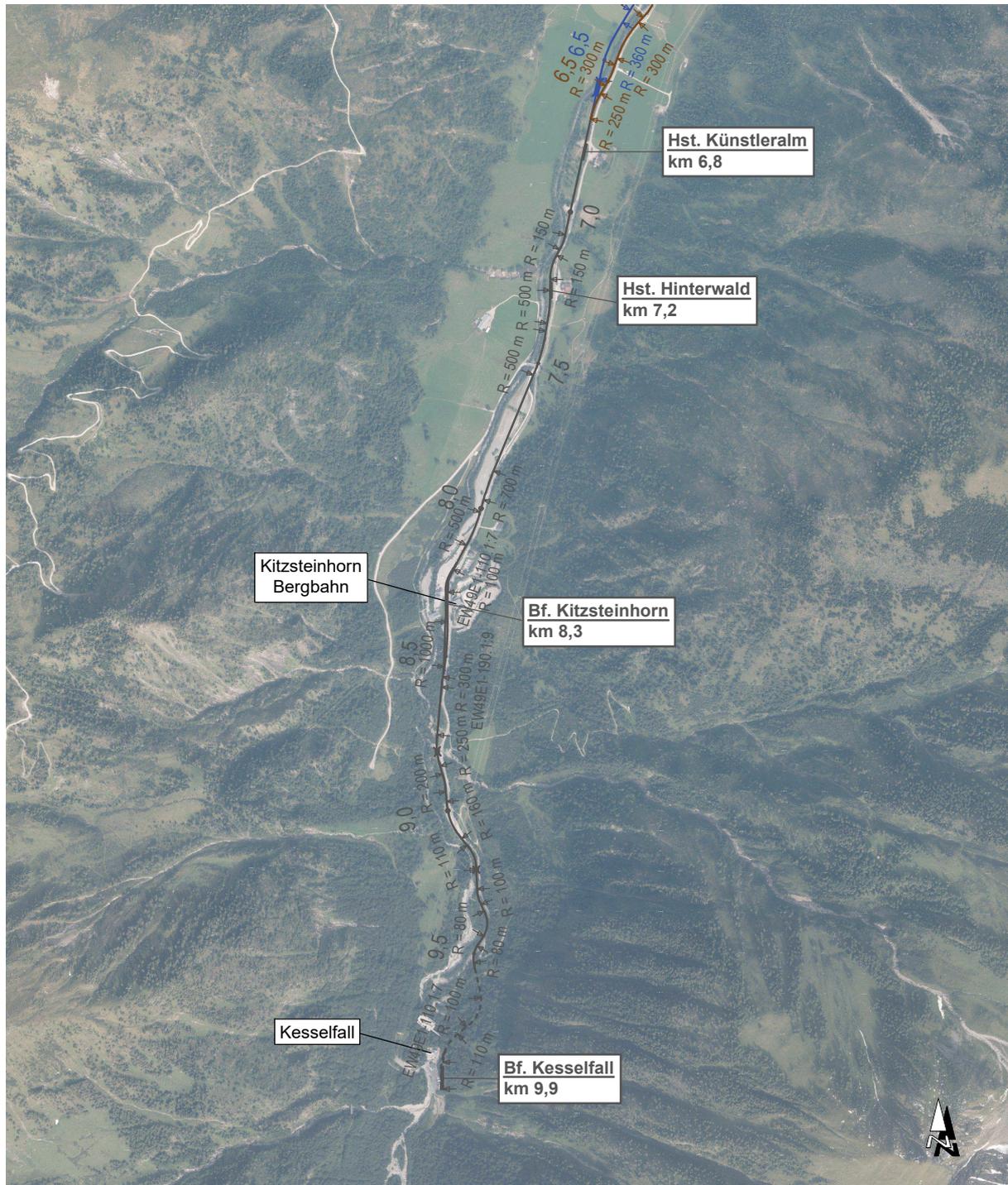


Abb. 5.9: Lageplan der Variante 3 (M = 1:20000)

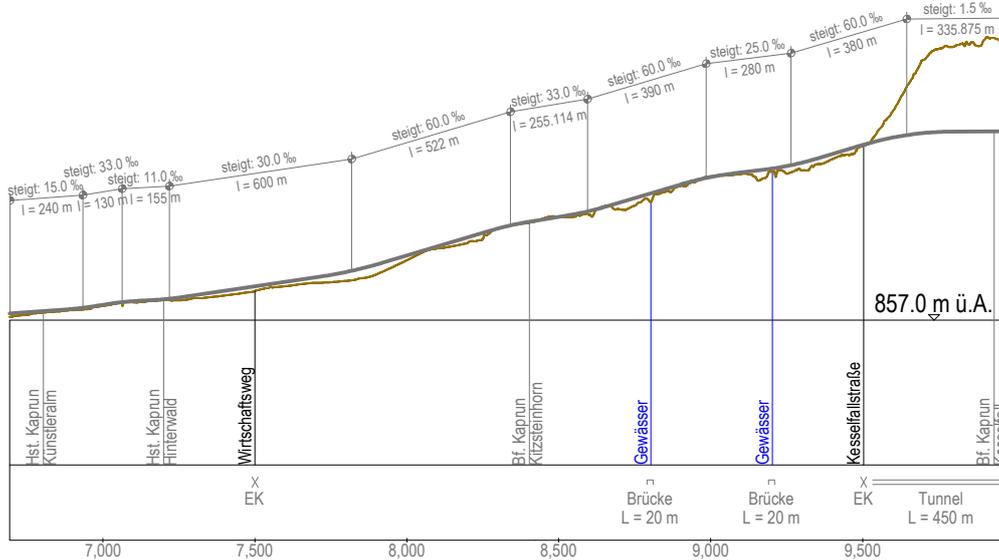


Abb. 5.10: Längenschnitt der Variante 3 (M = 1:25000/10000)

5.4 Gegenüberstellung der Trassenverläufe

In Tabelle 5.3 sind die wesentlichen Eigenschaften der unterschiedlichen Varianten gegenübergestellt. Etwaige zusätzliche Gleise, Weichen oder Bahnsteige für einen Ski-Shuttle-Betrieb mit hohen Taktfrequenzen oder für das mögliche Depot in Kaprun sind darin nicht berücksichtigt. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass der Tunnel unter dem Kapruner Kirchenberg in Variante 1 bereits vorhanden ist und somit kein Neubau, jedoch aber eine Ertüchtigung erforderlich ist.

Tab. 5.3: Gegenüberstellung der Trassenverläufe (ohne Infrastrukturerfordernisse für Ski-Shuttle-Verkehre und Depot Kaprun)

	Var. 1	Var. 1.1	Var. 2.1	Var. 2.2	Var. 3
Länge Strecke [km]	3,41	1,37	2,22	3,36	3,29
Länge Straßenbahnabschnitt [m]	-	300	-	800	-
Länge Tunnel [m]	130	-	1400	1400	450
Länge Brückentragwerke [m]	70	20	40	50	40
Anzahl Bahnhöfe und Haltestellen	4	2	-	1	4
Länge Bahnsteige [m]	4 x 100	2 x 50	-	1 x 50	4 x 50
Anzahl Weichen	4	-	(1)	-	3
Anzahl Eisenbahnkreuzungen	4	3	2	2	2

5.5 Maßnahmen an der Bestandsstrecke

5.5.1 VzG-Erhöhung

Im Bereich zwischen der Abzweigung nach Kaprun und dem Bf. Zell am See bewirken die kurzen Haltstellenabstände als auch mögliche Erhöhungen der zulässigen Geschwindigkeiten nur verhältnismäßig geringe Fahrzeitverkürzungen. Daher wurde, abgesehen von der Vereinheitlichung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch die technische Sicherung von Eisenbahnkreuzungen, der Teilabschnitt zwischen dem Bf. Tischlerhäusl und dem Bf. Zell am See für eine mögliche Geschwindigkeitserhöhung identifiziert. Auf dem Gleis der Pinzgauer Lokalbahn sind hier derzeit maximal 50 km/h zulässig, obwohl auf den beiden parallel verlaufenden Gleisen der ÖBB-Infrastruktur AG 75 km/h möglich sind (ÖBB-Infrastruktur AG, 2019b). Als Ziel wurde eine Anpassung auf diesen Wert definiert.

5.5.2 Zweigleisiger Ausbau

Eng im Zusammenhang mit dem in Kapitel 6 beschriebenen Betriebskonzepten steht, abhängig von der Taktfrequenz der Züge, der zweigleisige Ausbau von Teilabschnitten, um Zugkreuzungen zu ermöglichen.

Abzweigung Kaprun - Areitbahn

Bei Betrieb eines hochfrequenten Ski-Shuttles zwischen dem Bf. Kaprun Center und dem Bf. Areitbahn ist der Abschnitt Abzweigung Kaprun - Bf. Areitbahn der am dichtesten befahrene des gesamten Streckenverlaufes der Pinzgauer Lokalbahn. Wie in Kapitel 6 ersichtlich sind unter Umständen in diesem Abschnitt auch Kreuzungen außerhalb von Bahnhöfen nötig, welche einen zweigleisigen Ausbau erfordern. Aufgrund der Verbauung beiderseits der Strecke ist jedoch anzumerken, dass eventuell nur Teilabschnitte ausgebaut werden können.

Tischlerhäusl - Zell am See

Als weiterer, für die Erhöhung der Betriebsqualität relevante, Abschnitt, ist eine Zweigleisigkeit vom Bf. Tischlerhäusl bis zur Einfahrt zum Bf. Zell am See, zu erwähnen. Hierbei ist einerseits

- eine gemeinsame Benutzung des Streckengleises 2 der Salzburg-Tiroler-Bahn (*Giselabahn*) durch die Pinzgauer Lokalbahn mittels eines Dreischienengleises im Gleiswechselbetrieb, als auch die
- Errichtung eines zweiten Gleises für die Pinzgauer Lokalbahn westlich des bestehenden auf dem heute durch die Brucker Bundesstraße beanspruchten Bereich

zu erwägen. Jedoch bedingt Ersteres eine hohen organisatorischen, technischen sowie betrieblichen Aufwand mit sich, da einerseits verschiedene Anforderungen an die Spurweite, Sicherungstechnik, unter Umständen an das Stromsystem sowie Auflagen des Gesetzgebers aufeinander abgestimmt werden müssen. Letztere Möglichkeit erfordert einerseits die Verengung der Brucker Bundesstraße, wobei hier, annähernd auf gesamter Länge, eine nicht befahrbare Sperrfläche markiert ist. Zusätzlich sind die bestehenden Oberleitungsmasten inkl. der angrenzenden Stützmauer zur höher gelegenen Straße zu versetzen.

5.5.3 Bahnhof Bruckberg-Golfplatz

Aufgrund der in Kapitel 4.5.3 beschriebenen Bestandssituation ist ein Umbau des Bf. Bruckberg-Golfplatz erforderlich, um höhere Ein- und Ausfahrtsgeschwindigkeiten zu ermöglichen. Des Weiteren ist eine größere Gleisnutzlänge nötig, um einen Bahnsteig mit der Länge von 100 m herstellen zu können. Die beiden Einfahrweichen (siehe Abb. 5.11) vom Typ EW 190-1:9 erlauben Geschwindigkeiten von bis zu 40 km/h. Als Variante (in blauer Farbe) ist eine zweigleisige Ausfahrt in Richtung Hst. bzw. Bf. Areitbahn dargestellt.

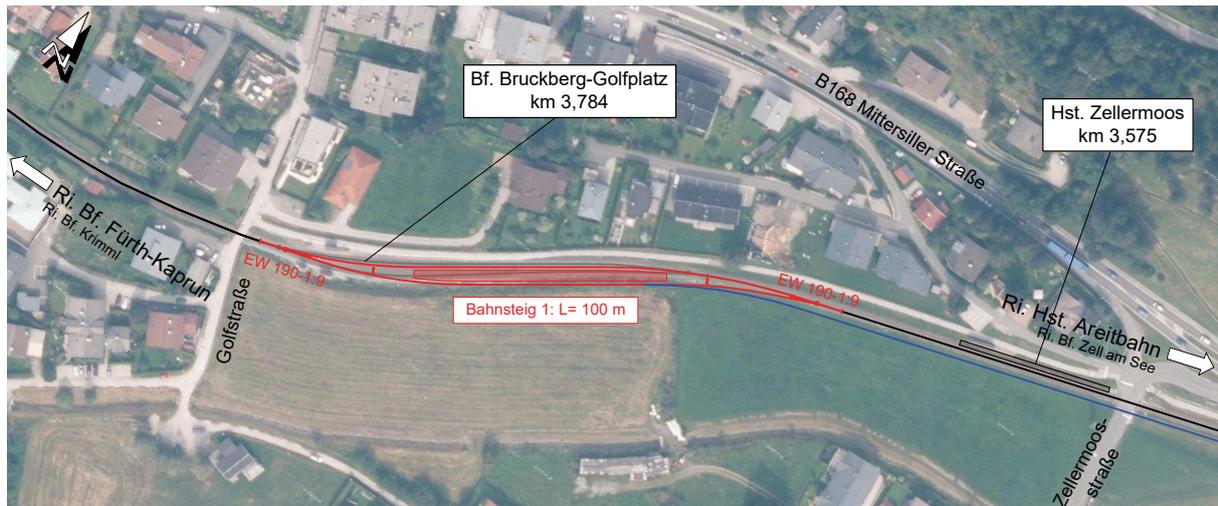


Abb. 5.11: Lageplan des Bf. Bruckberg-Golfplatz (M = 1:3000)

5.5.4 Haltestelle Zellermoos

Im Zuge des Umbaus des Bf. Bruckberg-Golfplatz ist bei einer Herstellung eines östlichen Bahnsteigzuganges die Auffassung der Hst. Zellermoos anzudenken, da diese sich heute nur etwa 250 m voneinander entfernt befinden und somit annähernd das gleiche Einzugsgebiet abdecken.

5.5.5 Haltestelle bzw. Bahnhof Areitbahn

Für den Ausbau der Hst. Areitbahn zu einem Kreuzungsbahnhof ist zumindest ein zweites Gleis inkl. Bahnsteig erforderlich (siehe Abb. 5.12). Da die Erreichbarkeit des bestehenden Bahnsteiges von der westlichen Stirnseite über die Unterführung unter der B168 Mittersiller Straße gegeben ist, ist dessen Verlängerung auf eine Länge von 100 m sowie ein zusätzlicher südlich gelegener Seitenbahnsteig zweckmäßig. Um eine Ein- bzw. Ausfahrt mit maximal zulässigen 40 km/h zu ermöglichen sind zwei Weichen vom Typ EW 49E1-190-1:9 vorgesehen. Für eine mögliche Ski-Shuttle-Verbindung zwischen den Skigebieten *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* empfiehlt sich ein Stumpfgleis mit einem 50 m langen Bahnsteig, um deren Betrieb abwickeln zu können. Aufgrund des nachfolgenden Gleisabschlusses ist eine Einfahrtsweiche vom Typ EW 49E1-110-1:7 ausreichend. Die Wegstrecke von ungefähr 150 m zwischen der Hst. bzw. dem Bf. Areitbahn und der Talstation des *areitXpress* können mittels einer attraktiven Umfeldgestaltung sowie technischen Einrichtungen (z.B. Fahrsteige) überbrückt werden.

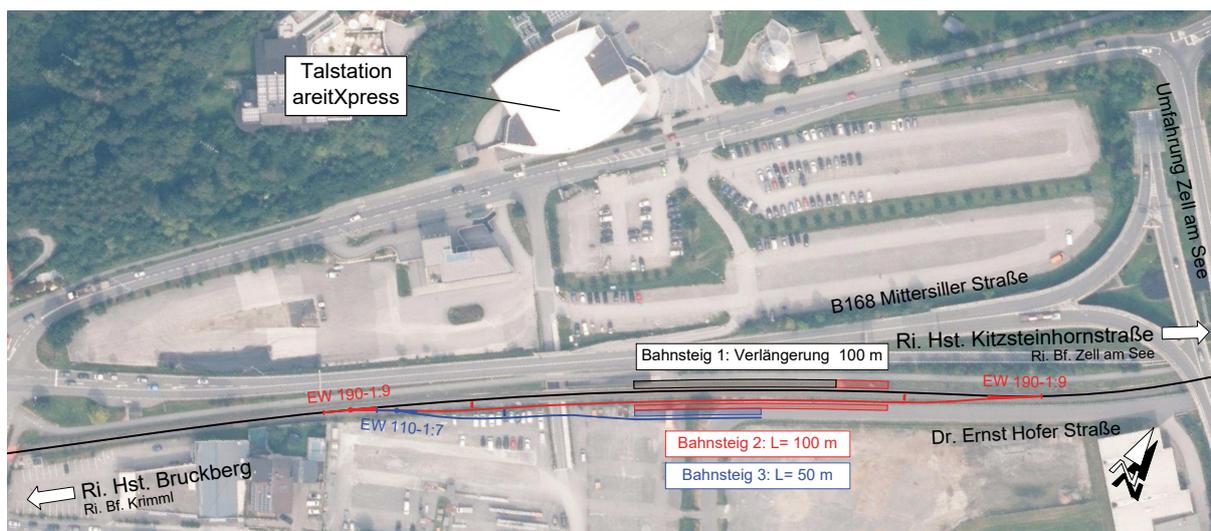


Abb. 5.12: Lageplan des Bf. Areitbahn (M = 1:3000)

5.5.6 Ausbau Bahnhof Zell am See

Die in Kapitel 4.5.5 erwähnten Maßnahmen sind in Abb. 5.13 als zwei Varianten in unterschiedlichen Farben (rot bzw. blau) dargestellt. Einerseits ist zur Nutzung des Bahnsteiges 1 der ÖBB-Infrastruktur AG durch die Züge der Pinzgauer Lokalbahn eine Überleitstelle mit zwei Innenbogenweichen vom Typ IBW 49E1-300-1:9 skizziert. Andererseits sind durch den Ersatz der bestehenden Einfahrtsweiche durch eine Weiche vom Typ EW 49E1-190-1:9 und der Abänderung der Gleisverbindung zwei eigenständige Seitenbahnsteige mit drei Bahnsteigkanten mit einer Länge von 50 m umsetzbar. Hierzu ist zu erwähnen, dass dies aufgrund der engen Platzverhältnisse nur eine sehr kompakte Lösung abbildet.



Abb. 5.13: Lageplan des Bf. Zell am See (M = 1:2000)

Kapitel 6

Betriebskonzept

Das Betriebskonzept beinhaltet einerseits die Darstellung des Angebotes im ÖPNV sowie das einer möglichen Verdichtung im saisonalen touristischen Verkehr (Ski-Shuttle), zur Verbindung der Skigebiete *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun*, auf der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn zwischen Zell am See und Krimml sowie der in dieser Diplomarbeit behandelten Zweigstrecke nach Kaprun. Die Fahrzeiten wurden mit der in Kapitel 1.3.4 erwähnten Software OpenTrack auf der geplanten Infrastruktur (siehe Abb.6.1) simuliert, wobei diese nur mit 93% des möglichen Leistungsverhaltens (siehe Abb. 6.2) durchgeführt wurde, um Fahrtzeitzuschläge zu berücksichtigen. Dies führt zu konservativeren Ergebnissen bei der Fahrzeitberechnung, als im Merkblatt des Internationalen Eisenbahnverbandes (Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2000, S. 9), mit Regelaufschlägen von 1 min pro 100 Kilometer sowie zusätzlich 3% bei Triebwägen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h, angegeben. Das entsprechende Geschwindigkeits-Weg-Diagramm für den Abschnitt Zell am See - Kaprun ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Angesichts der Möglichkeit viele der Haltestellen als Bedarfshalte auszuführen, wurde die Haltezeit mit 20 Sekunden angesetzt, wobei die Bedienung aller Stationen vorausgesetzt wurde. Einzig in den Haltestellen bzw. Bahnhöfen Areitbahn sowie Kaprun Center wurden für die Haltezeit 30 Sekunden angenommen.

6.1 Öffentlicher Personennahverkehr

Auf eingleisigen Strecken mit Kreuzungsbahnhöfen, wie die Pinzgauer Lokalbahn, sind für einen Taktfahrplan die Zugbegegnungen gemäß der Taktfrequenz vorgegeben. Aus diesem Grund wurde das bestehende Fahrplan- und Kreuzungskonzept auf dem Abschnitt zwischen Zell am See und Krimml als Grundlage für die Erstellung eines Fahrplanes für die Verlängerung nach Kaprun angesehen. Weiters ist eine Anbindung das das hochrangige Bahnstreckennetz der ÖBB im Bf. Zell am See gegeben. Gemäß den Planungen des Salzburger Verkehrsverbundes (Riedl, 2020) ist für diesen die Einrichtung eines Taktknotens zu den Minuten 15 und 45 vorgesehen. Um Anschlussverbindungen zu ermöglichen wurde auch dieser Umstand als Voraussetzung angenommen.

In Abbildung 6.3 wurde das Taktschema vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2018) für den Schienenpersonenfernverkehr in Österreich ab Eröffnung der Koralmbahn um den Knoten Bf. Zell am See erweitert. Dieser wurde mit den Ankünften zu den Minuten .14 bzw. .44 und Abfahrten zu den Minuten .16 bzw. .46 im Schienenpersonenfernverkehr der Linie *FV IR Ennstal-Pinzgau* angenommen.

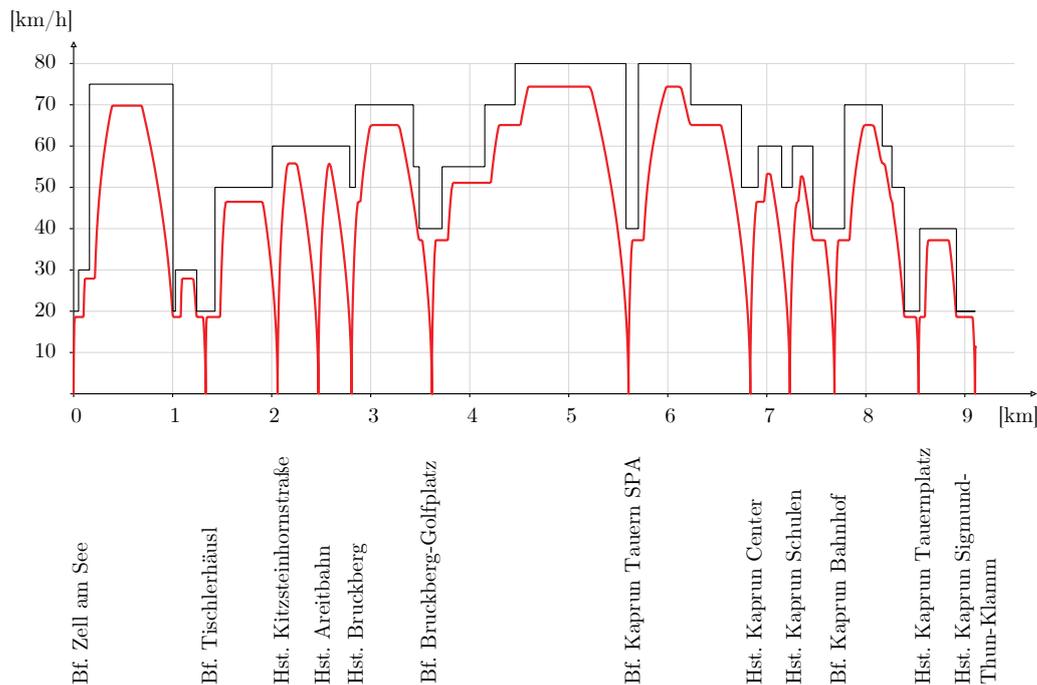


Abb. 6.2: Geschwindigkeits-Weg-Diagramm für den Abschnitt Zell am See - Kaprun

6.1.1 Zell am See - Kaprun

Unter Berücksichtigung des bestehenden Kreuzungsgefüges wurden die Taktlagen der Züge der Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn so verschoben, dass ein Anschluss an die Züge der ÖBB Personenverkehr AG im Bf. Zell am See mit einer Umsteigezeit von 5 Minuten gegeben ist. Bei einem Halbstundentakt ergeben sich somit Ankünfte zu den Minuten .11 bzw. .41 und Abfahrten zu den Minuten .19 bzw. .49 (siehe Abb. 6.4). Die Zugkreuzungen finden weiterhin, wie bisher, im Bf. Fürth-Kaprun, im Bf. Niedersill sowie im Bf. Dorf-Paßthurn statt.

Die zusätzlichen Züge auf der Verlängerung nach Kaprun wurden mit einem 3-minütigen Abstand zu den Zügen auf der Bestandsstrecke entworfen. Einerseits ermöglicht dies auch einen Halt dieser Verkehre in allen Haltestellen, andererseits erfolgt dadurch die Zugkreuzung im Bf. Bruckberg-Golfplatz (siehe Abb. 6.5). Bei einem Halbstundentakt finden die Ankünfte im Bf. Zell am See zu den Minuten .08 bzw. .38, die Abfahrten zu den Minuten .22 bzw. .52 statt. Für eine Ausweitung des Angebotes auf einen 15-Minuten-Takt ist ein Ausbau der Strecke zwischen Bf. Zell am See und Bf. Tischlerhäusl unerlässlich, wobei dabei Zugkreuzungen in diesem Bereich sowie in letzteren Bahnhof stattfinden würden. Ein mögliches Trennen und Vereinigen der Züge von/nach Krimml/Kaprun im Bf. Bruckberg-Golfplatz wurde, aufgrund der Dauer des Vorganges von 5-6 Minuten (Uttenthaler, 2010, S. 38), verworfen. Weiters wurde auf die Bedienung der Hst. Zellermoos, angesichts der kurzen Distanz zum Bf. Bruckberg-Golfplatz von ungefähr 250 m, verzichtet. Die einzelnen Relationsfahrzeiten sind in Tabelle 6.1 ersichtlich. Für den Abschnitt Bf. Zell am See - Bf. Kaprun wurde im Rahmen der Betriebssimulation eine Gesamtfahrzeit von 16 Minuten errechnet.

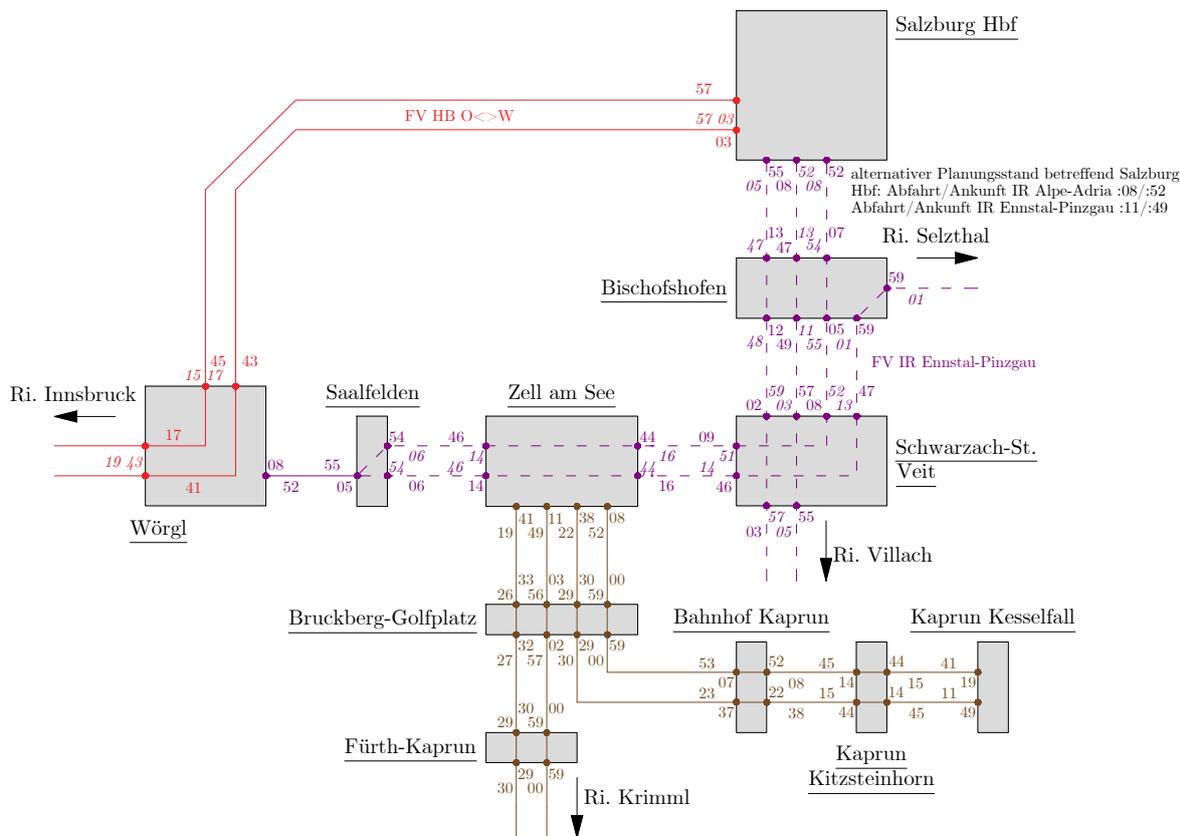


Abb. 6.3: Taktschema für die im Rahmen von öffentlichen Dienstleistungsverträgen bestellten Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonenfernverkehr mit Ergänzung um die bestehende Strecke sowie der Verlängerung nach Kaprun der Pinzgauer Lokalbahn; in Anlehnung an Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2018, S. 39)

Tab. 6.1: Übersicht der Relationsfahrzeiten zwischen Bf. Zell am See und Bf. Kaprun

	Zlb	Tih	Tih H1	Tih H2	Brb	Gol H1	Gol	Kts	Kts H1	Kap H1	Kap
Zlb		02:30	04:00	04:30	05:00	-	06:00	08:00	09:30	10:00	10:30
Tih	02:30		01:30	02:00	02:30	-	03:30	05:30	07:00	07:30	08:00
Tih H1	04:00	01:30		00:30	01:00	-	02:00	04:00	05:30	06:00	06:30
Tih H2	04:30	02:00	00:30		00:30	-	01:30	03:30	05:00	05:30	06:00
Brb	05:00	02:30	01:00	00:30		-	01:00	03:00	04:30	05:00	05:30
Gol H1	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Gol	06:00	03:30	02:00	01:30	01:00	-		02:00	03:30	04:00	04:30
Kts	08:00	05:30	04:00	03:30	03:00	-	02:00		01:30	02:00	02:30
Kts H1	09:30	07:00	05:30	05:00	04:30	-	03:30	01:30		00:30	01:00
Kap H1	10:00	07:30	06:00	05:30	05:00	-	04:00	02:00	00:30		00:30
Kap	10:30	08:00	06:30	06:00	05:30	-	04:30	02:30	01:00	00:30	

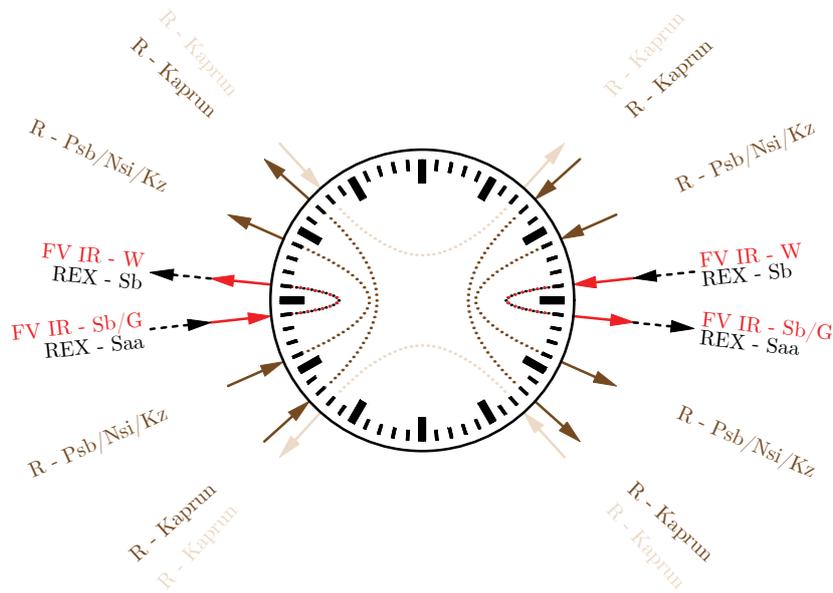


Abb. 6.4: Taktuhr für den Bf. Zell am See ab der Inbetriebnahme der Koralmbahn mit der Anbindung der Pinzgauer Lokalbahn

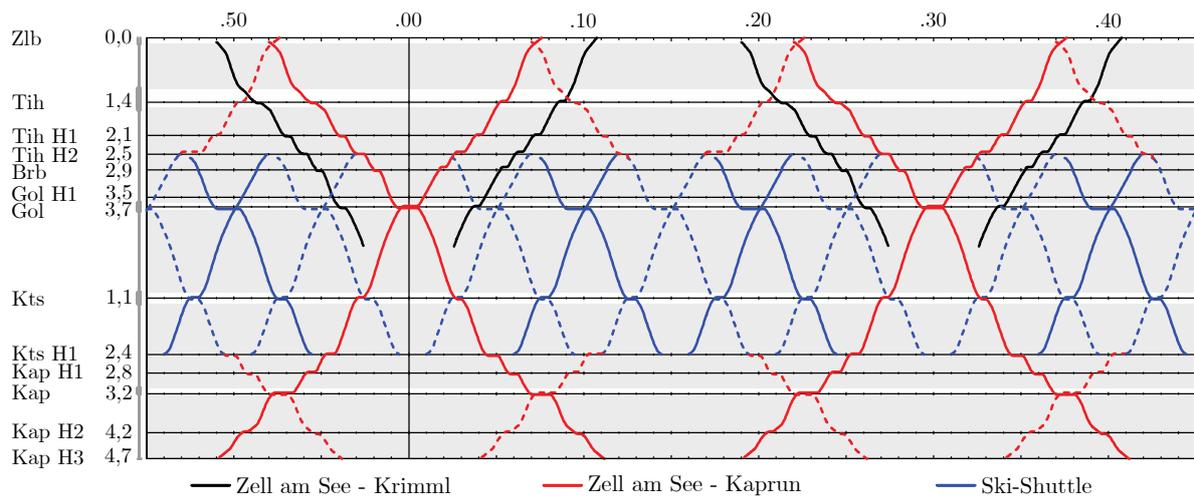


Abb. 6.5: Bildfahrplan des Abschnittes Bf. Zell am See - Bf. Kaprun - Hst. Kaprun Sigmund-Thun-Klamm

6.1.2 Kaprun - Kitzsteinhorn - Kesselfall

Für die Weiterführung der Züge über Kaprun hinaus über das Kapruner Tal bis zum möglichen Endbahnhof Kesselfall wurde ein 30-Minuten-Takt angenommen, welcher bei einer Kreuzungsmöglichkeit im Bf. Kaprun auf einen 15-Minuten-Takt reduziert werden kann. Angepasst an die im Kapitel 6.1.1 beschriebenen Züge des Abschnittes Zell am See - Kaprun ist für diese Verkehre eine Zugkreuzung im Bf. Kitzsteinhorn erforderlich (siehe Abb. 6.6). Die einzelnen Relationsfahrzeiten sind in Tabelle 6.2 ersichtlich. Für den Abschnitt Bf. Kaprun - Bf. Kesselfall wurde im Rahmen der Betriebssimulation eine Gesamtfahrzeit von 11,5 Minuten errechnet.

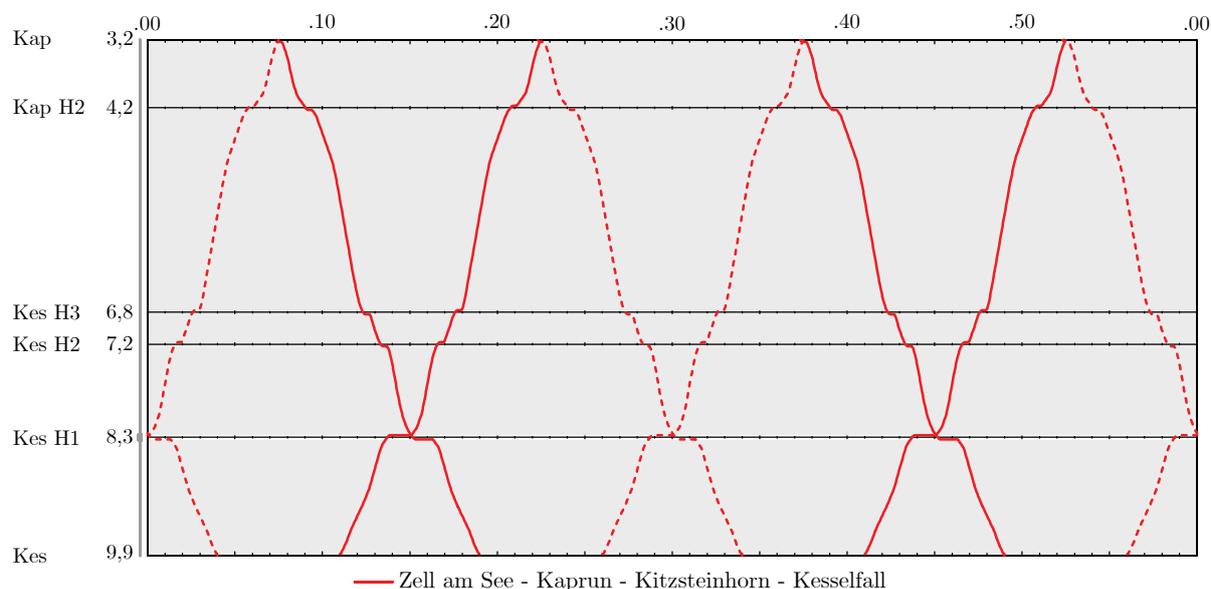


Abb. 6.6: Bildfahrplan des Abschnittes Bf. Kaprun - Bf. Kesselfall

Tab. 6.2: Übersicht der Relationsfahrzeiten zwischen Bf. Kaprun und Bf. Kesselfall

	Kap	Kap H2	Kap H3	Kes H3	Kes H2	Kes H1	Kes
Kap		01:30	03:00	06:00	07:00	07:30	09:30
Kap H2	01:30		01:30	03:00	04:00	04:30	06:30
Kap H3	03:00	01:30		-	-	-	-
Kes H3	06:00	03:00	-		01:00	01:30	03:30
Kes H2	07:00	04:00	-	01:00		01:30	02:30
Kes H1	07:30	04:30	-	01:30	01:30		02:30
Kes	09:30	06:30	-	03:30	02:30	02:30	

6.2 Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)

Zusätzlich zum Taktverkehr im ÖPNV sind in Abb. 6.5 die möglichen zusätzlichen Züge im saisonalen touristischen Verkehr, welche als Ski-Shuttle zwischen den Talstationen des *areitXpress* des Skigebietes *Schmitten* und der *MK Maiskogelbahn* des Skigebietes *Kaprun Kitzsteinhorn* dienen, in blauer Farbe dargestellt. Auf der in Kapitel 5 beschriebenen Infrastruktur ist ein Intervall - mit den in den entsprechenden Taktlagen fahrenden Zügen des ÖPNV - von 5 Minuten zu erreichen. Diese Verkehre bedingen Zugkreuzungen im Bf. Bruckberg-Golfplatz sowie im Bf. Kaprun Tauern Spa. An den Endbahnhöfen Bf. Kaprun Center und Bf. Areitbahn stehen für diese Züge eigene Bahnsteige zur Verfügung.

6.3 Fahrzeugbedarf - Fahrzeugumlauf

Um die Ausweitung des Angebotes im Schienenpersonennahverkehr im Zuge der Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn nach Kaprun zu ermöglichen ist, abhängig vom Fahrplankonzept, eine entsprechende Anzahl von Fahrzeugen erforderlich.

6.3.1 Öffentlicher Personennahverkehr

Unter Zugrundelegung der in Kap. 6.1.1 erwähnten Fahrplankonzeptes ist die in Tab. 6.3 dargestellte Anzahl von Fahrzeugen, ohne Berücksichtigung von zusätzlichen Reserven, erforderlich.

Tab. 6.3: Fahrzeugbedarf für den Betrieb im ÖPNV in Abhängigkeit von der Taktfrequenz

Relation/Takt		Zlb - Kap		Kap - Kes	
		15 min	30 min	15 min	30 min
Zlb - Kap	15 min	4	-	5	5
	30 min	-	2	4	3
Kap - Kes	15 min	5	4	3	-
	30 min	5	3	-	2

6.3.2 Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)

Um eine zusätzliche Taktverdichtung für den saisonalen touristischen Verkehr (Ski-Shuttle) zu ermöglichen, sind weitere Triebfahrzeuge einzusetzen. In Tabelle 6.4 ist die notwendige Anzahl dieser im Bezug auf die Taktfrequenz des ÖPNV ersichtlich, wobei auch die Gesamtanzahl für die Verkehre angeführt ist.

Tab. 6.4: Zusätzlicher Fahrzeugbedarf für den saisonalen touristischen Verkehr in Abhängigkeit vom Fahrplankonzept des ÖPNV sowie Gesamtanzahl der erforderlichen Fahrzeuge

Rel./Takt	Zlb - Kap		15 min		15 min		15 min		30 min		30 min		30 min		-		-		-	
	Kap - Kes		15 min		30 min		-		15 min		30 min		-		15 min		30 min		-	
Ski-Shuttle	Takt		Ski	Σ	Ski	Σ														
	5 min		3	8	3	8	3	7	3	7	3	6	3	5	3	6	3	5	3	3
	10 min		-	-	-	-	-	-	2	6	2	5	2	4	2	5	2	4	2	2
	15 min		0	5	0	5	0	4	2	6	2	5	2	4	2	5	2	4	2	2

Kapitel 7

Ausblick

7.1 Saisonaler touristischer Verkehr (Ski-Shuttle)

7.1.1 Kapazitätsanforderungen

Für einen saisonalen touristischen Verkehr als *Ski-Shuttle* zwischen den Skigebieten *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* sind zur Abdeckung des Fahrgastaufkommens entsprechende Kapazitäten anzustreben. Die mögliche Leistungsfähigkeit wurde basierend auf dem in Kapitel 6.2 dargestellten Fahrplankonzept mit den Fahrzeugen (Stadler Rail AG, 2020), die in der für dessen Erstellung zugrunde liegenden Simulation verwendet wurden, ermittelt. Es wird angenommen, dass alle Sitz- und Stehplätze, in der im technischen Datenblatt (siehe Tab. 1.1) angeführten Fahrzeugversion und -bestuhlung, belegt sind. Dies entspricht 240 Plätzen pro Fahrzeug, davon sind 127 Sitz- (inkl. Klappsitze) sowie 113 Stehplätze. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass dies die maximale Auslastung des Triebwagens darstellt, welche durch die Nutzung als Transportgefäß für Wintersportler aufgrund der hohen Platzanforderungen für die Wintersportgeräte nicht vollkommen ausgenutzt werden kann.

Tab. 7.1: Maximale Leistungsfähigkeit pro Richtung

Taktfrequenz	Leistungsfähigkeit [Personen/Stunde]
15 min	960
10 min	1440
5 min	2880

Demnach übertrifft die Leistungsfähigkeit bei einem 5-Minuten-Takt in Einfachtraktion (siehe Tab. 7.1) die der Seilbahnverbindung *K-onnection* zwischen den Skigebieten *Maiskogel* und *Kitzsteinhorn*, welche 2700 Personen pro Stunden befördern kann (Kitzsteinhorn – Gletscherbahnen Kaprun AG, 2020, S. 3). Im Falle einer Bedienung in Doppeltraktion, duplizieren sich die in Tab. 7.1 angegebenen Werte.

7.1.2 Rollmaterial

Der sehr spezifische Betrieb als Transportmittel zur Verknüpfung von zwei Skigebieten stellt auch entsprechende Anforderungen an das Rollmaterial sowie an dessen Ausstattung. Es ist zu berücksichtigen, dass ein großer Andrang an Fahrgästen an den Haltestellen, die die Bergbahnen bedienen, lange Fahrgastwechselzeiten bedingen kann. Um den entgegenzuwirken sind Fahrzeuge

mit barrierefreiem Einstieg sowie mit einer großen Anzahl von breiten Türen mit einem dementsprechend geräumig dimensionierten Einstiegsbereich, wie es bei U-Bahn-Triebwägen der Fall ist, erforderlich. Als mögliches Beispiel kann dafür die Ausstattung der Fahrzeuge der U-Bahn Serfaus dienen (siehe Abb. 7.1), da diese für den Transport von Wintersportlern ausgerichtet sind.

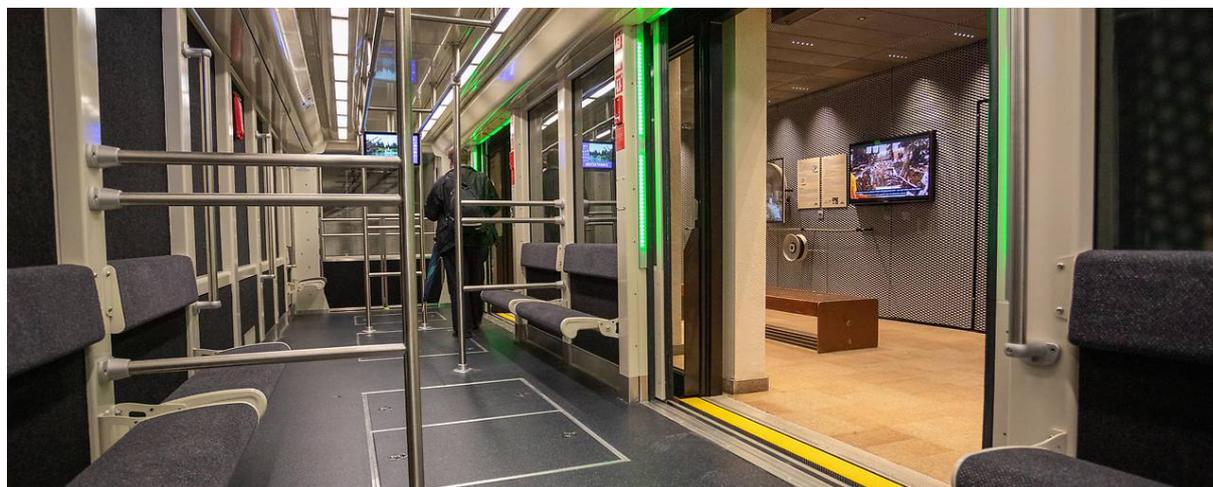


Abb. 7.1: Fahrzeug der U-Bahn Serfaus mit barrierefreiem Einstieg, breiten Türen und geräumigem Einstiegsbereich (N. N., 2020a)

Kritisch hingegen ist zu sehen, dass diese Züge ausschließlich auf der dafür vorgesehenen Infrastruktur - hier sind vor allem die kompatiblen Bahnsteighöhen zu erwähnen - verkehren können. Weiters sollte für einen flexiblen Einsatz ein möglicher Umbau von einem Winter- zu einem Sommerbetrieb, welcher z. B. auf den Transport von Fahrrädern optimiert sein kann, vorgesehen sein. Dies wurde z. B. im Zuge der Bestellung neuer Triebwagen der S-Bahn-Vorarlberg berücksichtigt (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2020, S. 4). Auch ist eine für längere Fahrstrecken komfortable Inneneinrichtung, mit ausreichend Sitzplätzen, zu berücksichtigen.

7.2 Automatisierung

Durch die mögliche, für Schmalspurbahnen, sehr hohe Taktfrequenz von 5 Minuten kann es zur stabilen Betriebsführung zweckmäßig sein, den Betrieb zu automatisieren. Bezug nehmend auf die verschiedenen, in Kapitel 2.1 erläuterten Automatisierungsgrade (GoA) im Bahnbetrieb werden nachfolgend denkbare Szenarien ausgeführt.

Heute wird der Betrieb auf der Pinzgauer Lokalbahn, wie in Kapitel 3.4.1 erläutert, im Automatisierungsgrad GoA 1, manueller Zugbetrieb mit Zugsicherung, durchgeführt. Bei einer Verdichtung des Zugverkehrs - insbesondere sei hier der dann stark befahrene Abschnitt Abzweigung nach Kaprun bis Areitbahn genannt - ist eine Anpassung der Sicherungstechnik für höhere Kapazitäten unerlässlich. Im Zuge dessen stellt sich auch die Frage, ob eine dem Verkehr angepasste Automatisierung zweckmäßig ist.

7.2.1 GoA 2 - Halbautomatischer Zugbetrieb

Der halbautomatische Zugbetrieb (GoA 2) würde sich zumindest auf dem Streckenabschnitt, *Areitbahn - Kaprun Center*, auf dem der saisonale touristische Verkehr (*Ski-Shuttle*) verkehrt, anbieten. Durch die Steigerung der Streckenkapazität ist die hohe Taktfrequenz mit größerer betrieblicher Stabilität, besserem Abbau von eventuellen Verspätungen, vordefinierter, energiesparender Fahrweise, erhöhter Sicherheit, durch Ausschluss von menschlichen Fehlern, sowie Vorteilen in der Strecken- und Rollmaterialinstandhaltung, erreichbar. Als Ausbauvariante ist die Gesamtstrecke von Kaprun bis Zell am See in Erwägung zu ziehen, wobei im Bereich Tischlerhäusl, durch die Verbindung zum Netz der ÖBB, Konflikte mit deren Zugsicherungssystem zu erwarten sind. Da stets ein Triebfahrzeugführer den Triebwagen bedient, obliegt ihm auch die Gleisraumüberwachung bzw. falls sich kein Zugführer im Zug befindet, auch die Öffnung bzw. Schließung der Türen sowie die Überwachung des Fahrgastwechsels. Diese Art der Betriebsführung hat somit keinen Einfluss auf die Sicherheitsaspekte, die vom Zug selbst ausgehen (z. B. Sicherung von Eisenbahnkreuzungsanlagen, Gefährdung von Personen im Gleis etc.).

7.2.2 GoA 3 - Automatischer Zugbetrieb - fahrerlos

Der automatische, fahrerlose Zugbetrieb (GoA 3) baut auf den Vorteilen des halbautomatischen Zugbetriebes (GoA 2) auf. Das Optimierungspotential liegt hierbei hauptsächlich im Personal, wobei die Triebfahrzeugführer durch den automatisierten Zugbetrieb abgelöst werden können. Zusätzlich kann durch die Entfernung der Fahrerkabine die Kapazität der Fahrzeuge gesteigert werden. Dadurch kann ein verbesserter Kundenkontakt sowie Betreuung dieser (z. B. Unterstützung beim Ein- und Aussteigen, Fahrkartenverkauf, Erhöhung des subjektiven Sicherheitsgefühls) ermöglicht werden. Aus technischer sowie rechtlicher Sicht ist aber die Kompetenzen- und Verantwortungsübertragung der Gleisraumüberwachung an den Computer kritisch zu sehen. Aufgrund der hohen Anzahl von Eisenbahnkreuzungen als auch der Tatsache, dass die Strecke teilweise durch dicht verbautes Gebiet führt, und somit eine Einzäunung dieser nahezu unvermeidlich scheint, ist die Machbarkeit dieser Betriebsform anzuzweifeln.

7.2.3 GoA 4 - Automatischer Zugbetrieb - personallos

Zusätzlich zu den Vorteilen des automatischen, fahrerlosen Zugbetriebes (GoA 3) bietet der automatische, personallose Zugbetrieb (GoA 4) eine höhere Einsatzflexibilität der Fahrzeuge. Durch die Übernahme sämtlicher, für den Zugbetrieb erforderlichen, Tätigkeiten durch den Computer sind Triebwagen zur spontanen Verstärkung des Angebotes und somit der Erhöhung der Kapazität, abhängig vom Instandhaltungszustand, jederzeit einsetzbar. Die Herausforderungen die schon GoA 3 mit sich bringt werden, werden infolge der auch bei Störungen einwandfrei zu funktionierenden Technik, vergrößert. Wie auch GoA 3 ist die Machbarkeit dieser Betriebsform, nach dem derzeitigen Stand der Technik sowie der heutigen Rechtslage, zu hinterfragen.

7.3 Sicherungstechnik

Da für den Betrieb der Pinzgauer Lokalbahn schon heute ein modernes, auf Funk basierendes Zugsicherungssystem (siehe Kapitel 3.4.1.4) verwendet wird und der Güterverkehr nur eine

untergeordnete bzw. keine Rolle spielt (siehe Kapitel 3.4.1.5), ist es zu erwägen, auch im Zuge der Beschaffung neuer Fahrzeuge, die Möglichkeit des Fahrens im relativen Bremswegabstand (sog. *Moving Block*) umzusetzen. Durch diese Maßnahme, ist eine Erhöhung der Streckenkapazität möglich, ohne stationäre Blockabschnitte mit Gleisfreimeldeanlagen zu installieren. Dessen Einführung ist auch durch Ausbau der Fahrerassistenzsysteme bzw. mittels eines halbautomatischen Zugbetriebs nach GoA 2 möglich (Flamm et al., 2019).

7.4 Traktionskonzept

Angesichts des Themas der Rohstoffverknappung und der anthropogenen Klimabeeinflussung sind auch bei der Pinzgauer Lokalbahn Überlegungen zu einer dekarbonisierten Betriebsführung anzustellen. Eine Neuanschaffung von Verbrennungstriebwagen erscheint aufgrund der langen Nutzungsdauer (Ausmusterung frühestens im Jahr 2050 (Klebsch et al., 2019)) sowie die Erreichung der Klimaneutralität Österreichs bis 2040 (Die neue Volkspartei; Die Grünen – Die Grüne Alternative, 2020) nicht zielführend.

7.4.1 Energiebereitstellung

Für die Bereitstellung der notwendigen Energie für den Bahnbetrieb sind verschiedene Varianten möglich (siehe Kap. 2.2). Einerseits kann das Triebfahrzeug kontinuierlich mit dieser von außen versorgt werden (z. B. per Oberleitung bzw. Stromschiene) andererseits ist ein Mitführen und obligatorisches Umwandeln dieser (z. B. Energiespeicherung in Kraftstoffen oder Batterien bzw. Kondensatoren) möglich.

Zu dieser Fragestellung existieren bereits einige Studien aus verschiedenen Ländern, die die Alternativen zu v.a. dieselbetriebenen Triebfahrzeugen behandeln. Angesichts der unterschiedlichen Bewertungsverfahren sowie der großen Forschungstätigkeit an den sich schnell entwickelnden Technologien - hier sei vor allem die Batterie- bzw. die Wasserstofftechnologie genannt - sind die Ergebnisse nur begrenzt vergleichbar. Jedoch ist bei stark befahrenen Strecken, die eine hohe Taktfrequenz aufweisen, die Versorgung mit elektrischer Energie von außen über Oberleitung bzw. Stromschiene als am wirtschaftlichsten einzuordnen (Klebsch et al., 2019) (Müller, 2017) (Isaac; Fulton, 2016) (Zenith et al., 2017).

Beispielsweise wird die Zillertaler Verkehrsbetriebe AG als Betreiber der Zillertalbahn, eine der erfolgreichsten Privat- bzw. Regionalbahnen Österreichs (VCÖ - Mobilität mit Zukunft, 2014), ab dem Winterfahrplan 2022 fünf Wasserstoff-Elektrotriebwagenzüge einsetzen (Schreiner; Fleischhacker, 2018) (Wechner, 2018). Ein wichtiges Entscheidungskriterium hierbei waren der geforderte oberleitungsfreie Betrieb in sensiblen Bereichen von Ortsdurchfahrten als auch die günstige Erzeugung von Wasserstoff durch den Bezug von elektrischer Energie aus der Stromnetzregelung, dem günstigen Kauf an der Strombörse zu Schwachlastzeiten sowie der Einbindung in ein regionales Laufwasserkraftwerk. Die Studie (Schreiner; Fleischhacker, 2018) zeigt jedoch auch auf, dass der Gesamtenergieaufwand für den geplanten Fahrbetrieb mit Brennstoffzellentechnologie mit 9890 MWh pro Jahr aufgrund der Verluste durch den geringeren

Wirkungsgrad bei der Wasserstoffherstellung bzw. -umwandlung mehr als das doppelte des Oberleitungsbetriebes mit 4022 MWh pro Jahr beträgt.

7.4.2 Gesamtheitliche CO₂-Bilanz

Um die Treibhausgas (THG)-Emissionen der unterschiedlichen Arten der Energiebereitstellung sowie -umwandlung vergleichen zu können, ist der gesamte Lebenszyklus eines Fahrzeuges zu betrachten. Die Studie *Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 Kilometer* von Sternberg et al. (Sternberg et al., 2019) hat dies für einen PKW des Typs Sport Utility Vehicle (SUV) näher behandelt. Der den Ergebnissen zu Grunde gelegte Lebenszyklus besteht aus der Herstellung, dem Betrieb sowie der Entsorgung des Fahrzeuges, wobei Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)- als auch Battery Electric Vehicle (BEV)-Fahrzeuge für die Zeiträume 2020-2030 bzw. 2030-2040 untersucht wurden. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass bei der Herstellung die FCEV-Fahrzeuge geringere THG-Emissionen als die BEV-Fahrzeuge verursachen. Dies ist in Abbildung 7.2 am Wert der THG-Emissionen bei null Kilometer Fahrleistung erkennbar. Im Zeitraum 2020-2030 zeigt sich, dass die höhere Effizienz des Batteriebetriebes den THG-Nachteil dessen Herstellung, im Rahmen der Gesamtfahrleistung des Fahrzeuges, nicht kompensiert. Das FCEV-Fahrzeug mit aus Windstrom hergestelltem Wasserstoff (H₂), erzielt den Pfad der geringsten Emissionen. Durch die technischen Weiterentwicklungen ergibt sich für den Zeitraum 2030-2040, dass das FCEV-Fahrzeug, bis zu einer Gesamtfahrleistung von 200000 km, einen THG-Emissionsvorteil hat.

Aufgrund der hohen Gesamtfahrleistung, Nutzungsdauer, die bei Eisenbahnfahrzeugen um viele Jahre länger ist als die von PKW, sowie des großen Energiebedarfs, sind die Ergebnisse der Studie als Schlussfolgerungen für Schienenfahrzeuge entsprechend differenziert zu betrachten. Einen groben Vergleich für den Eisenbahnbereich gibt Prießnitz; Gerstenmayer in Abbildung 7.3. Weiters ist eine gesamtheitliche Bewertung der CO₂-Bilanz von Fahrzeugen mit externer Energieversorgung (z. B. mittels Oberleitung oder Stromschiene) anzustreben. Nichtsdestotrotz zeigt der Vergleich der THG-Emissionen der FCEV-, BEV- sowie der Dieselfahrzeuge (siehe Abb. 7.2), dass Letztere mit zunehmender Gesamtfahrleistung den höchsten Emissionspfad aufweisen.

7.4.3 Gegenüberstellung von emissionsfreien Traktionsarten

In Abbildung 7.4 werden die emissionsfrei betreibbaren Traktionsarten *Elektrische Traktion*, *Batterietraction* und *Hydrail - Wasserstofftraktion* gegenübergestellt (Prießnitz; Gerstenmayer, 2019). Es zeigt sich auch hier, dass das Traktionskonzept auf den geplanten Fahrplan sowie die Streckeneigenschaften angepasst sein sollte, um dies auch ökonomisch darzustellen. Die Angabe der Reichweite der BEMU- als auch der Hydrail-Triebfahrzeuge basiert auf Eckert (Eckert, 2018).

7.4.4 Pinzgauer Lokalbahn

Die Salzburg AG hat im Jahr 2019 eine Traktionsstudie (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019c) zu möglichen zukünftigen Antriebskonzepten für die Beschaffung neuen Rollmaterials in Auftrag gegeben. Dabei wurden folgende Optionen berücksichtigt:

- Dieselmotortrieb

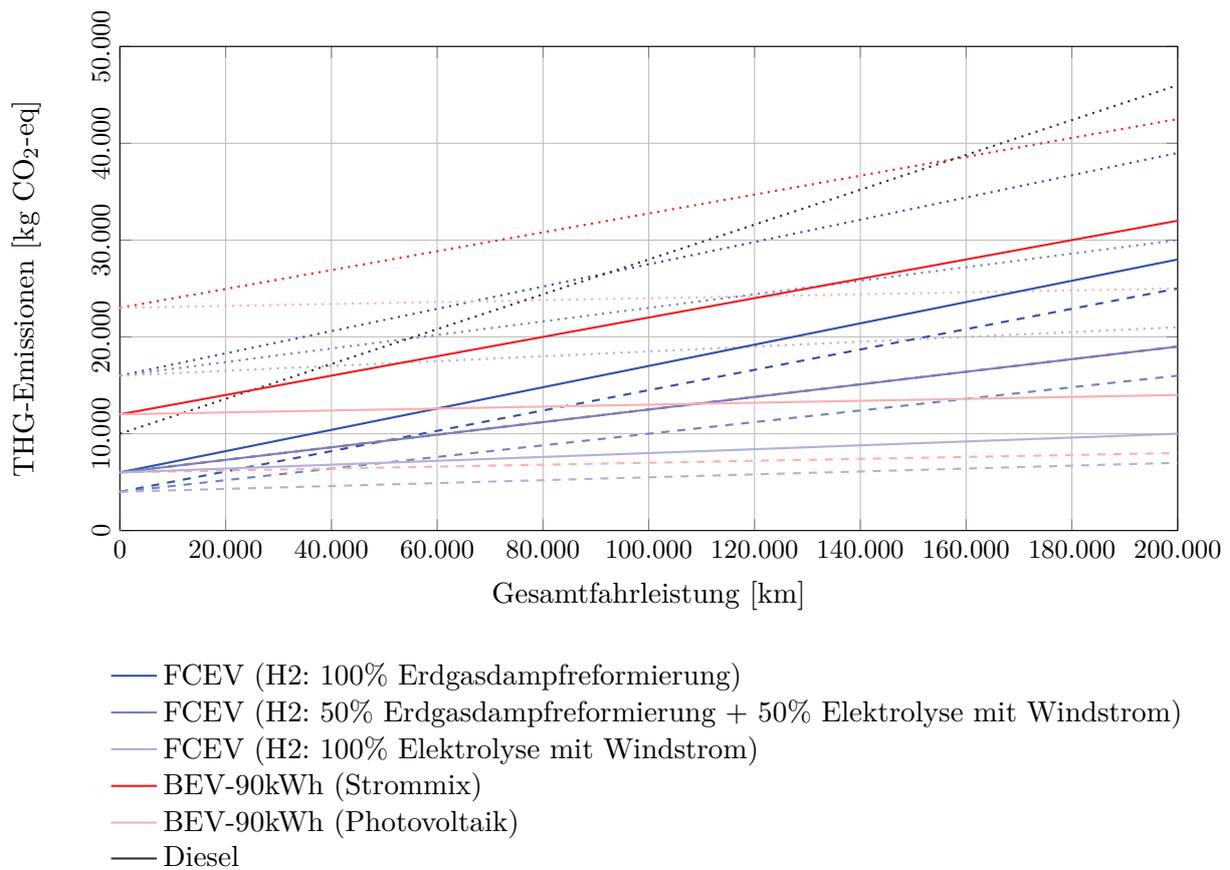


Abb. 7.2: THG-Emissionen im Fahrzeugbetrieb für 2020-2030 (durchgezogen) und für 2030-2040 (strichliert) für FCEV- und BEV-Fahrzeuge. Zusätzlich THG-Emissionen für FCEV-, BEV- und Dieselfahrzeuge im Zeitraum 2020-2030 zum Vergleich ¹(punktirt); in Anlehnung an Sternberg et al. (Sternberg et al., 2019)

- Batteriebetrieb
- Oberleitungs- und Batteriebetrieb
- Oberleitungs- und Batteriebetrieb (mit Schnellademöglichkeit)
- Brennstoffzellen- und Batteriebetrieb
- Dieselhybridbetrieb
- Oberleitungsbetrieb 1500 V =
- Oberleitungsbetrieb 25 kV/50 Hz ~
- Oberleitungsbetrieb 15 kV/16,7 Hz ~

Der letzte Aufzählungspunkt wird im Fazit der Traktionsstudie (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019c) als die aus betriebstechnischer und wirtschaftlicher Sicht im Gesamtergebnis präferierte Option angeführt, wenngleich sich eine Mitführung von Energie am Fahrzeug mittels Batterien für Problemstellen und Werkstattbereiche als sinnvoll

¹Der Unterschied in den THG-Emissionen resultiert in der Berücksichtigung der für die Herstellung der Fahrzeuge entstehenden THG-Emissionen für Rumpf und Antrieb, um einen Vergleich mit heutigen Dieselfahrzeugen zu ermöglichen.

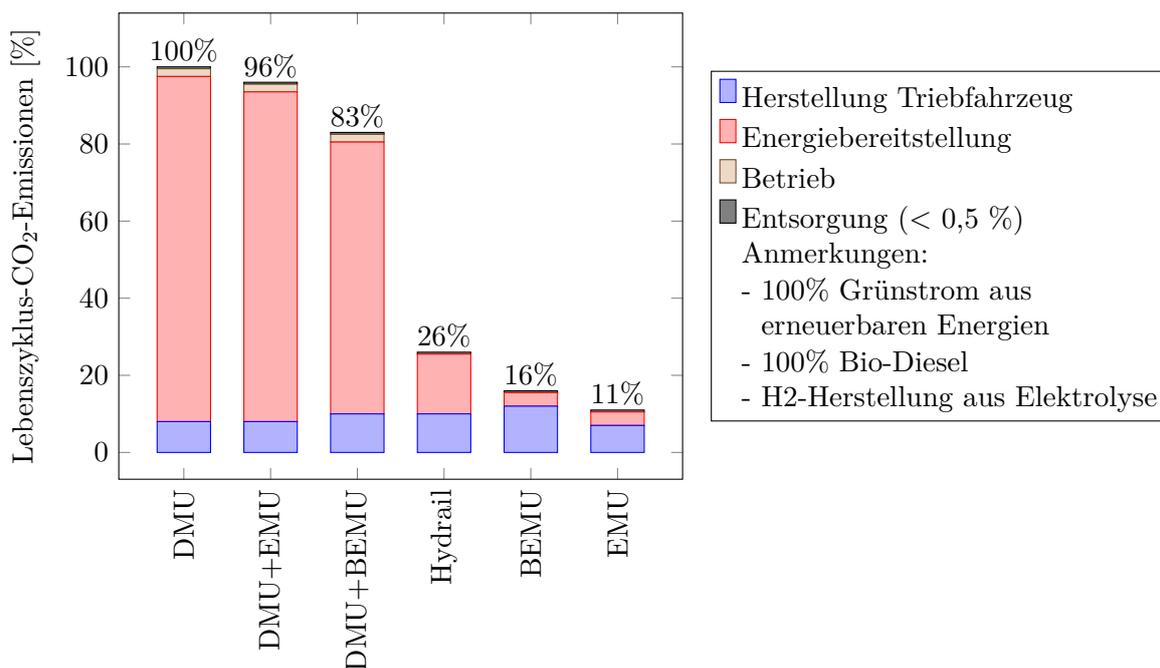


Abb. 7.3: Gegenüberstellung der CO₂-Emissionen eines Triebwagens mit unterschiedlichen Traktionsarten über den gesamten Lebenszyklus bezogen auf die eines DMU; in Anlehnung an Priebnitz; Gerstenmayer (Priebnitz; Gerstenmayer, 2019)

	Elektrifizierung	BEMU	Hydrail
Vorteile	Umweltfreundlichkeit - Marketing		
	geringe Betriebs- und Fahrzeuginstandhaltungskosten	Keine Umbaumaßnahmen an Strecken	
	Energieeffizienter Betrieb		Reichweite (bis 800 km)
neutral	Begrenzte Reichweite (bis 110 km)		Adaptierung von Werkstätten und Arbeitsgeräten
	Flottenstandardisierung		
Nachteile	Hohe Investitionskosten	Entwicklung einer Ladeinfrastruktur inkl. Energieversorgung	Entwicklung einer Tankinfrastruktur
	Hohe Instandhaltungskosten der Oberleitungsanlage	Ladezeit und Einfluss auf die Umlaufplanung	Hohe Betriebskosten

Abb. 7.4: Gegenüberstellung der emissionsfreien Traktionsarten; in Anlehnung an Priebnitz; Gerstenmayer (Priebnitz; Gerstenmayer, 2019)

darstellt. Die Entscheidung wird durch die möglichen Einspeisepunkte für Bahnstrom in Zell am See (Anschluss an das Bahnstromnetz der ÖBB) sowie Uttendorf (Kraftwerksgruppe Stubachtal der ÖBB, Ausbau ab dem Jahr 2020 (N. N., 2020c)), der hohen Energieeffizienz, der einfachen als auch bewährten Umsetzbarkeit, den geringen Wartungskosten und den Vorteilen bei der Triebfahrzeugkonstruktion begründet.

7.5 Verkehrskonzept bei Teilerrichtung

7.5.1 Errichtung bis Bahnhof Kaprun

Bei einer Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn bis zum Bf. Kaprun kann einerseits das Zentrum Kaprun im öffentlichen Schienenpersonennahverkehr erschlossen werden, andererseits ist eine *Ski-Shuttle*-Verbindung zwischen den Skigebieten *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun* durchführbar. Des Weiteren kann eine Anbindung der Therme *Tauern Spa* gewährleistet werden. Die Verbindung im öffentlichen Personennahverkehr bis zum Talschluss des Kapruner Tals beim Alpenhaus Kesselfall kann von einer Buslinie, welche weitestgehend den Verlauf der heutigen Skibus-Linie K besitzt (siehe Abb. 7.5), mit einem auf die Ankunft bzw. Abfahrt der Züge im Bf. Kaprun abgestimmten Fahrplan, geleistet werden. Vor allem in der Sommersaison sollte auch eine Verknüpfung dieser Linie mit den Shuttle-Bussen zu den Hochgebirgsstauseen angedacht werden.

Bei der Errichtung ausschließlich bis zum Bf. Kaprun entfallen entsprechend die Konstruktion eines Tunnels zur Überwindung des Geländehöhenunterschiedes zwischen dem Ortsgebiet von Kaprun und dem hinteren Kapruner Tal als auch die Notwendigkeit des Trassenverlaufes als Straßenbahn bzw. straßenbahnähnliche Nebenbahn (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016) zwischen dem Bf. Kaprun sowie dem nördlichen Tunnelportale bzw. dem Streckenende bei der Sigmund-Thun-Klamm. Zusätzlich besteht die Möglichkeit beim Bf. Kaprun für den Individualverkehr PKW- sowie Radabstellplätze zu errichten.

7.5.2 Errichtung bis Kitzsteinhorn

Eine Errichtung mit zum Streckenende bei der Talstation der Bergbahn Kitzsteinhorn würde die in Kapitel 7.5.1 beschriebenen Ziele mit dem hinteren Kapruner Tal verbinden und auch eine zweite schienengebundene Anbindung an das Skigebiet *Kitzsteinhorn Kaprun* gewährleisten.

Im Vergleich zum Streckenende beim Alpenhaus Kesselfall am Talschluss des Kapruner Tales, entfallen die Trassierung im Steilstück bis dorthin (siehe Abb. 5.10) als auch der aufwändige Bau des Bf. Kesselfall samt der Tunnelerrichtung. Hinzu kommt, dass derzeit die Hst. Kesselfall der Linie 660 nur in der Sommersaison bedient wird, da zu anderen Zeiträumen die Hochgebirgsstauseen Kaprun nicht für Besucher geöffnet sind. Zusätzlich ist es auf Grund der topographischen Lage ohnedies erforderlich, auch für Wanderungen im Gebiet der Hochgebirgsstauseen, deren Shuttle-Busse zu benutzen, da keine Wanderwege oder öffentliche Straßen ab dem Alpenhaus Kesselfall vorhanden sind. Dadurch würde sich eine Verlängerung dieser Busse zum Streckenende beim Bf. Kitzsteinhorn anbieten.

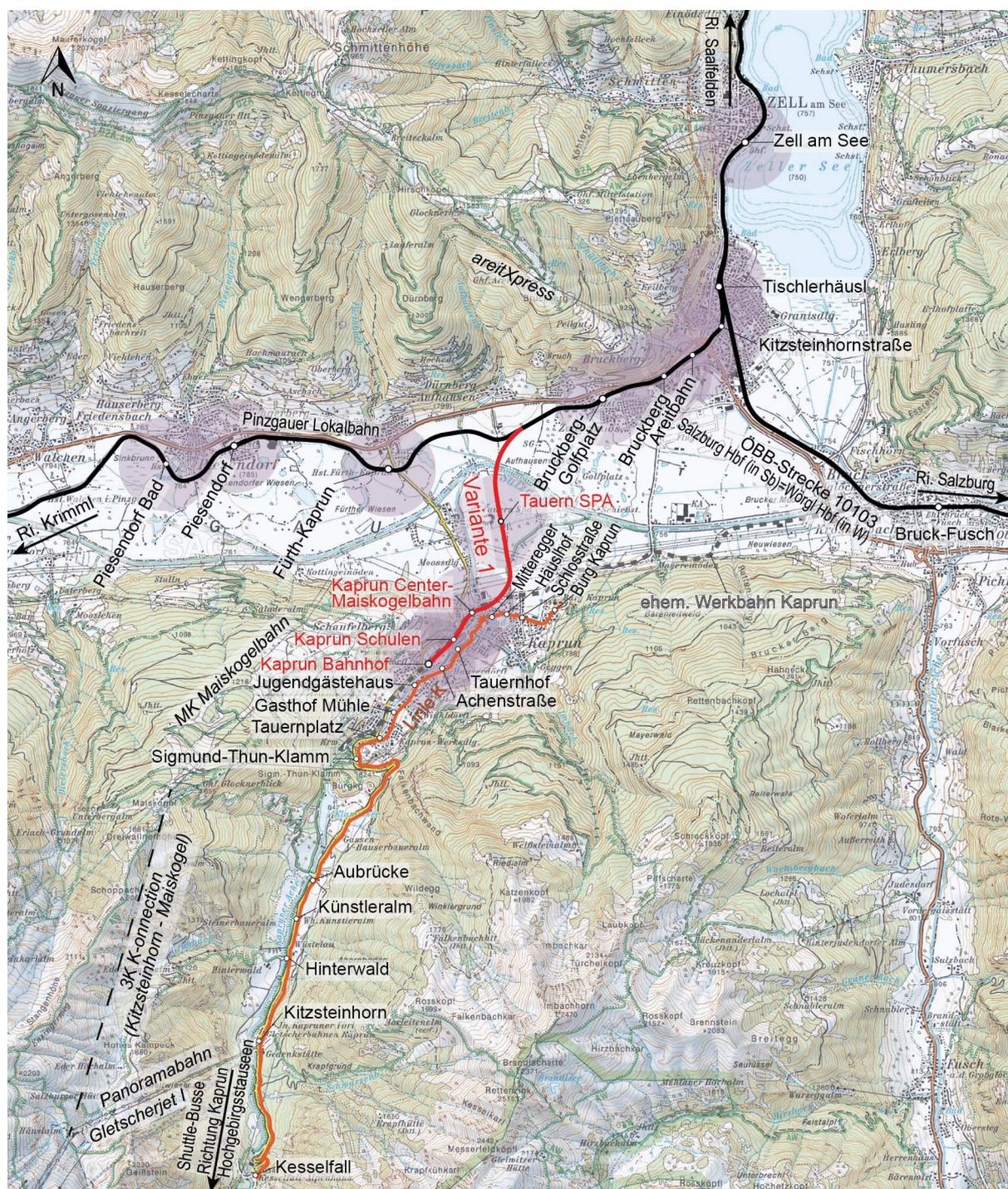


Abb. 7.5: Übersicht der möglichen Teilvariante bis Kaprun Zentrum mit Anbindung der Buslinie K (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)

Kapitel 8

Schlussfolgerungen

Nachfolgend werden die in Kapitel 1.2 aufgeworfenen Fragen zu den Zielen dieser Arbeit beantwortet und näher erläutert.

Wie kann die Gemeinde Kaprun inkl. des gesamten Kapruner Tals im schienengebundenen Verkehr erschlossen werden?

Wie im Kapitel 5 näher dargestellt, ist es möglich das gesamte Kapruner Tal bis zum Talschluss beim Alpenhaus Kesselfall nach heutigem Stand der Technik zu erschließen. In Kapitel 4 wurden dazu mehrere Varianten vorgestellt, die einen Anschluss an die Bestandsstrecke der Pinzgauer Lokalbahn (Zell am See - Krimml) herstellen, wobei diese grundsätzlich den Bereich vor als auch nach dem Höhenrücken des Burgkogels behandeln. Letzterer Abschnitt wird in zwei Varianten, welche das hintere Kapruner Tal erschließen, mit Hilfe eines Tunnelbauwerks überwunden. Eine mögliche Alternative mittels eines Zahnstangenabschnittes wurde aufgrund des hohen technischen Aufwandes sowie der langen Fahrzeit nicht näher behandelt.

In einem tiefer gehenden Projektstadium ist jedoch eine Detaillage- und Höhentrasse auf Basis von terrestrischen Vermessungsdaten erforderlich, um etwaige Zwangspunkte bzw. örtliche Herausforderungen definieren zu können.

Infolge der dichten Verbauung ist abschnittsweise eine Führung im straßenbahnähnlichen Betrieb erforderlich, wofür spezifische gesetzliche Rahmenbedingungen (StrabVO) herrschen. Dies erfordert Zweisystemfahrzeuge, welche die Flexibilität sowie die Ökonomie der Strecke negativ beeinflussen. Im Zuge von genaueren Betrachtungen ist unter Umständen eine Deklaration dieser Streckenabschnitte als Nebenbahn denkbar, wodurch diese Anforderungen nicht maßgebend sind.

Ist ein entsprechendes Nachfragepotential für die Anbindung Kapruns an die Pinzgauer Lokalbahn vorhanden?

In Kapitel 3.4.3.3 wurden die Fahrgastzahlen für die derzeit im ÖPNV (Linie 660) als auch im saisonalen touristischen Verkehr (Linie K) bestehenden Buslinien ausgewertet, wobei für einige Linien bzw. Verstärkerkurse teilweise keine Zählraten vorliegen. Es zeigt sich einerseits, dass mehr Fahrgäste pro Jahr auf diesen Linien als im Gesamtverlauf der Pinzgauer Lokalbahn (siehe Kap. 3.4.1.6) befördert werden. Dies ist auch in der Fahrplankonzeption dieser Buslinien zu sehen, welche in der Wintersaison auf Teilabschnitten einen überlagerten 15-Minuten-Takt aufweist. Unter der Annahme, dass eine Bahnverbindung ähnliche Werte aufweisen würde, überschreiten die Fahrgastzahlen das Mindestkriterium von 2000 Personen pro Tag, welches gemäß VCÖ - Mobilität mit Zukunft (VCÖ - Mobilität mit Zukunft, 2014) von der ÖBB-Infrastruktur AG als Minimum für Investitionen in Regionalbahnen angegeben wird.

Für eine detailliertere Prognose der zu erwartenden Fahrgastzahlen sind jedoch Nachfragepo-

tentialanalysen - welche auch für die exakte Situierung mancher Haltestellen verwendet werden sollten - erforderlich, da z. B. auch eine Umlagerung des Verkehrs vom MIV auf den ÖPNV im Zuge dieser Arbeit nicht behandelt wurde.

Wie kann ein dekarbonisierter Verkehr auf der Pinzgauer Lokalbahn stattfinden?

Dadurch, dass der heutige Verkehr auf der Pinzgauer Lokalbahn hauptsächlich mit Dieseltraktion durchgeführt wird, jedoch die Fahrzeuge sich dem Ende der wirtschaftlichen Lebensdauer nähern, ist eine Umstellung auf emissionsfreie Antriebe zweckmäßig. In Kapitel 7.4 wurden mögliche Traktionskonzepte gegenübergestellt, die diese Anforderungen erfüllen. Im Rahmen einer Traktionsstudie, die von der Salzburg AG, dem Betreiber der Pinzgauer Lokalbahn, durchgeführt wurde, wird eine Elektrifizierung der Gesamtstrecke mit dem in Österreich üblichen Bahnstromsystem von 15 kV/16,7 Hz ~ bevorzugt. Infolgedessen sollte dies auch für die Verlängerung nach Kaprun als Voraussetzung angesehen werden.

Ist eine automatisierte Betriebsführung realisierbar und zweckmäßig?

Für eine Erhöhung der Kapazität vor allem auf der eingleisigen Bestandsstrecke zwischen der Abzweigung der Verlängerung nach Kaprun und Zell am See ist zumindest eine halbautomatische Betriebsführung GoA 2 zweckmäßig. Ein automatischer Zugbetrieb fahrerlos (GoA 3) bzw. personallos (GoA 4) würde einerseits die Flexibilität im Angebot stark erhöhen, andererseits sind dafür hohe technische Investitionen in die Zugsicherung und Streckenüberwachung erforderlich. Durch Letztere ist ein vollständig automatisierter Betrieb, wie er heute bei vielen U-Bahn-Verkehren schon durchgeführt wird, abgesehen von möglichen Pilotprojekten, zumindest in nächster Zeit anzuzweifeln.

Kann eine Lokalbahn sowohl Anforderungen des öffentlichen Personennahverkehrs als auch eines saisonal stattfindenden touristischen Verkehrs - zur Verbindung von zwei Skigebieten - entsprechen?

Durch den Streckenverlauf der Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn ergeben sich Synergien zwischen dem Angebot im ÖPNV und im saisonalen touristischen Verkehr zur Verbindung der Skigebiete *Schmitten* und *Kitzsteinhorn Kaprun*. In Kapitel 6 ist ein mögliches Betriebskonzept dargestellt, das die Anforderungen beider Verkehre verbinden kann. Eine Kombination eines attraktiven Angebotes im ÖPNV in Form eines 30- bzw. 15-Minuten-Taktes als auch eine Verbindung der Skigebiete mit einer Taktfrequenz von bis zu fünf Minuten ist darstellbar, welche auch der Leistungsfähigkeit moderner Seilbahnen entspricht.

Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit zeigen, dass eine technische als auch betriebliche Machbarkeit der Erschließung des Kapruner Tales im schienengebundenen Verkehr besteht. Auch kann dies emissionsfrei sowie teilweise automatisiert ermöglicht werden. Für etwaige nachfolgende Projektstufen ist ein transparentes Analyseverfahren (z. B. Kosten-Nutzen-Analyse, Multikriterienanalyse etc.) anzustreben, wo eine detaillierte Betrachtung der zu erwartenden Fahrgastzahlen, des gesellschaftlichen Nutzens als auch der Kosten bzw. Finanzierung objektiv gegenübergestellt werden sollten.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Hauptmodule der Simulationssoftware OpenTrack (Hürlimann, 2017)	14
1.2	Gleisstopologie des Bahnhofes Tischlerhäusl	14
1.3	Beispiel für einen mit OpenTrack erstellten Bildfahrplan (Hürlimann, 2017) . . .	16
2.1	Übersicht der technischen Voraussetzungen für den Zweisystembetrieb; in Anlehnung an Nendwich (Nendwich, 2008)	22
3.1	Übersichtskarte des Pinzgaues (N. N., 2020d)	24
3.2	Übersicht der Kraftwerksgruppe Kaprun (N. N., 2020b)	25
3.3	Pendler nach Zell am See; in Anlehnung an Mühlböck; Riffler (Mühlböck; Riffler, 2016)	27
3.4	Nächtigungszahlen im Bezirk Zell am See (© OpenStreetMap-Mitwirkende und Mühlböck; Riffler, 2016)	28
3.5	Modal Split der Wohnbevölkerung im Jahr 2012 (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017)	29
3.6	Modal Split der Anreise im Tourismus in der Wintersaison 2013/2014 (Salzburg Verkehr; Regionalverband ÖPNV Pinzgau, 2017)	29
3.7	Übersicht des Angebotes des öffentlichen Verkehrs im Raum Kaprun im Winterhalbjahr 2019/2020 (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)	30
3.8	Verlauf der Pinzgauer Lokalbahn mit Haltestellen und Bahnhöfen (© OpenStreetMap-Mitwirkende)	31
3.9	Höhenentwicklung der Trasse der Pinzgauer Lokalbahn (Fritz, 1976)	31
3.10	Triebfahrzeug Vs 81 der Pinzgauer Lokalbahn (N. N., 2020f)	34
3.11	Triebwagen VTs 81 der Pinzgauer Lokalbahn (N. N., 2020g)	34
3.12	Fahrgastzahlen der Pinzgauer Lokalbahn von 2008 bis 2018 (Stramitzer, 2019) .	35
3.13	Verlauf der ehemaligen Anschlussbahn der Tauernkraftwerke vom Bf. Bruck-Fusch nach Kaprun (Harrer, 2000)	36
3.14	Übersicht des Skibusangebotes in der Wintersaison (Gletscherbahn Kaprun AG, 2019)	37
3.15	Tägliche und jährliche Fahrgastzahlen der Linie 660 (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019)	38
3.16	Verteilung der Fahrgäste (Montag - Freitag an Schultagen) der Linie 660 in Richtung Kaprun Kesselfall (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019)	39
3.17	Verteilung der Fahrgäste (Montag - Freitag an Schultagen) der Linie 660 in Richtung Zell am See Postplatz (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2019) . . .	39

3.18	Tägliche und saisonale Fahrgastzahlen der Skibus-Linie K (Salzburger Verkehrsverbund GmbH, 2020a)	40
4.1	Übersicht des Trassenkorridors (BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)	43
4.2	Übersicht der möglichen Varianten für die Verlängerung der Pinzgauer Lokalbahn (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)	46
4.3	Skilift- und Pistenplan der Skigebiete <i>Schmitten</i> und <i>Kitzsteinhorn Kaprun</i> inkl. der Skibusverbindung der Linie 660 (N. N., 2020e)	48
4.4	Übersichtsschema der Hst. Areitbahn	52
4.5	Übersichtsschema des Bf. Zell am See	53
5.1	Regelquerschnitt für die Verlängerung nach Kaprun mit dem Lichtraumprofil der Pinzgauer Lokalbahn (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2008)	57
5.2	Lageplan der Varianten 1 und 1.1 (M = 1:20000)	59
5.3	Längenschnitt der Variante 1 (M = 1:25000/1000)	60
5.4	Lageplan der Varianten der Hst. bzw. des Bf. Kaprun Center (M = 1:2000)	60
5.5	Längenschnitt der Variante 1.1 (M = 1:25000/1000)	62
5.6	Lageplan der Varianten 2.1 und 2.2 (M = 1:20000)	63
5.7	Längenschnitt der Variante 2.1 (M = 1:25000/10000)	64
5.8	Längenschnitt der Variante 2.2 (M = 1:25000/10000)	65
5.9	Lageplan der Variante 3 (M = 1:20000)	66
5.10	Längenschnitt der Variante 3 (M = 1:25000/10000)	67
5.11	Lageplan des Bf. Bruckberg-Golfplatz (M = 1:3000)	69
5.12	Lageplan des Bf. Areitbahn (M = 1:3000)	70
5.13	Lageplan des Bf. Zell am See (M = 1:2000)	70
6.1	Gleistopologie der bestehenden sowie geplanten Infrastruktur für die Betriebssimulation mit OpenTrack	72
6.2	Geschwindigkeits-Weg-Diagramm für den Abschnitt Zell am See - Kaprun	73
6.3	Taktschema für die im Rahmen von öffentlichen Dienstleistungsverträgen bestellten Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonenfernverkehr mit Ergänzung um die bestehende Strecke sowie der Verlängerung nach Kaprun der Pinzgauer Lokalbahn; in Anlehnung an Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2018, S. 39)	74
6.4	Taktuhr für den Bf. Zell am See ab der Inbetriebnahme der Koralmbahn mit der Anbindung der Pinzgauer Lokalbahn	75
6.5	Bildfahrplan des Abschnittes Bf. Zell am See - Bf. Kaprun - Hst. Kaprun Sigmund-Thun-Klamm	75
6.6	Bildfahrplan des Abschnittes Bf. Kaprun - Bf. Kesselfall	76
7.1	Fahrzeug der U-Bahn Serfaus mit barrierefreiem Einstieg, breiten Türen und geräumigem Einstiegsbereich (N. N., 2020a)	79

7.2	THG-Emissionen im Fahrzeugbetrieb für 2020-2030 (durchgezogen) und für 2030-2040 (strichliert) für FCEV- und BEV-Fahrzeuge. Zusätzlich THG-Emissionen für FCEV-, BEV- und Dieselfahrzeuge im Zeitraum 2020-2030 zum Vergleich (punktiert); in Anlehnung an (Sternberg et al., 2019)	83
7.3	Gegenüberstellung der CO ₂ -Emissionen eines Triebwagens mit unterschiedlichen Traktionsarten über den gesamten Lebenszyklus bezogen auf die eines DMU; in Anlehnung an Priebnitz; Gerstenmayer (Priebnitz; Gerstenmayer, 2019)	84
7.4	Gegenüberstellung der emissionsfreien Traktionsarten; in Anlehnung an Priebnitz; Gerstenmayer (Priebnitz; Gerstenmayer, 2019)	84
7.5	Übersicht der möglichen Teilvariante bis Kaprun Zentrum mit Anbindung der Buslinie K (© OpenStreetMap-Mitwirkende und BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020)	86

Tabellenverzeichnis

1.1	Technische Daten des Triebzuges ET1 – ET9 der NÖVOG (Stadler Rail AG, 2020)	15
2.1	Übersicht der Automatisierungsgrade - Grades of Automation; in Anlehnung an Powell et al. (Powell et al., 2014) und Nießen et al. (Nießen et al., 2017)	18
2.2	Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung (StrabVO 1999, Anlage 1)	22
3.1	Bahnhöfe und Haltestellen der Pinzgauer Lokalbahn (Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, 2019a)	32
5.1	Empfohlene Anpassung der Grenzwerte der ÖBB Dienstvorschrift DV B 52 für Schmalspurbahnen mit 760 mm Spurweite; in Anlehnung an Fellingner (Fellingner, 2017, S. 84)	55
5.2	Übersicht der verwendeten Schienenprofile (voestalpine Schienen GmbH, 2020)	56
5.3	Gegenüberstellung der Trassenverläufe (ohne Infrastrukturerfordernisse für Ski-Shuttle-Verkehre und Depot Kaprun)	67
6.1	Übersicht der Relationsfahrzeiten zwischen Bf. Zell am See und Bf. Kaprun	74
6.2	Übersicht der Relationsfahrzeiten zwischen Bf. Kaprun und Bf. Kesselfall	76
6.3	Fahrzeugbedarf für den Betrieb im ÖPNV in Abhängigkeit von der Taktfrequenz	77
6.4	Zusätzlicher Fahrzeugbedarf für den saisonalen touristischen Verkehr in Abhängigkeit vom Fahrplankonzept des ÖPNV sowie Gesamtanzahl der erforderlichen Fahrzeuge	77
7.1	Maximale Leistungsfähigkeit pro Richtung	78

Abkürzungen

ABW Außenbogenweiche

ALS Airborne Laser Scanning

ATO Automatic Train Operation

BEMU Battery Electric Multiple Unit - Akkumulatortriebwagen

BEV Battery Electric Vehicle

Bf. Bahnhof

Brb Haltestelle Bruckberg

DMU Diesel Multiple Unit - Dieseltriebwagen

EisbG Eisenbahngesetz

EisbVO Eisenbahnverordnung

EMU Electric Multiple Unit - Elektrotriebwagen

ETCS European Train Control System

EW Einfache Weiche

FCEV Fuel Cell Electric Vehicle

Fuk Bahnhof Fürth-Kaprun

GoA Grade of Automation

Gol Haltestelle Bruckberg-Golfplatz

Gol H1 Haltestelle Zellermoos

H2 Wasserstoff

Hst. Haltestelle

IBW Innenbogenweiche

Kap Bahnhof Kaprun

Kap H1 Haltestelle Kaprun Schulen

- Kap H2** Haltestelle Kaprun Tauernplatz
- Kap H3** Haltestelle Kaprun Sigmund-Thun-Klamm
- Kes** Bahnhof Kaprun Kesselfall
- Kes H1** Haltestelle Kaprun Kitzsteinhorn
- Kes H2** Haltestelle Kaprun Hinterwald
- Kes H3** Haltestelle Kaprun Künstleralm
- Kts** Bahnhof Kaprun Tauern Spa
- Kts H1** Haltestelle Kaprun Center
- MIV** Motorisierter Individualverkehr
- NÖVOG** Niederösterreichische Verkehrsorganisationsgesellschaft
- ÖBB** Österreichische Bundesbahnen
- ÖPNV** Öffentlicher Personennahverkehr
- OGD** Open Government Data
- OSM** Open Street Map
- PKW** Personenkraftwagen
- PZB** Punktförmige Zugbeeinflussung
- RZL** Rechnergestütztes Zugleitsystem
- SAGIS** Salzburger Geographisches Informationssystem
- SOK** Schienenoberkante
- StrabVO** Straßenbahnverordnung
- SUV** Sport Utility Vehicle
- THG** Treibhausgas
- Tih** Bahnhof Tischlerhäusl
- Tih H1** Haltestelle Kitzsteinhornstraße
- Tih H2** Haltestelle Areitbahn
- VzG** Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten und Besonderheiten
- Zlb** Bahnhof Zell am See
- ZLM** Zuglaufmeldestelle

Literatur

- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 2014. *Regionalprogramm Pinzgau - Kurzfassung*.
- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG, 2016. *salzburg.mobil 2025 - Salzburger Landesmobilitätskonzept 2016-2025*.
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG. *Presseinformation: Talent 3: Neue S-Bahn-Garnituren für Vorarlberg* [online] [Zugriff am 2020-02-19]. Abgerufen unter: <https://presse.vorarlberg.at/land/servlet/AttachmentServlet?action=show&id=31976>.
- BAUMGARTNER, T.; LINIGER, A., 2014. Die Durchmesserlinie Appenzell-St. Gallen-Trogen. In: *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau*. Bd. 63, S. 64-69. 4.
- BEGIRALE. *Comparative study of technologies for the detection of obstacles in level crossings* [online] [Zugriff am 2020-02-21]. Abgerufen unter: <http://begiralerailway.com/wp-content/uploads/2019/06/Comparative-study-of-technologies-for-the-detection-of-obstacles-in-level-crossings-v2.pdf>.
- BEV - BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN. *Austrian Map online* [online] [Zugriff am 2020-01-03]. Abgerufen unter: <http://www.austrianmap.at>.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, 2016. *Antwort auf die schriftliche parlamentarische Anfrage Nr. 9289/J-NR/2016 betreffend akute Sicherheitsgefährdung durch Schienengüterverkehr im Ortskern von Guntramsdorf NÖ, gestellt von den Abgeordneten Georg Willi, Kolleginnen und Kollegen am 18. Mai 2016* [online] [Zugriff am 2020-02-21]. Abgerufen unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXV/AB/AB_08930/imfname_549109.pdf.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, 2018. *Vorinformation für öffentliche Dienstleistungsaufträge: Erbringung von Verkehrsdienstleistungen im Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) in der Republik Österreich*. Nr. 2018/S 229-524862.
- DIE NEUE VOLKSPARTEI; DIE GRÜNEN – DIE GRÜNE ALTERNATIVE, 2020. *Aus Verantwortung für Österreich - Regierungsprogramm 2020–2024*.
- ECKERT, P., 2018. Moderne Antriebstechnik im Bahnbereich: Anhand des Beispiels Cityjet eco. In: *Energiesysteme im Umbruch VII* [online]. Innsbruck, Österreich [Zugriff am 2020-03-06]. Abgerufen unter: http://fwz.ph-noe.ac.at/fileadmin/fwz/etech/Energiesysteme%20V II/TOP_012_Eckert_Siemens_Moderne_Antriebstechnik_im_Bahnbereich.pdf.
- FELLINGER, L., 2017. *Trassierungsrichtlinien von Schmalspurbahnen - Maßnahmen zur Effizienz- und Potenzialsteigerung der Schmalspurtrassierungsrichtlinie in Österreich*. Diplomarbeit. Fachhochschule St. Pölten.

- FLAMM, L.; MEIRICH, C.; JÄGER, B., 2019. Die Umsetzung des automatisierten Bahnbetriebs zwischen Technik, Regelwerken und Wirtschaftlichkeit. In: *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau*. Bd. 68, S. 27–31. 3.
- FRASZCZYK, A.; BROWN; DUAN, S., 2015. Public Perception of Driverless Trains. In: *Urban Rail Transit 1*, S. 78–86.
- FRASZCZYK, A.; MULLEY, C., 2017. Public Perception of and Attitude to Driverless Train: A Case Study of Sydney, Australia. In: *Urban Rail Transit 3*, S. 100–111.
- FRITZ, H., 1976. *Die Pinzgauer Lokalbahn: Geschichte der Schmalspurbahn Zell am See - Krimml*. Murau, Österreich: Club 760, Verein der Freunde der Murtalbahnen.
- GLETSCHERBAHN KAPRUN AG, 2019. *Skibus-Info - Zell am See-Kaprun* [online] [Zugriff am 2019-12-11]. Abgerufen unter: https://www.kitzsteinhorn.at/pdfs/prospekt-download/Winter-2019-20/Skibusplan_1920_web.pdf.
- GOOGLE. *Fahrzeitberechnung MIV mit Google Maps* [online] [Zugriff am 2020-02-26]. Abgerufen unter: <https://www.google.at/maps>.
- GRALLA, C., 2016. Automatisches Fahren als Antwort auf Digitalisierung 4.0? In: *43. Schienenfahrzeugtagung. Technische Universität Graz* [online]. Graz, Österreich [Zugriff am 2020-02-21]. Abgerufen unter: https://www.schienenfahrzeugtagung.at/download/PDF2016/MiV05_Gralla.pdf.
- GRIESSER, J., 2019. *Baubeginn für Umfahrung Schüttdorf im Frühjahr 2020* [online] [Zugriff am 2019-12-23]. Abgerufen unter: https://www.meinbezirk.at/pinzgau/c-lokales/baubeginn-fuer-umfahrung-schuettdorf-im-fruehjahr-2020_a3682167.
- HARRER, H., 2000. Die Anschlussbahn der Tauernkraftwerke AG Kaprun. *Mitt(h)eilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde*. Jg. 140, S. 313–330.
- HÜRLIMANN, D., 2017. *Manual für OpenTrack - Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen*. Version 1.9. Zürich, Schweiz: OpenTrack Railway Technology GmbH.
- IHME, J., 2019. *Schienenfahrzeugtechnik*. 2. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Springer Vieweg.
- INTERNATIONALER EISENBAHNVERBAND (UIC), 2000. *UIC-Merkblatt 451-1: In den Fahrplänen vorzusehende Fahrzeitzuschläge, um die pünktliche Betriebsabwicklung zu gewährleisten - Fahrzeitzuschläge*. 4. Aufl. Paris, Frankreich. Nr. UIC-Merkblatt 451-1.
- ISAAC, R.; FULTON, L., 2016. Propulsion Systems for 21st Century Rail. In: *World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai*. Shanghai, China.
- KAISER, F.; STADLMANN, B.; MAIRHOFER, S., 2012. Rechnergestütztes Zugsleitsystem für die Pinzgauer Lokalbahn. *SIGNAL+DRAHT*. Jg. 104 (05/2012), S. 28–33.
- KITZSTEINHORN – GLETSCHERBAHNEN KAPRUN AG. *Presse-Information: 3K K-ONNECTION – Die Verbindung in die Zukunft* [online] [Zugriff am 2020-02-03]. Abgerufen unter: https://www.kitzsteinhorn.at/presstexte/2019-02-22_PA_3K-Konnection/190220_PT_3K_K-onnection_DE.pdf.
- KLEBSCH, W.; HEININGER, P.; MARTIN, J., 2019. *Alternativen zu Dieseltriebzügen im Schienenpersonennahverkehr: Einschätzung der systemischen Potenziale*. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.

- MÄCHLER, E., 2017. Rechtliche Aspekte des autonomen Fahrens am Beispiel Schiene. In: *Safety Day 2017 - System Safety für Autonomes Fahren am Beispiel Schiene*. Wien, Österreich.
- MIEG, H. A.; NÄF, M., 2005. *Experteninterviews*. Institut für Mensch-Umweltsysteme (HES), ETH Zürich.
- MÜHLBÖCK, A.; RIFFLER, A., 2016. *Pendlerstudie 2016 im Auftrag des Gemeindeverbandes ÖPNV-Pinzgau*. unveröffentlicht.
- MÜLLER, A., 2017. *Wissenschaftliche Bewertung von alternativen, emissionsarmen Antriebskonzepten für den bayerischen SPNV*. Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik, Professur für Elektrische Bahnen und Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH (BEG).
- N.N., 2016. *Zeller Stau-Chaos ohne Ende* [online] [Zugriff am 2020-02-28]. Abgerufen unter: <https://salzburg.orf.at/v2/news/stories/2791411/>.
- N.N., a. *Fahrzeug U-Bahn Serfaus* [online] [Zugriff am 2020-02-12]. Abgerufen unter: <https://tirol.orf.at/stories/3004343/>.
- N.N., b. *Kraftwerk Kaprun - Schematische Darstellung* [online] [Zugriff am 2020-01-03]. Abgerufen unter: https://deacademic.com/pictures/dewiki/75/Kraftwerk_Kaprun_schematische_Darstellung.jpg.
- N.N., c. *Kraftwerk Tauernmoos* [online] [Zugriff am 2020-01-06]. Abgerufen unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrom/kraftwerke-und-frequenzumformer/kraftwerk-tauernmoos>.
- N.N., d. *Pinzgau-Map* [online] [Zugriff am 2020-01-03]. Abgerufen unter: https://www.seniorenpattform-pinzgau.at/templates/round/img/pinzgau_map-compressor.jpg.
- N.N., e. *Pistenplan Zell am See - Kaprun* [online] [Zugriff am 2020-01-08]. Abgerufen unter: <https://cdn.snowplaza.com/content/WinterPanos/2500/13693.jpg>.
- N.N., f. *PLB Vs81 Bramberg 2010* [online] [Zugriff am 2020-01-03]. Abgerufen unter: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/PLB_Vs81_Bramberg_2010.jpg.
- N.N., g. *SLB VTs 12 Krimml 2014* [online] [Zugriff am 2020-01-03]. Abgerufen unter: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/SLB_VTs_12_Krimml%2C_2014_%2801%29.JPG.
- NENDWICH, G., 2008. *Technische Grundlagen für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen am Beispiel der Wiener Linien*. Diplomarbeit. Technische Universität Wien.
- NIESSEN, N.; SCHINDLER, C.; VALLÉE, D., 2017. Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb – Potentiale für den Schienenverkehr. In: *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau*. Bd. 66, S. 32–37. 4.
- ÖBB-INFRASTRUKTUR AG, 2016. *Regelwerk 01.03: Linienführung von Gleisen*. Wien: ÖBB-Infrastruktur AG. Nr. Regelwerk 01.03.
- ÖBB-INFRASTRUKTUR AG, 2019a. *Streckenverzeichnis der ÖBB-Infrastruktur AG*.
- ÖBB-INFRASTRUKTUR AG, 2019b. *Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten*.

- OSTERMANN, N., 2016. *Handbuch ÖPNV: Schwerpunkt Österreich*. Hrsg. von ROLLINGER, W. Hamburg, Deutschland: DVV Media Group GmbH.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHNEN, 1980a. *ÖBB Dienstvorschrift B 51: Oberbauvorschrift*. Wien: Selbstverlag der Österreichischen Bundesbahnen. Nr. DV B 51.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHNEN, 1980b. *ÖBB Dienstvorschrift B 52: Oberbau, Technische Grundsätze*. Wien: Selbstverlag der Österreichischen Bundesbahnen. Nr. DV B 52.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHNEN, 1980c. *ZOV 7: Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften - Umgrenzung des lichten Raumes und Gleisabstand*. Wien: Selbstverlag der Österreichischen Bundesbahnen. Nr. ZOV 7.
- PACHL, J., 2018. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. 9. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Springer Vieweg.
- POWELL, P. J.; FRASZCZYK, A.; CHEONG, C. N. et al., 2014. Potential Benefits and Obstacles of Implementing Driverless Train Operation on the Tyne and Wear Metro: A Simulation Exercise. In: *Urban Rail Transit 2*, S. 114–127.
- PRIESSNITZ, M.; GERSTENMAYER, T., 2019. The End of fossil Fuels: ÖBB-Personenverkehr AG. In: *The End Of Fossil Fuels In The Railway Sector - UIC Best Practice Workshop* [online]. Zürich, Schweiz [Zugriff am 2020-03-06]. Abgerufen unter: https://uic.org/events/IMG/pdf/04-share-alternative_antriebe_oebb.pdf.
- RIEDL, H., 2020. *E-Mail-Verkehr zu Planungen des Fahrplankonzeptes ab der Eröffnung des Koralmtunnels*.
- SALZBURG AG FÜR ENERGIE, VERKEHR UND TELEKOMMUNIKATION, 2008. *Lichtraumprofil Pinzgauer Lokalbahn*.
- SALZBURG AG FÜR ENERGIE, VERKEHR UND TELEKOMMUNIKATION, 2019a. *Anhang 19: Streckenskizze*.
- SALZBURG AG FÜR ENERGIE, VERKEHR UND TELEKOMMUNIKATION, 2019b. *Anhang 25: Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten und Besonderheiten - Pinzgauer Lokalbahn*.
- SALZBURG AG FÜR ENERGIE, VERKEHR UND TELEKOMMUNIKATION, 2019c. *Pinzgauer Lokalbahn: Traktionsstudie - Einschätzung des Betreibers, Zusammenfassung*.
- SALZBURG VERKEHR; REGIONALVERBAND ÖPNV PINZGAU, 2017. *PINZGAU.MOBIL 2030 - Strategisches Konzept*. komobile w7 GmbH.
- SALZBURGER VERKEHRSVERBUND GMBH, 2019. *Fahrgastzahlen der Linie 600 des Salzburger Verkehrsverbundes im Auswertungszeitraum 10.09.2018 - 09.09.2019*.
- SALZBURGER VERKEHRSVERBUND GMBH, 2020a. *Fahrgastzahlen der Skibus-Linie K des Salzburger Verkehrsverbundes im Auswertungszeitraum 22.12.2019 - 22.02.2020*.
- SALZBURGER VERKEHRSVERBUND GMBH, 2020b. *Fahrplan der Linie 660: Zell am See - Kaprun - Kitzsteinhorn - (Kesselfall)*.
- SCHREINER, H.; FLEISCHHACKER, N., 2018. H2 Zillertal: Zillertalbahn 2020+. In: *ÖPNV im Umbruch: 16. Wiener Eisenbahnkolloquium*. Wien, Österreich, S. 71–76.

- SCHUCHMANN, A., 2007. *Erste Überlegungen zum Anschluss von Kaprun*. Studie. S2R Management Partnerschaft.
- STADLER RAIL AG. *Datenblatt Niederflurtriebzug «Himmelstreppe»* [online] [Zugriff am 2020-01-15]. Abgerufen unter: <https://www.stadlerrail.com/media/pdf/tmnovog1211d.pdf>.
- STADT WIEN UND ÖSTERREICHISCHE LÄNDER BZW. ÄMTER DER LANDESREGIERUNG. *basemap.at* [online] [Zugriff am 2020-01-15]. Abgerufen unter: <https://www.basemap.at>.
- STERNBERG, A.; HANK, C.; HEBLING, C., 2019. *Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 Kilometer*. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Studie.
- STRAMITZER, W., 2019. *E-Mail-Verkehr zu Streckendaten der Pinzgauer Lokalbahn*.
- UNECE - UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, 2013. *Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions*. Genf, Schweiz.
- UTTENTHALER, H., 2010. *Grundlagen eines auf einem Integrierten Taktfahrplan basierenden Eisenbahninfrastrukturausbaues am Beispiel Zentraleuropa*. Diplomarbeit. Technische Universität Graz.
- VCÖ - MOBILITÄT MIT ZUKUNFT, 2014. VCÖ Factsheet: Regionalbahnen in Österreich modernisieren und ausbauen. *Verkehr aktuell 22/2014*. Jg. 22/2014.
- VOESTALPINE SCHIENEN GMBH. *Profilliste Rail Section Program 2018* [online] [Zugriff am 2020-02-21]. Abgerufen unter: <https://www.voestalpine.com/schienen/static/sites/schienen/.downloads/Rail-Section-Program-2018.pdf>.
- VOGELTANZ, R., 1987. Die Geologie des Schaufelberg-Straßentunnels in Kaprun. *Jahresbuch Haus der Natur*. Jg. 10, S. 149–156.
- WECHNER, S., 2018. Zillertalbahn 2020+: Energieautonom mit Wasserstoff. In: *Tiroler Netzwerktreffen Energie*. Schwaz, Österreich.
- WEIS, P., 2012. Wiederaufbau der Pinzgauer Lokalbahn - von der Trassierung und dem Bau einer Schmalspurbahn. In: *Regionalisierung von Bahnen: 10. Wiener Eisenbahnkolloquium*. Wien, Österreich, S. 39–47.
- ZEINER, M., 2018. *ATO (Automatic Train Operation) - Optimierung durch erhöhte Automatisierung auf der Vollbahn*. Diplomarbeit. Technische Universität Graz.
- ZENITH, F.; MÖLLER-HOLST, S.; THOMASSEN, M. S., 2017. Alternative Railway Electrification in Norway. In: *FCH 2 JU & S2R JU: Hydrogen Train Workshop*. Brüssel, Belgien.